UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRES BELLO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ANÁLISIS MICROSCÓPICO DE SUELOS COLAPSABLES DE LA REGIÓN INDUSTRIAL DE MATANZAS. EDO. BOLIVAR.

REALIZADO POR Jiménez R, Larisa
Soto-Rosa M, Claudia

PROFESOR GUIA Ing. Hugo I. Pérez Ayala

FECHA 23 de Mayo de 2002

Universidad Católica Andrés Bello
BIBLIOTECA
Caracas

TESIS
IC 2002
J7

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRES BELLO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ANÁLISIS MICROSCÓPICO DE SUELOS COLAPSABLES DE LA REGIÓN INDUSTRIAL DE MATANZAS. EDO. BOLIVAR.

Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: VEINTE PUNTOS (20)

JURADO EXAMINADOR

Firma:	Firma:	Firma:
Nombre: HUGO PEREZ AYALA	Nombre: UDON YEPES MUÑOZ	Nombre: JUAN FRANCISCO LUPINI

REALIZADO POR	Jiménez R, Larisa Soto-Rosa M, Claudia
PROFESOR GUIA	Ing. Hugo I. Pérez Ayala
FECHA	23 de Mayo de 2002

Universidad Católica Andrés Bello
BIBLIOTECA

ÍNDICE

SINOPSIS I

INTRODUCCIÓN 1

1 SUELOS COLAPSABLES. 3

1.1 Generalidades 3

1.2 Interpretación del fenómeno 4

1.3 Tipos de suelo, origen y ubicación 4

1.4 Ensayos y criterios para el análisis del colapso 5

1.4.1 Método de Knigth 6

1.4.2 Método de Jennings 7

1.4.3 Método de Gibbs 8

2 SUELOS COLAPSABLES DE LA REGIÓN INDUSTRIAL DE MATANZAS 10

2.1 Reconocimiento de la zona 10

2.1.1 Caracterización 12

2.1.2 Clasificación 13

2.1.3 Potencial de Colapso 14

2.1.4 Muestreo 15

2.2 Métodos de clasificación e identificación Microscópica 16

2.2.1 Análisis visual 15

2.2.1.1 Lupa estereoscópica 16

2.2.1.2 Microscopio petrográfico 16

2.2.1.3 Microscopio binocular 18

2.2.1.4 Microscopio electrónico de barrido 18

2.2.2 Análisis Químicos 20

2.2.2.1 Absorción Atómica 20

2.2.2.2 Cromatografía Iónica 21

2.2.3 Difracción de Rayos X 23

2.3 Análisis y Resultados 25

3 CONCLUSIONES 49

4 ANEXOS 52

5 BIBLIOGRAFÍA 62

SINOPSIS

Este trabajo contiene aspectos generales acerca de metodología, análisis y resultados de diferentes ensayos, orientados a la caracterización de la macro y micro estructura de los suelos colapsables de la región de Matanzas en el estado Bolívar.

Se incluyeron, los resultados de una investigación geotécnica realizada a estos suelos de Matanzas por J. Álvarez, y A. Piccardo (1988), quienes efectuaron una caracterización geotécnica de su macro estructura y determinaron las propiedades mecánicas: potencial de colapso, distribución granulométrica, resistencia al corte, SPT, %CBR y grado de compactación.

En este estudio se evaluaron y determinaron las características físicas y morfológicas de varias muestras de suelos, haciendo uso de diferentes tipos de microscopios. Mediante este análisis se detallaron y observaron a nivel microscópico las partículas de suelo por su color, forma, tamaño, brillo, grado redondez, etc. Se evaluaron los granos de mayor tamaño, constituidos la mayoría por minerales de cuarzo y otros meteorizados, unidos entre sí por micropartículas. Inicialmente se supuso que las micropartículas estaban constituidas por algún tipo de arcilla o coloide. Para su identificación fue necesario la aplicación de diversos métodos como: microscopía electrónica, petrografía, difracción de rayos X , absorción atómica y la cromatografía iónica, que determinaron la composición mineralógica y naturaleza cementicia de estos vínculos microscópicos.

Por último, se realizó un análisis de resultados, y de esta manera se establecieron conclusiones sobre las posibles causas físicas y químicas del colapso y sobre la caracterización microscópica de sus componentes.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los suelos constituyen una mezcla de partículas de diversos tamaños, las cuales presentan algunas características importantes que ejercen influencia en el comportamiento mecánico de los suelos (resistencia, permeabilidad, transmisión de esfuerzos, relación de vacíos, compresibilidad).

Esas características son:

- Morfología, hace referencia al tamaño, forma de las partículas, grado de redondez, textura superficial y color.
- Composición, entendida como la naturaleza y disposición de los átomos en una partícula de suelo.
- Estructura, la cual según Lambe y Whitman (1999), se refiere a la orientación y distribución de las partículas en una masa de suelo.

En los suelos colapsables, al incrementar el contenido de humedad, se exhibe el colapso del esqueleto mineral o estructura y se manifiesta por una disminución de la relación de vacíos, resistencia al corte y, como consecuencia, una disminución de volumen. (Núñez y Carrillo, 1975)

Según Barden, L. (1973) el proceso de formación del suelo colapsable ocurre en presencia simultánea de una estructura abierta del suelo parcialmente saturada, un nivel de esfuerzos suficientes como para desarrollar una estructuras metaestables y un agente cementante que estabiliza la estructura al pasar a un estado natural seco.

Muchos investigadores proponen criterios para la identificación de los suelos colapsables y procedimientos para describir el potencial de colapso, son pocos los que hacen referencia a la caracterización microscópica de estos suelos, que es en realidad la que domina el comportamiento macroscópico de los mismos. Razón por la cual, se hace necesario investigar y analizar la microestructura de esas partículas que conforman a estos suelos, a través de procedimientos físicos, químicos, ópticos y complejos, con el propósito de entender su naturaleza, describirlos, identificarlos e interpretarlos, de manera de explicar las posibles causas de colapso y el origen de su formación.

1 SUELOS COLAPSABLES.

1.1 Generalidades

Estos suelos originalmente poseen una estructura macro porosa, con una situación de equilibrio metaestable de sus partículas mayores, que en su conjunto presentan un elevado grado de porosidad. Entre estas partículas existen vínculos resistentes (Figura 1.1) derivados de la propia resistencia friccional entre ellas, o de ligas constituidas por partículas de arcillas o coloides, que poseen a su vez una micro estructura donde se manifiesta predominantemente fuerzas de superficies o vínculos de naturaleza cementicia, derivados de la presencia de cationes como Na, Ca, Mg, Fe u otros. (Núñez y Carrillo, 1975), o combinaciones de ellos.

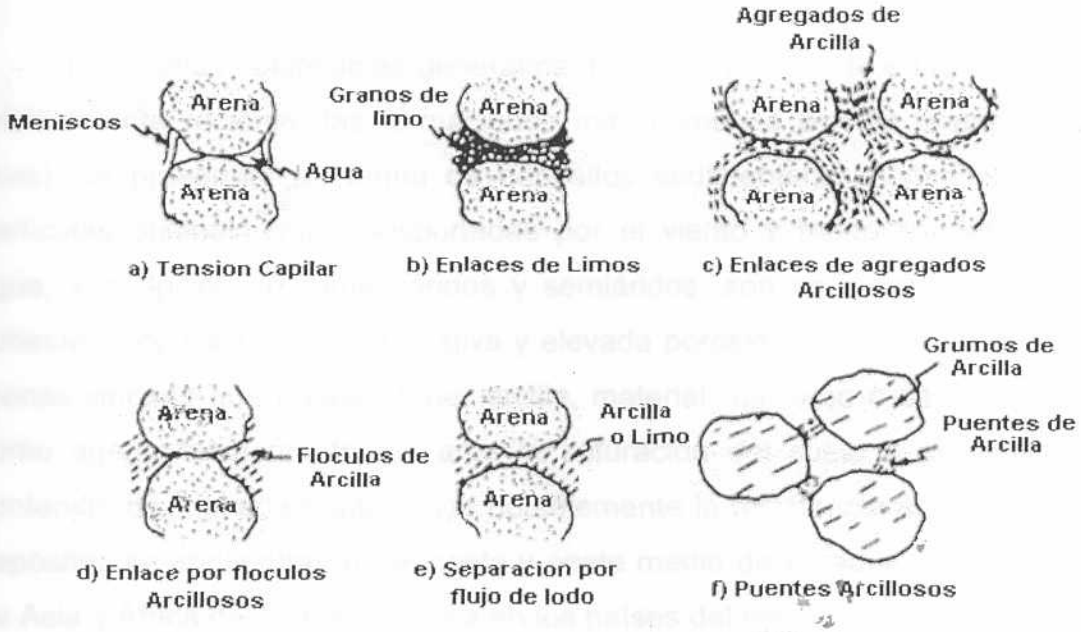


Figura 1.1

1.2 Interpretación del fenómeno

El fenómeno del colapso puede ser interpretado como:

- Una eliminación de las fuerzas capilares que, al generar presiones efectivas adicionales entre granos, permitían el desarrollo de ciertas resistencias al corte entre los mismos.
- Una disminución de la resistencia al corte en las pequeñas partículas que actuaban de vínculo entre las mayores.
- Una disminución o eliminación de la cementación entre granos provista por sales solubles. (ob. cit).

1.3 Tipos de suelo, origen y ubicación

Los suelos colapsables generalmente son depósitos de edad geológica relativamente reciente, las formaciones más comunes son de origen eólico (loes), se presentan en forma de depósitos sedimentarios constituidos por partículas originalmente transportadas por el viento y redepositadas por el agua; son típicos de climas áridos y semiáridos, son no cohesivos o poco cohesivos, de baja densidad relativa y elevada porosidad. Son considerados arenas limosas que pueden tener arcilla, material calcáreo o sales solubles como agente cementante y, ante la saturación del suelo o aumento del contenido de humedad, disminuye notablemente la resistencia al corte. Estos depósitos se encuentran en el oeste y oeste medio de Estados Unidos, parte de Asia y África del Sur, en Europa en los países del este, Francia y Alemania, también se encuentran en Nueva Zelanda, Argentina, Uruguay, Brasil.

La presencia de estos suelos es también detectada en depósitos aluviales y coluviales, este material es originalmente depositado por inundaciones o corrientes de lodo que se secan y no vuelven a ser saturados hasta que se presente nuevamente el fenómeno. Son considerados como arenas arcillosas o arcillas limosas, donde su comportamiento depende básicamente del contenido de material arcilloso, predominantes en el Valle de California (USA).

Adicionalmente, el origen de este tipo de suelo puede ser residual, producto del intemperismo de la roca madre, se presenta en climas con precipitaciones altas con buenas condiciones de drenaje; el tamaño de las partículas puede variar (arenas, limos, arcillas e incluso materia orgánica). Este tipo de suelo se puede encontrar en África del Sur, Norte de Rhodesia, Zimbabwe (Clemence y Finbarr, 1981) y en el sur de Venezuela (Guri, estado Bolívar).

1.4 Ensayos y criterios para el análisis del colapso

Para determinar el potencial de colapso de estos suelos, existen varios métodos cuantitativos y cualitativos que se aplican dependiendo del tipo de suelo. En el texto se hará mención a los métodos utilizados en el estudio de los suelos de esta región realizados por los tesistas J. Álvarez y A. Piccardo (1988), quienes citan a Jennings, J. and Knight, K. en su investigación.

1.4.1 Método de Knigth

Basado en los experimentos de Abeljer (1948), se coloca la muestra en el odómetro con su humedad natural para su posterior saturación a una presión fija de 2 T/in^2 , con los resultados obtenidos se grafica relación de vacíos contra logaritmo de la presión.

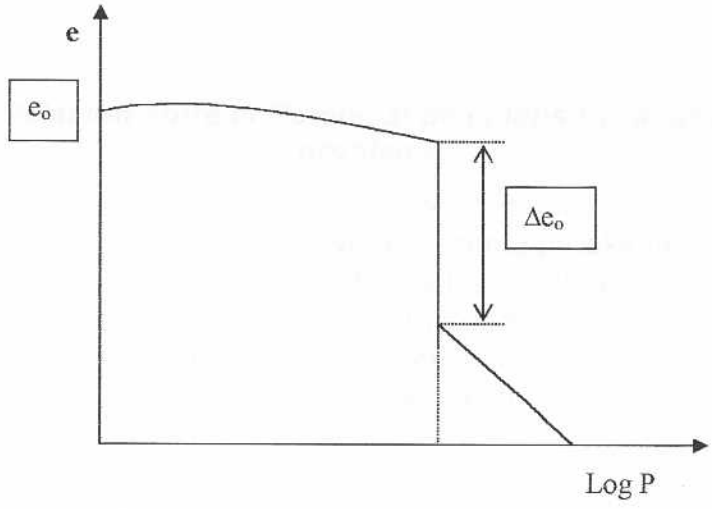


Figura 1.1

Knigth introduce el término de colapso potencial del suelo (CP) y establece una escala de valores.

$$CP = \frac{\Delta e_{saat}}{1 + e_o}$$

Donde:

Δe_{sat}: Cambio de relación de vacíos en la saturación.

e_o: Relación de vacíos natural del suelo.

También se puede calcular como:

$$CP = \frac{\Delta He}{Ho}$$

Donde:

ΔH_e: Cambio de la altura de la muestra una vez saturada.

H_o: Altura inicial de la muestra.

Tabla 1.Relación entre el Potencial de colapso y la gravedad del problema.

% CP	Gravedad del Problema
0 -1	No representa problema
1 - 5	Problema moderado
5 - 10	Problemático
10 -20	Problemas graves
> 20	Problemas muy graves

1.4.2 Método de Jennings

Se realizan dos ensayos en paralelo de la misma muestra, la primera con la humedad natural de la muestra y la segunda saturada desde el principio, la diferencia entre la relación de vacíos inicial y la curva a humedad natural representa el asentamiento debido a la carga y la diferencia entre las dos curvas corresponde al colapso (ob. cit).

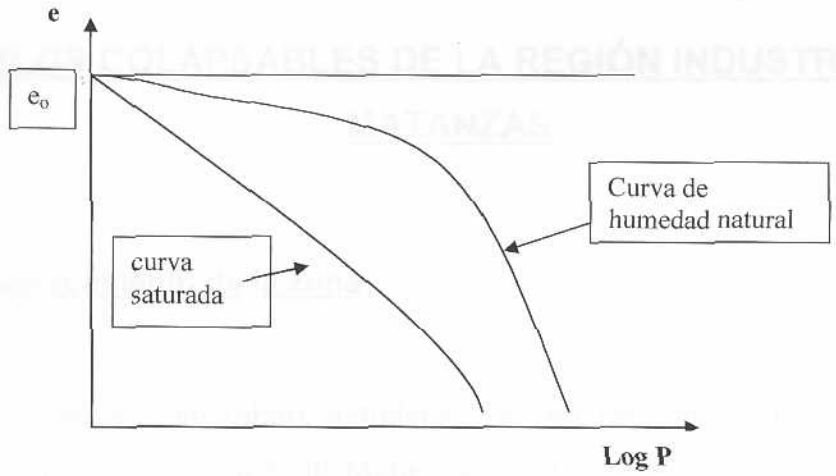


Figura 1.2

1.4.3 Método de Gibbs:

Es un método cualitativo basado en una gráfica de límite líquido contra densidad natural seca y contiene una curva límite de colapsabilidad. La zona "Colapsable" comprende los suelos de baja densidad natural, por consiguiente la humedad de saturación es superior a la humedad en el límite líquido, lo cual produce una disminución de la plasticidad y un mayor asentamiento. En la zona "No Colapsable" los suelos son de alta densidad natural y la humedad de saturación es menor o igual a la humedad en el límite líquido, permaneciendo el suelo en un estado plástico y manteniendo asi su resistencia al deslizamiento.

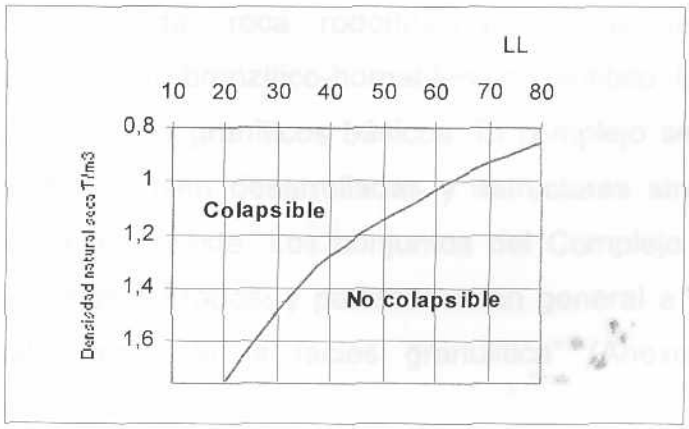


Figura 1.3

2 SUELOS COLAPSABLES DE LA REGIÓN INDUSTRIAL DE MATANZAS

2.1 Reconocimiento de la zona

Los suelos colapsables estudiados se encuentran en el Edo. Bolívar, específicamente en la zona de Matanzas en Puerto Ordaz, ubicados en las orillas del Río Orinoco a pocos kilómetros de la desembocadura del Río Caroní (Fig. 2.1). Desde el punto de vista geológico esta región presenta formaciones discordantes: al norte del Orinoco se localizan sedimentos de la formación mesa, perteneciente al sistema cuaternario-cenozoico reciente y corresponde a sedimentos fluvio-deltaicos encajonados entre el escudo de Guayana del Sur y la serranía del interior de la Cordillera de la Costa al norte. Al sur del Río Orinoco localizamos rocas precámbricas del complejo Imataca (Fig. 2.2), el cual se caracteriza litológicamente por poseer "en orden de abundancia decreciente, una secuencia de, granulitas plagioclásicas-cuarzo-piroxénicas, granulitas microclínicas - cuarzo plagioclásicas - piroxénicas, gneis cuarzo-feldespático-cordierítico-granatífero-biotítico - silimanítico-grafítico y formaciones de hierro, con las siguientes litologías secundarias: cuarcita, caliza impura metamorfizada, roca rodonítica-granatífera, roca cuarzo-granatífero-grafítica y esquisto bronzítico-hornabléndico-biotítico. La secuencia está intrusionada por cuerpos graníticos básicos. El complejo se caracteriza por estructuras anticlinales bien desarrolladas y estructuras sinclinales mal definidas, con rumbo este-noreste. Los conjuntos del Complejo de Imataca están intensamente metamorfizados, y pertenecen en general a la subfacies de granulita hornabléndica, de la facies granulítica" (Anexo G)(Código Geológico de Venezuela, s.f.).

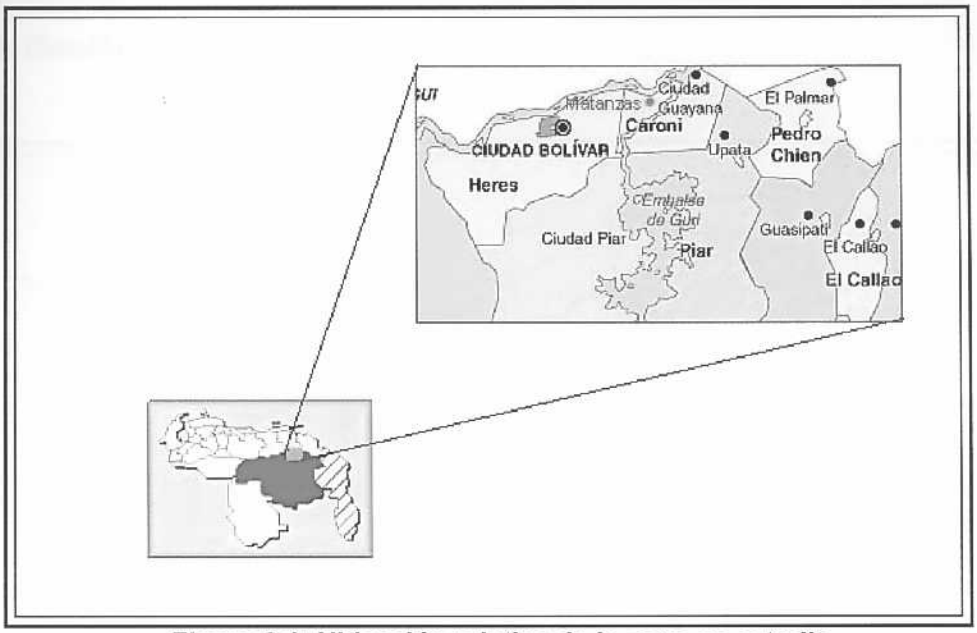


Figura 2.1: Ubicación relativa de la zona en estudio

Los continuos periodos de crecida han propiciado un sistema sedimentario complejo que da lugar a lagunas y brazos originales del Orinoco las cuales mantienen separación física durante el verano, pero se comunican por flujo subterráneo de aguas. Las rocas ígneas y metaígneas del complejo Imataca son impermeables, el agua sólo penetra pocos metros por el sistema de diaclasas (fractura del manto rocoso).

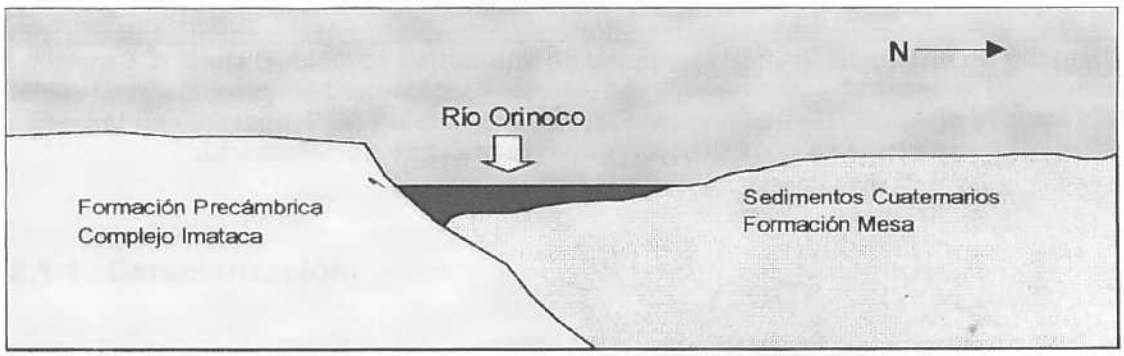


Figura 2.2 Historia geológica de la región en estudio

Mapa Geológico de la zona:

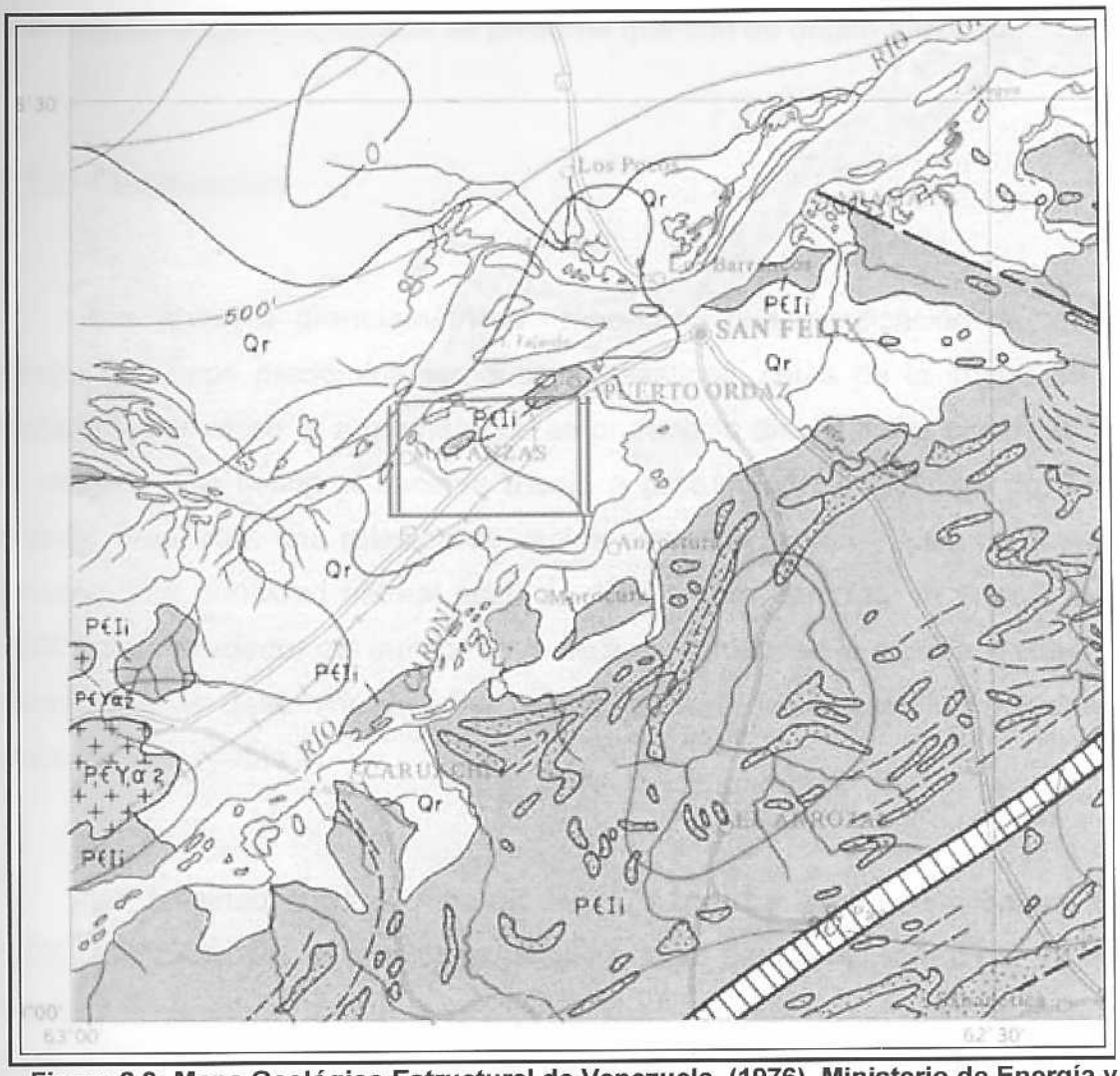


Figura 2.3: Mapa Geológico Estructural de Venezuela, (1976). Ministerio de Energía y Minas Qr: Cuaternario – Cenozoico. Reciente, Qp: Cuaternario – Cenozoico. Pleistoceno, Escudo de Guayana, P€Ii: Precambrico Inferior (Arqueozoico). Complejo Imataca con diferenciación de cuarcita ferruginosa. Escudo de Guayana

2.1.1 Caracterización:

Según los estudios realizados por Álvarez y Piccardo (1988), estos suelos son caracterizados como suelos areno limosos sueltos, con relativa cohesión, granularmente fino, de color pardo amarillento, resistentes en estado

seco pero fácilmente desmoronable con la aplicación de carga y/o bajo la inmersión, no presentan materia orgánica ni material calcáreo. Por su forma sub-angular a sub-redondeada se presume que son de origen aluvional.

2.1.2 Clasificación

Los ensayos granulométricos reportaron una clasificación de arena limosa con finos predominantemente no plásticos, cerca de la superficie el material es arcilloso y a medida que se profundiza disminuye la plasticidad y el material fino tiende a hacerse medio a profundidades mayores de siete metros. Presentan una relación de vacíos estimada de 0.5, típica de arenas limosas, una densidad natural seca de 1780 kg/m^3 cerca de la superficie y 1580 kg/m^3 alrededor del quinto metro de profundidad, en la prueba normal de penetración se determinó un valor promedio de 5 golpes/pie entre los dos y cinco metros. (Tabla 2).

La densidad máxima seca es de 2170 kg/m^3 y la humedad óptima de 6.5% obtenidos por el proctor modificado, caen dentro del rango de arenas limosas. En lo que respecta al ensayo de CBR , se reportó un valor de 70% lo cual demuestra que aumenta la capacidad portante del suelo al ser compactado. Por último, en el ensayo de corte directo se obtuvo un ángulo de fricción interna de 37º en estado denso y remoldeado. (ob. cit).

Tabla 2: Cuadro Resumen de clasificación de la muestra de Arena

Profundidad (m)	N. de Golpes SPT	% Pasante Tamiz #			Finos		Límite Líquido	Índice Plástico	Clasificación	
		10	40	200	% Limos	% Arcilla			AASHTO	S.U.C.S
1 a 3	4	98.94	71.3	32.08	11.48	15.07	20.06	6.37	A-2-4(0)	SM-SC
5 a 7	11	98.14	64.1	24.26	13.86	14.1	18.23	0	A-2-4(0)	SM

2.1.3 Potencial de Colapso

Los ensayos de colapso se realizaron con muestras imperturbadas, tomadas con tubos plásticos de dos pulgadas de diámetro y 1.3 mm de espesor, análogos a los tubos de pared delgada tipo Shelby, ya que con ellos se obtenía mayores recuperaciones y mejor calidad de muestra. La potencialidad del colapso fue determinada bajo los criterios cuantitativos de Jennings (1957), Knigth (1963) y el cualitativo de Gibbs (1967) por ser los más completos y adaptables al suelo estudiado. (Tablas 3 y 4) (ob. cit).

Tabla 3: Cuadro resumen de ensayos de Colapso

Profundidad (m)	Carga de Colapso (kg/cm^2)	Humedad Natural (%)	Humedad de Saturación (%)	Densidad Natural (kg/m^3)	Densidad Nat Seca (kg/m^3)	Relación de Vacíos inicial	Relación de Vacíos Pre-colapso	Relación de Vacíos Post-colapso	e_{sat}
1.3	1.2	8.47	13.83	1914.15	1764.85	0.4596	0.4408	0.3077	0.1331
5	1.2	5.565	18.625	1720	1629.35	0.5343	0.5257	0.3353	0.1904

Profundidad (m)	Carga de Colapso (kg/cm^2)	Colapso Knight (%)	Gravedad del Problema	Colapso Jennings (%)	Gravedad del Problema	Colapso según Gibbs
1.3	1.2	9.09	Problematico	6.25	Problematico	Colapsable
5	1.2	12.415	Problemas Graves	-	-	Colapsable

NOTA: Los CP obtenidos son una modificación del método original, el cual utiliza 2T/pie²

2.1.4 Muestreo

Las muestras fueron tomadas de un talud natural que se encuentra en la vía entre el aeropuerto de Puerto Ordaz y Cambalache (Fig. 2.4 y 2.5). Se obtuvieron tallando monolitos lateralmente, 5 a 6 m desde el tope del talud para estudiar el estrato de suelo que presentaba mayores problemas de colapso, y se garantizó la inalterabilidad del mismo retirando aproximadamente 50 cm del material superficial.

Figura 2.4

Figura 2.5

2.2 Métodos de clasificación e identificación Microscópica

2.2.1 Análisis visual

Este tipo de análisis se hace con la finalidad de investigar con detalle las características de la estructura, morfología e identificación de los diferentes minerales que conforman a estos suelos de Matanzas. Fue necesario el uso de instrumentos ópticos destinados a la observación de partículas extremadamente pequeñas, que dado su tamaño, no pueden examinarse a simple vista. Para este ensayo se prepararon diferentes muestras, las cuales según su tamaño, se examinaron con varios tipos de microscopios en particular.

Cada uno de estos equipos está provisto de cámaras, que permitieron recopilar una amplia muestra de material fotográfico de estos suelos, la cual puede ser confrontada en el capitulo de Análisis y Resultados.

2.2.1.1 Lupa estereoscópica

Este equipo se emplea para examinar objetos grandes con luz reflejada y aumentos no superiores a los cien diámetros. Permite apreciar aspectos de los minerales que pasan desapercibidos a simple vista. El tipo de lupa utilizada fue Widd M3, perteneciente al Laboratorio de Materiales de la Universidad Simón Bolívar, con aumentos iguales a 6.6, 20 y 40. Las muestras analizadas eran partículas retenidas en los tamices numero 20, 40, 80, 100 y 200 del análisis granulométrico por tamizado; según la figura del anexo 4 se trata de arenas gruesas a finas. También se examinaron muestras naturales, talladas del material original.

2.2.1.2 Microscopio petrográfico

El microscopio petrográfico está especialmente adaptado al estudio de delgadas láminas de minerales y Roca. Comparado con un microcopio binocular, posee algunos dispositivos adicionales como son un polarizador de la luz, un analizador para estudiar la luz polarizada y una platina giratoria.

Para examinar la estructura de un suelo colapsable es necesario tener una sección fina visible al microscopio. El corte de la sección fina del suelo debe ser solidificado en un medio suficientemente rígido para permitir el corte de los granos de cuarzo y suficientemente líquido para rellenar los espacios

vacíos de la estructura. Este tratamiento produce un remoldeado parcial de la muestra.

Uno de los métodos más eficientes es el uso de resina epoxy, es un líquido viscoso que penetra fácilmente en los espacios vacíos de la muestra y requiere de un catalizador para fijarse mejor a la misma. Para asegurar la completa penetración del epoxy en la muestra se calienta a una temperatura de 45°C o se agregan pequeñas cantidades de acetona.(K. Knight, 1964).

El análisis fue realizado con la colaboración de la Ingeniero Geólogo Egly Ascanio, en la compañía Litos C.A. utilizando un Microscopio Petrográfico Letz Wetzlar, Germany 553456 con tres objetivos de 4, 10 y 40.

Preparación de la muestra:

Después de secar totalmente la muestra imperturbada, se colocó en una hornilla cubierta totalmente por bálsamo del Canadá a una temperatura de 45°C durante 15 minutos, luego se retiró la muestra dejándose enfriar y secar. Una vez rigidizada la resina, se realizó un corte en plano sin perturbar la muestra, se lijó en una rebastadora con esmeril 600 y luego en vidrio. Después se calentó de nuevo en una plancha y se pegó a un porta objetos con cemento termoplástico, se llevó el espesor de la muestra a 1.5mm con una rebastadora de esmeril 220, luego se trabajó con esmeril 600 y 1000 sobre vidrio hasta que la muestra tomara cierta coloración, por último se colocó un cubre objeto sobre la muestra con 3 gotas de Entellon Mikroskopic y se limpió con solvente Xilol.

2.2.1.3 Microscopio binocular

Un microcopio binocular consiste en dos sistema de lentes, cada uno de los cuales trabaja como una lente positiva única. El conjunto más próximo al objeto se llama objetivo y el más cercano ocular. El objetivo produce una imagen real aumentada e invertida del objeto, imagen contemplada a través del ocular como si fuera un objeto visto con lupa. El equipo utilizado fue un Unión ME2721 perteneciente al Laboratorio de Materiales II de la Universidad Católica Andrés Bello. Los aumentos de las imágenes dentro del microcopio son iguales: 15x10, 15x20, 15x40 y 15x80 (el número 15 es el aumento logrado por los oculares y los demás son logrados por los objetivos que lo conforman)

El tipo de muestras examinadas eran de tamaño de limo grueso a fino, según la figura del anexo E, entre éstas están:

- Pasante del tamiz número 200, retenido en el 325, obtenido de un ensayo granulométrico realizado a las muestras de suelo.
- Partículas magnéticas, se tomó una cierta cantidad de muestra triturada y se colocó sobre una hoja de papel, por debajo de éste se hizo pasar un imán, el cual atrajo diminutas partículas de color aparentemente negro.

2.2.1.4 Microscopio electrónico de barrido

Gracias a su poder resolutivo, este equipo produce imágenes muy amplias de partículas microscópicas, tamaño menor a 10μ, utilizando radiaciones electromagnéticas. La técnica esencialmente consiste en hacer

incidir en una muestra ausente de líquidos y conductora de corriente un haz de electrones. Este bombardeo de electrones provoca la aparición de diferentes señales que, captadas con detectores adecuados, nos proporcionan información acerca de la naturaleza de la muestra (Unidad de Microscopía Electrónica, 2001).

El microscopio electrónico marca JOEL T300 del Laboratorio de Microscopía Electrónica de la Universidad Simón Bolívar fue utilizado con asesoría del TSU en Metalurgia Glen Rodríguez para examinar las partículas más pequeñas obtenidas del análisis granulométrico, pasante de tamiz número 325 formado por limos gruesos, finos y arcillas. Este equipo está acoplado a un detector de electrones secundarios, la señal de los mismos proporciona una imagen de la morfología superficial de la muestra.

Preparación de la muestra:

Se suspendió la muestra en una solución alcoholada, luego en un porta muestra cubierto con cinta adhesiva doble faz se colocaron unas gotas del material suspendido, y se dejó reposar hasta la total evaporación del líquido. En orden de transformar la muestra en conductora, fue necesario realizar un recubrimiento con oro, para ello se colocó la muestra durante 5 minutos en un dispositivo llamado sputtering, el cual consiste en una fuente de alimentación en corriente continua regulable de 1 a 3 KV, conectada por una parte a una tarjeta de oro y por otra parte al porta muestras, el conjunto va acoplado a una bomba de vacío. Se introdujo argón en la campana de vacío provocando así que los átomos de argón impactaran en la tarjeta de oro y se desprendieran átomos de dicha tarjeta, que fueron atraídos hacia la muestra, quedando depositados y proporcionando un espesor de recubrimiento a la misma.

2.2.2 Análisis Químicos

El análisis de la química del suelo se realizó con la finalidad de determinar cualitativa y cuantitativamente la presencia de agentes cementantes químicos como sales solubles, óxido de hierro, carbonato de calcio, etc.

Los ensayos se realizaron en la Universidad Central de Venezuela, en la facultad de Ciencias, escuela de Geología con la asistencia técnica del auxiliar docente Fernando Ramos en la absorción atómica y cromatografía iónica, y del profesor Wiliam Meléndez en la preparación de las muestras.

2.2.2.1 Absorción Atómica

La Absorción Atómica es una técnica capaz de detectar y determinar cuantitativamente la mayoría de los elementos del Sistema Periódico. Sus campos de aplicación son, por tanto, muy diversos. Se emplea en el análisis de aguas, análisis de suelos, Bioquímica, Toxicología, Medicina, industria farmacéutica, industria alimenticia, industria petroquímica, etc. Con este método se determinó el contenido de los cationes de Ca^{++}, Mg^{++}, Na^{+}, K^{+}, Fe^{++}, y Fe^{+++} (Universidad Autónoma de Madrid, s.f.).

El equipo utilizado fue un espectrómetro de Absorción Atómica con llama (FAAS), marca GBC, modelo Avanta. Los parámetros operacionales fueron los siguientes (Tabla 5):

Tabla 5: Parámetros operacionales del equipo de Absorción Atómica

Elemento	Longitud de onda (nm)	Ancho de rendija (nm)	Corriente Lámpara (mA)	Combustible
Ca^{++}	211	0.4	10	Aire-Acetileno
Mg^{++}	285	0.4	10	Aire-Acetileno
Na^{+}	295	0.4	Emision	Aire-Acetileno
K^{+}	384	0.4	10	Aire-Acetileno
$Fe_{(total)}$	372	0.2	15	Aire-Acetileno

2.2.2.2 Cromatografía Iónica

La Cromatografía Iónica está íntimamente relacionada con la cromatografía líquida de alto rendimiento. Es un método eficaz para la separación y determinación de iones, basado en el uso de resinas de intercambio iónico (ob. cit).

Se usó un Cromatógrafo Waters ILC-1 para la determinación de los aniones Cl^-,$SO_4^=$ y NO_3^-, bajo las siguientes condiciones de operación (Tabla 6):

Tabla 6: Parámetros operacionales del equipo del Cromatografía Iónica

Elemento	Velocidad del flujo (ml/seg)	Fase móvil	Tiempo de Retención (seg)
Cl^-	0.8	gluconato de potasio	3.644
NO_3^-	0.8	gluconato de potasio	7.078
$SO_4^=$	0.8	gluconato de potasio	11.267

Preparación de muestras:

Para la determinación del contenido de Ca^{++}, Mg^{++}, Na^{+}, K^{+}, Cl^{-},$SO_4^{=}$ y NO_3^{-}, se trabajó por duplicado tomando dos muestra de suelo homogeneizado y dos muestras de la fracción fina del suelo (pasante #325) con un peso de 5gr cada una. Se suspendió cada muestra en 100 ml de agua desionizada, agitándola con un removedor mecánico por 20 minutos, se dejó reposar por un día y luego se agregaron 100 ml adicionales de agua desionizada, agitándose de igual forma. Por último, las muestras fueron filtradas con un filtro Wittman # 42.

En el caso del óxido de hierro, fue necesario realizar una digestión parcial del Fe^{++} y Fe^{+++}. Se colocó en un beacker de porcelana 0.5 gr. de muestra completa homogenizada y 20 ml de ácido fosfórico concentrado al 85% de pureza, luego se calentó a 214°C durante 25 minutos, una vez enfriada la muestra se agregó 25 ml de agua destilada, para luego filtrar la muestra con un filtro Wittman #42. El resultado arrojado por el equipo es el contenido de Fe total, para expresar estos valores como óxido de hierro, se multiplica por el peso molecular del Fe_2O_3 y se divide por el peso molecular de Fe_2.

Cada muestra fue introducida en su respectivo equipo, obteniéndose los resultados que se muestran en las tablas 8 y 9 del capitulo de "Análisis y Resultados".

2.2.3 Difracción de Rayos X

Basados en la información obtenida en la página Web de la Universidad Autónoma de Madrid, la aplicación fundamental de la difracción de rayos x es la identificación cualitativa de la composición mineralógica de una muestra cristalina. La difracción está basada en las interferencias ópticas que se producen cuando una radiación monocromática atraviesa una rendija de espesor comparable a la longitud de onda de la radiación.

El fenómeno de la difracción ocurre siempre que una onda encuentra un conjunto de átomos regularmente espaciados. La longitud de onda (λ) de la radiación incidente debe ser del mismo orden de magnitud que la distancia entre los átomos del cristal. La difracción es debida fundamentalmente a la existencia de ciertas relaciones de fase entre 2 o más ondas, que provienen de la diferencia de camino recorrido por dichas ondas y que a su vez implican un cambio en la amplitud de las ondas difractadas.

De una forma muy simple, la difracción de Rayos X por un cristal y la reflexión de luz por un espejo son parecidas, ya que en ambos fenómenos el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

Las direcciones de difracción están determinadas por la ley de Bragg

$$n\lambda = 2d \operatorname{sen}\theta$$

Donde: $n \Rightarrow$ reflexión de primer orden

$\lambda \Rightarrow$ longitud de onda

d ⇒ tamaño de celda unitaria

θ ⇒Angulo de difracción

y por tanto sólo dependen del aspecto (estructura cristalina) y del tamaño de la celda unidad del cristal, por lo que midiendo las direcciones de los haces difractados por un cristal, sólo podemos conocer el aspecto y tamaño de la celda unidad.

Las intensidades de los haces difractados están determinadas por las posiciones de los átomos dentro de la celda unidad, por lo que debemos medir las intensidades si queremos obtener cualquier información sobre las posiciones atómicas (ob. cit.)

Este método fue utilizado para la identificación de minerales arcillosos presentes en la muestra. Se realizó en la Universidad Central de Venezuela, en la Escuela de Geología de la Facultad de Ciencias, con la ayuda del profesor Santiago Marrero. El equipo empleado fue un difractómetro de Rayos-X marca Brunker-AXS, modelo D8Advance, el difractograma se realizó con radiaciones de cobre (λ=1.54) y el barrido del ángulo fue desde 2° hasta 40° cada 3 segundos.

Preparación de muestras:

Se trabajó con material fino pasante del tamiz #325, éste fue suspendido en agua destilada y agitado con un removedor mecánico. Luego se prepararon cuatro muestras: la primera fue tomada inmediatamente con un gotero y colocada en un porta muestras, obteniéndose así una capa delgada

de muestra. Las tres siguiente fueron tomadas días después, una vez que los granos de limo sedimentaran completamente y el material suspendido se tornara uniforme, tomando únicamente material arcilloso y coloidal. Las cuatro muestras se dejaron secar a temperatura ambiente.

Las tres muestras de arcilla y coloide fueron tratadas según el procedimiento Starkey (1984), en el cual una de ellas no recibió tratamiento, otra fue colocada en un desecador que contenía etilen glicol y se calentó a una temperatura de 60°C por un lapso de tiempo 6 horas (método de presión de vapor), la ultima muestra fue calentada a una temperatura de 550°C por una hora y media.

Se sometió cada una de las muestras a la difracción de rayos-x, obteniéndose así los difractogramas que se muestran a continuación en el capitulo de Análisis y Resultados (Fig. 2.35 a 2.38), la nomenclatura de los mismos está dada en función del tratamiento que recibieron, es decir, muestra no sedimentada, muestra sin tratamiento, muestra glicolada y muestra calcinada respectivamente.

2.3 Análisis y Resultados

Análisis Visual:

A continuación se presenta un cuadro resumen que especifica el tipo de muestra utilizada, el equipo correspondiente de trabajo y los diferentes aumentos en que se examinaron e hicieron las fotos.

Tabla 7: Resumen del análisis microscópico

Muestra preparada	Equipo utilizado	Aumentos de imagen	Fotos
Muestra entera tallada	Lupa Estereoscópica	40	2.6, 2.9
Muestra entera tallada	Microscopio binocular	10x15	2.7, 2.8
*Retenida tamiz # 20	Lupa estereoscópica	6.6	*2.10
Retenida tamiz # 20 sucio		40	*2.12, 2.11
*Retenida tamiz # 40	Lupa estereoscópica	6.6	*2.13
		20	*2.14
Retenida tamiz # 40 sucio		40	2.15
*Retenida tamiz # 80	Lupa estereoscópica	6.6	*2.17
Retenida tamiz # 100sucio	Lupa estereoscópica	20	2.16
		40	2.19,2.20
Retenido # 325	Microscopio binocular	10x15	2.21
		20x15	2.20, 2.23
		40x15	2.24
Pasante # 325	Microscopio electrónico	500x	2.27
		1000x	2.28
		1500x	2.29
		5000x	2.30,2.31,2.32
		7500x	2.33
Partículas magnéticas	Microscopio binocular	10x15	2.24
		20x15	2.25, 2.26
Petrografía	Microscopio petrográfico	4	2.34
		10	2.35,2.36,2.37,2.38 2.41,2.42,2.43,2.44
		40	2.39,2.40

NOTA: En las muestras retenidas en los tamices 20, 40, 80 y 100 se utiliza como escala referencial una línea con un ancho de 0.08 mm medida previamente con un micrómetro.

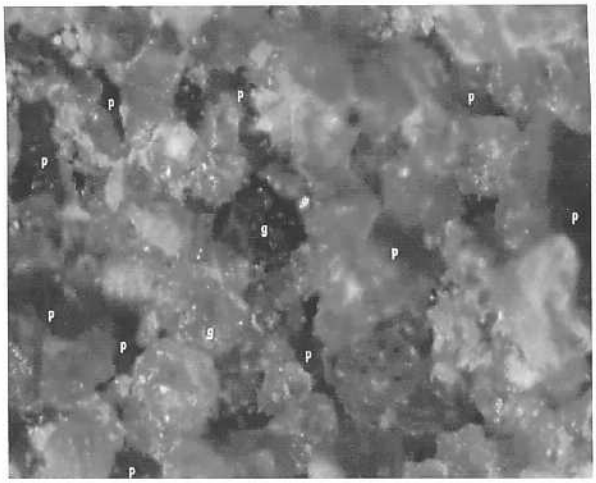


Figura 2.6

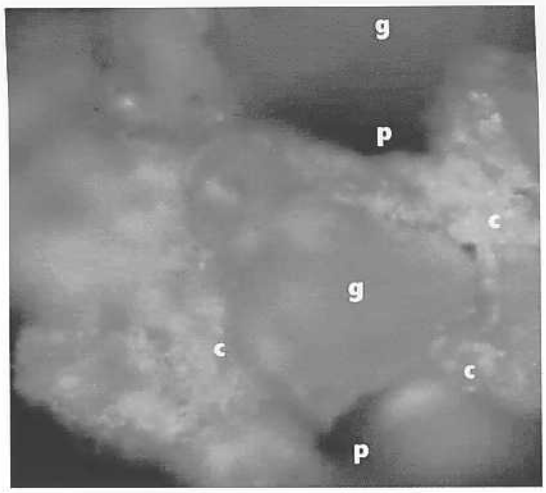


Figura 2.8

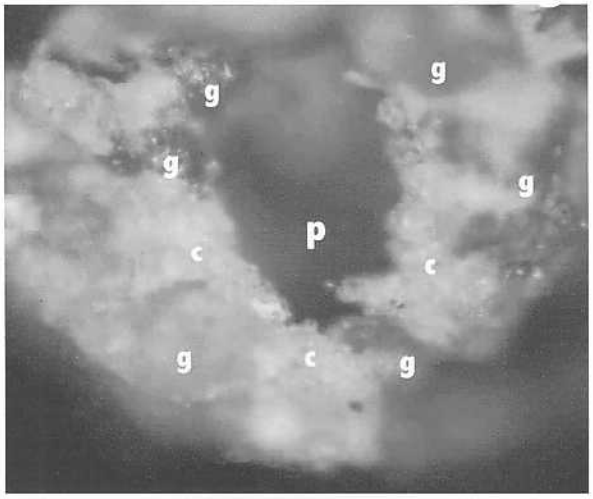


Figura 2.7

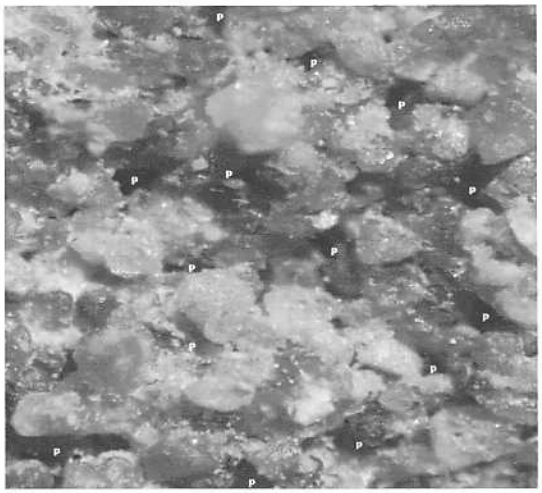


Figura 2.9

Muestras Talladas

Las fotos son acercamientos a diferentes muestras talladas del material original, por lo que, ésta sería la estructura del suelo en su estado natural seco. Se observa una estructura macroporosa, con mucha porosidad (p), constituidas por granos de arenas (g) de diferentes formas y colores, cementados por un material muy fino (c), tipo limos o coloides. Este material cementante se supone que se trata de minerales de arcillas, óxido férrico y/o sales solubles.

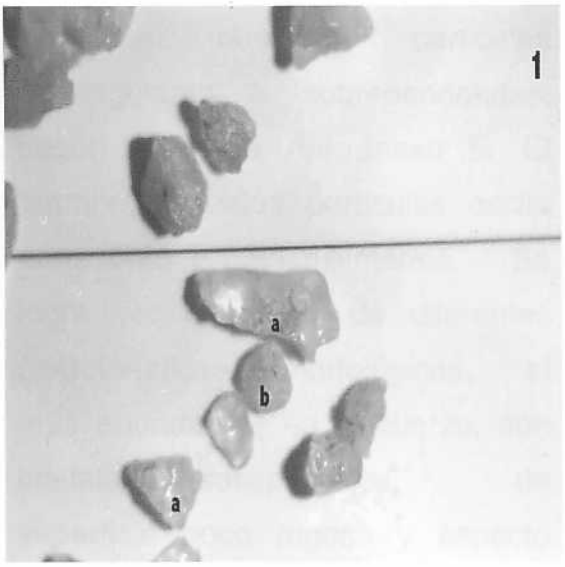


Figura 2.10

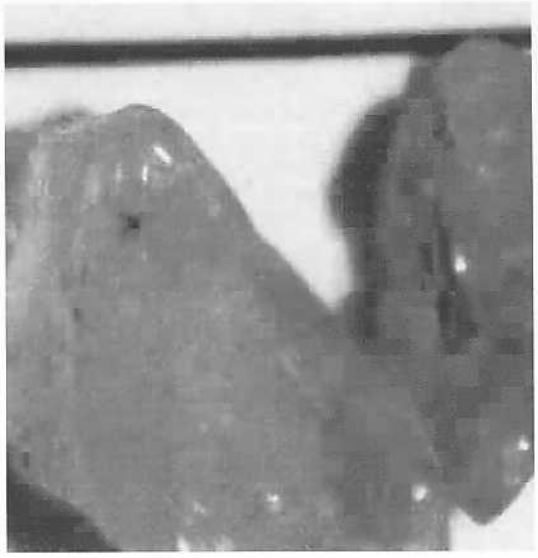


Figura 2.12

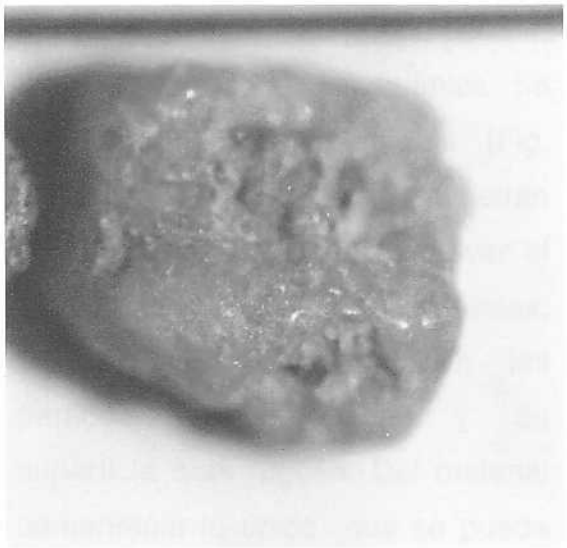


Figura 2.11

Retenidas # 20:

Las fotos ilustran granos de partículas retenidas en el tamiz # 20 del ensayo granulométrico lavado (Fig. 2.10 y Fig. 2.12) y sin lavar (Fig. 2.11). Se observan granos de grado de redondez entre sub-angulares (Fig.2.10a) a sub-redondeados (Fig. 2.10b), por lo general son cristales transparentes de cuarzo de superficie lisa y otras partículas menos brillantes de color amarillento de superficies rugosas, con incrustaciones de un material muy fino de color rojizo. El tamaño de estos granos es mayor a 0.8 mm,

Retenido en el tamiz # 40:

Se observan partículas subangulares a subredondeadas, según la figura del anexo E. El tamaño de estas partículas oscila entre 0.45 y 0.85 milímetros. Se logra ver minerales de diferentes características morfológicas, el más abundante es el cuarzo, son cristales transparentes, de superficie poco rugosa y aspecto brillante. También se observan granos de aspecto mate y sin brillo, de superficies rugosas y algunas estriadas, de color rojizo y pardo oscuro (Fig. 2.15). Se puede asumir, que la meteorización química ha alterado a estos minerales (Fig. 2.15m). También se muestran partículas sin lavar, se logra ver el grado de cementación de éstas, siendo más abundante en las partículas más opacas y de superficie más rugosa. Del material cementante lo único que se puede decir es que se trata de un material muy fino, tamaño inferior a una micra y color marrón claro y rojizo.

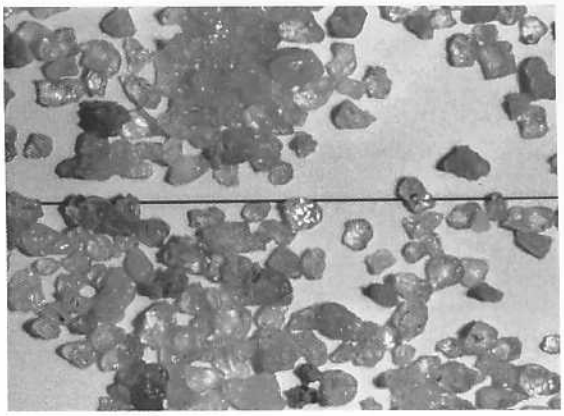


Figura 2.13

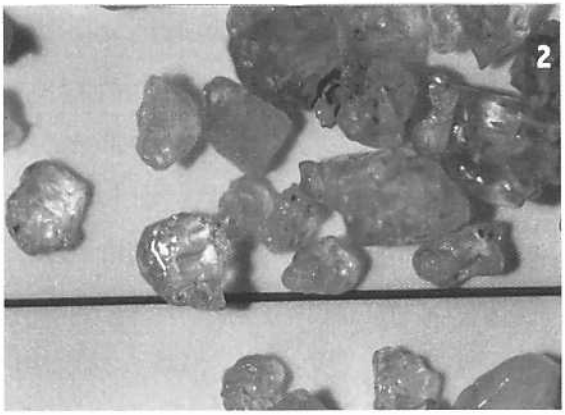


Figura 2.14

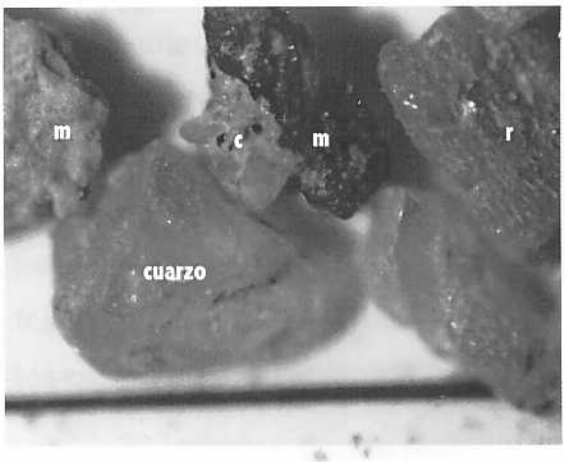


Figura 2.15

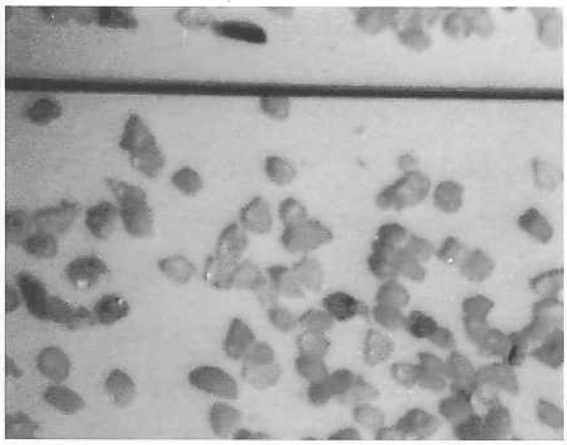


Figura 2.16

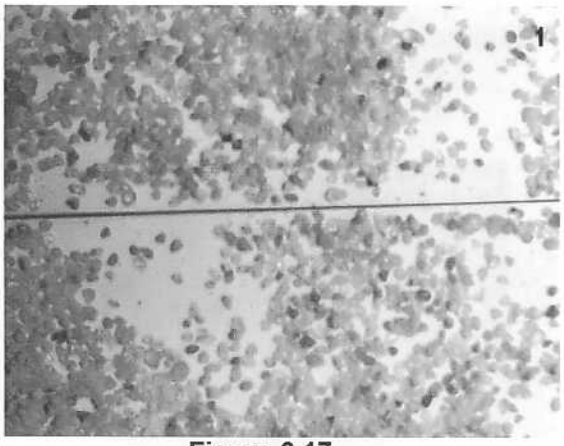


Figura 2.17

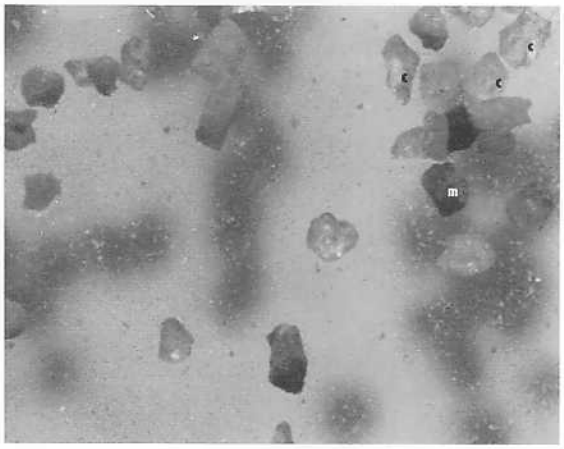


Figura 2.18

Retenidas Tamices 80 y 100

Presentan las mismas características morfológicas de las partículas descritas anteriormente. Grado de redondez: subangular a subredondeada. Colores: variados marrones, amarillos rojizos e incoloras. Brillo: vítreo y algunas partículas de aspecto mate. Superficies: lisas y rugosas. Sin embargo son partículas de arena de menor tamaño y en mayor concentración.

Abundan variedades cristalinas de cuarzo, aparecen nuevamente esas partículas sin brillo de colores rojizos y marrones, de las que trata, posiblemente, de minerales de cuarzo meteorizados, posiblemente algún tipo de feldespato o minerales del grupo de los óxidos , quizás magnetita.

El tamaños de las partículas varia entre 0.4mm y 0.15m

Retenidas en Tamiz 325

El conjunto de pequeñas partículas de limo retenidas en este tamiz presentan características morfológicas variables, se observan: a) partículas granulares incoloras y marrones, de diversos tamaños con cierto grado de redondez y angulosidad (Fig. 2.20a), b) superficies rugosas con incrustaciones de aspecto brillante(Fig 2.21). c) partículas de forma irregular, laminillas aplanadas (Fig 2.22) de intenso brillo nacarado, y d) granos incoloros y algunos con tintes de distintas coloraciones, podría tratarse de fragmentos de varios tipos de Mica en particular una llamada Moscovita o Mica Blanca.

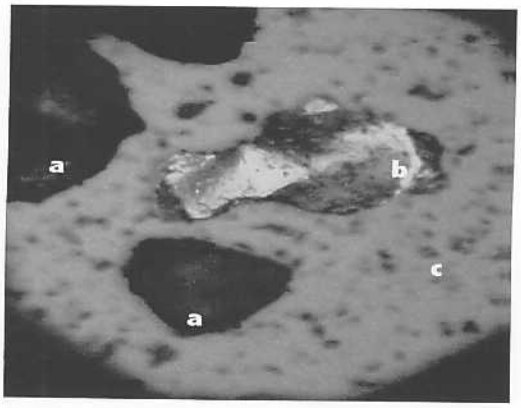


Figura 2.20

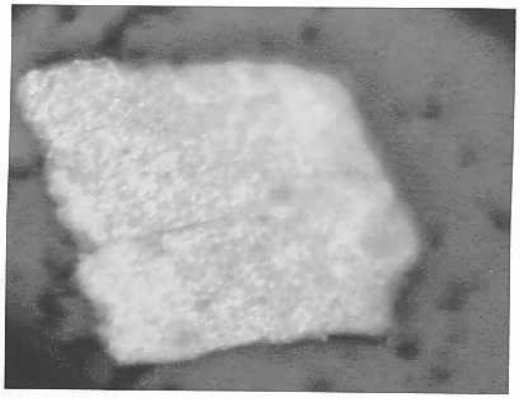


Figura 2.22

Figura 2.21

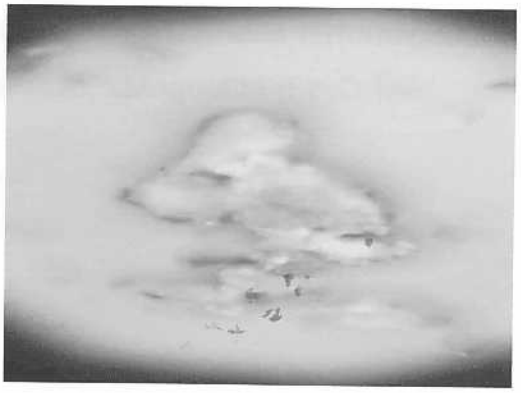


Figura 2.23

Partículas Magnéticas.

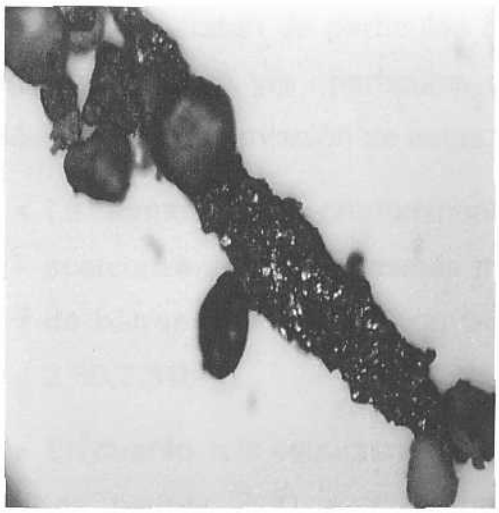


Figura 2.24

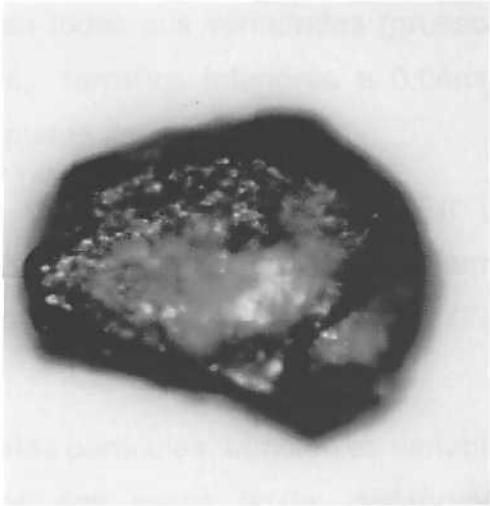


Figura 2.25

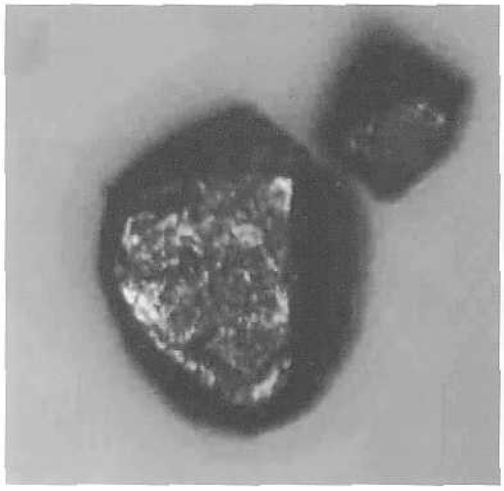


Figura 2.26

Se caracterizan por su color negro y pardo oscuro, brillo metálico, superficies rugosas y cuyo grado de redondez esta entre redondeada a subangular. Por la caracterización y su fuerte magnetismo al acercarle un imán, podemos decir que, se trata de minerales ferromagnéticos, por ejemplo, Magnetita (Fe_3O_4).

Pasante Tamiz #325

Las fotos muestran una parte de los diferentes partículas minerales que conforman la muestra en estudio, las cuales según las figuras de los anexos se tratan de partículas de limos en todas sus variedades (gruesos, medios y finos) y/o partículas de arcillas, tamaños inferiores a 0.04mm. Mediante la observación de estas fotos, se puede asumir:

- La forma más predominante es la de laminilla aplanada. En un acercamiento a las mismas muestras se logran ver partículas en forma de barras, granulares con cierto grado de redondez y angulosidad (Fig. 2.30,2.31b-g).
- En cuanto a la estructura que poseen estas partículas, también es variable, las figuras 2.30 a 2.33 muestran los dos casos límite: distribución desordenada, contactos borde-cara, atrayéndose mutuamente y partículas en disposición paralela, unas sobre otras.

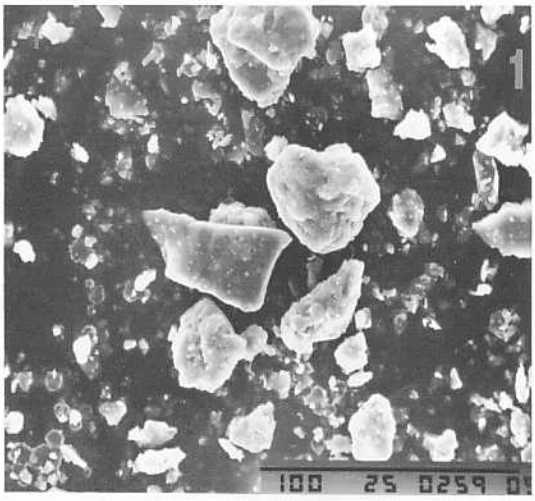


Figura 2.27

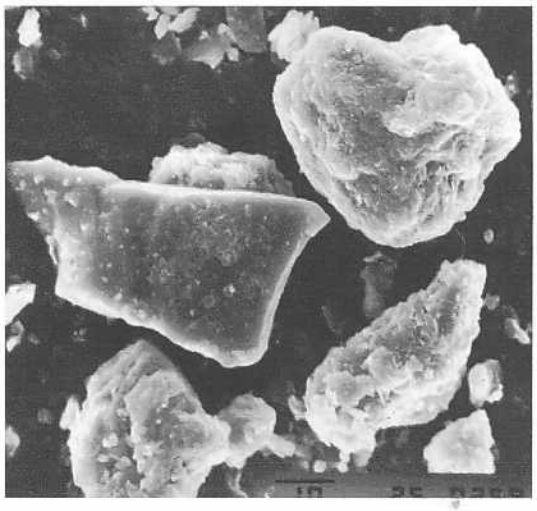


Figura 2.28

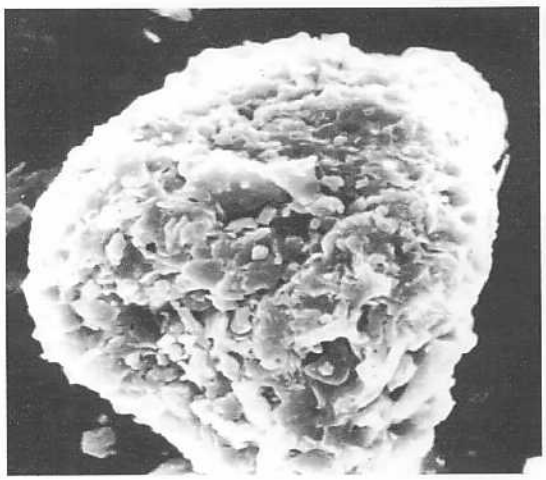


Figura 2.29

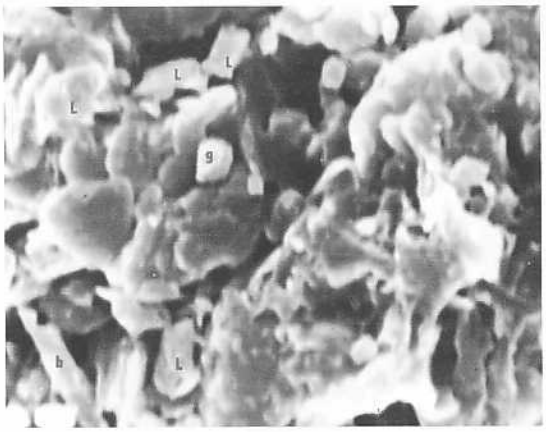


Figura 2.30

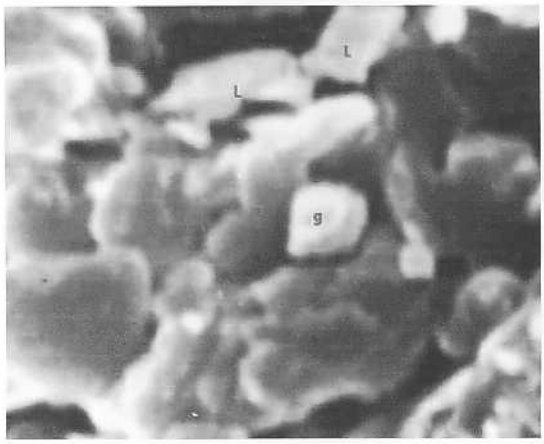


Figura 2.31

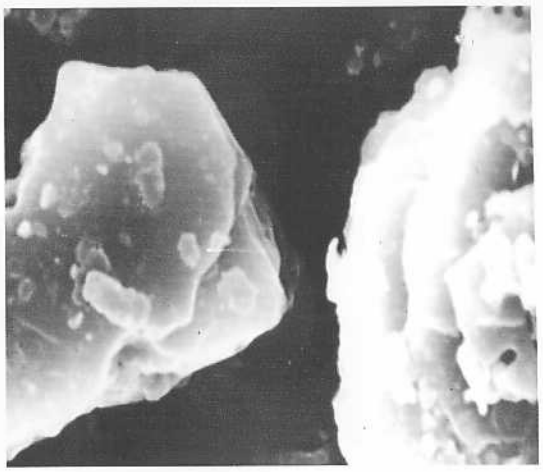


Figura 2.32

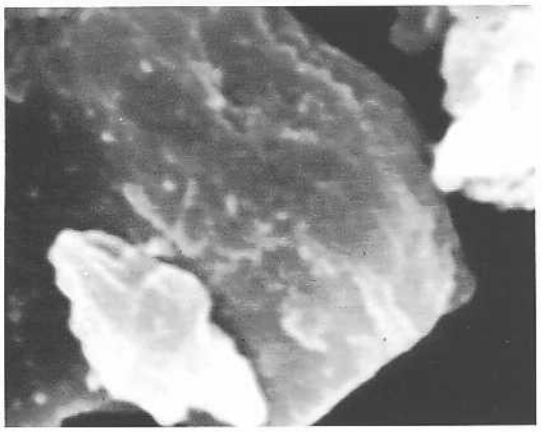
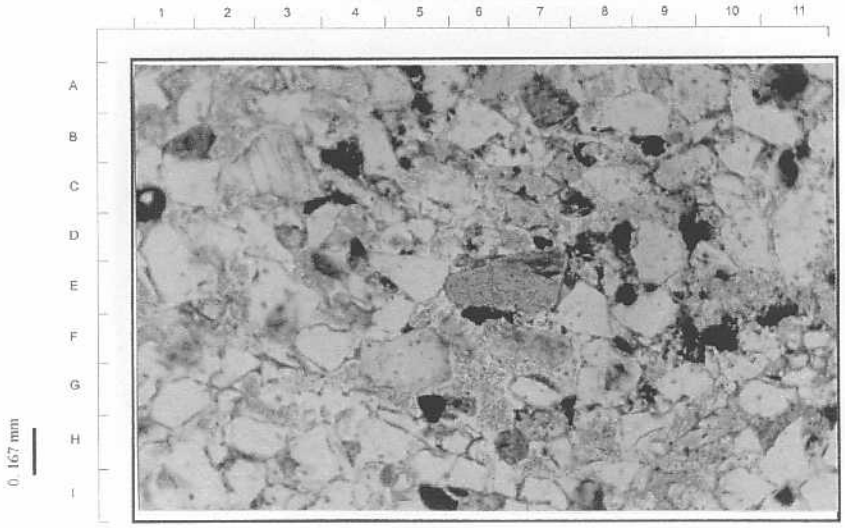


Figura 2.33

Expertos consultados también opinan que, por la forma y estructura de las partículas presentes, posiblemente se trata de: diminutos fragmentos de granos de cuarzo, minerales caolinita (Fig., 2.31g-L, 2.32,2.33) y, según la orientación desordenada de las partículas, son un tipo de arcillas ínter estratificada, es decir un conglomerado de varios tipo arcillas montmorilonita, vermiculitas, cloritas, etc. (Fig. 2.29, 2.30 y 2.31)

Análisis Petrográfico:

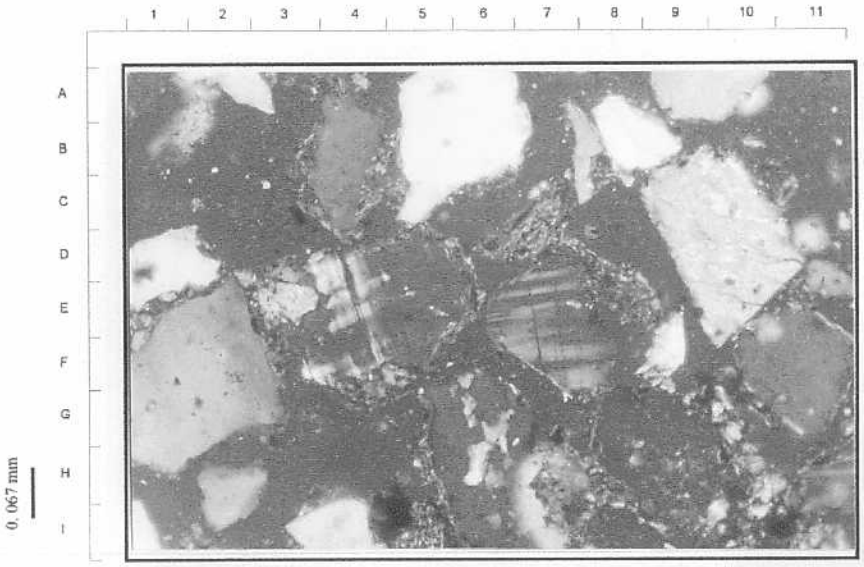
MUESTRA S/N



Sedimentos de buena selección. Nicoles //. Objetivo: 4. Tiempo 1/15 seg. (E6,F-G 4,F7) Fragmentos de roca volcanica.

Figura 2.34

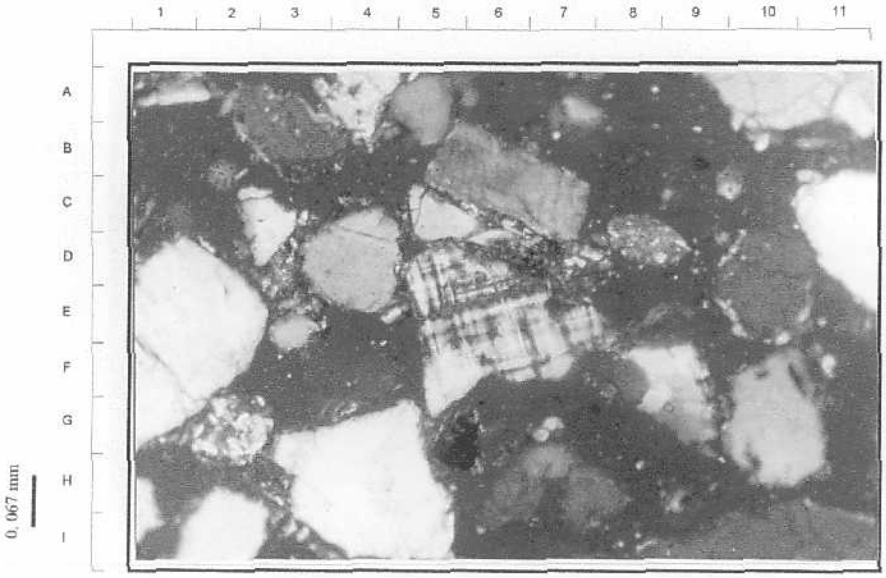
MUESTRA S/N



Sedimentos de buena selección. Nicoles X. Objetivo 10. Tiempo 1 seg. (C-D 9-10, E- F 4-5, E-F 6-7) Feldespato potásico.

Figura 2.35

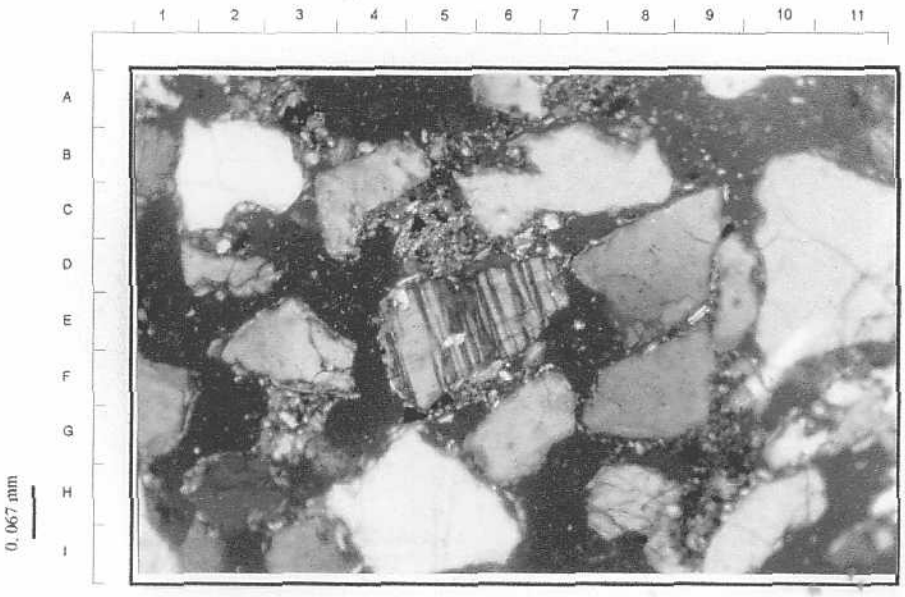
MUESTRA S/N



Sedimentos de buena selección. Nícoles X Objetivo 10. Tiempo 1 seg. (E-F 5-6) Feldespato potásico (Microclino).

Figura 2.36

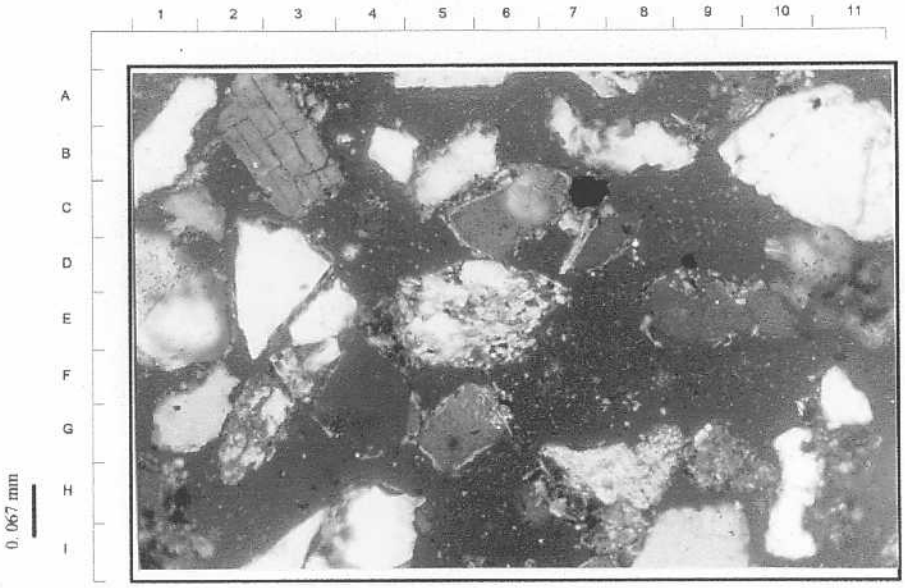
MUESTRA S/N



Sedimentos de buena selección. Nícoles X. Objetivo 10. Tiempo 1 seg. (E-F 4-5-6) Plagioclasa.

Figura 2.37

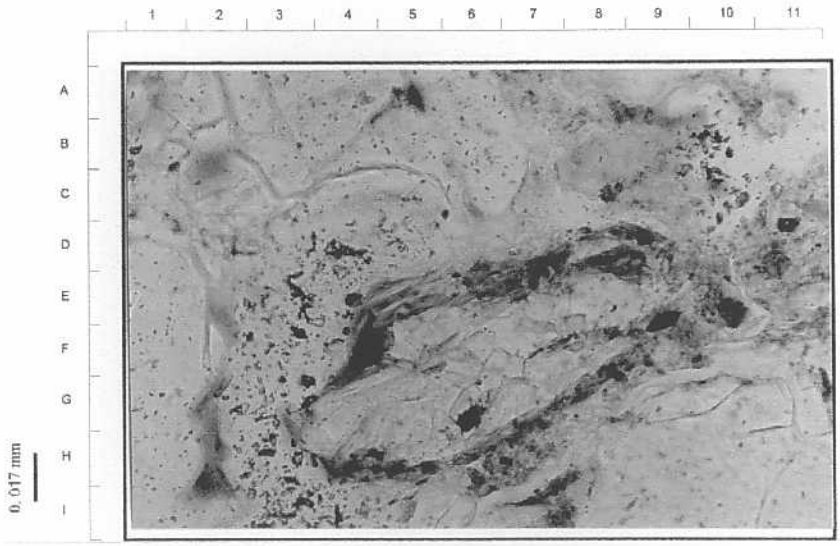
MUESTRA S/N



Sedimentos de buena selección. Nícoles X. Objetivo 10. Tiempo 1 seg. (E5-6) Fragmento de roca metamórfica.

Figura 2.38

MUESTRA S/N



Sedimentos de buena selección. Nícoles //. Objetivo 40. Tiempo 1 seg. (E-F-G 4-5-6-7) Fragmento de roca metamórfica, (E 6-7) Clorita, (H2) óxido de hierro.

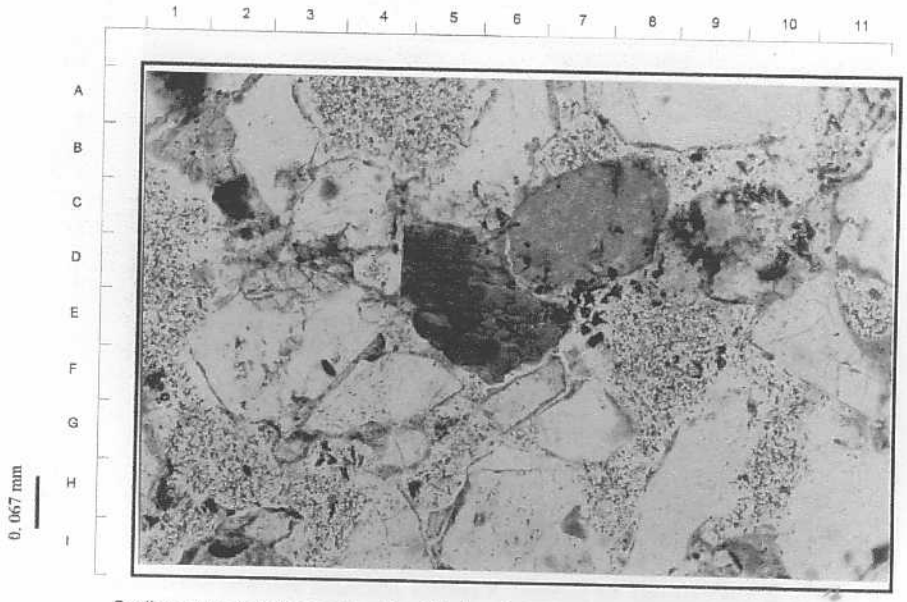
Figura 2.39

MUESTRA S/N

Sedimentos de buena selección. Nícoles X. Objetivo 40. Tiempo 1 seg. (E-F-G 4-5-6-7) Fragmento de roca metamórfica, (E 6-7) Clorita, (H2) óxido de hierro.

Figura 2.40

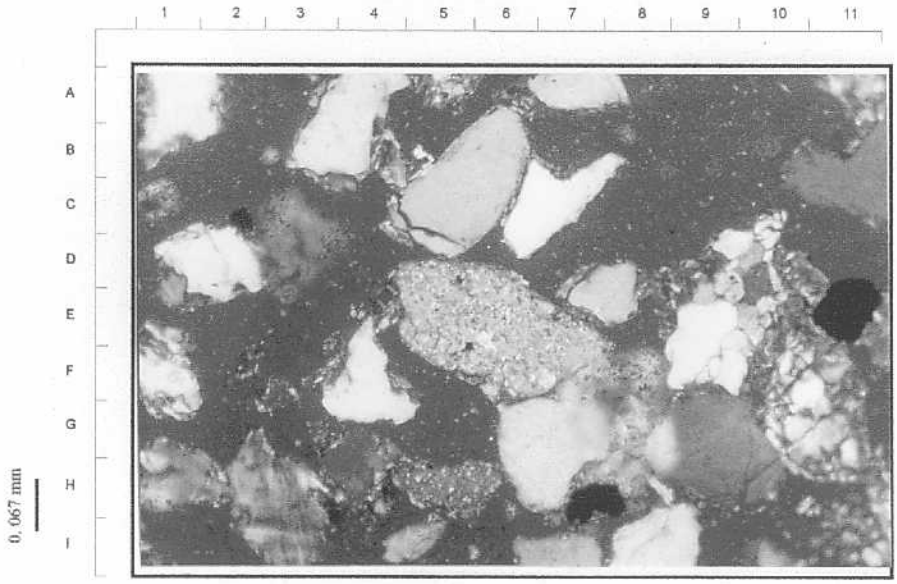
MUESTRA S/N



Sedimentos de buena selección. Nícoles //. Objetivo 10. Tiempo 1/8 seg. (C 7-8) Granate (E 5-6) Turmalina.

Figura 2.41

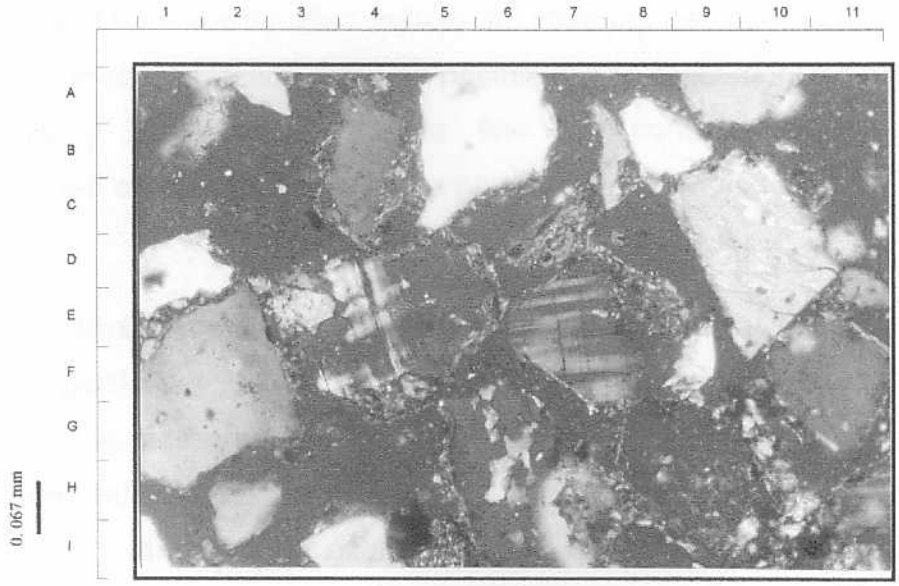
MUESTRA S/N



Sedimentos de buena selección. Nícoles X. Objetivo 10. Tiempo 1 seg. (E-F 5-6) Feldespato alterado por meteorización.

Figura 2.42

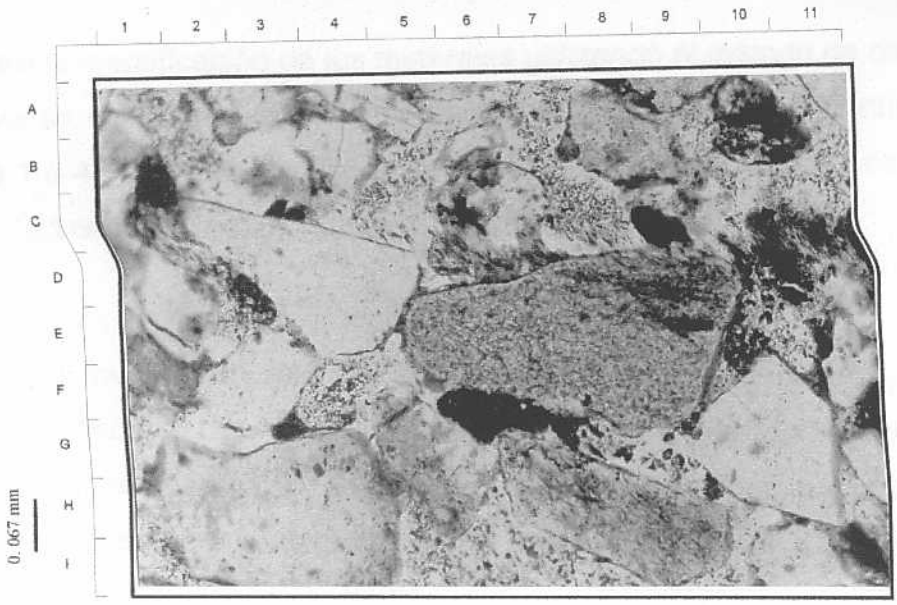
MUESTRA S/N



Sedimentos de buena selección. Nícoles X. Objetivo 10. Tiempo 1 seg. (C-D 9-10, E- F 4-5, E-F 6-7) Feldespato potásico.

Figura 2.43

MUESTRA S/N



Sedimentos de buena selección. Nícoles //. Objetivo 10. Tiempo 1/8 seg. (E-F 6-7-8) Fragmento de roca volcánica.

Figura 2.44

El análisis petrográfico reflejó la litología del perfil Guayanés, con partículas de rocas metamórficas de posible origen precámbrico y rocas ígneas plutónicas y volcánicas, el corte fino fue considerado mal escogido (heterogénea en cuanto a tamaño de partículas).

Aproximadamente la distribución porcentual de la muestra fue de un 78% de partículas de cuarzo angulares a subangualares, un 20% de fragmentos de rocas varios de distintos orígenes, 1% de feldespatos alterados, trazas de feldespatos pótasicos, de minerales accesorios (turmalinas, leucoceno y granate) y de óxido de hierro. Se presume que la poca arcilla presente en la muestra es producto del proceso de metamorfosis de estos minerales.

Difracción de Rayos-X

Para la identificación de los minerales utilizando el método de difracción de rayos-x se obtuvieron los difractogramas que se muestran a continuación (Gráficos 1 a 4), en los cuales se comparó el tamaño de la celda unitaria "d" y la intensidad de los picos con los parámetros establecidos.

En la muestra no sedimentada se determinó la presencia de cuarzo, la intensidad del pico del mineral es tan grande que no permite la identificación de ningún mineral arcilloso, es por ello que fue necesaria la separación de la fracción arcillosa para su estudio por medio de sedimentación.

Con respecto a las tres muestras arcillosas y guiándonos con el flujo grama anexo (ver anexo F), se identificaron los minerales según los picos principales de cada mineral y su comportamiento ante los diferentes tratamientos aplicados a cada muestra:

- Arcillas inter estratificadas, mal cristalizadas, no ordenadas y constituidas por conglomerados de montmorilonitas, vermiculitas y cloritas, identificadas en las graficas por un promedio de tamaños de celdas de aproximadamente 15.035Å en la muestra sin tratamiento, un ligero aumento del tamaño de celda de 15.706Å en la muestra glicolada y, por último, la desaparición del pico promedio característico en la muestra calcinada.
- Moscovita identificada por su pico principal de 10Å presente en todas las gráficas de cada muestra.

- Caolinita reconocida por la presencia del pico de 7.191Å en la muestra sin tratamiento, una pequeña disminución del pico a 7.133 Å en la muestra glicolada y la ausencia del mismo en la muestra calcinada.

Cabe destacar que por la intensidad de sus picos, el mineral de caolinita se encuentra en mayor proporción que los otros. También se puede decir que la ausencia de los picos secundarios en las gráficas se debe a que se trabajó con muestras orientadas, es decir, las partículas de los minerales presentes estaban organizadas de forma tal que no se reportaron todos valores de "d" de cada mineral

Muestra no Sedimentada

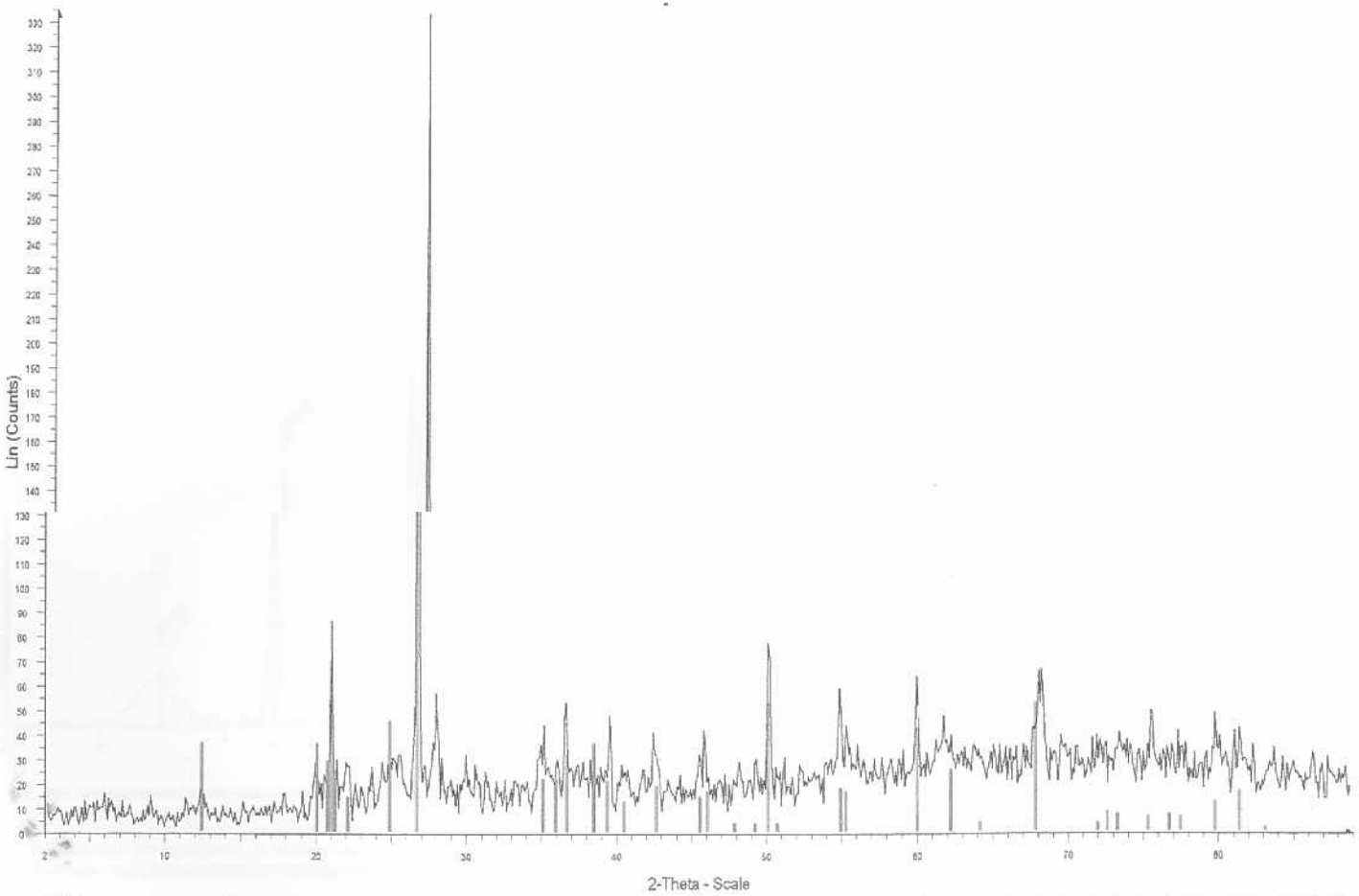


Gráfico 1

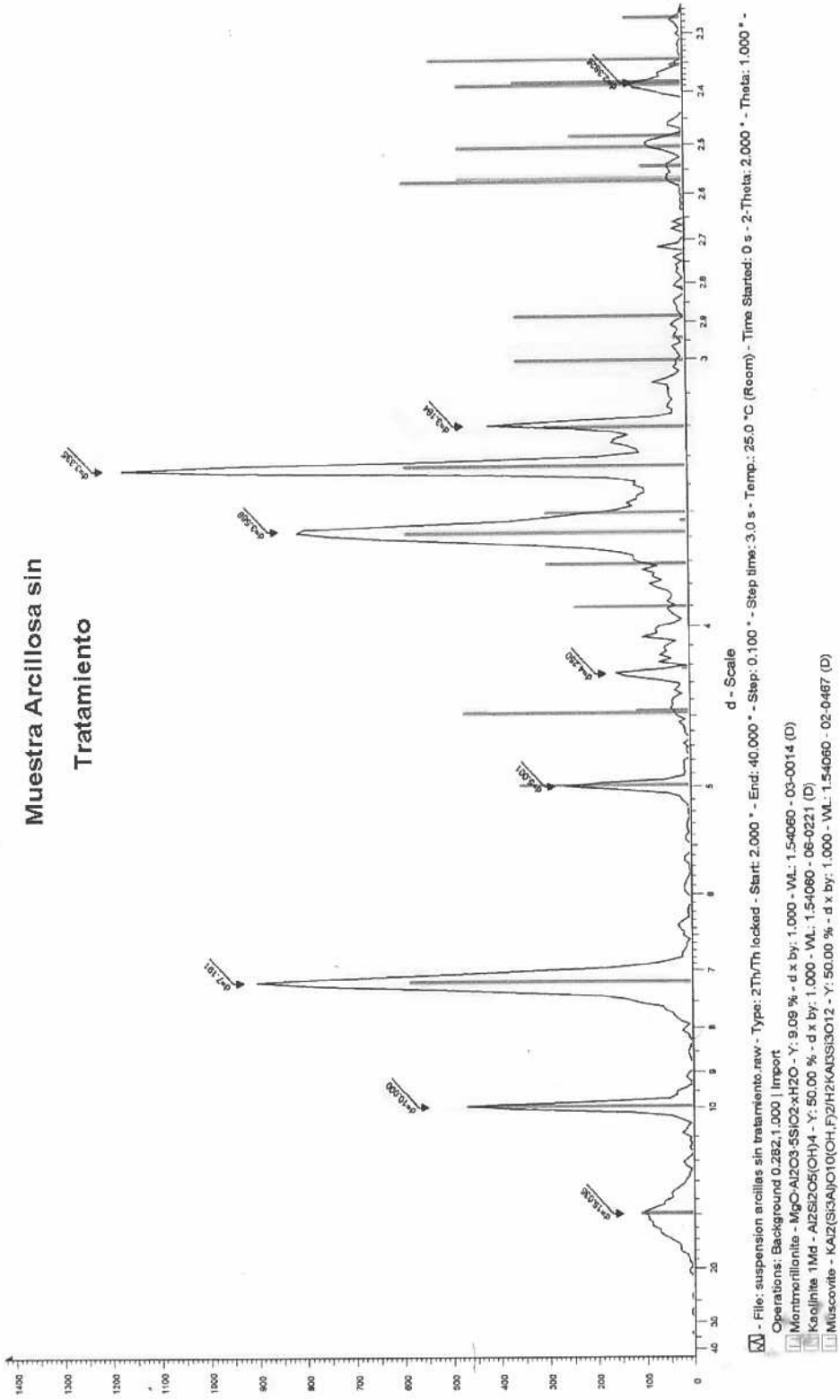

Muestra Arcillosa sin
Tratamiento
d - Scale
File: suspension arcillas sin tratamiento.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.100 ° - Step time: 3.0 s - Temp.: 25.0 °C (Room) - Time Started: 0 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° -
Operations: Background 0.282,1.000 | Import
Montmorillonite - MgO-Al2O3-5SiO2xH2O - Y: 9.09 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 03-0014 (D)
Kaolinite 1Md - Al2Si2O5(OH)4 - Y: 50.00 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 06-0221 (D)
Muscovite - KAl2(Si3Al)O10(OH,F)2/H2KAl3Si3O12 - Y: 50.00 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 02-0467 (D)

Gráfico 2

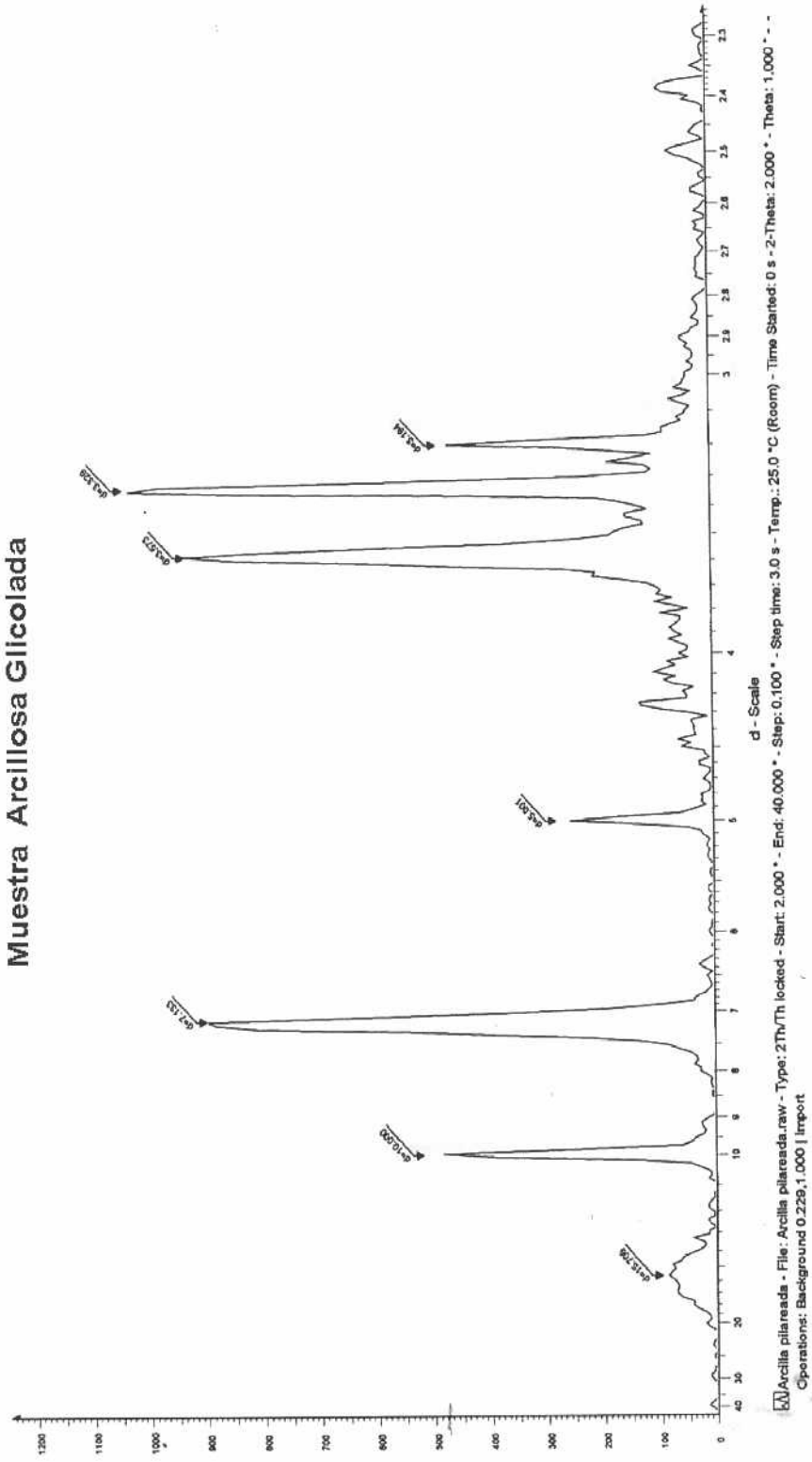

Muestra Arcillosa Glicolada
d - Scale
Arcilla pilareada - File: Arcilla pilareada.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.100 ° - Step time: 3.0 s - Temp.: 25.0 °C (Room) - Time Started: 0 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - -
Operations: Background 0.229,1.000 | Import

Gráfico 3

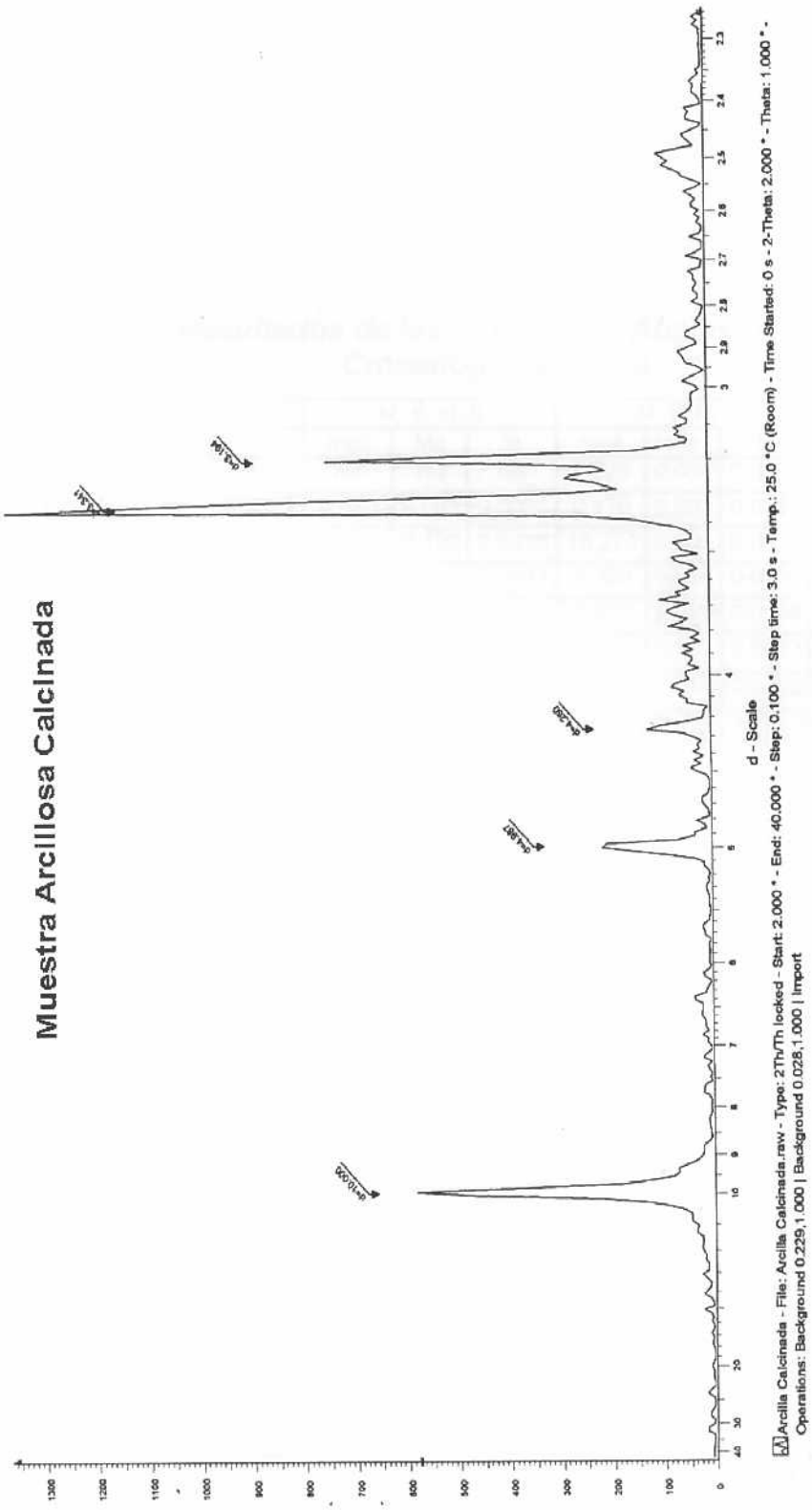

Muestra Arcillosa Calcinada
d - Scale
Arcilla Calcinada - File: Arcilla Calcinada.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.100 ° - Step time: 3.0 s - Temp.: 25.0 °C (Room) - Time Started: 0 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° -
Operations: Background 0.229,1.000 | Background 0.028,1.000 | Import

Gráfico 4

Absorción Atómica y Cromatografía Iónica:

Los resultados registrados por los equipos están representados en las siguientes tablas:

Tabla 8: Resultados de los ensayos de Absorción Atómica y Cromatografía Iónica

	M. S. H. I			M. S. H. II			M. F. F. I			M. F. F II		
	mg/l	mg	%	mg/l	Mg	%	mg/l	mg	%	mg/l	mg	%
Ca^{++}	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	0.220	0.004	0.0009	0.230	0.005	0.0009
Mg^{++}	0.050	0.001	0.0002	0.080	0.002	0.0003	0.170	0.003	0.0007	0.190	0.004	0.0008
Na^{+}	6.360	0.127	0.0254	7.910	0.158	0.0316	15.270	0.305	0.0610	15.070	0.301	0.0603
K^{+}	0.720	0.014	0.0029	0.920	0.018	0.0037	2.300	0.046	0.0092	2.400	0.048	0.0096
Cl^{-}	3.440	0.069	0.0138	2.740	0.055	0.0110	4.970	0.099	0.0199	4.470	0.089	0.0179
NO_3^{-}	4.800	0.096	0.0192	5.970	0.119	0.0239	5.570	0.111	0.0223	5.190	0.104	0.0208
$SO_4^{=}$	9.020	0.180	0.0361	5.280	0.106	0.0211	10.500	0.210	0.0420	9.830	0.197	0.0393
? iones	24.390	0.488	0.0976	22.900	0.458	0.0916	38.780	0.780	0.1560	37.150	0.748	0.1496

M.S.H: muestra de suelo homogenizada

M.F.F: muestra de fracción fina (pasante #325)

Nd: No detectado

Peso total de la muestra = 5 g

Volumen de dilución = 0.02 lt

mg/ l = concentración iónica registrado por el equipo

mg = 0.02lt x $(mg/l)_{cada\ ion}$

% = relación entre $mg_{cada\ ion}$ y peso total de muestra en mg

Tabla 9: Resultados del ensayo del Absorción Atómica, para el cálculo del contenido de hierro total y óxido de hierro

$Fe_{(total)}$		Fe_2O_3	
µg/ml	%	µg/ml	%
30.213	2.81	43.161	3.88
29.170	2.63	41.671	3.75
31.289	2.81	44.699	4.02

Los resultados de los ensayos de Cromatografía Iónica y Absorción Atómica, pusieron de manifiesto la presencia de iones de Na, Ca, K, Mg, Cl, SO_4,NO_3 y Fe sobre estos suelos, sin embargo, por ser tan pequeñas las cantidades registradas por los equipos y los porcentajes calculados en función al peso de muestra total, se puede asumir que los vínculos de naturaleza cementicia no se derivan en su totalidad de la presencia de estas sales solubles.

4 CONCLUSIONES

La presencia del agua es un factor determinante en el fenómeno de colapso, puede generarse por ascenso del nivel freático, filtraciones en suelo, concentraciones de aguas pluviales en los sitios de descarga, o por roturas de tubería (acueductos, cloacas, drenajes.) Las reacciones que pueden producirse sobres estos suelos serán:

- Disminución de las fuerzas de atracción o adherencia de las partículas arcillosas.
- Disolución de sales solubles
- Suspensión y lavado de partículas coloidales.
- Intercambio iónico. Esta reacción será mayor cuando el tipo de agua que penetra en los suelos sea relativamente ácida, por su gran concentración de H^+, como es el caso de las lluvias de esta región. Por lo tanto, es importante considerar la variación de la magnitud del colapso para distintos tipos de líquidos de diferente composición química que puedan ingresar al suelo.
- Hidrólisis en los minerales presentes, ocasionando la meteorización de los mismos. Por ejemplo, en las arcillas, la clorita al meteorizar se transforma en montmorilonita y a su vez éstas meteorizan en caolinita.
- Modificación del comportamiento del suelo, debido a la capacidad de soporte que genera el agua intersticial.

Algunas de estas reacciones se manifiestan como una disminución de masa del suelo y de la densidad relativa, aumento de la porosidad y pérdida de la resistencia al corte, provocando así una reducción del volumen y un reacomodo de partículas. El colapso se agrava o empeora con la aplicación

de cargas, mientras mayor sea la carga aplicada, mayor será el asentamiento producido.

Los suelos investigados están constituidos en un 76 % por arenas finas y un 24% por un pasante 200, con arcillas de baja plasticidad. Presentan baja densidad relativa, una alta relación de vacíos y, cuando se humedecen, son potencialmente colapsables.

Por su forma angular a subredondeada, su contenido de material arcilloso y su estratificación, se confirma el origen aluvial de estos suelos. Por su mala escogencia se presumen que provienen de varias fuentes, con un sistema de deposición no eficiente, es decir, en su periodo de transporte y deposición existían turbulencias, carecían de corrientes continuas y no hubo lavado de estas arenas.

A nivel microscópico, este material colapsable de la región Matanzas presenta partículas con una estructura macro porosa, cementadas por otras de menor tamaño. Las características de este material son las siguientes:

- Sus componentes principales son partículas subangulares a subredondeadas de cristales cuarzo, aproximadamente en un 78%, y el resto está compuesto por otros minerales susceptibles a la meteorización, como: feldespatos potásicos, feldespatos alterado, plagioclasas y minerales accesorios como: magnetitas, turmalinas y granates.
- El agente cementante predominante de las partículas de mayor tamaño está constituido por minerales de arcillas (14%). Según los métodos de Difracción de Rayos X y de microscopía electrónica la arcilla más abundante es la

caolinita, así como también están presentes la moscovita y arcillas inter estratificada del tipo montmorilonoide (montmorilonitas, vermiculitas y cloritas). Se presume que el agua presente entre las partículas de limos y arcillas (componentes principales de estos vínculos cementantes) puede generar tensiones capilares, que proporciona una resistencia aparente a estos suelos. También se puede decir, que aunque las concentraciones de óxido de hierro obtenidas en los ensayos hayan sido bajas, el color amarillento y rojizo de las muestras de suelo indica que el mismo ejerce influencia como agente vinculante. Con respecto a las sales solubles, éstas intervienen en menor grado por su bajo contenido.

4 ANEXOS

[ANEXO A]

GRANULOMETRÍA 1

Peso Suelo Seco: 50 gr : Peso Suelo Lav: 36.02 gr Peso Cap: 0.0 gr

Tamiz Nro	8-Mar	4	10	20	40	50	100	200
Ret.Acum + Cap.(gr)	0	0	0.37	4.75	12.63	19.29	31.32	36.02
% Retenido acumulado	0	0	0.74	9.5	25.26	38.58	62.64	72.04
% Pasante acumulado	100	100	99.26	90.5	74.74	61.42	37.36	27.96

LÍMITE LÍQUIDO: 18.23 LÍMITE PLÁSTICO: NO PRESENTA

HIDROMETRÍA 1

Peso seco: 50.0 gr Gs: 2.6 Cm: 1 P#10:99.26% r": 3 a:1.015

Tiempo min	1	2	4	15	30	60	120	240	1440
Temp.	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	25.000	26.000	23.000
CT	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.300	1.650	0.700
R'	16.000	16.000	15.000	15.000	14.000	13.000	11.700	11.000	11.000
Rm	17.000	17.000	16.000	16.000	15.000	14.000	12.700	12.000	12.000
L	13.500	13.500	13.700	13.700	13.800	14.000	14.200	14.300	14.300
K	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.014
(L/t)5	3.674	2.598	1.851	0.956	0.678	0.483	0.344	0.244	0.100
D	0.049	0.035	0.025	0.013	0.009	0.064	0.045	0.032	0.001
R	12.000	12.000	11.000	11.000	10.000	9.000	7.700	7.000	7.000
% + Fino (Parcial)	24.360	24.360	22.330	22.330	20.300	18.270	15.630	14.210	14.210
% + Fino (Total)	24.180	24.180	22.160	22.160	20.150	18.130	15.520	14.100	14.100

[ANEXO B]

GRANULOMETRÍA 2

Peso Suelo Seco: 50 gr Peso Suelo Lav: 35.15 gr Peso Cap: 0.0 gr

Tamiz Nro	8-Mar	4	10	20	40	50	100	200
Ret.Acum + Cap.(gr)	0	0	0.52	5.66	15.48	22.19	32.67	35.15
% Retenido acumulado	0	0	1.04	11.32	30.96	44.38	65.34	70.30
% Pasante acumulado	100	100	98.96	88.68	69.04	55.62	34.66	29.70

LÍMITE LÍQUIDO: 15.08 LÍMITE PLÁSTICO: NO PRESENTA

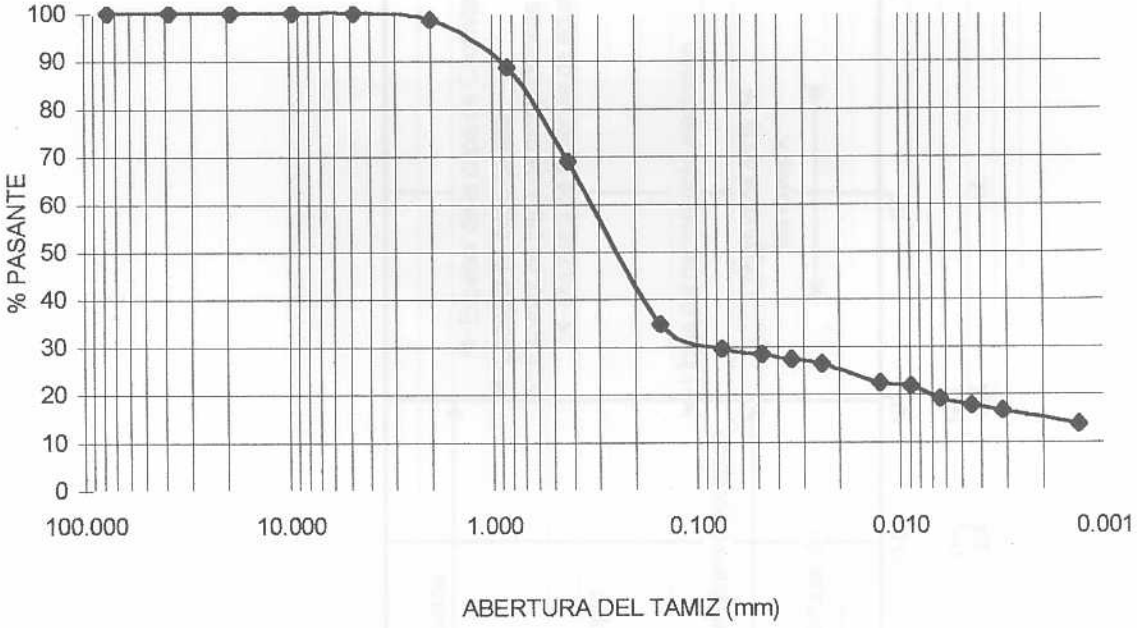
HIDROMETRÍA 2

Peso seco: 50.0 gr Gs: 2.6 Cm: 1 P#10:98.96% r": 3.5 a:1.015

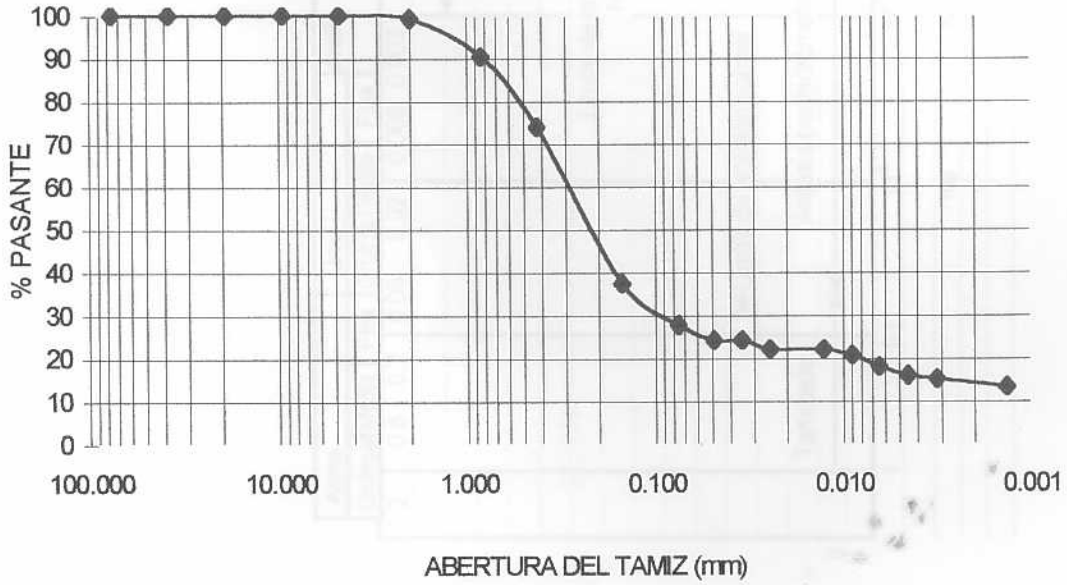
Tiempo min	1	2	4	15	30	60	120	240	1440
Temp.	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	25.000	26.000	23.000
CT	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.300	1.650	0.700
R'	19	18.5	18	16	15.4	14.4	13.4	12.5	12
Rm	20	19.5	19	17	16.4	15.4	14.4	13.5	13
L	13	13.1	13.2	13.5	13.58	13.76	13.92	14.1	14.2
K	0.0133	0.0133	0.0133	0.0133	0.0133	0.0133	0.0132	0.013	0.0133
(L/t)5	3.656	2.5593	1.8166	0.9487	0.6728	0.4789	0.3406	0.2424	0.0993
D	0.0480	0.0340	0.0242	0.0126	0.0089	0.0064	0.0045	0.0032	0.0013
R	14.50	14	13.5	11.5	10.9	9.9	8.9	8	7.5
% + Fino (Parcial)	29.43	28.42	27.41	23.35	22.13	20.1	18.07	16.24	15.23
% + Fino (Total)	29.13	28.12	27.12	23.10	21.9	19.89	17.88	16.07	15.07

[ANEXO C]

CURVA GRANULOMÉTRICA 1

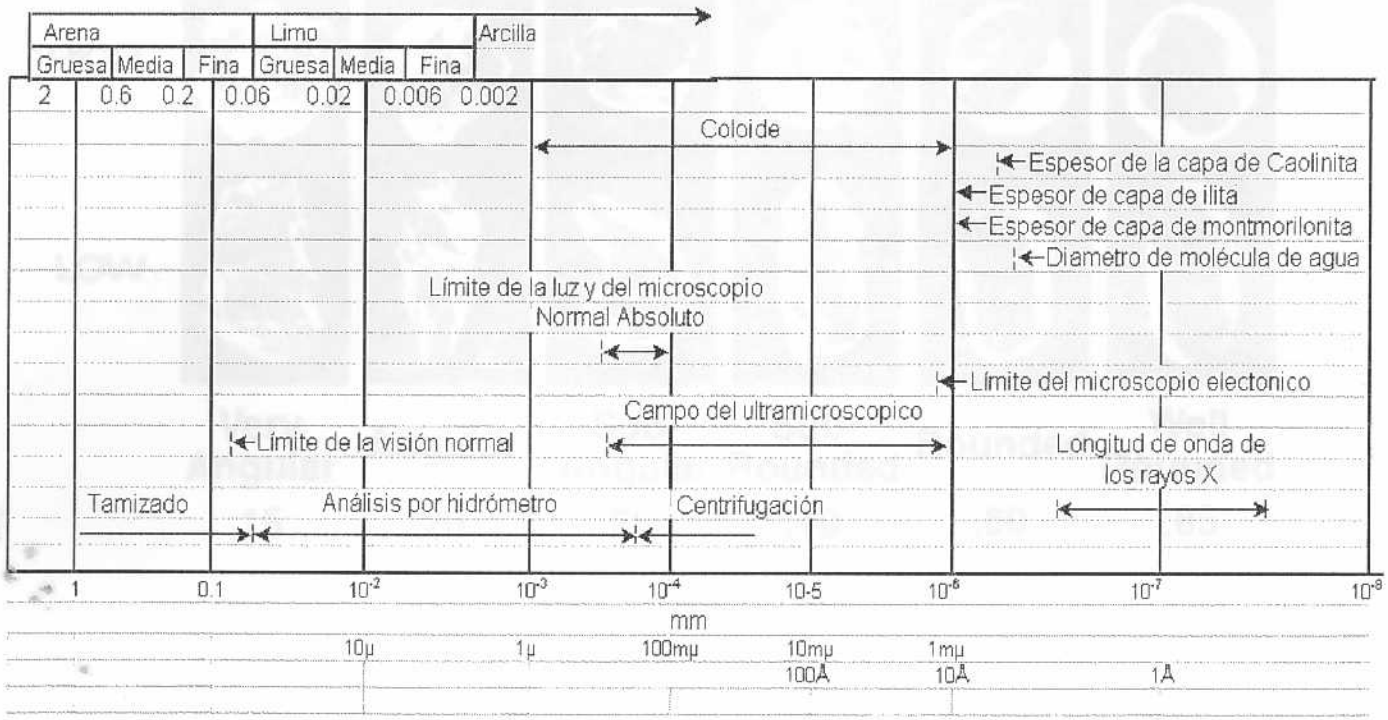


CURVA GRANULOMÉTRICA 2



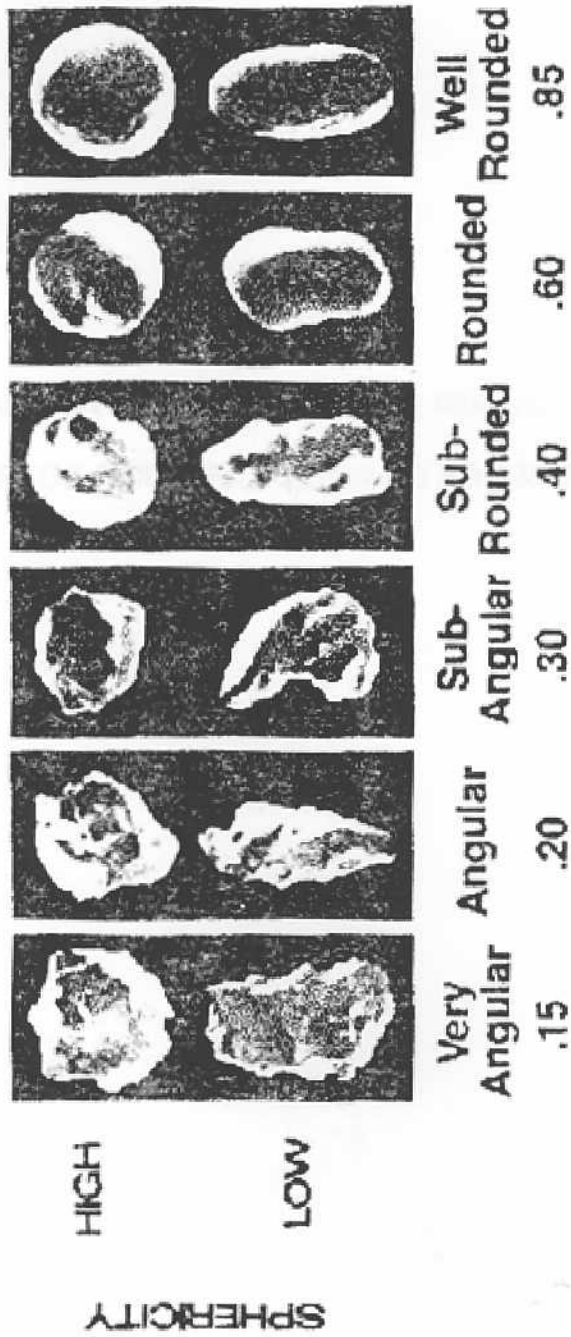
[ANEXO D]

TAMAÑO



[ANEXO E]

FORMA



[ANEXO F]

FLUJOGRAMA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE MINERALES DE ARCILLA (MÉTODO DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X)

[ANEXO G]

COMPLEJO IMATACA

PRECAMBRICO TEMPRANO

Estado Bolívar

Referencia original: W. H. Newhouse y G. Zuloaga, 1929, p. 798.

Consideraciones históricas: Newhouse y Zuloaga (1929) describieron originalmente Serie Imataca, como una unidad de formación de hierro expuesta en la serranía de Imataca. Zuloaga (1930) indica que es una formación sedimentaria, que tiene la apariencia de haber sido originalmente un depósito litoral, aun cuando destaca la ausencia de estratificación cruzada típica de tales depósitos. Zuloaga y Tello (1939) cambian posteriormente tal denominación por la de Formación Imataca, indicando la posibilidad de que en algunos casos descanse sobre los gneises del Complejo Arcaico, pero que una intrusión granítica hizo desaparecer el contacto. Bucher (1952) considera las cuarcitas ferruginosas, o formaciones de hierro de Imataca, como un simple miembro del complejo metamórfico que se extiende desde El Pao, hasta el Orinoco. Morrison (1953) propone el nombre de Grupo Imataca, para incluir las unidades formacionales siguientes: cuarcitas ferruginosas, mármol dolomítico, esquistos hornabléndicos y paragneis. Posteriornmente, Bellizzia y Martín Bellizzia (1956), redefinieron la Serie Imataca, para abarcar toda la secuencia de rocas metamórficas de alto grado que incluye las cuarcitas ferruginosas, secuencia que, más tarde, Short y Steenken (1962) denominaron Grupo Imataca. Chase (1965) introduce el término Complejo de Imataca, por considerar "que la complejidad de la estructura, hace improbable que se logre la determinación de una sucesión inequívoca de formaciones dentro del conjunto", y lo describe, en el cuadrilátero Adjuntas - Panamo, como "una secuencia estratigráfica de gneises intensamente metamorfizadas, con intercalaciones de granito. El término fue empleado posteriormente por Ratmiroff (1965). Kalliokoski (1965-a, b) y Dougan (1972). Ratmiroff (1965), en el Cuadrilátero de Upata, establece que el Complejo "está constituido por la alternancia, con espesor mínimo de 4.5 Km de gneises máficos y félsicos y formaciones de hierro menores, cuerpos de granito y gneises grafíticos".

Kalliokoski (1965 a, b) define el complejo, asentando que sus rasgos más característicos son: "la presencia de estratos de formación de hierro, en una secuencia compuesta predominantemente de gneises cuarzo-feldespáticos, con algunos miembros hornabléndicos o piroxénicos; el grado de

metamorfismo, que varía desde el de anfibolita, hasta el de granulita piroxénica, y la naturaleza compleja de las estructuras".

Dougan (1972), en la región de Los Indios - El Pilar, asienta que el complejo "es una secuencia estratificada de unos 5 Km de espesor, compuesta principalmente de gneises cuarzo-feldespáticos, con gneises máficos subordinados" y en su estudio geoquímico concluye que "la secuencia original deducida de Imataca, es de tipo Keewatin volcánico, caracterizado por la presencia de formaciones de hierro ftaníticas delgadas, a menudo de menos de 1 m de espesor, que se intercalan con rocas volcánicas".

Hurley y otros (1977) destacan, que el Complejo de Imataca incluye rocas metasedimentarias, charnokitas y granulitas, con formaciones de hierro intercaladas, que son probablemente más viejas que 3.000 m.a. y quizás tan antiguas como 3.400 m.a. y que el complejo incluye, además, cuerpos intrusivos y gneises, cuyas edades están alrededor de 2.700 m.a.

Ascanio (1975, 1981, 1987) considera que el complejo consta de siete bloques de rocas, cada uno con expresión fisiográfica propia, determinada por la composición fisiográfica y la estructura. Los contratos entre los bloques están definidos por lineas que siguen al pie de las faldas de las montañas, o el curso de algunos ríos y riachuelos. Al colocar en el mapa las edades determinadas por Hurley y otros (1977), se observa que cuatro bloques de 3.000 m.a., son adyacentes o están intercalados con los otros tres bloques de 2.700 m.a.

Tepedino (1985-a, b), a través de estudios de reconocimiento geológico en la cuenca del río Caura, fija aproximadamente el límite occidental del Complejo de Imataca hasta unos 15 Km al este de Maripa, y hacia el sur, se extiende al este del río Caura, bordeando el río Nichare, las cabeceras del río Cucharo y el salto Pará del río Caura.

Localidad tipo: No ha sido definida una localidad tipo propiamente dicha. Las descripciones más detalladas son las de los Cuadriláteros de Las Adjuntas (Chase 1965) y Upata (Ratmiroff, 1965) localizadas ambas en el municipio Piar del estado Bolívar. Hoja de Cartografía Nacional 7740, escala 1:100.000. Ascanio (1975) recomienda como localidad tipo, la expuesta en la carretera Puerto Ordaz - La Paragua.

Descripción litológica: El Complejo de Imataca consiste en orden de abundancia decreciente, de una secuencia, de granulitas plagioclásicas-cuarzo-piroxénicas, granulitas microclínicas - cuarzo plagioclásicas - piroxénicas, gneis cuarzo-feldespático-cordierítico-granatífero-biotítico - silimanítico-grafítico y formaciones de hierro, con las siguientes litologías

secundarias: cuarcita, caliza impura metamorfizada, roca rodonítica-granatífera, roca cuarzo-granatífero-grafítica y esquisto bronzítico-hornabléndico-biotítico. La secuencia está intrusionada por cuerpos graníticos básicos. El complejo se caracteriza por estructuras anticlinales bien desarrolladas y estructuras sinclinales mal definidas, con rumbo este-noreste. Hacia la porción occidental del complejo, se desarrollan domos equidimensionales, muchos de ellos orientados norte-sur.

Los conjuntos del Complejo de Imataca están intensamente metamorfizados, y pertenecen en general a la subfacies de granulita hornabléndica, de la facies granulítica (Chase 1965).

Contactos: El contacto inferior del complejo se desconoce. Aunque algunos autores (Kalliskoski, 1965-a, b y Menéndez, 1994) han especulado sobre la posibilidad de que el Complejo formó parte del basamento de la secuencia supracortial de los cinturones de rocas verdes, tanto de la Provincia Geológica de Pastora como de Imataca, no existe evidencia de campo alguna al respecto. El Complejo de Imataca alcanza dimensiones hectokilométricas, tanto en ancho, como en su extensión este-oeste.

Extensión geográfica: Ocupa una faja al norte del escudo de rumbo este-noreste, Tepedino (1985-a, b) fijó aproximadamente el límite occidental del complejo de Imataca hasta unos 15 Km al este de Maripa y hacia el sur de lo extiende al oeste del río Caura bordeando el río Nichare, las cabaceras del río Cucharo y el salto Pará en el río Caura, estado Bolívar; desde ahí se extiende por unos 400 Km de longitud, con una anchura de unos 200 Km, hasta el Territorio Delta Amacuro al este, donde aparece bajo los sedimentos del Delta.

Edad: Martín Bellizzia (1968) reseñó las determinaciones radiométricas de edad efectuadas en rocas del complejo, por diferentes autores. Hurley y otros (1977), señalan edades mas viejas que 3.000 m.a. y quizás tan antiguas como 3.400 m.a., en base a datos Rb/S en roca total, obtenidas de muestras del sitio de la represa de Guri, representadas por rocas granulíticas. Las rocas de Imataca han sufrido rejuvenecimiento y movilización parcial, originando emplazamiento de cuerpos intrusivos y desarrollo de zonas migmatíticas. En cuanto a edades relativas se refiere, algunos de estos cuerpos como la Migmatita de La Ceiba, muestran edades del orden de 2.700 m.a. En muestras del Granito de La Encrucijada (Martín Bellizzia 1968), se determinaron 2.153 m.a. por Rb/Sr y 2.900 m.a. por Rb/Sr y 2.900 m.a. por Rb/Sr. en una muestra tomada siete (7) Km al oeste del borde de este plutón.

Correlación: Según señala Ríos (1974), el Complejo de Imataca puede correlacionarse con las granulitas y gneises del Grupo Kanuku en Guyana, con las granulitas del Río Falsino en Brasil, con el Grupo Adampada-Fallawatra, con las granulitas y rocas asociadas de las montañas Bakhuys en Surinám y con la Serie Isla de Cayena de la Guayana Francesa.

Importancia económica: El Complejo de Imataca tiene importancia económica principalmente por su mineralización de hierro, caolín, manganeso y bauxita, así como también para la industria de la construcción como piedra triturada (agregado para concreto, balastro, etc) y rocas ornamentales (pisos, fachadas, columnas, etc.).

Sinonimia: Los términos caídos en desuso de esta unidad, son: Batolito de Imataca, Formación Imataca, Grupo Imataca, Serie Imataca.

Ambiente tectónico y petrogénesis: Ratmiroff (1965), de su estudio del Cuadrilátero de Upata, deduce que los principales eventos geológicos en el complejo son:

1) Sedimentación de grauvacas y flujos basálticos, en un ambiente geosinclinal.

2) Litologías menores, también intercaladas en las secuencias, fueron lutitas calcáreas, lutitas carbonáceas y formaciones de hierro.

3) Deformación y metamorfismo del conjunto bajo condiciones de P-T, de la facies granulítica y metasomatismo potásico parcial de las meta-grauvacas.

4) El emplazamiento del material granítico, debió producirse al final de los principales eventos de deformación.

5) Emplazamiento de los diques de diabasas.

© ***M. E. M., 26 de Noviembre de 1997.*** (Código Geológico de Venezuela, s.f.).

5 BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, J. D. y Piccardo, A. (1988). *Estudio de las arenas colapsibles de la Región industrial de Matanzas (Estado Bolívar)*. Trabajo de grado no publicado, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas.

Amundaray, J. y Lupini, J. (s.f.). *Investigación de Suelos Colapsables para el diseño de Fundaciones de Tanques*, Geohidra C.A.

A-Venezuela. (1999). [pagina web en linea]. Disponible:http://a-venezuela.com/venezuela/geografia_4.shtml. [Consulta: 2002, Febrero 28].

Barden, L., McGown, A. and Collins, K. (1973), *The Collapse Mechanism in Partly Satured Soil,* Engineering Geology, Amsterdam, The Netherlands, pp 49-60.

Clemence, S. P., and Finbarr, A. O. (1981), *Desing Conside rations for Collapsible Soils,* Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 107, No. GT3, pp. 673-679.

Código Geológico de Venezuela. (s.f.). [pagina web en línea]. Disponible: http://www.pdv.com/lexico/i3w.htm. [Consulta: 2002, Febrero 25].

Hutchison, Charles S. (1974). *Laboratory handbook of Petrographic Thecniques*. Wiley Iterscience, pp226-234

Knight, K. (1964). *The Microscopic Study of the Structure of Collapsing Sands.* Department of Engineering, University of the Witwatersrand.

Lambe, T. y Whitman, R. (1999). *Mecánica de Suelos*. (J. Jiménez, Trad.). México: Editorial Limusa, S.A. (trabajo original publicado en 1969).

Unidad de Microscopía Electrónica, Centro de Investigación y Control de la Calidad (2001). España.[pagina web en linea]. Disponible: http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Lab/1987/fundam6.html. [Consulta: 2002, Marzo 2]

Núñez, E. y Carrillo, A. (1975), *Suelos Colapsibles y Preconsolidados por desecación*, V Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingenieria de Fundaciones. Buenos Aires, Argentina.

Starkey Harry C., Blackmon Paul D. and Hauff Phoebe L. (1984). *The Routine Mineralogical Analysis of Clay-Bearing Samples.* (U.S. Geological Survey Bulletin,1563). U.S government printing office, Washington.

Universidad Autónoma de Madrid. (s.f.). [pagina web en linea]. Disponible: http://www.uam.es/investigacion/servicios/sidi/especifica /monocristal. [Consulta: 2002, Febrero 12].

Universidad Católica Andrés Bello
BIBLIOTECA
Caracas