

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Justificación de la investigación.

Debido a la problemática existente en la población de Carayaca y sus alrededores, en el Estado Vargas, relacionada con el abastecimiento de agua para el consumo humano y para potenciar el desarrollo agrícola del sector, se ha decidido realizar esta investigación, con la finalidad de establecer los parámetros necesarios para evaluar la capacidad acuífera del sector, a fin de presentar alternativas del aprovechamiento sustentable del recurso hídrico subterráneo.

A través de esta investigación se pretende realizar una evaluación completa del potencial hidrogeológico con que cuenta la zona, a través de un estudio detallado de la geología local y regional, además de una exploración geofísica para evaluar las unidades litológicas presentes en el área de estudio, así como la recolección de muestras de agua, pertenecientes a la red hidrográfica, para realizar los correspondientes análisis físico-químicos.

Es importante señalar que no existe bibliografía alguna sobre el potencial de acuíferos en el sector, por lo que el presente trabajo constituye el primer aporte científico, orientado a aportar una guía útil para las generaciones actuales y futuras que requieran realizar exploraciones similares dentro del entorno de las rocas metamórficas de La Cordillera de la Costa.

Finalmente, es de vital importancia la realización de este Trabajo Especial de Grado como último requisito académico necesario para la obtención del título de Ingeniero Geólogo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela.

Objetivo General.

Realizar una recopilación e interpretación de los datos y parámetros hidrogeológicos con base en la prospección geológica y geofísica de la zona, para determinar las posibles áreas de acumulación de aguas subterráneas.

Objetivos Específicos.

a) Recopilación y análisis de la información relacionada con los estudios previos y afines de la zona.

b) Prospección geológica para verificar los datos preexistentes y obtener aquellos que sean necesarios para la interpretación hidrogeológica del lugar.

c) Prospección geofísica (Sondeos Eléctricos Verticales) para evaluar las condiciones hidrogeológicas de la zona y consolidar la información obtenida con antelación a este objetivo.

d) Estimación de las zonas o lugares donde se pueden realizar las perforaciones, así como otras alternativas de soluciones para la extracción y/o almacenamiento de las aguas subterráneas.

Ubicación del área de estudio.

Para determinar la localización del área de estudio se utilizó la hoja cartográfica 6747 a escala 1:25.000, tomando las siguientes coordenadas: 10°30´- 10°33´ latitud norte 67°05´- 67°10´ longitud Oeste. El área limita al norte con el pueblo de Carayaca y la carretera Carayaca-Catia la Mar, antes del caserío El Pozo.

Al sur por la fila Capadare, al este por la divisoria de aguas entre el Río Petaquire y la Quebrada Yaguara, hasta su punto de intersección (Río Mamo), y al oeste por la Carretera El Junquito-Carayaca, desde el caserío El Molino hasta la entrada del poblado Alto Paraíso, y la carretera alterna Alto Paraíso-Arenal-Carayaca, con una superficie aproximada de 15,5 Km² (ver figura 1):

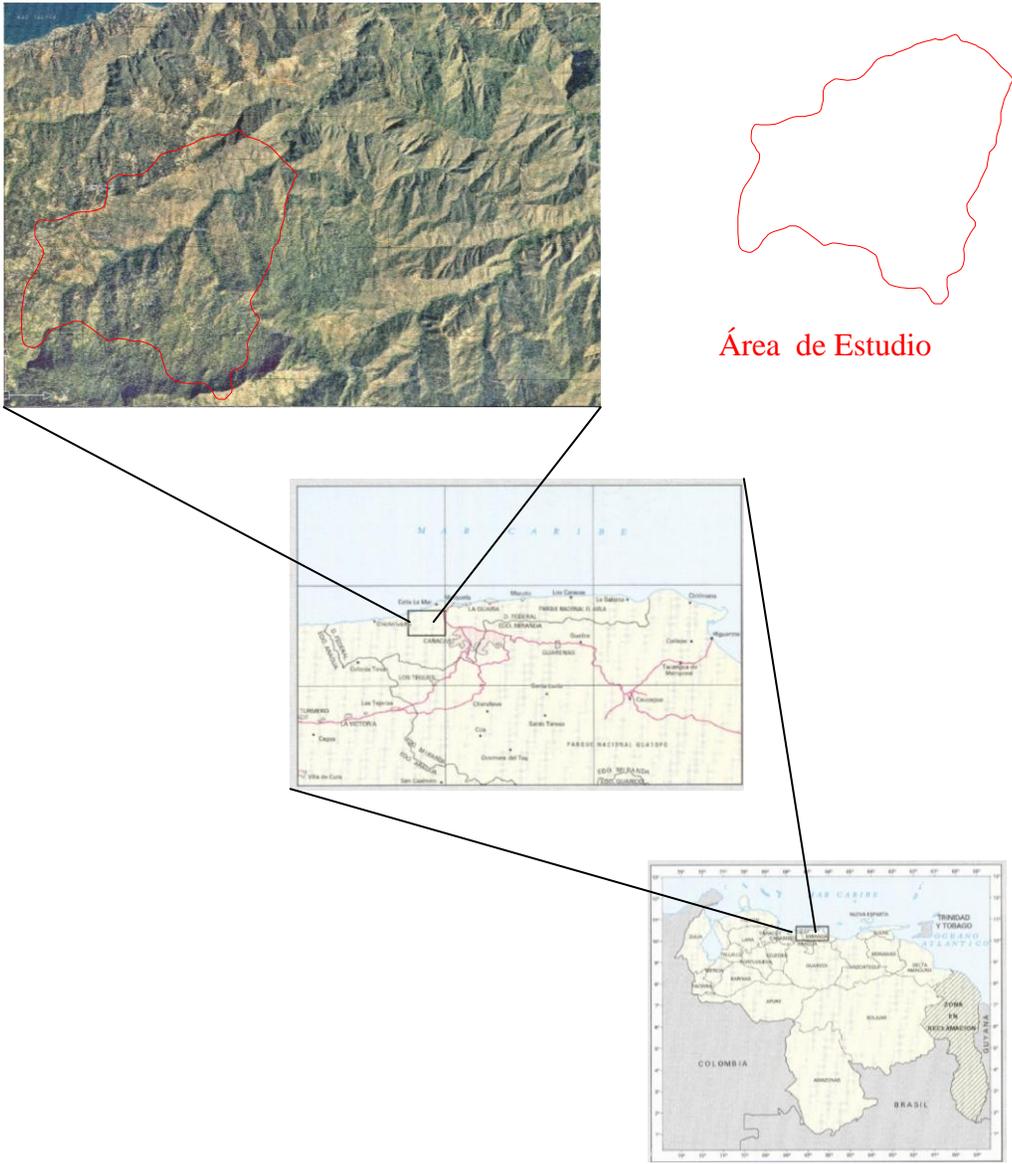


Figura 1.- Ubicación del área de estudio

Vías de acceso.

La zona posee dos vías principales de comunicación: las carreteras El Junquito-Carayaca y Carayaca-Catia La Mar (color rojo), además de contar con una red de carreteras alternas que se distribuyen en todo el área en las que destacan a continuación (figura 2):

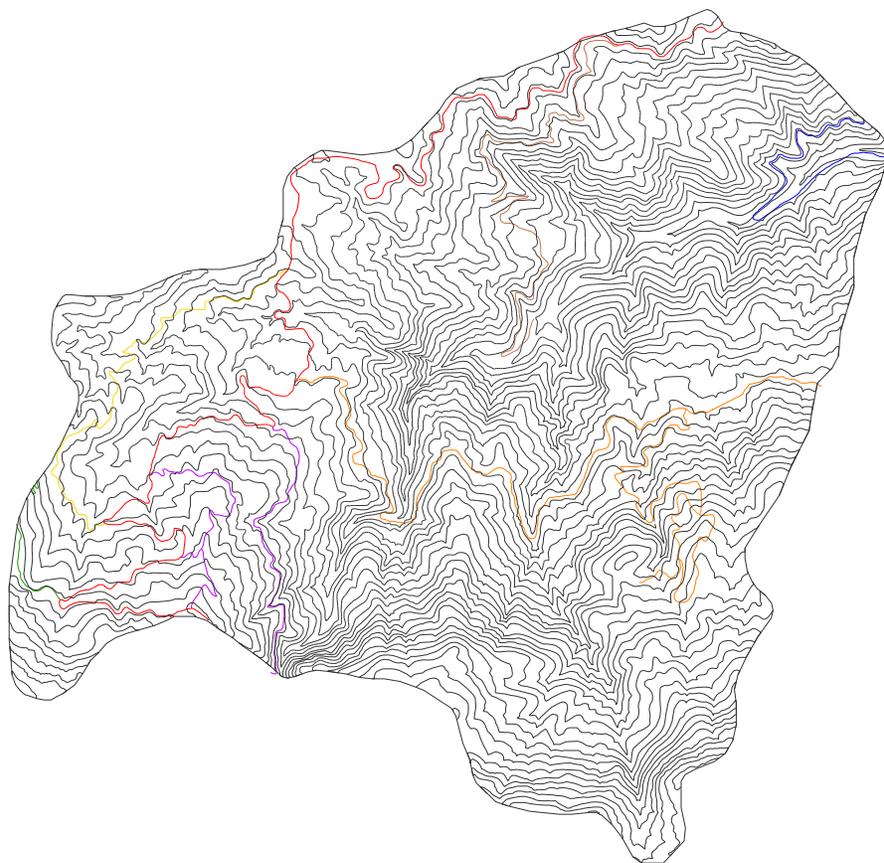


Figura 2.- Ubicación de las vías principales de comunicación más las vías alternas

- Carretera El Pozo-Planta de Mamo (ubicada en la parte Noreste del área de estudio, color azul).
- Asentamiento Caoma (ubicada al suroeste del área de estudio, color violeta).
- Carretera La Macanilla (suroeste de l zona de estudio, color verde).

- Carretera Alto Paraíso-El Arenal (noroeste del área de estudio, color amarillo).
- Asentamiento Cataure (sur de la zona de estudio, color naranja).
- Carretera La Virgen-Hacienda Carayaca Abajo. (Parte Norte centro del área de estudio)
- Carretera Fila Capadare-La Niebla (ésta es una carretera alterna que no se encuentra en la zona de estudio).

Metodología de investigación.

El proceso de investigación se desarrolló en 4 etapas:

Primera etapa: Recopilación de información. Esta etapa comprendió la búsqueda, compilación e interpretación de:

- Trabajos previos en la zona de estudio.
- Información cartográfica a escala 1:10000, fotogeológica y estructural.
- Publicaciones afines.

Segunda etapa: Trabajo de campo. Esta fase se desarrolló con base en los siguientes aspectos:

- Inventario de las obras de captación.
- Reconocimiento de la zona de estudio y las vías de acceso.
- Determinación de los afloramientos a ser estudiados.
- Levantamiento geológico y recopilación de muestras.
- Levantamiento estructural (frecuencia de diaclasas)
- Clasificación en campo del macizo rocoso (URCS y RQD).
- Realización de prospección Geofísica (S.E.V.).
- Toma de muestras de las Aguas Subterráneas (manantiales).

Tercera etapa: Laboratorio. En esta etapa se realizó el correspondiente análisis de la muestras obtenidas en campo:

- Análisis para clasificación de suelos (SUCS).
- Análisis petrográfico.
- Análisis de las muestras de aguas (físico-químico).

Cuarta etapa: Oficina. Esta etapa corresponde a la síntesis de los datos obtenidos en campo y en laboratorio, a través de:

- Análisis de Resultados.
- Conclusiones y las recomendaciones.

Trabajos previos en la zona de estudio.

Hasta los momentos se han encontrado pocos trabajos, en los cuales se desarrollen temas relacionados con la hidrogeología en rocas metamórficas, sirviendo como base de datos algunos libros que comentan sobre investigaciones realizadas en otras partes del mundo; como es el caso de *Hidrology* de Stanley Davis, en el cual hace referencia a casos en el norte de Estados Unidos, Canadá y algunos lugares de Europa, citando ejemplos que poco se acercan a la realidad de condiciones tropicales costeras a las que se encuentra sometida esta área de estudio. Otro libro es el *Applied Hydrogeology* del Autor FETTER, C.W. (1994) que en el capítulo 9.4 hace referencia a la ocurrencia de aguas subterráneas en rocas ígneas y metamórficas. Así mismo introduce al tema de los manantiales en su capítulo 8.5.

Se ha obtenido información de la geología local y regional a través de dos tesis de grado de la escuela de geología y Minas, ambas del año 1978; la primera de Alfaro Raiza titulada “Geología del Área de Carayaca-Qda. Tacagua”, y la segunda

de Serrano Isabel titulada “Geología de la cuenca del Río Petaquire”, pero ninguna trata el tema de hidrogeología.

Por otro lado, vía Internet (<http://web.usal.es/~javisan/hidro/> y http://www2.sernageomin.cl/pto_varas/Biblioteca/Articulos.pdf) se han recopilado algunos trabajos, de Chile y de España, siendo éste último el de mayor importancia. El primero muestra algunos parámetros de comportamiento de aguas subterráneas en diferentes litologías ubicadas en toda la geografía chilena, mencionando entre otras cosas que en su caso, el potencial acuífero en las rocas fracturadas es bajo. Sin embargo, el segundo trabajo realizado por Javier Sánchez San Román de la Universidad de Salamanca, explica que todo reservorio sin importar su tamaño puede tener un potencial acuífero aprovechable, dependiendo del gasto al que va ser sometido. También explica la funcionalidad de la prospección geoelectrica para determinar el potencial hidrogeológico de las rocas ígneas y metamórficas.

Franco Urbani y José Antonio Rodríguez en el ATLAS GEOLÓGICO DE LA CORDILLERA DE LA COSTA, VENEZUELA (junio 2004), de la fundación *Geos*, desarrollan una serie de mapas geológicos entre los que destaca la hoja 6747 I SE Carayaca, en el cual se muestran los elementos estructurales y litológicos de la zona. Éstos autores consideran que existen 3 litofacies de importancia; Fase Nirgua (Cuarzitas y Anfibolitas), Esquisto las Brisas (Cuarzo Albítico Moscovítico Clorítico), y mas hacia el NE de la zona Esquistos Tacagua. Pero los autores no hacen mención de los sedimentos cuaternarios (suelos residuales, coluviones y aluviones) que para nuestros efectos son de importante valor, ya que en la zona predomina litología metamórfica y estos suelos son posibles reservorios de acuíferos por sus condiciones propias (porosidad y permeabilidad primarias).

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

Ciclo hidrológico.



Figura 3.- El Ciclo Hidrológico. Fuente: <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html>

El concepto de ciclo hidrológico lleva implícito el movimiento o la transferencia continua de masas de agua de un sitio a otro y de un estado a otro debido a dos causas: la primera, el Sol, que proporciona la energía para elevar el agua del suelo, los cuerpos de agua y las plantas al evaporarla; la segunda, la gravedad, la cual hace que el agua condensada en la atmósfera precipite y que, una vez llegada a la superficie, vaya hacia las zonas más bajas a través de la escorrentía superficial y subterránea.

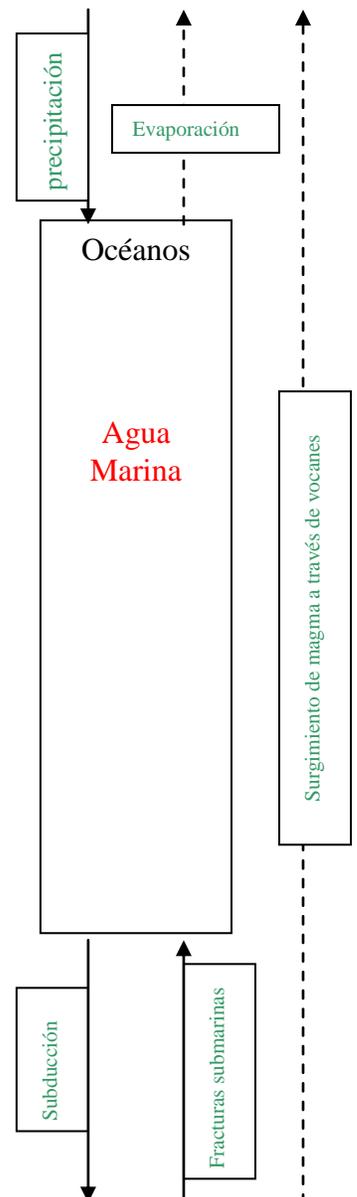
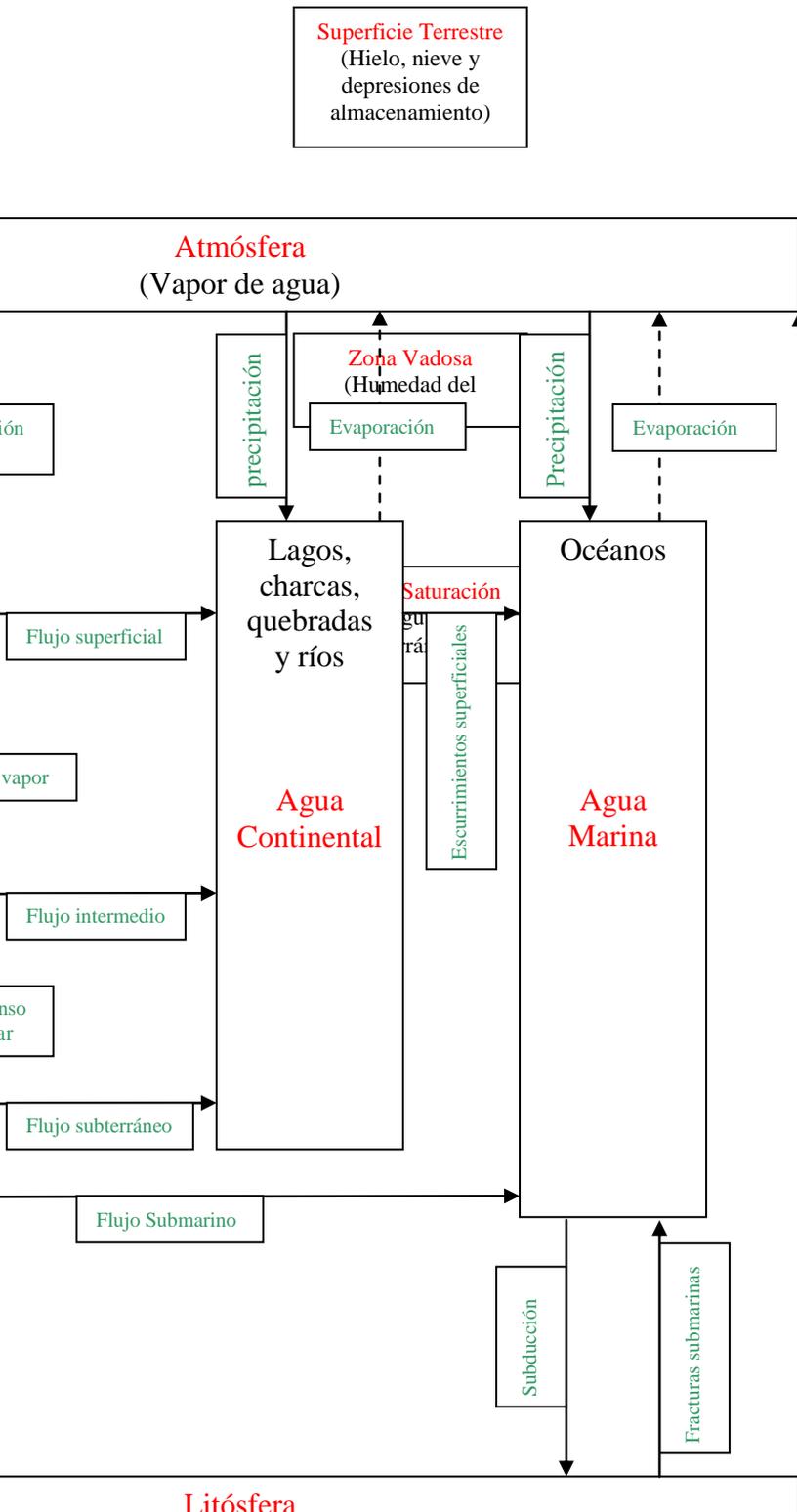


Figura 4.- Esquema del Ciclo Hidrológico Tomado De Blyth, F. y De Freitas M.(2001)

Reserva mundial de agua y porcentaje correspondiente de aguas subterráneas.

Tabla 1.- Reserva Mundial de Agua. Fuente: Gleick, P. H., 1996: Recursos de Agua. En Enciclopedia de Clima y Weather, editor por S. H. Schneider, Prensa de Universidad de Oxford, Nueva York, vol. 2, pp.817-823.

Reserva Mundial de Agua				
Fuente de agua	Vol. de agua en millas cúbicas	Vol. De agua en Kilómetros cúbicos	Porcentaje de Agua dulce	Porcentaje de agua total
Mares, océanos y bahías	321,000,000	1,338,000,000	--	96.5
Casquetes polares, Glaciares, y nieve permanente	5,773,000	24,064,000	68.7	1.74
Aguas subterráneas:	5,614,000	23,400,000	--	1.7
-Dulces	2,526,000	10,530,000	30.1	0.76
-Salinas	3,088,000	12,870,000	--	0.94
Humedad de suelo	3,959	16,500	0.05	0.001
Hielo de fondo y Congelación perpetua	71,970	300,000	0.86	0.022
Lagos	42,320	176,400	--	0.013
-Dulces	21,830	91,000	0.26	0.007
-Salinos	20,490	85,400	--	0.006
Atmósfera	3,095	12,900	0.04	0.001
Agua de Pantano	2,752	11,470	0.03	0.0008
Ríos	509	2,120	0.006	0.0002

Agua Biológica	269	1,120	0.003	0.0001
Total	332,500,000	1,386,000,000	-	100

Como se observa en el cuadro anterior las aguas subterráneas conforman casi el 1,7 % del total de las aguas, indicando que hay un alto porcentaje de reserva a nivel mundial.

Tabla 2- Reserva Mundial de Agua. Fuente: UNESCO, 1978

RECURSOS HIDRICOS EN EL GLOBO TERRESTRE . UNESCO 1978				
Componente		Volumen	Porcentaje del total	Porcentaje de agua dulce
		km3		
Agua salada		1.350.955.400	97.47	
Agua dulce		35.029.210	2.53	100.00
	Agua dulce no utilizable	24.378.020	1.76	69.59
	Agua dulce superficial	104.590	0.008	0.30
	Agua dulce subterránea	10.547.000	0.762	30.11
Total de agua		1.385.984.610	100.0	

Analizando las dos tablas de reserva mundial hídrica (realizadas en fechas distintas) muestran que el porcentaje de agua subterránea dulce se ha mantenido constante y que, además, representan una gran reserva como alternativa para las aguas superficiales.

Por otro lado, las aguas subterráneas se acumulan en facies litológicas que posean una gran capacidad de almacenamiento, pudiendo ser tanto sedimentos (porosidad primaria) como roca fracturada (porosidad secundaria).

Acuíferos.

Se denomina acuífero a un estrato o formación geológica que es lo suficientemente porosa y permeable como para permitir la acumulación y circulación del agua de tal forma que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para satisfacer sus necesidades.

Dado que el espacio poroso que presentan las formaciones geológicas puede ser vacíos intergranulares que comúnmente se observan en los depósitos aluviales de grano grueso (gravas y arenas) o grietas, fracturas y diaclasas que se presentan en las rocas, independientemente de su origen, algunos autores hablan de acuíferos por porosidad para el primer caso y de acuíferos por fracturación o fisuración, en el segundo.

Tipos de acuíferos.

Acuífero libre.

Se denominan acuíferos libres, no confinados o freáticos aquellos en los cuales existe una superficie libre del agua encerrada en ellos, que está en contacto directo con el aire y por lo tanto, a la presión atmosférica. Esa superficie libre tiene una profundidad que puede oscilar libremente de acuerdo al ciclo climático, es decir, de acuerdo a las lluvias y a la recarga asociada a éstas. Como puede observarse en la figura anexa, el acuífero libre está claramente definido en el nivel superior y al perforar un pozo que lo atraviese total o parcialmente se obtiene una superficie generada por los niveles de cada pozo que se denomina nivel freático o "water table" para los autores anglosajones (figura 5):

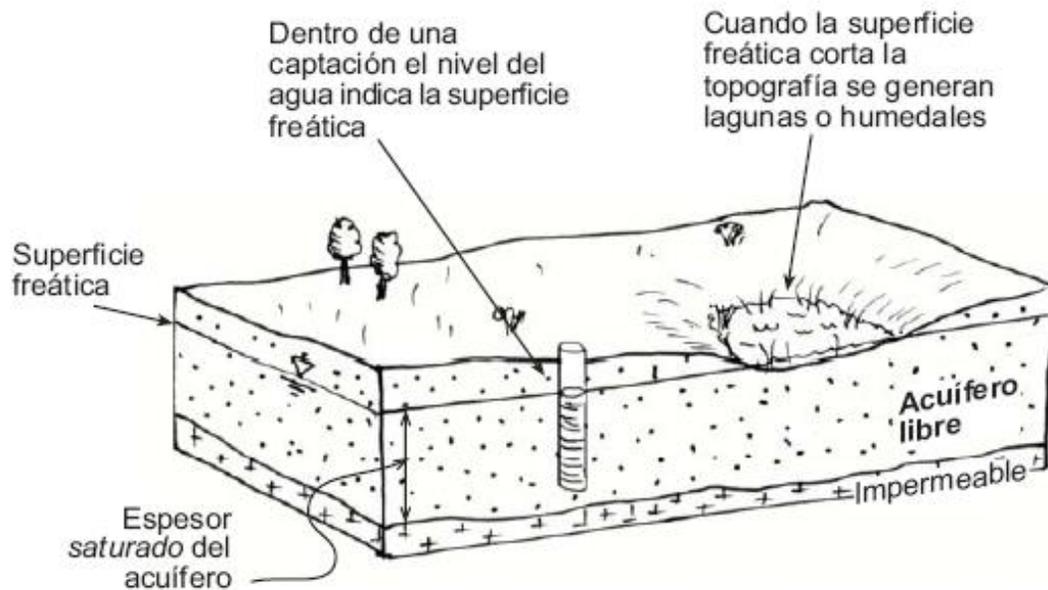


Figura 5.-Acuífero Libre. Fuente: <http://web.usal.es/~javisan/hidro/>

Acuífero confinado.

En el acuífero confinado (figura 6) el agua está sometida a una cierta presión, superior a la atmosférica y ocupa totalmente los poros de la formación. Por ello, durante la perforación de los pozos en acuíferos de este tipo, al atravesar el techo del mismo se observa un ascenso rápido del nivel del agua, hasta estabilizarse a una cierta altura. De acuerdo a la posición topográfica de la boca del pozo, pueden presentarse los pozos Surgentes o Saltantes, cuando el nivel piezométrico está por debajo de la cota de la boca del pozo. Cuando la cota de la boca del pozo está por debajo del nivel piezométrico tendremos un pozo artesiano. De esta forma vemos que estos acuíferos poseen una superficie piezométrica ideal, que puede materializarse cuando consideramos todos los niveles que alcanzaría el agua en las perforaciones distribuidas en el acuífero, equivalentes a la altura piezométrica del agua en el acuífero en la vertical de cada punto. Este acuífero está aprisionado entre dos estratos

impermeables, por lo que su zona de recarga está a mayor distancia que la de los acuíferos libres:

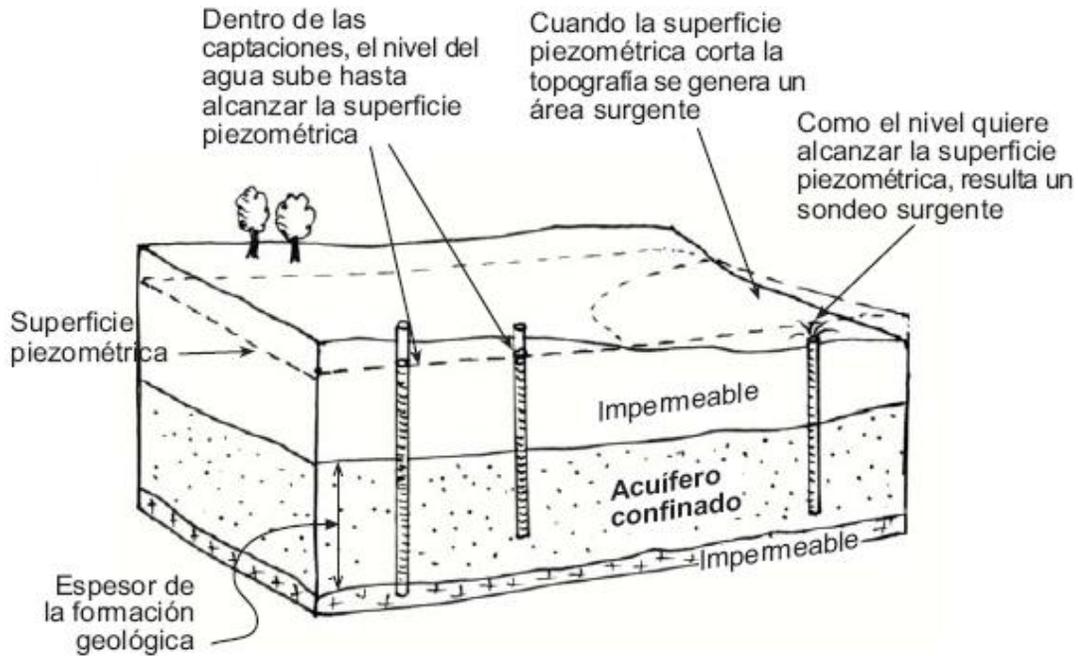


Figura 6.- Acuífero confinado. Fuente: <http://web.usal.es/~javisan/hidro/>

Acuífero colgado o emperchado.

Es aquel acuífero libre de pequeña extensión que puede encontrarse en la zona de aereación de un acuífero libre mayor y separado por un acuiclusos también pequeño. El agua que almacena se llama vadosa (figura 7):

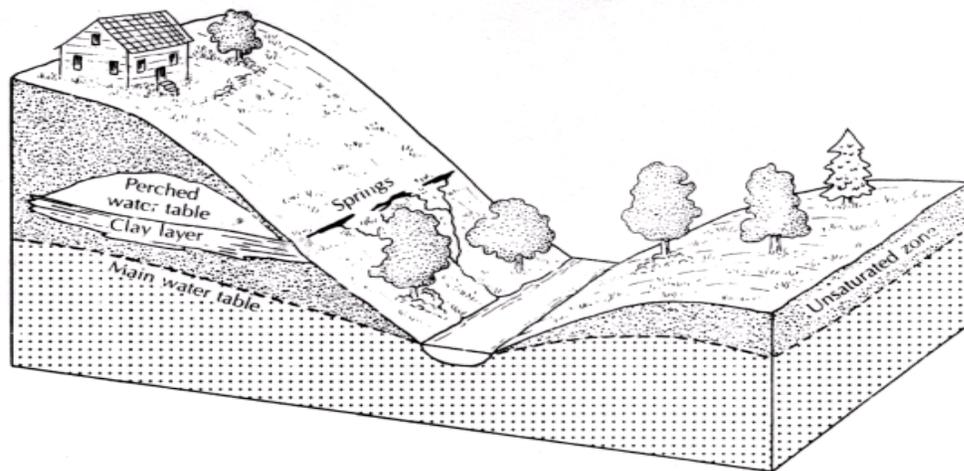


Figura 7.- Acuífero emperchado. Tomado de Fetter, C.W.(1994) Aplicaded Hydrogeology.

Elementos de un acuífero.

Un acuífero es un sistema abierto el cual esta constituido por tres elementos, la zona de recarga, la zona de saturación y la zona de descarga, los cuales conforman un equilibrio que permiten que un acuífero se mantenga estable.

Zona de recarga.

La recarga natural es el volumen de agua que entra en un acuífero durante un período de tiempo, a causa de la infiltración de las precipitaciones o de un curso de agua. Los acuíferos se recargan de agua de lluvia o de ríos, que se infiltra, y se descargan hacia el mar, o ríos más bajos. La zona de recarga debe tener ciertos parámetros conjugados que permitan y potencien la infiltración del agua, como lo son las precipitaciones, la porosidad (primaria o secundaria) y las pendientes de las laderas.

La oportunidad de infiltrar depende mucho de la condición del suelo, su contenido de humedad, de la dirección de la lluvia y del patrón de drenaje de la cuenca. Así mismo, la pendiente de la superficie constituye un factor muy importante puesto que las muy inclinadas favorecen a la escorrentía superficial y, si

son menos fuertes, retienen el agua por más tiempo favoreciendo la infiltración. En algunas áreas pareciera que las pendientes moderadas ofrecen condiciones mejores para infiltración que las enteramente planas. Estas últimas desarrollan a menudo suelos impermeables. La textura del suelo juega entonces un papel muy importante en el proceso de infiltración puesto que está influida por la pendiente del terreno. Una lluvia moderada y de larga duración, favorecerá la infiltración. La breve discusión anterior muestra que los factores que inciden en la infiltración y en la recarga natural del depósito de agua subterránea caen en dos grupos: uno incluye el tamaño de las partículas, la pendiente y otras características físicas del terreno de la cuenca, y el otro que comprende las condiciones climáticas, las cuales varían de estación en estación y de año en año. (Johnson screensTM, 1966).

Es importante resaltar que en cuencas con pendientes muy bajas y extensas, suele suceder que se desarrollen depósitos sedimentarios recientes de grano fino (arcillas), los cuales interfieren en la infiltración natural del agua. Por otro lado, las pendientes moderadas contribuyen notablemente para que los depósitos sean de grano más gruesos inclusive permitiendo el desarrollo de coluviones en la zona. No obstante estas laderas permiten escorrentía superficial, pero no tan pronunciada como a la asociada a pendientes abruptas. Esto se traduce, efectivamente, a que las pendientes moderadas (35-50 grados de inclinación aproximadamente) sean favorables para el poco desarrollo de suelo fino y para la mediana escorrentía.

Zona de saturación.

Podría asimilarse a un gran embalse natural o sistema de embalses cuya capacidad total es equivalente al volumen conjunto de los poros o aberturas de las rocas que están llenas de agua. El espesor de la zona de saturación varía desde unos pocos metros hasta varios cientos. Los factores que determinan su espesor son tales como la geología local, la presencia de poros o intersticios en las

formaciones, la recarga y el movimiento o desplazamiento de agua desde las áreas de recarga hasta las de descarga. (Johnson screensTM, 1966).

El agua contenida en la zona de saturación es la única parte de toda el agua del subsuelo de la cual se puede hablar con propiedad como agua subterránea. (Johnson screensTM, 1966).

Zona de descarga.

La descarga natural es el volumen de agua que sale de un acuífero, en un período de tiempo, a través de los manantiales terrestres, subfluviales o submarinos, y también por evapotranspiración, si la zona saturada queda muy cerca de la superficie en amplias áreas. El agua subterránea se mueve libremente hacia abajo desde la superficie, hasta que alcanza una capa de roca o suelo impermeable o hasta que llega al nivel freático; entonces comienza a moverse lateralmente. Tarde o temprano fluye nuevamente hacia la superficie del terreno por un conducto llamado *Manantial*. Los manantiales han atraído la atención del hombre a lo largo de historia. En tiempos primitivos se les veía con temor supersticioso y algunas veces fueron elegidos como asiento de templos y oráculos. Los manantiales son sumamente variables: desde los de flujo intermitente, que desaparecen cuando el nivel freático se abate durante la época de sequía, pasando por los de escurrimiento pequeño que casi podría decirse que gotean, hasta los que producen unos 3.400 millones de litros por día como lo es la abundante descarga de los manantiales que se encuentran a lo largo de un trecho de 15 kilómetros de largo del Río Fall, en California. (Leet, 1968).

Esta amplia variedad de tipos de manantiales es consecuencia de las condiciones de subsuelo, que varían enorme mente de un lugar a otro. Sin embargo, como regla general, un manantial se forma en cualquier lugar donde el flujo de agua subterránea se ha desviado a una zona de descarga en la superficie. (Leet, 1968).

Cuando se bombea el agua de los acuíferos, también ocurre descarga. Cuando se extrae mucha cantidad de agua, el nivel freático baja, a esto se le llama sobreexplotación. El primer problema que se presenta, es que los pozos menos profundos se secan, afectando a algunas personas.

Pero lo que es peor, es que al quedar el terreno sin agua en sus poros se compacta, y también baja el nivel del terreno y todo lo que tiene arriba.

Sin embargo, cabe destacar que el efecto de subsidencia y la consiguiente disminución de porosidad es menos probable que ocurra en acuíferos que se desarrollan en macizos rocosos, en este caso, pudiera haber pérdida de porosidad secundaria por precipitación de minerales en las fracturas a medida que el agua fluye en el macizo rocoso.

Factores que intervienen en la formación de acuíferos.

Clima.

El clima es un factor importante en la producción de acuíferos. El elemento principal del clima para la formación de acuíferos es la precipitación.

La precipitación es uno de los componentes primarios del ciclo hidrológico, tanto que podría calificarse como factor esencial pues constituye la materia prima del citado ciclo. Se dice que ha precipitado cuando el agua, en estado líquido o sólido, llega a la superficie de la tierra.

La precipitación es un fenómeno de tipo discontinuo y por eso no se puede hablar de su variación diaria o anual. Su distribución, tanto en el tiempo como en el espacio es sumamente variable.

Hay tres tipos de precipitaciones, según los fenómenos que las originan:

-Precipitaciones convectivas, originadas por el calentamiento de las masas de aire próximas a la superficie de un suelo que ha recibido una fuerte insolación. Suelen ser tormentas locales propias de la estación cálida.

-Precipitación frontal o ciclónica, es la que tiene su origen en las superficies de contacto de masas de aire (frentes) con temperatura y humedad diferentes. Pueden ser de frente cálido o frío, o bien estar originadas por oclusión de un frente.

-Precipitaciones orográficas o lluvia de relieve, propias de zonas montañosas, por el enfriamiento y consiguiente condensación de vapor de agua en las masas de aire, que al tropezar con una ladera, ascienden por ella.

Sin embargo, hay que destacar que, en general, las precipitaciones suelen estar originadas por combinaciones de dos de los tipos anteriores o de los tres.

En cuanto al régimen de lluvias en Venezuela, debemos partir del siguiente hecho: nuestro país está ubicado hacia el extremo Sur del hemisferio Norte, más exactamente, entre los $0^{\circ}45'$ y los $12^{\circ}15'$ latitud Norte, aproximadamente, es decir, Venezuela está en la zona *Tropical o Tórrida*.

Esto implica que, desde el punto de vista climático, se observe una temporada húmeda y una temporada seca, siempre cálidas, jamás se observarán las cuatro estaciones climáticas de otras latitudes.

En general, la temporada seca va desde los meses de diciembre a Abril. La temporada lluviosa va desde Mayo hasta Noviembre, lo cual rige para la mayor parte del territorio nacional, excepto la zona Sur del Lago de Maracaibo, y los Estados Amazonas y Bolívar, donde se pueden presentar lluvias durante la época de sequía.

Porosidad y Permeabilidad.

La porosidad puede ser definida como la cantidad de espacios vacíos o poros, que tiene un material en particular, y la permeabilidad es la mayor o menor facilidad que ofrece un material de dejar pasar fluidos entre sus poros. La tabla 3 presenta una lista del tamaño de los vacíos que pueden esperarse en algunos materiales y su permeabilidad probable:

Tabla 3- Tamaños típicos de los vacíos para materiales granulares, fracturados y otros con sus permeabilidades asociadas (tomado de Blyth y De Freitas, 2001)

Material	Tamaño del vacío (m)	Permeabilidad
Arcilla	$<10^{-6}$ a 10^{-5}	$<10^{-8}$
Limo	10^{-6} a 10^{-4}	10^{-8} a 10^{-6}
Arena	10^{-4} a 10^{-3}	10^{-6} a 10^{-2}
Grava	10^{-3} +	10^{-2} a 10^{-0}
<i>Fracturas</i>	<i>10^{-3} a 10^{-2}</i>	<i>10^{-3} a 10^{-0}</i>
Kárstico	10^{-2} +	10^{-0} +
Túneles	10^{-0} +	10^{-6} +
Careinas	10^{-1} +	infinito

Los estratos solubles como las calizas y las evaporitas pueden tener vacíos creados o agrandados por la disolución para formar túneles o cavernas, pero también en las rocas volcánicas pueden existir túneles (túneles de lava). La mayoría de los suelos transmiten agua a través de sus poros, mientras que la transmisión a través de

muchas rocas es por poros y a través de sistemas de fracturas, las cuales normalmente transmiten más agua que los poros.

La energía que da lugar al flujo del agua subterránea se deriva de la gravedad; ésta conduce el agua hacia abajo al nivel freático, desde donde fluye a través del terreno a un punto de descarga a una corriente, lago, manantial, o al mar. Al igual que el agua de la superficie, necesita una pendiente para fluir, así que tiene que haberla para, aunque sea muy suave, para que ocurra el flujo del agua subterránea, y la misma se denomina pendiente del nivel freático, ó el gradiente hidráulico, el cual se mide dividiendo la longitud del flujo (del punto de entrada al punto de descarga) entre la distancia vertical que separa esos dos puntos, distancia llamada altura hidrostática o tirante.

Infiltración.

Es el movimiento descendente del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra (Pérez, 1987). Supone pérdidas de agua en su recorrido para satisfacer la deficiencia de humedad del suelo. La infiltración es el volumen de agua procedente de las precipitaciones que atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo y del subsuelo. El agua supera la retención superficial y alcanza subsuelos más profundos, conectando bien con acuíferos colgados o con el sistema acuífero general; es decir el agua de recarga.

Litotipo.

Es el tipo de roca presente en el terreno y determina si hay infiltración, acumulación y transmisión de agua hacia el subsuelo para que se forme un acuífero; de esta manera, las rocas impermeables (rocas ígneas y metamórficas sin fracturas, y sedimentarias de granulometría muy fina) impedirán la formación de acuíferos y viceversa.

Suelos.

Un suelo es todo agregado de partículas minerales, separables por métodos mecánicos de poca intensidad, que se origina de la desintegración mecánica y/o descomposición química de las rocas y su ulterior remoción, transporte y depositación (Pérez, 1987).

El suelo, desde el punto de vista del ingeniero agrónomo, es en realidad una capa dinámica donde actúan procesos físicos, químicos y biológicos, que se ajusta y cambia con las condiciones del clima, de la topografía y de la vegetación (Pérez, 1987). Así tendremos que el proceso de formación del suelo está afectado por los siguientes factores:

- a) Materia parental.
- b) El relieve.
- c) El tiempo.
- d) El clima.
- e) La actividad biológica.

a) La materia parental está constituida por los residuos de las rocas circundantes.

b) Si una pendiente es pronunciada, la infiltración es menor y la erosión es más rápida que en pendientes suaves, lo cual se traduce en que un suelo es más delgado cuanto mayor sea la pendiente. La evolución de la topografía está afectada por la orientación de las laderas con respecto a los rayos solares, la cual determina que unas laderas reciban más energía que otras y en consecuencia se pueda generar un diferencial en cuanto a la conservación del frío y la humedad, lo cual determina que el proceso de meteorización sea diferente, y por ende, la evolución de la ladera.

c) En cuanto al tiempo se dice que un suelo es maduro cuando ha desarrollado un perfil que permanece sin cambios perceptibles en el futuro.

d) Los elementos climáticos que influyen en el desarrollo de un suelo son la humedad, la temperatura y el viento.

e) Por último, cierto tipo de animales influyen en el desarrollo del perfil del suelo. La vegetación muerta da lugar al humus que es la materia biológicamente más activa del suelo.

Sedimentos.

La granulometría de los sedimentos que constituyen la formación superficial permitirá o facilitará la infiltración mientras que ésta misma, en el subsuelo es la que permitirá la formación de acuíferos. Las gravas y arenas homogéneas permiten, con mayor eficiencia, la acumulación y el flujo de agua en su seno, caso contrario de los limos y las arcillas.

Isotropía y Anisotropía.

Las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, y muchos suelos, rara vez son tan uniformes en su espesor, grado de fracturamiento, porosidad y permeabilidad a todo lo largo de todo su afloramiento y su desarrollo en el subsuelo y generalmente estas propiedades varían de lugar a lugar, de acuerdo a una dirección. Con relación a esto, muchos acuíferos y acuicludos son anisotrópicos y los cálculos para predecir el flujo del agua subterránea deben utilizar valores de permeabilidad que sean apropiados para la dirección del flujo en el terreno. (Pérez, 1987).

Instrumentos para el análisis hidrogeológico

Geología de superficie.

Método directo utilizado para describir las características geológicas de una zona, a partir de la observación y medición de datos en campo, como son el litotipo, estructuras (pliegues, fallas, diaclasas), grado de meteorización y toma de muestras.

Cuando hablamos de la geología de superficie y de la geología del subsuelo, nos referimos a los métodos y al dominio de la observación. En el sentido más estricto la geología superficial se ocupa de los afloramientos de los estratos rocosos, mientras que la geología del subsuelo se ocupa de las rocas que están ocultas por aluvión, suelo y otros materiales recientes de manto. Sin embargo, en la práctica, a la geología de superficie se incorporan a veces observaciones del lecho de rocas efectuadas en fosos, trincheras, minas y pozos pocos profundos; en cambio, la geología del subsuelo descansa casi por completo sobre los datos obtenidos en pozos relativamente hondos y los generados por métodos indirectos, como son los métodos geofísicos. En los afloramientos, los caracteres de las rocas pueden observarse directamente desde cierta distancia lateral. Las discordancias, los cambios litológicos, la lenticularidad, el buzamiento y la dirección del rumbo son lugares comunes de observación. Pero las rocas en la superficie están a merced de alteraciones poderosas que dependen del tipo de roca, del clima, de la topografía y de otros factores. Además, la verdadera profundidad de la observación está determinada por la suma del relieve topográfico, mientras que la profundidad estratigráfica hasta la cual se extiende el examen está limitada por el relieve, la estructura y por las relaciones particulares entre ambos. Ha de subrayarse con énfasis que todas las relaciones que se encuentran en el subsuelo –estructurales y estratigráficas- son inferidas o inducidas, y de ahí que se hagan determinadas suposiciones para proyectar las observaciones de la superficie dentro del subsuelo. El término métodos en el campo se aplica a los procedimientos detallados punto por punto que se emplean para recoger y presentar los datos básicos obtenidos en los afloramientos. Esta fase de la investigación es vital, porque sobre ella descansan todas las conclusiones posteriores. Las mediciones sobre el terreno, los mapas y las representaciones gráficas constituyen la armazón sobre la cual se habrán de elaborar conceptos de mucho alcance. (Low, 1960).

Para los geólogos, el campo es el lugar donde las rocas y los suelos pueden ser observados en su sitio, y la geología de campo trata de los métodos que se emplean para examinar e interpretar los materiales y las estructuras del afloramiento. Los estudios de campo son los medios fundamentales para obtener conocimientos geológicos. Algunos estudios pueden ser tan simples como la vista de un afloramiento en particular, o a una cantera, tomando notas y haciendo esquemas de las relaciones entre ciertas rocas y juntando una serie de ejemplares. Para otros pueden necesitarse semanas o meses de levantamiento geológico, de muestreo sistemático y de cuidadosa integración de datos de campo y de resultados de laboratorio. **(Compton, 1962).**

El levantamiento geológico es tan indispensable en muchos estudios de campo que algunas veces se le considera como sinónimo de “geología de campo”. Los mapas se usan para medir cuerpos de roca, trazar mediciones de carácter estructural y para relacionar muchas clases de datos. Con frecuencia, permiten hacer interpretaciones de detalles que son bastante grandes para ser estudiados en afloramientos aislados. Por ejemplo, muchos pliegues y fallas solamente pueden ser descubiertos mediante levantamiento geológico, y aun cuando se les pueda ver en los afloramientos, se les debe levantar en grandes áreas para poder entenderlos. **(Compton, 1962).**

Una de las razones por la que se deben considerar muchas hipótesis en el campo es la de que no se puede visitar de nuevo los afloramientos para comprobar cada nueva idea. Por otra parte, las diferentes clases de datos pueden estar tan relacionados entre sí que deben ser analizados en conjunto para entenderlos, en consecuencia, los estudios de campo deben ser algo más que el simple levantamiento y colección de rocas o estructuras individuales. Aún, un simple ejemplar de roca carecerá de significado potencial si no se le selecciona tomando en cuenta todos los detalles asociados. **(Compton, 1962).**

El reconocimiento de campo comienza con un levantamiento preliminar que conduzca al conocimiento o a la confirmación de la geología básica de la región y a la del emplazamiento: puede emprenderse la cartografía preliminar de la estructura geológica y de los suelos y tipos de rocas. Por ejemplo el reconocimiento para un túnel haría posible localizar las probables bocas de dicho túnel, las cuales, deben estar libres de los deslizamientos de tierra, y la topografía que puede indicar la presencia de fallas como son los escarpes y los valles rectos. Los datos que deben consignarse son las rocas que están aflorando, así como los indicios de la presencia del agua subterránea. La geomorfología del emplazamiento y los cambios geográficos que han ocurrido también deben ser considerados con el fin de motivar una inspección integrada de las condiciones del terreno. (**Blyth, F. y De Freitas M., 2001**).

Sondeo Eléctrico Vertical.

Un Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) es un método de exploración indirecta que consiste en expresar una función continua de resistividad aparente (R_a) versus separación electrónica ($AB/2$), en términos de una secuencia de capas geoelectricas horizontales con espesores y resistividades definidas.

Cada unidad geoelectrica corresponde a un agrupamiento de capas, con propiedades eléctricas y espesores determinados, de manera que la resistividad de cada unidad depende principalmente de la composición granulométrica predominante en ella. Los espesores y sus correspondientes resistividades deben ser consideradas con criterios diferentes, no estrictamente geológico, ya que la interpretación geofísica, sólo es una esquematización tentativa que permite ofrecer un modelo geológico generalizado de las características físicas del subsuelo, considerándose como el más probable entre las alternativas de dicha interpretación.

El trabajo de campo consiste en la ejecución de éstos sondeos eléctricos a través de la configuración electrónica denominada Schlumberger ($MN < AB/5$).

En el tendido del SEV se induce corriente continua I (Amperios) en forma sucesiva en el subsuelo, a través de un par de electrodos llamados A y B (dipolos de emisión), conectados a tierra y con otro par de electrodos llamados M y N (dipolos de medición), colocados en tierra en la parte central del tendido, se mide el potencial V (Voltios) generado por el paso de corriente en el subsuelo. El conjunto tetraelectródico se dispone en línea recta en el terreno, manteniendo un arreglo simétrico respecto a un punto de referencia (ver figura 8).

La separación progresiva de los electrodos del dipolo de emisión, se traduce en un aumento en la profundidad de penetración de corriente, pudiéndose determinar para cada separación de electrodos la resistividad del medio detectado.

La medición sucesiva de R_a para diferentes profundidades suministra una curva de distribución de resistividades aparentes del subsuelo o curva SEV; ésta curva se interpreta mediante la aplicación de software especializado, obteniéndose como resultado los espesores y resistividades verdaderas de los diferentes estratos del subsuelo.

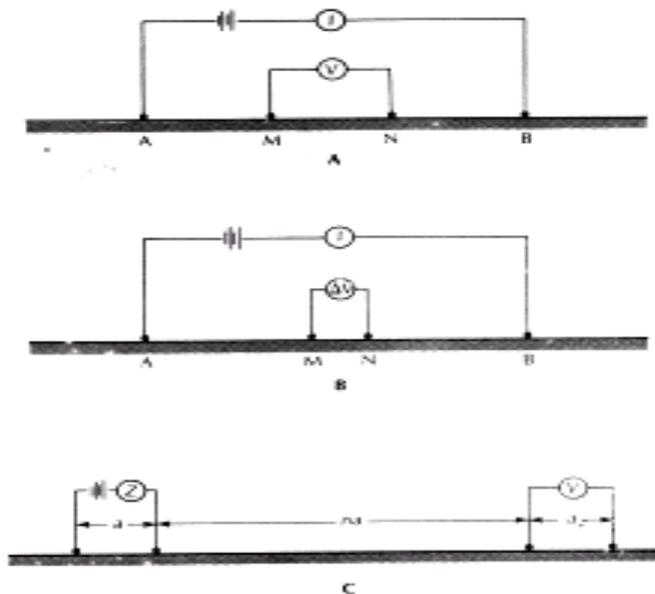


Figura 8.- Sondeo Eléctrico Vertical. Configuraciones: A.-Wegener. B.-Schumberger. C.-Dipolo-Dipolo

Los rangos de resistividades verdaderas se correlacionan con elementos litológicos, obteniéndose una sección estratigráfica del subsuelo, la cual es indicativa de las capas permeables, semipermeables e impermeables.

Al aumentar la separación de los electrodos AB, también aumenta la densidad de corriente, aumentando la profundidad de investigación. En consecuencia, la profundidad de penetración es proporcional a dicha separación, si y sólo si el medio es homogéneo e isotrópico.

La resistividad en los materiales naturales varía desde 10^{-8} en los metales nativos hasta 10^{15} en micas (perpendicularmente a la foliación).

Los valores de la resistividad en una roca están determinados más que por su composición mineralógica, por el agua que contienen, fundamentalmente por la porosidad y por la salinidad del agua (más salinidad implica mayor conductividad).

Todo esto hace que la resistividad de cada tipo de roca presente una gran variabilidad. En general, en el campo encontraremos valores de este orden (tomado de <http://web.usal.es/~javisan/hidro/temas/SEV.pdf>):

-Rocas ígneas y metamórficas inalteradas: >1000 ohm/m.

-Rocas ígneas y metamórficas alteradas, o fuertemente diaclasadas: 100 a 1000 ohm/m.

-Calizas y areniscas: 100 a más de 1000 ohm/m.

-Arcillas: 1 a 10 ohm/m.

-Limos: 10 a 100 ohm/m.

-Arenas: 100 a 1000 ohm/m.

-Gravas: 200 a más de 1000 ohm/m.

Es importante señalar que en materiales detríticos la resistividad aumenta con el tamaño de grano, por tanto, en una investigación hidrogeológica en materiales detríticos, buscaremos resistividades elevadas que indican los materiales más gruesos, mayor permeabilidad.

En rocas compactas (en general las que deben su permeabilidad a la posible figuración) buscaremos las resistividades más bajas, que indicarán las zonas en que la formación presente el mayor fracturamiento y/o alteración. En este caso también puede que las zonas o niveles de menor conductividad tampoco sean permeables si los planos de fracturamiento han sido colmatados por arcillas de alteración.

Análisis de Suelos (SUCS).

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) deriva de un sistema desarrollado por A. Casagrande para identificar y agrupar suelos en forma rápida en obras militares durante la guerra.

Este sistema divide los suelos primero en dos grandes grupos, los de grano grueso y los de grano fino. Los primeros tienen más del 50 por ciento en peso de granos mayores que 0,08 mm; se representan por el símbolo G si más de la mitad, en peso, de las partículas gruesas son retenidas en tamiz 5 mm, y por el símbolo S si más de la mitad pasa por tamiz 5 mm.

A la G o a la S se les agrega una segunda letra que describe la graduación: W, buena graduación con poco o ningún fino; P, graduación pobre, uniforme o discontinua con poco o ningún fino; M, que contiene limo o limo y arena; C, que contiene arcilla o arena y arcilla.

Los suelos finos, con más del 50 por ciento bajo tamiz 0,08 mm, se dividen en tres grupos, las arcillas (C), los limos (M) y limos o arcillas orgánicos (O).

Estos símbolos están seguidos por una segunda letra que depende de la magnitud del límite líquido e indica la compresibilidad relativa: L, si el límite líquido es menor a 50 y H, si es mayor.

Para mayor comprensión se describirá el procedimiento de clasificación:

Procedimiento de Clasificación de Suelos de granos gruesos (más de 50% retenido en 0,08 mm)

Una vez efectuados los ensayos de clasificación, se determina la distribución acumulativa de los tamaños de las partículas y se clasifica la muestra como grava (G) si el 50%, o más de la fracción gruesa ($> 0,08$ mm) es retenida en tamiz 5 mm; se clasifica como arena (S) si más del 50% de la fracción gruesa ($> 0,08$ mm) pasa por tamiz 5 mm.

Si más que el 12%, en peso, de la muestra de ensayo pasa por 0,08 mm, se los límites de consistencia (límite líquido (LL) e índice de plasticidad (IP)) mediante la línea "A" de la carta de plasticidad, ver figura 7) y con base en estos límites se clasifica:

a) Grava limosa (GM), o arena limosa (SM), si los resultados de los límites de consistencia muestran que los finos son limosos, es decir, si al dibujar LL versus IP, este punto cae bajo la línea "A" o el IP es menor que 4.

b) Grava arcillosa (GC), o arena arcillosa (SC), si los finos son arcillosos, es decir, si al dibujar el w, versus IP, cae sobre la línea "A" y el IP es mayor que 7.

c) Si el punto del límite líquido versus índice de plasticidad cae prácticamente en la línea "A" o está sobre esta línea, pero el índice de plasticidad está comprendido entre 4 y 7, dé clasificación doble tal como GM-GC o SM-SC.

Procedimiento de clasificación de suelos de granos finos (50% o más pasa por 0,08 mm)

Se clasifica el suelo como una arcilla inorgánica (C), si al dibujar el punto del límite líquido versus índice de plasticidad, éste cae sobre la línea "A" y el índice de plasticidad es mayor que 7.

Si el límite líquido es menor que 50 y el punto LL versus IP cae sobre la línea "A" y el IP es mayor que 7, se clasifica el suelo como arcilla inorgánica de baja a media plasticidad (CL), y como arcilla de alta plasticidad (CH) si el Limite Líquido es mayor que 50 y el punto LL versus IP cae sobre la línea A (Carta de plasticidad figura 9). En caso que el límite líquido exceda a 100 o el IP exceda a 60, se expande la carta de plasticidad manteniendo las mismas escalas y pendiente de la línea "A".

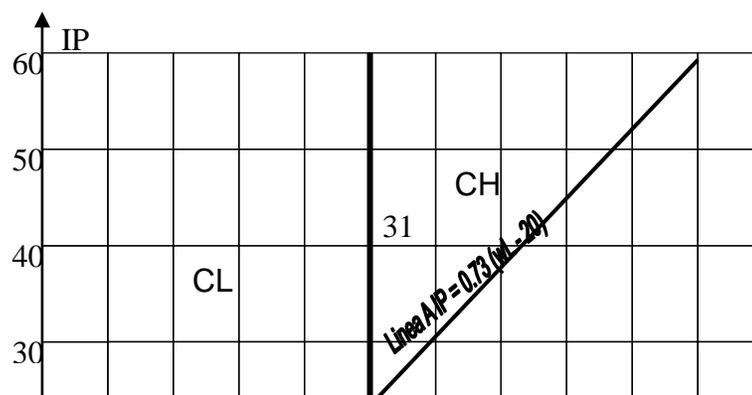


Figura 9.- Carta de Plasticidad. Tomado de
<http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/uscsM2.htm>

Se clasifica el suelo como limo inorgánico (M), si al dibujar el punto LL versus IP cae bajo la línea "A" o el IP es menor que 4, a menos que se sospeche que hay materia orgánica presente en cantidades suficientes como para influir en las propiedades del suelo (suelo de color oscuro y olor orgánico cuando está húmedo y tibio), en cuyo caso se debe efectuar un segundo límite líquido con la muestra de ensayo secada al horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas.

El suelo se clasifica como limo inorgánico de baja plasticidad (ML), o como limo o limo arcilla orgánicos de baja plasticidad (OL), si el límite líquido es menor que 50 y al dibujar LL versus IP cae bajo la línea "A" o el IP es menor a 4.

Se clasifica el suelo como limo inorgánico de media a alta plasticidad (MH), o como una arcilla u limo arcilla orgánico de media a alta plasticidad (OH), si el LL es mayor que 50 y el punto dibujado de LL versus IP cae bajo la línea "A" o el IP es menor a 4.

Con el fin de indicar sus características de borde, algunos suelos de grano fino deben clasificarse mediante simbología doble. Si el punto dibujado del LL versus IP

cae prácticamente en la línea "A" o sobre la línea "A" donde el Índice de Plasticidad tiene un rango de 4 a 7, el suelo debe tener clasificación doble tales como CL-ML o CH-OH. Si el punto dibujado de LL versus IP cae prácticamente en la línea del límite líquido igual a 50, el suelo deberá tener clasificación doble tales como CL-CH o ML-MH. En casos dudosos la regla de clasificación favorece al más plástico. Por ejemplo, un suelo fino con un LL=50 y un índice de plasticidad de 22 se deberá clasificar como CH-MH en lugar de CL-ML.

A continuación se muestran los cuadros de clasificación de suelos según el SUCS para finos (tabla 4 y gruesos (tabla 5):

SISTEMA CLASIFICACION SUCS			
FINOS (≥ 50 % pasa 0.08 mm)			
Tipo de Suelo	Símbolo	Lim. Liq.	Indice de Plasticidad * IP
Limos Inorgánicos	ML	< 50	< 0.73 (LL - 20) ó < 4
	MH	> 50	< 0.73 (LL - 20)
Arcillas Inorgánicas	CL	< 50	> 0.73 (LL - 20) y > 7
	CH	> 50	> 0.73 (LL - 20)
Limos o Arcillas Orgánicos	OL	< 50	** LL seco al horno ≤ 75 % del LL seco al aire
	OH	> 50	
Altamente Orgánicos	P ₁	Materia orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente.	
Si $IP \cong 0.73 (LL - 20)$ ó si IP entre 4 y 7 E $IP > 0.73 (LL - 20)$, usar símbolo doble: CL-ML, CH-OH			
** Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente LL seco al horno			
En casos dudosos favorecer clasificación más plástica Ej: CH-MH en vez de CL-ML.			
Si LL = 50; CL-CH ó ML-MH			

Tab
la 4-Sistema
de
Clasificación
SUCS (a).
Tomado de
[http://www.
ucn.cl/Facultades/Instituto
s/laboratorio
/ucsm2.htm](http://www.ucn.cl/Facultades/Instituto%20de%20Investigaciones%20en%20Ciencias%20de%20la%20Tierra%20y%20Ambiente/laboratorio/ucsm2.htm)

Tabla 5.-Sistema de clasificación SUCS (b). Tomado de <http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/uscsM2.htm>

SISTEMA CLASIFICACION SUCS						
GRUESOS (< 50 % pasa 0.08 mm)						
Tipo de Suelo	Símbolo	% RET 5 mm.	% Pasa 0.08 mm.	CU	CC	** IP
Gravas	GW	? 50% de lo Ret. En 0.08mm	< 5	> 4	1 a 3	
	GP			≤ 6	<16>3	
	GM		> 12			< 0.73 (LL-20) ó <4
	GC					> 0.73 (LL-20) ó >7

Análisis físico-químico de aguas.

Los análisis físico-químicos de las aguas se realizan con el fin de determinar su posible uso en beneficio de las actividades humanas, entre los cuales se tienen:

- a) Uso doméstico.
- b) Riego.
- c) Industria.
- d) Sanitario.

En algunos casos, las características físico-químicas del agua no permiten que sea utilizada en ninguno de los aspectos anteriormente enumerados.

Siempre que se quiera evaluar el potencial de las aguas subterráneas, en una zona determinada, es necesario incluir dentro de los estudios a realizar, los análisis físico-químicos de las muestras de agua, ya que a través de estos se pueden estimar las alternativas factibles sobre el uso de las aguas.

A partir del estudio apropiado de los resultados obtenidos, esto pasa a formar parte del conjunto de factores (herramientas) que permitirán establecer el comportamiento del agua.

TSD y físico-químico.

La concentración de los constituyentes disueltos puede utilizarse para clasificar las aguas subterráneas tal como se muestra en las tablas 5 y 6. La concentración iónica puede expresarse como el TSD el cual se mide en partes por millón (ppm), así, la fórmula general es: $TSD = (\text{gramos de soluto}) / (\text{gramos de solución} \times 10^6)$. A causa de que el agua subterránea es una solución iónica, o sea un electrolito, su conductividad eléctrica refleja la concentración iónica.

La calidad del agua subterránea se afecta por el período de su contacto con el terreno. El agua connota que puede haber estado en el terreno por muchos millones de años, tiene un alto TSD, el cual es conocido como *salmuera*. El agua que circula muy cerca de la superficie del terreno se mueve más rápidamente en las fisuras que en los poros, y generalmente es *dulce*.

La calificación de una fuente de agua para el consumo humano debe satisfacer una serie de requerimientos que han venido siendo objeto de normalización por parte de organismos internacionales tales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Oficina Sanitaria Panamericana (OSP), las cuales han servido de marco referencial para las normas vigentes en nuestro país (Díaz Q. Armando, 1995)

Tomando en cuenta el artículo 14 de la Gaceta Oficial de la República de Venezuela, de fecha 13 de febrero de 1998, Número 36395, se consideran los límites tolerantes para consumo humano, los siguientes (tablas 6, 7 y 8):

Tabla 6.- Componentes relativos a la calidad de organolépticos del agua potable

(tomado de Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 13 de febrero de 1998, Número 36395)

Componente o característica	Unidad	Valor deseable menor a (ppm)	Valor máximo aceptable (a) (ppm)
Color Real	Upt.Co (b)	5	15 (25)
Turbidez	NTU (c)	1	5 (10)
Olor o sabor	--	aceptable para la mayoría de los consumidores	
TSD	mg/L	600	1000
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	250	500
Ph	--	6.5 a 8.5	9.0
Cloruro	mg/L	250	300
Sulfato	mg/L	250	500

(a) Los valores entre paréntesis son aceptados provisionalmente en casos excepcionales, plenamente justificados ante la autoridad sanitaria.

(b) Upt.Co: Unidad platino-cobalto.

(c) NTU: Unidades Nefelométricas de turbidez.

Tabla 7.- Componentes inorgánicos

(tomado de Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 13 de febrero de 1998, Número 36395)

Componentes	Valor máximo aceptable (mg/L)
Nitrato (NO ₃ ⁻)	45.0 (a)

Nitrito (NO ₂ -)	0.03 (a)
Calcio	200
Magnesio	125
Fluoruros	(b)

(a) La suma de la razones entre la concentración de cada uno (nitrito y nitrato) y su respectivo valor máximo aceptable no debe ser mayor a la unidad.

(b) El contenido de flúor como ión fluoruro F⁻ se fijará de acuerdo con el promedio anual de temperatura máxima del aire en °C, según la Tabla 8 siguiente:

Tabla 8.- Valores límites recomendables para el contenido de Fluoruro en mg/L
(tomado de Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 13 de febrero de 1998, Número 36395)

Promedio anual de temperatura máxima del aire en °C	Límite inferior	Límite Óptimo	Límite Superior
10.0 a 14.0	0.8	1.1	1.5
14.0 a 17.6	0.8	1.0	1.3
17.7 a 21.7	0.7	0.9	1.2
21.5 a 26.2	0.7	0.8	1.0
26.3 a 32.0	0.6	0.7	0.8

Conductividad.

Es una medida de la habilidad que tiene una solución para conducir la corriente eléctrica. La unidad de medición es el micro siemen/centímetro. El agua químicamente pura es un conductor muy pobre y puede considerarse como un aislante. Las aguas naturales, que tienen diferentes tipos de sales disueltas, tienen una conductividad marcadamente superior a la del agua pura. La conductividad eléctrica aumenta con la concentración de sales disueltas y con la temperatura.

Ph.

Logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno de una solución (expresada en mol por litro). El Ph neutro es de 7, valores menores de esta cifra son ácidos, y los valores mayores son básicos (para ver los valores deseables y máximo aceptable de ph para estudio de agua véase la tabla 6).

El Sistema de Clasificación Unificada de Rocas (URCS).

El Sistema de Clasificación Unificada de Rocas (URCS) fue desarrollado originalmente por Williamson en 1960 y luego redefinido por Williamson y Kuhn, en 1988 se fundamenta en el grado de meteorización, la estimación de la resistencia y los elementos planares y lineales.

El grado de meteorización.

Este Sistema de Clasificación evalúa el perfil de meteorización tomando solo en cuenta la meteorización química y establece cinco categorías, a saber:

- a) Estado micro fresco (MFS).
- b) Estado visualmente fresco (VFS).
- c) Estado decolorado (STS).
- d) Estado parcialmente descompuesto (PDS).
- e) Estado completamente descompuesto (CDS)

- a) Estado micro fresco (MFS).

Se refiere a una condición en la cual los agentes meteóricos aun no han actuado sobre ninguno de los minerales que constituyen la roca y la determina directamente el geólogo en el campo con la lupa de mano.

b) Estado visualmente fresco (VFS).

En este caso nos referimos a un grado de meteorización incipiente, en la cual los agentes químicos han comenzado a ejercer su acción sobre algunos de los minerales, los más vulnerables, y se establece mediante la simple observación visual de la roca, ya que el material presenta una coloración uniforme, con matices entre gris, verde, azul o negro, pero si apelamos a la lupa de mano, vamos a detectar evidencias del inicio del proceso de alteración química, sobre todo en las superficies de discontinuidad. Sin embargo, desde el punto de vista de sus propiedades geotécnicas, éstas se siguen manteniendo dentro de los rangos máximos.

c) Estado decolorado (STS).

Esta condición se refiere a un grado más avanzado de meteorización, por lo que el material rocoso presenta decoloración total o parcial, debido a la oxidación, pero que no puede desagregado y suele presentar tonalidades amarillas a marrón. En esta condición las propiedades geotécnicas ya muestran un deterioro con relación a los estados precedentes.

d) Estado parcialmente descompuesto (PDS).

Se refiere a un grado de meteorización tan avanzado que el material puede ser desagregado a grava, arena, limo y arcilla o a mezclas de dos o más rangos de tamaño con la simple presión de los dedos. De hecho, más de la mitad de la roca está descompuesta o desintegrada a suelo, por lo que puede ser tipificado según el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos.

Estado completamente descompuesto (CDS).

En este caso, el proceso de meteorización ha avanzado hasta el grado de que todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado, pudiendo ser desagregado con los dedos para producir un material con tamaños de arena, limo y arcilla, sin fragmentos con tamaño de grava o mayores. Es significativo que las

estructuras originales del macizo se mantienen intactas. Esta condición se correlaciona con lo que usualmente se denomina *roca descompuesta*.

Estimación de la Resistencia

La estimación de la resistencia se refiere al grado de cementación o de adhesión entre los granos minerales lo cual define la resistencia fundamental de la roca, independientemente de los elementos planares o lineales.

Se identifican cuatro reacciones diferentes cuando se golpea la roca con un martillo de cabeza redondeada de 450 g, independientemente de la intensidad del golpe, dentro de los rangos implícitos al esfuerzo humano. Tales reacciones tienen las siguientes denominaciones:

- a) Calidad de rebote (RQ).
- b) Calidad de fragmentación (PQ).
- c) Calidad de dentada (DQ).
- d) Calidad de cráter (CQ).
- e) Calidad moldeable (MBL).

a) Calidad de Rebote (RQ).

En este caso, la roca se comporta como un material frágil y elástico en un sentido mecánico de tal forma que la reacción al impacto del martillo consiste en que éste rebota sin causar daño alguno a la roca. Esta condición tiene una resistencia a la compresión sin confinar estimada en más de 103 Mpa. En términos de usos prácticos, esta condición produce materiales que pueden emplearse como agregados para carreteras, sin embargo presentan el problema de generar fragmentos con bordes afilados debido a la fragilidad. Requiere de explosivos para su remoción

b) Calidad de fragmentación (PQ).

En esta categoría se produce una fragmentación de los granos de la roca en el sitio del impacto, generando una depresión pequeña, irregular y poco

profunda. La resistencia a la compresión sin confinar estimada varía entre 55 y 103 Mpa y se le considera como una roca dura a los fines de la industria de la construcción y también produce agregados para carreteras. También requiere de explosivos para su remoción.

c) Calidad dentada (DQ).

En este caso se produce una cavidad o depresión de forma dentada en el sitio del impacto e implica la presencia de espacios porosos entre los granos que constituyen la roca. La resistencia a la compresión simple se ha estimado entre 21 y 55 Mpa y se le considera aproximadamente equivalente a la del concreto.

d) Calidad de Cráter (CQ).

Bajo esta condición se produce en el sitio del impacto un flujo de material formando una depresión similar a la forma de un cráter lunar. Tiene una resistencia a la compresión sin confinar estimada entre 7 y 21 Mpa. Cuando es perforado por rotación suele producir núcleos rocosos, tiene una apreciable capacidad de absorción y produce materiales pobremente drenables para terraplenes, y no se le suele usar como agregado en carreteras.

e) Calidad moldeable (MBL).

Esta calidad se presenta cuando un material visualmente similar a una roca puede ser remodelado por la presión de los dedos. Se le estima una resistencia a la compresión menor de 7 Mpa, lo cual se puede hacer determinando los valores o índices de consistencia de Atterberg. El material puede ser examinado y ensayado tal como si fuese un suelo y se le puede asignar una clasificación dual. Usualmente no se le recupera con perforaciones a rotación, pero puede ser fácilmente excavado con maquinaria convencional.

Elementos planares y lineales.

Las debilidades direccionales de los macizos rocosos suelen denominarse características planares y lineales, las cuales usualmente requieren del uso de las voladuras o de medios mecánicos intensos para lograr el fracturamiento. Se les define en términos de la continuidad, superficie y forma de la muestra intacta entre las discontinuidades y se han establecido cinco categorías a saber:

- a) Rotura de sólido Random.
- b) Rotura de sólido preferencial.
- c) Planos latentes de separación.
- d) Planos de separación en dos dimensiones.
- e) Planos de separación en tres dimensiones.

a) Sólido de Rotura de Random.

Representa una condición ideal en la cual no existen los efectos de los elementos planares y lineales y la resistencia de la muestra intacta igual a la del macizo rocoso.

b) Sólido de rotura preferencial.

Se presenta cuando no existen elementos planares o lineales, pero el material tiende a romperse a lo largo de un ángulo o una dirección constante, debido al alineamiento de los granos minerales o de esfuerzos internos. Es una condición significativa para evaluar la producción de agregados para carreteras.

c) Planos latentes de separación.

Se define por la presencia de alineamientos minerales visibles. Se reconocen como líneas o lineaciones en el macizo rocoso y pueden ser más fuertes o más débiles que el macizo mismo. Tales planos ocurren según un patrón, pueden ser continuos o discontinuos y de espesor variable. La reacción de un plano latente a una fuerza aplicada, tal como el golpe del martillo, definirá la resistencia estimada.

En todos los casos, la resistencia del material en el plano latente de separación es mayor de 7 Mpa. Cuando se les aplica voladura, la rotura se producirá preferencialmente a lo largo dichos planos.

d) Planos de separación en dos dimensiones.

Los planos de separación en dos dimensiones indican la presencia de un plano paralelo o de una serie de planos paralelos a través del macizo rocoso. Las separaciones planares pueden variar en espaciamiento y frecuencia pero no se intersectan. La posición y la superficie del o de los planos son motivo de consideraciones fundamentales para el análisis de los mismos. Se puede establecer la circulación de agua entre los planos mediante perforaciones o por la presencia de manantiales naturales.

e) Planos de separación en tres dimensiones.

Los planos de separación en tres dimensiones indican la presencia de dos o más discontinuidades planares intersectándose a través del macizo rocoso. Tales discontinuidades en su ocurrencia pueden presentar un patrón random. Muchas de ellas terminan contra el macizo rocoso, otras lo cortan enteramente y se consideran elementos infinitos a los fines del diseño. Esas tres dimensiones definidas por planos definen una figura que frecuentemente se denomina “un bloque definido por diaclasas”, cuyo tamaño y peso pueden ser estimados. El grado de cementación entre tales bloques define el factor para definir su capacidad portante, en el caso de fundaciones, o su estabilidad, en el caso de excavaciones. Si se presentan planos de separación numerosos, su posición con respecto al talud a construir será uno de los factores de mayor relevancia que habrá de considerarse. En este caso, también es importante determinar la presencia o no de flujos de agua o la posibilidad de su ocurrencia. La tabla 8 muestra el sistema de notación que genera este sistema de clasificación:

Tabla 9.- Notación para el URCS (tomado de <http://epubl.ltu.se/1402-1757/2004/72/LTU-LIC-0472-SE.pdf>)

Notación para el Sistema de Clasificación Unificada de Rocas		
Símbolo de las Categorías	Abreviación	Significado
Grado de Meteorización		
A	MFS	Estado micro fresco, con ayuda de una lupa de mano
B	VFS	Estado visualmente fresco
C	STS	Estado decolorado
D	PDS	Estado parcialmente descompuesto
E	CDS	Estado completamente descompuesto
Estimación de la Resistencia		
A	RQ	Reacción de rebota ante los golpes del martillo
B	PQ	Fragmentación ante los golpes del martillo
C	DQ	Cavidad dentada ante los golpes del martillo
D	CQ	Cráter con los golpes del martillo
E	MBL	Puede ser remodelada con la presión de los

		dedos
Elementos lineales y planares		
A	SRB	Sólido con rotura random
B	SPB	Sólido de rotura preferencial
C	LPS	Planos de separación latentes
D	2-D	Planos de separación en dos dimensiones
E	3-D	Planos de separación en tres dimensiones

La notación AAA indica condiciones de roca que requieren el mínimo de evaluación, la notación EEE indica una condición de roca que requiere evaluación.

RQD (Rock Quality Designation).

El índice RQD (Rock Quality Designation) desarrollado por Deere entre 1963 y 1967, se define como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud (en su eje) sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación respecto de la longitud total del sondeo. El RQD es un parámetro geotécnico que nos da una idea general de la fracturación del macizo. El RQD se puede calcular en campo de varias formas:

- Midiendo y sumando el largo de todos los trozos de testigo mayores que 10 cm en el intervalo de testigo, recuperado en una perforación a rotación con diámetro mínimo NX y dividiendo la sumatoria entre la longitud avanzada, si esa longitud fuese de 1.5 m, contando únicamente las discontinuidades naturales del testigo, la sumatoria de estos trozos se expresarán en porcentaje del intervalo de 1.5 m, la fórmula matemática sería la siguiente:

$$RQD\% = \sum \text{Trozos} > 10 \text{ cm} / 150\text{cm}.$$

- Cálculo del RQD se hace en función del número de fisuras, por metro cúbico (ésta fue la forma que se utilizó en campo, ya que en la otra forma expuesta se necesitan testigos de perforación, elemento que esta investigación no posee). La fórmula matemática es la siguiente:

$$RQD = 115 - 3.3 (J_v)$$

Siendo:

J_v = Número de fisuras por metro cúbico.

Deere propuso la siguiente relación entre el valor numérico RQD y la Calidad de la roca desde el punto de vista en la Ingeniería (tomado de <http://epubl.ltu.se/1402-1757/2004/72/LTU-LIC-0472-SE.pdf>):

RQD Calidad de la roca	
< 25%	Muy mala
25 - 50 %	Mala
50 - 75 %	Regular
75 - 90 %	Buena
90 - 100 %	Excelente

En la medida en que el RQD arroje valores más bajos, indicará que el macizo rocoso estará más apto para permitir la infiltración de agua en la zona; de ésta forma, se podrán mapear los lugares con más probabilidades de infiltración de agua, además que éste parámetro permite ubicar las áreas más fracturadas y próximas a zonas de falla desde el punto de vista geológico.

Geología Regional.

Evolución de la cordillera.

En el límite entre el mioceno inferior y el medio, el Plateau Caribe forma con su paso, a través del margen norte de la placa suramericana, un sistema de fallas dextrales; Oca-Ancon – San Sebastián – El Pilar. Esta configuración activa es la responsable, desde entonces, de la génesis del sistema de la cordillera de la costa.

en el plioceno (5-3 m.a.) aparece el bloque Bonaire definido por la subducción de ángulo bajo con componente dextral, que generó el arco de las antillas menores.

El sistema de fallas descrito en la bibliografía de la zona, está asociado a la falla san Sebastián. Aunque todas las formaciones del lugar presenten edades del mesozoico, éstas han sufrido importantes cambios metamórficos a partir de esta configuración.

La cordillera de la costa se extiende por los estado Yaracuy, Carabobo, Miranda, Aragua, Vargas y el Distrito Capital. En ella se encuentra un importante yacimiento de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. En este capítulo se realizara un esbozo de las facies litológicas más cercanas al área de estudio. Estas facies litológicas son las siguientes:

Complejo Ávila:

Formación Peña de Mora

Formación San Julián.

Fase Nirgua.

Fase Tacagua.

Fase Antimano

Grupo Caracas:

Formación Las Brisas.

Formación Las Mercedes.

Formación Chuspita.

COMPLEJO ÁVILA

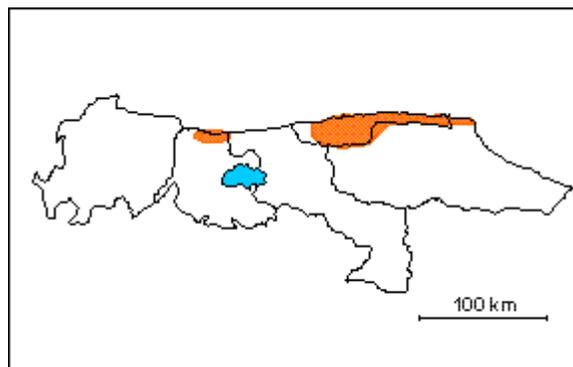


Figura 10.- Complejo Ávila. tomado de PDVSA, S.A. (1996) Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela.

PRE - MESOZOICO

Distrito Federal y estados Miranda, Aragua y Carabobo

Referencia original: F. Urbani y M. Ostos, 1989, p. 207.

Localidad tipo: En nombre procede del macizo de El Ávila localizado al norte de Caracas y la localidad tipo es la quebrada San Julián al sur de Caraballeda, donde existen buenos afloramientos tanto de los esquistos que se asignan al Esquisto de San Julián, como de los gneises y augengneises que se asignan al Augengneis de Peña de Mora.

Descripción litológica: Las litologías más resaltantes de este complejo son los gneises graníticos (Augengneis de Peña de Mora), los cuales están rodeados de esquistos (Esquisto de San Julián). La distinción en el campo entre Peña de Mora y San Julián es usualmente fácil, pero en algunas ocasiones las litologías típicas de ambas unidades se intercalan con espesores variables desde pocos centímetros hasta de varios metros, haciendo difícil la cartografía. Como ejemplo de estas intercalaciones, los autores del nombre señalan al río Aguas Calientes (aguas arriba del Pozo del Cura) al sur del pueblo de Caruao, Distrito Federal. Para una descripción más detallada véase a: Augengneis de Peña de Mora y Esquisto de San Julián.

Las rocas están metamorfizadas en la facies de los esquistos verdes, zona de la biotita y el almandino, pero hay algunas evidencias que apuntan a que previamente hayan estado sujetas a una fase metamórfica de mayor grado.

Extensión geográfica: Su cartografía se ha extendido desde la zona de Caracas, hasta el estado Carabobo al oeste, y hasta Cabo Codera al este, Miranda (Urbani *et al.*, 1989a, 1989b, 1989c).

Contactos: Los contactos del Complejo Ávila con las rocas del Complejo la Costa al norte, son de falla, tanto de ángulo alto como de corrimientos, mientras que en el flanco sur, usualmente están en contacto con fallas de ángulo alto con las rocas del Grupo Caracas.

Edad: Las edades disponibles obtenidas por isócronas de roca total Rb - Sr, apuntan a una edad Paleozoico - Precámbrico a saber: Augengneises de la localidad de Peña de Mora y Chichiriviche con 1560 ± 83 m.a. (Ostos *et al.*, 1988), gneises y esquistos de la quebrada San Julián con 220 ± 20 y 270 m.a. respectivamente (Kovach *et al.*, 1979, reinterpretado por Urbani, 1982), Gneis de Cabriales al norte de Valencia con 264 ± 4 m.a. (Urbani, 1989), y Granito de Guaremal en la autopista Valencia - El Palito con 403 ± 6 m.a. (Urbani, 1983, 1987).

Fig. C2.- MAPA GEOLOGICO SIMPLIFICADO DE LA ZONA DE PUERTO CRUZ - TACAGUA, D.F.

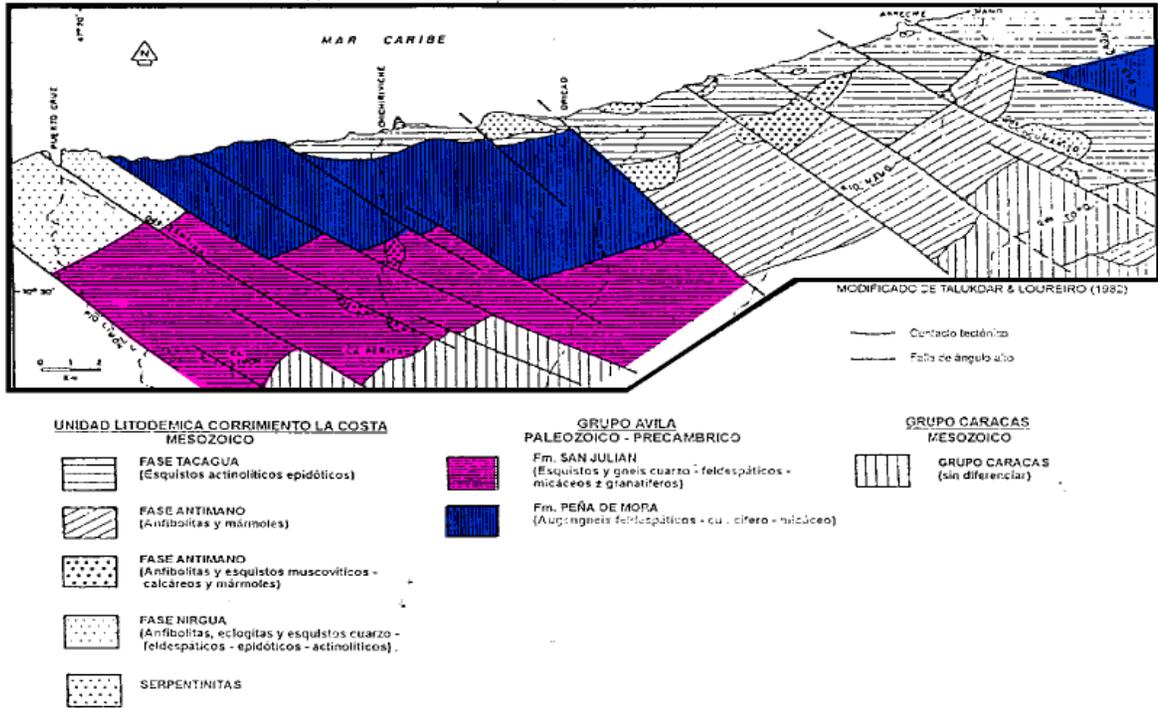


Figura 11.- Mapa geológico simplificado de la zona Puerto Cruz-Tacagua, D.F. tomado de PDVSA, S.A. (1996) Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela.

FASE NIRGUA

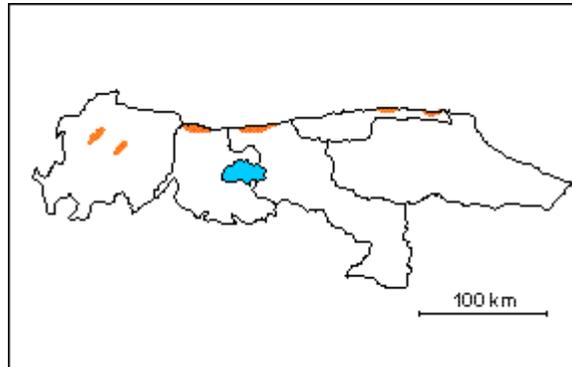


Figura 12.- Fase Nirgua. tomado de PDVSA, S.A. (1996) Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela.

MESOZOICO

Estado Yaracuy

Referencia original: A. Bellizzia y D. Rodríguez, 1967, p. 262.

Localidad tipo: Fue señalada como el río Nirgua sin mayores detalles de localización, igualmente señalan buenas secciones expuestas en los ríos y quebradas que disectan las serranías de Aroa, Santa María, Nirgua - Tucuragua, estado Yaracuy. Hoja 6446, escala 1:100.000, Cartografía Nacional.

Descripción litológica: Los autores originales incluyen en esta unidad a variados tipos litológicos como: esquisto cuarzo - micáceo, micáceo - grafitoso, mármol masivo, anfibolita eclogítica, anfibolita epidótica y granatífera, cuarcita, esquisto y gneis cuarzo - micáceo - feldespático. Las rocas carbonáticas se presentan en forma de lentes o capas bastante continuas, bien expuestas en la carretera Nirgua - Chivacoa, estado Yaracuy. El mármol masivo y recristalizado es de color gris oscuro, con calcita (85%), muscovita (4), grafito (3) y cantidades menores de clinozoisita, zoisita, albita, pirita, prehnita, clorita y cuarzo. Algunos pequeños cuerpos de mármol dolomítico se presentan asociados a bandas de esquisto cuarzo - tremolítico, cuarzo -

muscovítico - clorítico - granatífero y anfibolita. Rodríguez y Bellizzia (1968, 1976) describen cinco tipos diferentes de rocas anfibólicas. Morgan (1966, 1968, 1969, 1970, 1971) presenta una descripción detallada de las rocas eclogíticas en la zona de Taborda - Puerto Cabello, estado Carabobo. Bellizzia y Rodríguez (1976) incluye en esta unidad a dos horizontes de yeso que se encuentran en la serranía de Aroa, si bien se desconocen las relaciones con las rocas circundantes. Ostos (1981) en el macizo de El Ávila, Distrito Federal, menciona la presencia de anfibolita granatífera, esquisto actinolítico, anfibolita epidótica, anfibolita feldespática, epidocita, mármol cuarcífero, esquisto feldespático - muscovítico y gneis feldespático. En la zona de Oricao - Chichiriviche - Puerto Cruz, Distrito Federal y estado Aragua, Talukdar y Loureiro (1982) y Ostos (1990, p. 53) indican que esta Fase está constituida por anfibolita granatífera, serpentinita, esquisto cuarzo - granatífero- feldespático - biotítico, mármol cuarcífero, en otros lugares encuentra cuarcita y esquisto graucofánico. Las anfibolitas y los esquistos tiene porfidoblastos de granate de hasta 1 cm de diámetro. Las rocas pueden haber pasado por dos etapas metamórficas, una primera de alta relación P/T (facies de eclogita) y posteriormente de baja relación P/T de la facies de los esquistos verdes.

Extensión geográfica: Aflora como una extensa franja desde la zona de Chivacoa en el estado Yaracuy, continuando hacia la zona de Morón - Puerto Cabello, estado Carabobo, prolongándose como una estrecha franja casi paralela a la costa, por el estado Aragua y culminando cerca del poblado de La Sabana en el Distrito Federal.

Contactos: Al sur de Chichiriviche, Distrito Federal, Ostos (1990) interpreta un contacto de falla de corrimiento con el Augengneis de Peña de Mora. Urbani *et al.* (1989-a, b) igualmente interpretan como tectónicos los contactos de esta unidad, con aquellas adyacentes.

Edad: Todos los autores que ha han estudiado la ubican como de probable edad Mesozoica.

FASE TACAGUA

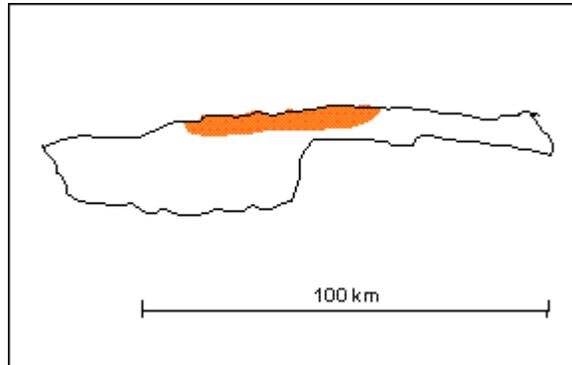


Figura 13.-Fase Tacagua. tomado de PDVSA, S.A. (1996) Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela.

JURASICO – CRETACICO

Distrito Federal

Referencia original: G. Dengo, 1951, p. 66.

Localidad tipo: En la quebrada Tacagua, al norte de su intersección con la quebrada Topo, Distrito Federal. Hoja 6847, escala 1:100.000, Cartografía Nacional.

Descripción litológica: En la localidad tipo y en los afloramientos en la zona costera del litoral central, se encuentra una asociación de esquistos albitico - calcítico - cuarzo - micáceo - grafitoso, de color gris oscuro, semejantes a aquellos descritos como típicos de la Formación Las Mercedes, intercalados concordantemente con esquistos de color verde claro, constituido por cuarzo, albita, minerales del grupo del epidoto, así como clorita y muscovita, también se ha descrito que contienen cantidades menores o trazas de hematita, calcita, pirita, anfíbol y granate; adicionalmente se han reportado cuerpos de anfibolita epidótica (resumen en González de Juana *et al.*, 1980, p. 318). El carácter distintivo de esta fase es la alternancia de rocas esquistosas grises oscuras y verdes claro.

Extensión geográfica: La franja de afloramientos costeros de esta Fase se extiende desde Oricao hasta Naguayá, Distrito Federal, con un ancho medio de unos 2 km. En la zona de la localidad tipo, los afloramientos se extienden casi paralelamente al valle de la quebrada Tacagua, desde Mamo hasta cerca del Viaducto 1 de la Autopista Caracas - La Guaira.

Contactos: Dengo (1951) menciona que en la localidad tipo se encuentra en contacto transicional con la infrayacente Formación Las Mercedes, mientras que Urbani y Ostos (1989) y Ostos (1990, p. 101) indican contactos tectónicos con unidades tales como: Esquisto de San Julián y Augengneis de Peña de Mora del Complejo Avila, y con las fases Antímamo y Nirgua del mismo Complejo La Costa.

Edad: En base a los modelos tectónicos de Talukdar y Loureiro (1982) y Navarro *et al.* (1988), y la escasa información paleontológica (Urbani *et al.*, 1989) disponible, es probable que esta Fase sea del Cretácico Tardío, pero a falta de más información preferimos considerarla como Jurásico - Cretácico, sin diferenciar.

Correlación: Smith (1952) la consideró correlacionable con parte de su Formación Paracotos. Igualmente las rocas verdes de Tacagua se han comparado litológicamente con las metavolcánicas de la Formación Copey, en la península de Araya - Paria.

FASE ANTIMANO

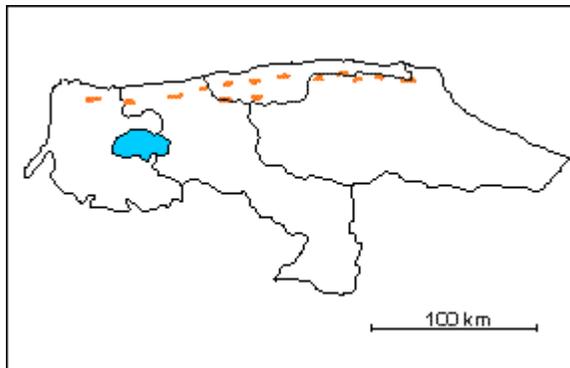


Figura 14.- Fase Antímmano. tomado de PDVSA, S.A. (1996) Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela.

CRETACICO(?)

Distrito Federal y estados Miranda, Aragua y Carabobo

Referencia original: G. Dengo, 1951, p. 63-64.

Localidad tipo: Dengo (1951) establece la localidad tipo a 0,5 km al norte de Antímmano, Distrito Federal (Hoja 6847, escala 1:100.000, Cartografía Nacional), cuyos afloramientos hoy en día están totalmente cubiertos por el urbanismo de la ciudad de Caracas. Muy buenos afloramientos aún están visibles en las canteras de la quebrada Mamera.

Descripción litológica: Dengo (1951) describe esta Formación como un mármol masivo de grano medio, color gris claro, con cristales de pirita, alternando con capas de esquistos cuarzo micáceos, y asociadas con cuerpos concordantes de rocas anfibólicas, algunas con estructuras de "boudinage". El mármol está formado de un 85-95% de calcita, con cantidades menores de cuarzo detrítico, muscovita (2,5%), grafito (2,5%) y pirita (2%).

Dengo (1950) describe con detalle las anfibolitas glaucofánicas de esta Formación, incluyendo análisis químicos, indica que los mármoles son rocas estructuralmente competentes en relación a los esquistos que las rodean, pero incompetentes en relación con las rocas anfibólicas, mostrando pliegues de flujo alrededor de ellas y resultando así la estructura de "boudinage".

En la región del Camino de los Españoles, Parque Nacional El Avila, Ostos (1981) describe su Unidad de esquisto cuarzo-muscovítico y mármol cuarcífero equivalente a esta Fase, encontrando los siguientes tipos litológicos: esquisto cuarzo-muscovítico, mármol y esquistos calcáreos, esquisto cuarzo-feldespatico y feldespatico, cuarcita muscovítica-feldespatica, epidocita y glaucofanita granatífera.

En la cartografía geológica de la zona de Puerto Cruz-Mamo, Talukdar y Loureiro (1982) reconocen su Unidad de anfibolitas y mármoles, que posteriormente Urbani y Ostos (1989) la denominan como Fase Antímamo, allí ocurre la asociación de anfibolita, mármol, esquisto calcáreo-muscovítico ± grafitoso, esquisto cuarzo-muscovítico ± granatífero, esquisto cuarzo-muscovítico-glaucofánico-granatífero.

En la zona de El Palito, estado Carabobo, Urbani *et al.* (1989) mencionan la asociación de anfibolita granatífera-clinopiroxena, anfibolita granatífera, eclogita, anfibolita epidótica-plagioclásica, mármol, cuarcita y esquisto cuarzo-plagioclásico-muscovítico.

Ostos (1990) describe algunas de las rocas máficas de esta Fase aflorantes en la sección Chichiriviche-Colonia Tovar, siendo anfibolita granatífera y esquisto albítico-clorítico. La anfibolita tiene porfiroblastos de granate, mientras que el esquisto los tiene de albita con sombras de presión simétricas y bien desarrolladas. Las asociaciones mineralógicas metamórficas indican un primer evento de alta relación P/T en la facies de la eclogita, siendo impreso por un segundo evento metamórfico de P/T intermedia en la facies de los esquistos verdes.

Urbani *et al.* (1997) estudian la mineralogía carbonática de los mármoles de los afloramientos de la punta oeste de la bahía de Chichiriviche, Distrito Federal, encontrando que carecen de dolomita, mientras que aquellos de Mamera lo presentan en muy pocas muestras y en muy bajas concentración. En los trabajos ya mencionados de Ostos, Urbani y otros, el criterio para cartografiar esta Fase es la presencia de la asociación de rocas anfibólicas con mármoles.

Extensión geográfica: Se han descrito afloramientos aislados desde la zona de Antímamo, hacia el oeste en San Pedro y hacia el este hasta La Florida (afloramientos hoy cubiertos por el urbanismo de la ciudad de Caracas), continúa la zona de afloramientos en una franja en el valle de la quebrada Tacagua, y de ahí hacia el oeste como una franja entre Mamo, Carayaca y Tarma, Distrito Federal. Los últimos afloramientos se han reconocido en la zona de El Palito, estado Carabobo.

Contactos: Esta formación presenta contactos estructuralmente concordantes con las formaciones adyacentes: Las Brisas y Las Mercedes. En la zona de Antímamo y Mamera, los lentes de mármoles y rocas anfibólicas, que alcanzan a veces grandes dimensiones longitudinales, se hallan embutidos en esquistos de diversos tipos, especialmente los correspondientes a la Formación Las Brisas (Cantisano, 1989).

Edad: Ante la ausencia de fósiles y por su posición estratigráfica ha sido propuesta de edad Mesozoico medio a superior.

FORMACIÓN SAN JULIAN

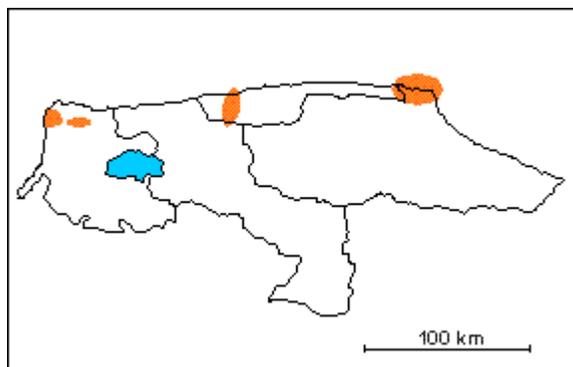


Figura 15.- Esquisto de San Julián. tomado de PDVSA, S.A. (1996) Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela.

PRE - MESOZOICO

Distrito Federal y estados Miranda, Aragua y Carabobo

Referencia original: F. Urbani y M. Ostos, 1989, p. 210.

Localidad tipo: Quebrada de San Julián, que nace en la Silla de Caracas y desemboca en el mar Caribe en Caraballeda, Distrito Federal. Urbani y Ostos (1989) proponen adicionalmente secciones de referencia en el río Chuspa, al sur del pueblo de Guayabal, estado Miranda; carretera Chichiriviche - Colonia Tovar en el tramo de Paso Palomas - Naranjal, Distrito Federal, así como en la quebrada Vallecito, Guaremal, estado Carabobo.

Descripción litológica: Las rocas preponderantes son el esquisto y gneis cuarzo - plagioclásico - micáceo, frecuentemente se nota una rápida gradación desde una textura esquistosa haciéndose la granulometría más gruesa hasta que pasa a rocas de carácter gnéisico (Urbani y Ostos, 1989). Las litologías minoritarias (menos del 5%) son mármol, cuarcita y diversos tipos de rocas metaígneas mayoritariamente máficas (como anfibolita, gabro, diorita, tonalita y granodiorita. Estas rocas cuando aparecen

en zonas de dimensiones cartografiables a escala 1:10.000 se han denominado Metaígneas de Tócome. El esquisto es de color gris a gris oscuro con tonalidades verde, meteoriza a tonos pardos, usualmente se presenta muy bien foliado. A escala centimétrica o plurimétrica pueden encontrarse niveles alternos de esquisto y/o gneis con proporciones variables de los minerales esenciales y accesorios, adquiriendo características diferentes en cuanto a color y desarrollo de foliación. El gneis siempre tiene colores más claros que los esquistos, ya que su textura se debe fundamentalmente a la mayor proporción de feldespatos y menor de filosilicatos. Una característica resaltante de ciertos sectores donde aflora el esquisto cuarzo - plagioclásico - micáceo, es que la plagioclasa (albita - oligoclasa) se desarrolla marcadamente porfidoblástica, y cuando su concentración es alta puede enmascarar a la foliación, impartiendo a la roca un aspecto moteado. Buenos ejemplos de esto pueden verse en la cuenca del río Chichiriviche, D.F. y en la quebrada Vallecito, Carabobo.

Según Ostos (1981) en el macizo de los picos Ávila y Silla de Caracas, los tipos litológicos predominantes son el esquisto y gneis cuarzo - feldespático - micáceo, usualmente de color grisáceo a blanquecinos y más o menos verde según la cantidad de actinolita, epidoto y clorita. También encuentra litologías minoritarias como cuarcita, epidocita, cloritocita, esquisto anfibólico y otras. Este autor encuentra que el gneis es más abundante al este del poblado de San José de Galipán reduciéndose al oeste.

En la zona de Las Sabana - Cabo Codera los tipos de rocas predominantes y su mineralogía promedio (% en volumen) son los siguientes: esquisto y gneis cuarzo - plagioclásico - micáceo (cuarzo, 39; plagioclasa, 18, muscovita, 14, clorita, 10, biotita, 5; epidoto, 8; feldespato-K, 2; granate, 1). La mineralogía de otras rocas minoritarias es: esquisto anfibólico (anfíbol, 40; cuarzo, 20; plagioclasa, 17, epidoto, 7; biotita, 6; clorita, 11; opacos, 4), anfibolita (anfíbol, 45; plagioclasa, 15, cuarzo, 7; epidoto, 7; biotita, 2; clorita, 3; opacos, 6), mármol (carbonatos, 91, y cantidades

menores de cuarzo, albita, muscovita, grafito y opacos). La plagioclasa puede variar de albita a andesita, pero predomina la oligoclasa, mientras que los anfíboles predominantes son la actinolita y hornblenda, a veces con tintes ligeramente verde - azulados.

En la zona de Puerto Cruz - Mamo los tipos de roca en orden decreciente de abundancia son: esquistos y gneis cuarzo - feldespático - micáceo \pm granate \pm epidoto, esquisto feldespático, esquisto epidótico, esquisto muscovítico - cuarcífero, cuarcita y anfibolita.

En la cuenca del río Tócome, al noreste de Caracas, García *et al.* (1995) encuentra los siguientes tipos litológicos dentro de esta unidad, esquistos (plagioclásico - micáceo - epidótico, micáceo - cuarcífero, cuarzo - epidótico, micáceo - plagioclásico, clorítico - epidótico, anfibólico - plagioclásico, plagioclásico - epidótico, plagioclásico - anfibólico - epidótico) y gneises (plagioclásico - cuarzo - micáceo, plagioclásico - micáceo). Así mismo, Sabino y Urbani (1995) en el flanco sur del pico Naiguatá describen: esquistos (feldespático - cuarzo - micáceo, cuarzo - micáceo, epidótico - cuarcífero), gneises (feldespático - cuarzo - micáceo) y cantidades menores de cuarcita y mármol.

Aranguren (1997) en la cuenca de la quebrada La Encantada, al norte de Caucaguita, Miranda, localiza los siguientes tipos de rocas: gneis cuarzo - feldespático - micáceo, esquisto cuarzo - plagioclásico - micáceo, augengneis cuarzo - feldespático - micáceo, esquisto (con ligera textura augen) cuarzo - feldespático - muscovítico que considera originados por el metamorfismo de rocas ígneas (granitos y tonalita), encuentra un pequeño cuerpo de tonalita, también hay esquisto cuarzo - micáceo - clorítico, esquisto epidótico - cuarzo - clorítico, que interpreta formados a partir de rocas volcánicas, probablemente tobas.

Un resumen de la geología del flanco sur del macizo de El Avila desde Maripérez (D.F.) hasta Izcaragua (Miranda) aparece en Urbani *et al.* (1997).

Todos estos autores a partir de evidencias petrográficas interpretan que entre esta amplia gama de litologías, aquellas más ricas en feldespatos corresponden a rocas metaígneas félsicas, mientras que aquellas esquistosas ricas en micas sean producto de un protolito sedimentario, mientras que aquellos esquistos ricos en epidoto, actinolita \pm clorita las interpretan como producto del metamorfismo de horizontes volcánicos, probablemente tobas.

Extensión geográfica: Desde la localidad tipo el noroeste de Caracas, se ha extendido hacia el oeste hasta la zona de El Cambur en el estado Carabobo, y hacia el este hasta Cabo Codera en el estado Miranda.

Contactos: En muchos casos los contactos son de fallas de ángulo alto con unidades adyacentes. El contacto con el Augengneis de Peña de Mora, cuando es visible se muestra abrupto y en concordancia estructural, pero en otras ocasiones son gradacionales con intercalaciones de ambos tipos de litologías.

Los contactos con las rocas del Complejo la Costa al norte (fases Nirgua, Antímamo y Tacagua) son predominantemente de fallas de corrimiento y de ángulo alto (Urbani y Ostos, 1989).

Edad: Kovach *et al.* (1979) presenta datos de Rb/Sr de cantos rodados de muestras esquistosas de la quebrada San Julián, que al ser recalculados por Urbani (1982, p. 81) resulta en una edad de 270 m.a. Estos escasos datos geocronológicos, impide mayor precisión en la asignación de una edad a esta unidad, por tal motivo se ha sugerido una edad genérica de Paleozoico - Precámbrico al Complejo Avila (Urbani y Ostos, 1989).

FORMACIÓN PEÑA DE MORA

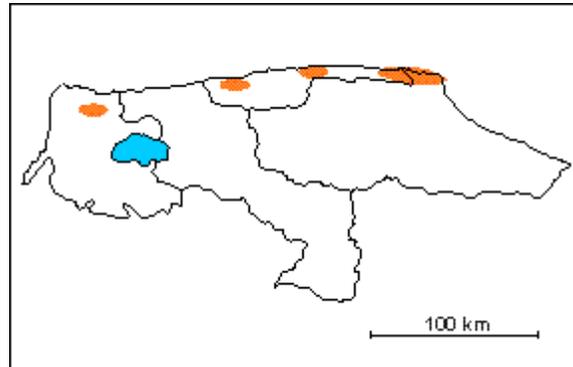


Figura 16.- Formación Peña de Mora. tomado de PDVSA, S.A. (1996) Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela.

PRE - MESOZOICO

Distrito Federal y estados Miranda, Aragua y Carabobo

Referencia original: S. E. Aguerrevere y G. Zuloaga, 1937, p. 8.

Descripción litológica: Aguerrevere y Zuloaga (1937) describieron augengneis que interpretan como formados por inyección "lit - par - lit" de un magma granítico en una roca laminar, posteriormente Dengo (1951, 1953) añadió a esta descripción niveles sin estructura augen, capas de cuarcita y diques de aplita, que generalmente no sobrepasan 30 cm de espesor, igualmente incluye en su unidad a lentes de mármoles en la parte superior del augengneis. Wehrmann (1972) a su vez amplió la acepción de la Formación Peña de Mora definiéndola como un complejo ígneo - metamórfico equivalente lateral, por lo menos en parte, de la Formación Las Brisas que prácticamente forma el núcleo de la Cordillera de la Costa, incluyendo augengneises gruesos y bandeados, gneises de grano fino a medio, algunas cuarcitas delgadas, esquistos cuarzo - muscovíticos y ocasionalmente anfibolitas, mármoles delgados, así mismo dentro de esa secuencia identifica cuerpos dispersos de roca ultramáficas, máficas y félsicas. Encuentra que los augengneises son de colores claros ligeramente verdosos y meteorización marrón claro; los "augen" son

mayoritariamente de feldespatos potásicos, llegando a alcanzar hasta 3 cm de largo y están rodeados por minerales micáceos y cuarzo.

A partir del detallado trabajo de Ostos (1981) en el macizo de El Ávila, éste autor pudo cartografiar a los augengneises como una unidad separada a los demás tipos de rocas, que autores anteriores habían adicionalmente incluido dentro de la Formación Peña de Mora. Igualmente en los trabajos geológicos de la zona de La Sabana - Cabo Codera, Mamo - Puerto Cruz, Puerto Cabello - Valencia (recopilados en Urbani *et al.*, 1989a, 1989b) se pudo igualmente cartografiar separadamente las zonas de augengneis de los demás tipos de rocas, por consiguiente Urbani y Ostos (1989), proponen volver al nombre original propuesto por Aguerrevere y Zuloaga (1937) de Augengneis de Peña de Mora para referirse únicamente a los cuerpos dispersos de augengneises y gneises de grano grueso.

Según Wehrmann (1972), estos gneises poseen en promedio la siguiente mineralogía: cuarzo (35%), plagioclasa (albita - oligoclasa) (25), microclino (20), muscovita (8), epidoto (5) y cantidades menores de biotita, clorita, granate, zircón, opacos y apatito.

Estudios estructurales de Ostos (1987a, 1987b) en las localidades de Peña de Mora y Chichiriviche, revelan el carácter milonítico de gran parte de la unidad debido a deformación en el régimen plástico. Estas texturas miloníticas se encuentran típicamente desarrolladas hacia las zonas de cizalla, ocurriendo un cambio textural de gneises gruesos con poco desarrollo de bandeamiento en las zonas alejadas a las zonas de cizalla, a augengneises y gneises finos (milonitas) al acercarse y entrar en dichas zonas. Los planos de cizalla son indicativos de un transporte tectónico desde el noroeste hacia el sureste, el cual coincide con la dirección de las lineaciones mineralógicas. Ostos (1990) indica que hay zonas esquistosas formadas por cizallamiento del augengneis, siendo los augen reliquias de textura ígnea.

Estas rocas son cuerpos graníticos metamorfizados que han sufrido diferentes grados de deformación. Aún cuando se carece de información concluyente al respecto, se estima que algunos de estos cuerpos gnéisicos, pueden ser intrusivos dentro de las rocas esquistosas adyacentes, pero debido al gran contraste mecánico ante la deformación de ambos tipos de rocas (granito vs. metasedimentos pelíticos), quizás en la mayoría de los casos, las rocas graníticas han sido emplazadas tectónicamente dentro del esquisto adyacente. En algunos lugares (quebrada San Julián, río Caruao, etc.) se observan estructuras migmatíticas sugiriendo que estas rocas pueden haber alcanzado condiciones anatécticas y las relaciones iniciales fueron borradas.

Urbani *et al.* (1989a) en la zona de El Cambur, estado Carabobo, señalan la presencia de dos cuerpos separados, uno al oeste de El Cambur, y otro en el sector el castaño y quebrada Los Bigotes, caracterizado por augengneises con núcleo de feldespato potásico con ojos de 2,5 a 3 cm orientados paralelamente a la foliación, con una matriz de granulometría que oscila entre 0,4 y 2 mm. Presenta la asociación mineralógica de biotita y granate, sugerente de haber sido sometidos a un metamorfismo de facies de la anfibolita epidótica, zona de la actinolita, con una relación P/T baja. Por otra parte en la zona de La Sabana - Chirimena (Distrito Federal y Miranda), Urbani *et al.* (1989b) señalan cuerpos en los ríos Caruao, La Sabana, Aguas Calientes, Aricagua y Puerto de Chirimena, siendo augengneises con buena foliación de color blanco grisáceo, de grano grueso, pero con tamaños máximos de los ojos, variable según las localidades: río Caruao (3 cm), río La Sabana (2,5 cm), río Aricagua (9 mm) y río Aguas Calientes (7 mm).

Extensión geográfica: Desde la localidad tipo el noroeste de Caracas, se ha extendido hacia el oeste hasta la zona de El Cambur en el estado Carabobo, y hacia el este hasta cerca de Chirimena en el estado Miranda.

Contactos: En muchos casos los contactos son de fallas de ángulo alto con unidades adyacentes. El contacto con el Esquisto de San Julián, cuando es visible se muestra abrupto y en concordancia estructural, en otras ocasiones son gradacionales con intercalaciones de ambos tipos de litologías. Los contactos con las rocas del Complejo la Costa al norte (fases Nirgua, Antímano y Tacagua) son predominantemente de fallas de corrimiento (Urbani y Ostos, 1989). En particular en la localidad tipo, Ostos (1990) reconoce que esta unidad está sobrecorrida por un klippe de la Fase Antímano.

Edad: Ostos *et al.* (1989) presentan una isócrona Rb-Sr de roca total que corresponde a una edad de 1.560 ± 83 m.a., incluyendo muestras de la localidad tipo y del río Chichiriviche. Kovach *et al.* (1979) presenta otra isócrona obtenida con tres cantos rodados de gneises de la quebrada San Julián dando una edad de 220 ± 20 m.a. Estos escasos y divergentes datos geocronológicos, impide mayor precisión en la asignación de una edad a esta unidad, por tal motivo se ha sugerido una edad genérica de Paleozoico - Precámbrico al Complejo Ávila, pero así mismo tiene implicaciones que permiten sugerir una historia geológica bastante más compleja, probablemente el protolito Precámbrico haya sufrido al menos un período de removilización en la orogénesis de fines del Paleozoico, relacionada con la formación de Pangea (Urbani y Ostos, 1989).

GRUPO CARACAS

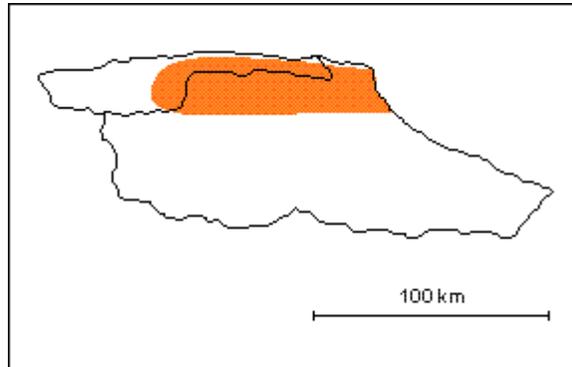


Figura 17.- Grupo Caracas. tomado de PDVSA, S.A. (1996) Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela.

JURASICO – CRETACICO

Distrito Federal

Referencia original: S. E. Aguerrevere y G. Zuloaga, 1937, p.12.

Localidad tipo: No se ha establecido formalmente pero en forma general corresponde a la zona de Caracas, en cuyos alrededores están las localidades típicas de sus formaciones mayoritarias: Las Brisas y Las Mercedes. Hoja 6847, escala 1:100.000, Cartografía Nacional.

Descripción litológica: La litología típica de la Formación Las Brisas es el esquisto (o filita) cuarzo - moscovítico - feldespático (clorítico, así como metarenisca y metaconglomerado también cuarzo - feldespático - micáceo. En la Formación Las Mercedes predomina el esquisto cuarzo - calcáreo - muscovítico - grafitoso, de color gris oscuro, e igualmente en la Formación Chuspita, si bien en ella hay mayor abundancia de metarenisca. Para mayores detalles véase las citadas formaciones.

Extensión geográfica: El Grupo aflora típicamente en la región de Caracas - Los Teques y sus alrededores, y se ha cartografiado como una franja casi continua en

sentido este - oeste que se extiende desde el estado Yaracuy, hasta la zona de Barlovento en el estado Miranda. Sus unidades constituyen una franja predominante de la Cordillera de La Costa.

Contactos: Los contactos entre las rocas de este Grupo con el Complejo Ávila hacia el norte son tectónicos (Urbani y Ostos, 1989), con las rocas de la faja Cauagua - El Tinaco al sur igualmente son tectónicos (Beck, 1986). Los contactos entre las formaciones Las Brisas y Las Mercedes son tectónicos (Urbani *et al.*, 1989), mientras que entre las Formación Las Mercedes y Chuspita parece ser concordante y transicional (Seiders, 1965).

Edad: Las determinaciones paleontológicas de los hallazgos de Wolcott (1943) y Urbani (1969, 1973) permiten asignarle a la Formación Las Brisas una edad Jurásico Tardío - Cretácico, mientras que las formaciones Las Mercedes y Chuspita generalmente se han considerado como de edad Cretácico, por lo tanto el Grupo en su totalidad puede considerarse como Jurásico - Cretácico.

FORMACIÓN LAS MERCEDES

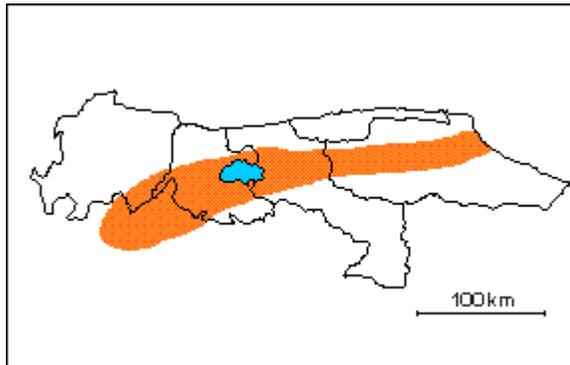


Figura 18.- Formación las Mercedes. tomado de PDVSA, S.A. (1996) Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela.

MESOZOICO (Jurásico - Cretácico)

Distrito Federal

Referencia original: S. E. Aguerrevere y G. Zuloaga, 1937-a, p. 15.

Localidad tipo: Antigua hacienda las Mercedes al este de Caracas (Hoja esc. 1:100.000, Cartografía Nacional) hoy Urb. Las Mercedes. Debido al crecimiento del urbanismo con la consecuente desaparición de los afloramientos de la localidad tipo, Wehrmann (1972) propone trasladar la sección de referencia a la carretera Petare-Santa Lucía, donde se expone la sección completa de la formación hasta su transición con la Formación Chuspita. Igualmente hay una sección bien expuesta en la autopista Caracas - Valencia, en el tramo Hoyo de la Puerta - Charallave.

Descripción litológica: Aguerrevere y Zuloaga (op. cit.), la definen como esquistos principalmente calcáreos, con zonas grafitosas y localmente zonas micáceas, de un tinte rosado ..., gris, con zonas blancas cuando frescas. Según Wehrmann (1972) y la revisión de González de Juana *et al.* (1980, p. 317) la litología predominante consiste en esquistos cuarzo - muscovítico - calcítico - grafitoso con intercalaciones de mármol

grafitoso en forma de lentes, que cuando alcanza gruesos espesores se ha denominado "Caliza de Los Colorados". Las rocas presentan buena foliación y grano de fino a medio, el color característico es el gris parduzco. La mineralogía promedio consiste en cuarzo (40%) en cristales dispuestos en bandas con la mica, muscovita (20%) en bandas lepidoblásticas a veces con clivaje crenulado, calcita (23%) en cristales con maclas polisintéticas, grafito (5%), y cantidades menores de clorita, óxidos de hierro, epidoto y ocasionalmente plagioclasa sódica. El mármol intercalado con esquisto se presenta en capas delgadas usualmente centimétricas a decimétricas, son de color gris azulado, cuya mineralogía es casi en su totalidad calcita, escasa dolomita y cantidades accesorias de cuarzo, muscovita, grafito, pirita y óxidos de hierro. Oxburgh (*op. cit.*), incluye el conglomerado de Charallave en la parte superior de Las Mercedes, y discrimina una facies oriental, de esquistos grafiticos, en su mayoría no calcáreos, granatíferos, con capas cuarcíticas de 20-70 cm de espesor y esquistos micáceos granatíferos, donde las capas cuarzosas están ausentes; y una facies occidental más arenosa, menos grafitica y carente de capas calcáreas, con abundante granate, y filitas grafiticas de color variable, predominantemente negro en la parte superior de la sección.

Wehrmann (*op. cit.*), menciona metaconglomerados en su base, esquistos cloríticos y una sección en el tope, de filitas negras, poco metamorfizadas, con nódulos de mármol negro, de grano muy fino, similares a los de las formaciones La Luna y Querecual, sin hallar fósiles en ellos. Este mismo autor, indica que el tope de la formación se hace más cuarzosa y menos calcárea en su transición hacia la Formación Chuspita. Seiders (*op. cit.*), menciona además, meta-areniscas puras, feldespáticas y cuarzosas, de estratificación de grano variable, a veces gradada.

Aguerrevere y Zuloaga (*op. cit.*), incluyen dentro de la formación una zona constituida por calizas oscuras y densas, en capas delgadas, interestratificadas con capas de esquistos micáceos y arcillosos, todo intensamente plegado, que denominan Fase Los Colorados, y que constituyen excelentes estratos guía. Dengo (*op. cit.*),

Seiders (*op. cit.*), y Wehrmann (*op. cit.*), no coinciden con esta formación, ya que según ellos, tales calizas se encuentran en diferentes niveles en la sección.

Urbani *et al.* (1989-a) cartografían dos subunidades en la zona de Valencia - Mariara, estado Carabobo. La mayoritaria de esquistos calcíticos - grafitosos y mármol, con una asociación mineralógica de cuarzo, calcita, muscovita, albita, grafito, clorita y epidoto. Una segunda subunidad minoritaria de cuerpos de mármol masivo, contentivos de calcita, cuarzo, muscovita, grafito y albita. En la zona de La Sabana - Chirimena - Capaya, Distrito Federal y Miranda, Urbani *et al.* (1989-b) reconocen cuatro unidades cartografiables, la primera y mayoritaria de esquistos grafitosos y mármol, así como de mármol, de metaconglomerado cuarzo - feldespático - calcáreo, de metaconglomerado y metaarenisca y de esquistos albiticos - grafitosos. Todas estas rocas corresponden a un metamorfismo de bajo grado en la facies de los esquistos verdes, zona de la clorita.

Característico de la formación, es la presencia de piritas, que al meteorizar, infunde una coloración rosada a rojo ladrillo a la roca. Smith (*op. cit.*), opina que la coloración rosada proviene de la meteorización de la sericita. Otra característica es la extraordinaria proporción de vetas de calcita recristalizada, en colores blanco, pardo y marrón, que ha sido identificada erróneamente como ankerita o siderita. En muestras de sondeos profundos con muestras no meteorizadas, esta coloración marrón de la calcita está ausente.

Muy poco se ha escrito sobre el ambiente en el cual se depositó la Formación las Mercedes. Oxburgh (*op. cit.*), sugiere dos fuentes principales de sedimento: una meridional, suplidora de cuarzo puro, y una occidental (Complejo de El Tinaco), para el material cuarzo-feldespático más joven. Presenta un esquema transgresivo hacia el sur, sobre una plataforma somera, en la cual se depositaron lutitas negras, con un facies oriental más arenosa.

Talukdar y Loureiro (1982), sugieren un ambiente euxínico en una cuenca externa a un arco volcánico. La estructura finamente laminada de la calizas, indica la sedimentación en un ambiente pelágico, mientras que los escasos restos de fósiles hallados, indican lo Contrario.

Urbani *et al.* (1997) estudian mineralógicamente los mármoles de esta Formación en la zona de Birongo, estado Miranda, encontrando que la dolomita se encuentra en baja concentración predominando los mármoles calcíticos.

Extensión geográfica: En toda la extensión y en los flancos del macizo central de la Cordillera de la Costa, entre Carenero, estado Miranda, hasta el estado Cojedes.

Contactos: La mayoría de los autores hasta los años 70 han considerado el contacto entre las formaciones Las Mercedes y Las Brisas, como concordantes y de tipo sedimentario. Mientras que autores más recientes considera que es de tipo tectónico conservando paralelismo en la foliación en ambas unidades (e.g. González de Juana *et al.*, 1980, p. 318). En la zona de la Colonia Tovar, Ostos (1990, p. 55) señala que el contacto entre el Augengneis de Peña de Mora y el Gneis de Colonia Tovar, con la Formación Las Mercedes puede ser interpretado tanto como una falla normal de bajo ángulo, como un contacto sedimentario original. El contacto con la Formación Las Brisas lo interpreta como de corrimiento. En el estado Cojedes el mismo autor, señala que la Peridotita de Tinaquillo está en contacto con la Formación Las Mercedes a través del corrimiento de Manrique. Cantisano (1989) en su estudio de la zona de Mamera, Distrito Federal, indica que el contacto entre las formaciones Las Mercedes y Antímamo corresponde a una falla de corrimiento. El contacto con la Formación Chuspita parece ser transicional (Seiders, 1965).

Edad: Estas asociaciones de fósiles poco diagnósticas solo permiten sugerir una edad Mesozoica, sin diferenciar.

FORMACIÓN LAS BRISAS

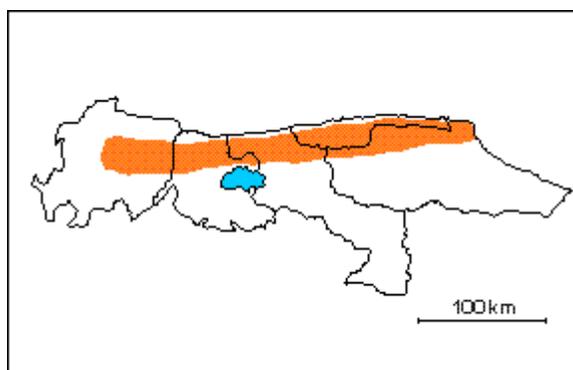


Figura 19.- Formación Las Brisas. tomado de PDVSA, S.A. (1996) Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela.

MESOZOICO (Jurásico Tardío)

Distrito Federal

Referencia original: S. E. Aguerrevere y G. Zuloaga, 1937-a, p. 12.

Localidad tipo: Sitio de Las Brisas, en el km 10 de la antigua carretera Caracas-Ocumare del Tuy, cerca de la represa de la Mariposa. (Hoja 6847, esc. 1:100.000, Cartografía Nacional).

Descripción litológica: La descripción original de Aguerrevere y Zuloaga (*op. cit.*), menciona un conglomerado basal arkósico, con cantos rodados derivados de la roca basal de Sebastopol, redondeados a subangulares, hasta de 30 cm de diámetro, cantos de cuarzo y cemento, principalmente silícico. Esta litología dista de ser la principal, ni mucho menos la única componente de la formación.

Dengo (*op. cit.*) observa que la mayor parte de la formación, está constituida por esquisto cuarzo-micáceo, en el que se incluye gneis microclínico, esquistos granatíferos, cuarcitas y calizas (ver además: Zenda, Miembro).

Smith (*op. cit.*), divide la formación en dos miembros: miembro inferior, constituido por gneises y esquistos microclínicos conglomeráticos y miembro superior, formado casi enteramente por esquistos sericíticos. Este autor opina que los grupos litológicos de los miembros inferior y superior, se originan de conglomerados y lutitas respectivamente, y que las calizas son de origen biohermal.

Seiders (*op. cit.*) encuentra en el tope de la formación, conglomerados gnéisicos y areniscas esquistosas, con cantidad menor de caliza negra en capas delgadas, y grandes guijarros de granito, y resalta la ausencia de los esquistos sericíticos de Smith. Morgan (*op. cit.*) añade anfibolitas estratificadas concordantes, que interpreta como tobas, sills o flujos metamorfizados.

Wehrmann (*op. cit.*) afirma que la Formación Las Brisas, está constituida en un 90% de esquistos cuarzo-feldespático-moscovíticos; el 10% restante lo constituyen, en orden de abundancia, esquistos cuarzo-feldespáticos, epidóticos o cloríticos, calizas, cuarcitas y metaconglomerados. Menciona igualmente, mineralizaciones pobres de cobre en algunas calizas, en forma de sulfuros y sulfatos. Este autor no menciona el gneis microclínico de Dengo, pero hace referencia a conglomerados y areniscas intraformacionales, ricas en microclino (15%), sin hacer referencia a su relación con los gneises del mismo género.

Taludkar y Loureiro (*op. cit.*) analizan exhaustivamente los tipos litológicos, en un área reducida de la Cordillera de la Costa, sin relacionarla con las formaciones tradicionales, estableciendo la dificultad e inconveniencia en el uso de unidades litoestratigráficas, en estudios detallados de rocas metamórficas. El grado de metamorfismo es bajo, aunque existen diferencias entre las opiniones de Dengo, Smith y Seiders, quienes opinan que predomina la facies de la anfibolita y el glaucofano, mientras que Wehrmann le asigna grados más bajos de presión (facies del esquisto verde).

Contactos: La Formación Las Brisas descansa sobre el Complejo Basal de Sebastopol. El contacto, ya sea por la foliación discordante, sea por el hiatus de tiempo que separa ambas formaciones, es discordante, según la opinión generalizada, aunque algunos autores (véase: Sebastopol, Complejo Basal de), afirman haber observado localmente una aparente concordancia entre una y otra. La relación con las formaciones suprayacentes Antímano y Las Mercedes, es generalmente transicional, aunque a veces, el contacto es estructural. La Formación Las Brisas forma en la región capital, el núcleo de los anticlinorios que corren a lo largo de la faja de la Cordillera de la Costa. Los trabajos presentados hasta 1972, ofrecen un cuadro estructural clásico de plegamientos longitudinales, con sus respectivas fallas, segmentados por fallas transversales, haciendo mención de microestructuras, tales como lineaciones, pliegues de flujo, etc., tomando como base para la composición estructural, el principio de que la foliación es paralela a la estratificación, y de que los esfuerzos de deformación provienen del norte, con una componente menor en sentido E-W.

Talukdar y Loureiro (*op. cit.*), hacen un análisis muy detallado, y desarrollan un modelo de evolución tectónica de la cordillera en cinco etapas, identificando cuatro fases consecutivas de plegamiento, originados por subducción, colisión de placas y emplazamiento del basamento granítico, corteza oceánica y manto, así como de intrusiones graníticas.

Los afloramientos de la Formación Las Brisas, alcanzan dimensiones decakilométricas en sentido N-S, y hectakilométricas en su extensión longitudinal, E-W.

Extensión geográfica: A todo lo largo del macizo central de la Cordillera de la Costa, entre el Cabo Codera y el graben del río Yaracuy.

Edad: La única referencia de fósiles plenamente identificados de la Formación Las Brisas, que permiten el establecimiento de una edad específica, nos la proporciona Urbani (1969), con el descubrimiento de varios ejemplares de *Exogira* sp. aff., *E. virgula* (Defrance), molusco pelecípodo característico del Kimmeridgiense, Jurásico Tardío, tal como lo describe Kauffman (en Gamero, 1969). Anteriormente Wolcott (1943) había descrito moldes y secciones de fósiles provenientes de la quebrada Cara (o Care), cerca de Guatire, entre los cuales menciona las especies *Pecten* (*Camponectes*) sp. cf., *C. indiduraensis*, y *C. bubonis* ?, de edad Jurásico tardío, además de otras especies no identificadas de *Pecten* sp., *Pholadomya* sp. *Cardium* sp., *Meretrix* sp., *Plicatula* sp. y *Lucina* sp.

Los fósiles de Urbani (1973), provienen de dolomías puras (95%), grises, de grano fino, altamente recristalizadas, pertenecientes al Miembro Zenda, en la localidad de la Cueva del Indio en la Guairita, al sur de Caracas. Los fósiles de Wolcott, provienen de calizas asignadas originalmente a la Formación Las Mercedes, pero posteriormente fue rectificada la asignación, e incluidos en el Miembro Zenda.

FORMACIÓN CHUSPITA

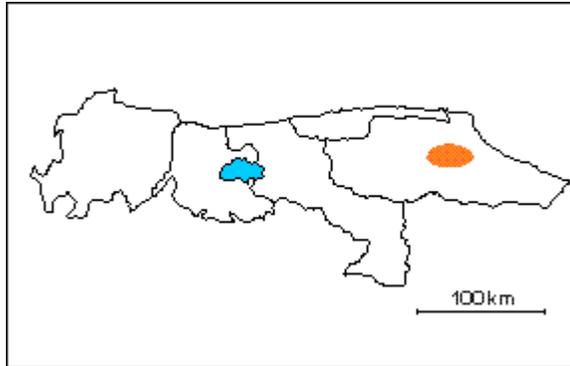


Figura 20.- Formación Chuspita. tomado de PDVSA, S.A. (1996) Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela.

CRETACICO TEMPRANO

Estado Miranda

Referencia original: V. M. Seiders, 1965, p. 303.

Localidad tipo: Río Chuspita, a unos 10 km al noroeste de Caucagua, distrito Zamora del estado Miranda. (Hoja 6947, esc. 1:100.000, Cartografía Nacional).

Descripción litológica: La Formación Chuspita consiste de meta-areniscas puras, las cuales constituyen el 45% de la unidad, con filitas oscuras (50%) y mármoles (5%). Las meta-areniscas son de color gris claro a gris oscuro, localmente grafitosas y micáceas, pero cuyo constituyente principal es el cuarzo, con cantidad mucho menor de feldespatos. En algunas muestras se encuentra abundante muscovita y clorita. Presentan estratificación gradada, principalmente en las capas de menos de 1 m de espesor, mientras que en las capas más gruesas, se hacen conglomeráticas con fragmentos líticos como guijarros y peñas de hasta 25 cm de diámetro, constituidos por filitas, mármoles y meta-arenisca calcárea. Las filitas de color gris oscuro son calcáreas y grafitosas. Los mármoles (calcíticos) se presentan en dos tipos: uno de tipo litográfico formando capas delgadas de color gris oscuro a negro, con vetas de

calcita, mientras que el otro tipo es argiláceo. La foliación de los mármoles oscurece la estratificación original. Además de los mármoles calcíticos (sus calizas), Seiders (1965) menciona escasos mármoles dolomíticos, negros, grafitosos y finamente cristalinos, formando capas delgadas y cortados por vetas de cuarzo y calcita.

Extensión geográfica: Los afloramientos de esta Formación ocupan una faja de orientación este-oeste de unos 37 km de largo por 3 a 8 km de ancho, en la parte centro-oriental del Estado Miranda.

Contactos: El contacto con La Formación Las Mercedes infrayacente, es de falla. En el tope, está también en contacto de falla con la Formación Urape, aunque Seiders (1965) sugiere la posibilidad de "una gran discordancia no angular" entre ambas formaciones.

Edad: La fauna de amonites indica una edad Cretácico Temprano (Albiense superior) (Macsoy, 1972).

CAPITULO III

GEOLOGÍA LOCAL Y LEVANTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO.

Geología Local

Fotogeología

Se hizo el estudio de las fotos 354 a la 359 pertenecientes a la misión 030198, a escala 1:25000 con el fin de definir las unidades topográficas, patrones de drenaje y las vías de acceso principales en la zona de estudio.

Unidades topográficas:

Se ha determinado una sola Unidad topográfica que se ha denominado Unidad de Montaña estribada, la cual consta de tres tipos de relieve. El primero, una montaña de media altura, el segundo, montaña de baja altura, y el tercero un valle asimétrico tipo V.

a) Relieve tipo Montaña de media altura: Representada por la Fila Capadare (sector Cataure) éste tipo de relieve presenta una orientación preferencial Este-Oeste, altura máxima 1550 ms.n.m., una línea de cresta angosta, sinuosa y cota variable, formando escarpes hacia el norte, perfil transversal Norte-Sur asimétrico, su ladera Norte presenta pendientes muy inclinadas de forma recto-cóncavas escalonadas.

b) Relieve tipo Montaña de baja altura: la extensión de este relieve va por Piedra La Campana (1200m)-Carayaca (900m)-El Pozo (700m), con orientación Pseudo-paralela a Fila Capadare y declive al norte. Su línea de cresta es ancha y sinuosa. La ladera sur (dentro del área de estudio), tiene pendientes regularmente rectas de inclinación moderada poco variable.

c) Relieve tipo Valle en V: Representado por las laderas Norte y Sur de la cuenca que convergen en el Río Petaquire. En el sector comprendido entre El Molino y Carayaca Abajo, el relieve presenta un perfil habitualmente simétrico, con pendientes escarpadas en las proximidades del Petaquire. Desde el sector Carayaca Abajo hasta el sector Planta de Mamo (límite Este del área de estudio) el relieve presenta un perfil asimétrico, con pendientes moderadas a inclinadas y rectas.

Drenaje:

La red hidrográfica, en su aspecto general, se puede decir que está entallada en la topografía. El río principal es el Petaquire, cuyo cauce es de tipo irregular y sinuoso, con orientación preferencial Noreste, aunque se aprecian localmente segmentos rectos que pueden corresponder con lineaciones estructurales (fallas, diaclasas). El río Petaquire aguas arriba desarrolla gargantas en algunos sectores (Sector Puente Volado), y aguas abajo (Sector Carayaca Abajo-El Pozo) forma un valle asimétrico tipo V. Al sur de la cuenca de éste río, sus tributarios primarios desarrollan depresiones drenadas densas con entallamiento moderado e interfluvios lobulados con pendientes muy inclinadas y recto-cóncavas. Al Norte de la cuenca, las depresiones drenadas tienden a ser menos densas y entalladas en el relieve, con pendientes moderadas y rectas.

Estructuras

Las estructuras que se observaron en el área de estudio son fallas que están asociadas a la geometría del drenaje. En algunos sectores del Petaquire, en su mayoría al sur de la cuenca, entre el poblado de El Molino y Carayaca Abajo, se detallan segmentos del drenaje que son aproximadamente rectos y de mediana extensión, ortogonales entre sí, a la altura de Cataure, destacándose que algunas de estas fallas tienen orientación N-S aproximadamente. Las fallas ortogonales a estas son

presumiblemente dextrales, ya que aparentemente estas desplazan a las falla con rumbo N-S.

Aguas abajo a nivel de Carayaca Abajo-Planta de Mamo se observan otros lineamientos, posiblemente fallas, que se orientan en dirección NE.

LEVANTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO.

En función de la vialidad identificada en los mapas a escala 1:5000 de la zona de Carayaca, se realizó un cronograma del levantamiento hidrogeológico, empezando por los afloramientos ubicados en las zonas menos accesibles, hasta los cortes de carreteras. Los instrumentos a utilizar en campo fueron los siguientes:

- Mapas E-38 y 39, F-38 y 39 a escala 1:5000 de la zona de Carayaca.
- GPS, brújula, libreta de campo, cámara digital.
- Piquetas, envases plásticos de 2 lts para toma de muestras de aguas.
- Bolsas plásticas para toma de muestras de suelos y rocas.

Las actividades a realizar diariamente en el trabajo de campo, estuvieron regidas principalmente por la ubicación de afloramientos, en donde se observaron rocas, suelos y/o sedimentos. Cada uno de éstos elementos fueron ubicados en los mapas correspondientes a la zona usando el sistema GPS (Global Position System); se tomó una o más fotos a escala de los afloramientos, cada foto con su correspondiente orientación geográfica, luego se procedió a la caracterización por medio de los pasos que se van a describir a continuación (de acuerdo al tipo de afloramiento: roca, suelo o sedimento):

a) ROCAS.

-Litotipo: definición a simple vista con base en muestra de mano del tipo de roca aflorante.

-Foliación y diaclasas: rumbo y buzamiento de éstos planos de debilidad, más frecuencia y número de familias de diaclasas.

-Fallas: rumbo, buzamiento, pitch y plunge de estrías de falla y ubicación de brechas de falla.

-Clasificación del macizo rocoso (URCS y RQD).

-Reacción al HCl: para determinar presencia de minerales calcáreos.

-Toma de muestra y ubicación en el mapa correspondiente.

b) SUELOS.

-Espesor en metros.

-Granulometría.

-Color.

- Toma de muestra y ubicación en el mapa correspondiente.

c) SEDIMENTOS CUATERNARIOS.

-Tipo de sedimento (aluvión, coluvión).

-Granulometría de la matriz.

-Color.

-Espesor estimado en metros.

-Ubicación en el mapa correspondiente.

Este trabajo de campo se realizó en 3 semanas:

Semana1:lunes 08/08/05 al sábado 13/08/05

(En la semana del 15/08/05 al 19/05/05 se hizo trabajo de oficina)

Semana2:lunes 22/08/05 al domingo 28/08/05

Semana3:lunes 29/08/05 al jueves 01/09/05

Se levantaron las siguientes vías de comunicación y drenajes principales:

a) Carretera Junquito-Carayaca (JC) (desde el poblado El Molino hasta el pueblo de Carayaca)

b) Carretera Carayaca-Catia La Mar (CC) (desde el pueblo de Carayaca hasta el sector El Pozo)

c) Carretera El Pozo-Planta de Mamo (PP) (incluyendo 100m aguas arriba de la Quebrada Yaguara para hacer correlación).

d) Asentamiento Caoma:

Paso Caballo (PS)

Altos de Caoma (AC)

Alto Paraíso hasta El Arenal (AA)

e) Carretera La Macanilla. (MC)

f) Río Petaquire en los siguientes sectores de acceso:

El Molino hasta Puente volado (mp) (cerca de Paso Caballo).

Asentamiento Cataure (cat).

Hacienda Carayaca Abajo (ca).

Planta de Mamo (pm).

g) Asentamiento Cataure

Vía principal. (CAT).

Desvío Casa Agraria (CAG).

h) Carretera La Virgen-Hacienda Carayaca Abajo (VC).

i) Hacienda Carayaca Abajo (CAB).

j) Carretera Fila Capadare-La Niebla (Yagrimal) (CY).

Los puntos de control tienen Coordenada UTM de acuerdo al sistema de Coordenada utilizado (GPS).

Levantamiento de campo.

Durante el recorrido que se hizo a través de la zona de estudio se procedió a la identificación de los elementos geológicos existentes. Se tomó en cuenta tanto el macizo rocoso, como los suelos y los manantiales.

La zona de estudio consiste en tres unidades litológicas entre las cuales se tienen:

- a) Anfibolitas granatíferas frescas, fracturadas principalmente por diaclasas aunque se consiguieron evidencias de fallamiento tanto en el estudio fotogeológico como en campo, cabe destacar que esta unidad se ubica en la parte central de la zona. La orientación preferencial de las diaclasas es N15E60N.
- b) Esquistos cuarzo-muscovítico-albítico-cloríticos intercalados con cuarcita muy meteorizados, con poco o ningún diaclasamiento y suprayacen a las anfibolitas granatíferas anteriormente expuestas en contacto abrupto. La orientación preferencial de los planos de foliación es N45E20N. Ésta unidad litológica se ubica en la periferia Norte del área de estudio.
- c) Esquistos muscovítico-granatíferos medianamente meteorizados con metatrandjemitas frescas diaclasadas en contacto abrupto con las anfibolitas granatíferas de la unidad litológica a. Por los cambios litológicos abruptos se asignó a esta unidad litológica como una zona de Melange tectónico. La orientación preferencial de los planos de foliación es E-W42N y de las diaclasas es N15W66S.

Por otro lado, se tomó en cuenta la presencia de suelos en los afloramientos, los cuales se apreciaban en algunas oportunidades en contacto con el macizo rocoso.

En general, se hallaron dos tipos de suelos, uno que presenta granos de diferentes dimensiones embebidos caóticamente en matriz de diferente granulometría (coluviones ver figura 21) y otro tipo de suelos de granulometría homogénea (suelos residuales, ver figura 22), además de aluviones formados por peñas y peñones principalmente, ubicados a lo largo de los cauces de quebradas y ríos.



Figura 21.- Coluvión. Sector El Molino.



Figura 22.- Suelo Residual. Sector El Molino.

En algunos lugares se observaron manantiales los cuales se ubicaron geográficamente, tomándose muestras de agua para el correspondiente análisis físico-químico, también se efectuó el aforo de cada uno ellos.

En términos generales la anfibolita se observó en la mayoría de los afloramientos (cerca de un 70 %) en todo el área de estudio y sus alrededores, específicamente se encontró en toda la cuenca del Río Petaquire, desde los 1100 m.s.n.m. en la ladera Sur de la cuenca hasta los 800 m.s.n.m. de la ladera Norte de la misma, también en la zona de Cataure, Carretera Junquito-Carayaca y carretera Carayaca-Catia La Mar.

Todas las anfibolitas observadas están fracturadas, presentando por lo menos 1 familia de diaclasas con una frecuencia mínima de 2 diaclasas/metro y un valor máximo de 12 diaclasas/metro (ver figura 23),. Otro punto a destacar es que hay zonas en donde no solamente se observa un aumento de la frecuencia de diaclasas, sino también un aumento en el número de familias, indicando una deformación frágil del macizo rocoso, y las zonas donde tanto la frecuencia como número de familia de diaclasas aumenta, se pueden considerar zonas de falla.



Figura 23.- Anfibolita granatífera con 2 sistemas de diaclasas. Zona El Pozo-Planta de Mamo.

Con respecto al Esquisto (ver figura 24), éste presentó cuarzo, feldespatos y moscovita (en varias ocasiones alterada a clorita), así como grafito en algunas zonas.



Figura 24.-Afloramiento de esquisto en la zona de Carayaca Abajo

El esquisto se encontró en los perímetros del área de estudio (Alto Paraíso, El Arenal, Carretera Carayaca-Catia La Mar, Fila Capadare en la zona de Cataure, Carayaca Abajo), suprayacente a la Anfibolita. No presentó evidencias análogas a la Anfibolita con respecto a las diaclasas, ya que éstas se observaron ocasionalmente.

Cabe destacar que, hacia el Noreste de la zona (Carretera Carayaca-Catia La Mar, Carayaca Abajo, El Pozo), se observó una importante banda de este esquisto muscovítico-cuarzo-grafitoso, que separa a las anfibolitas granatíferas en este sector, observándose incluso cerca de la rivera del río Petaquire, hacia el extremo norte del mismo, a unos cuantos metros por encima, destacándose que presentó un notorio fracturamiento y plegamiento.

Por otro lado, la cuarcita se observó hacia los caseríos Alto Paraíso y El Arenal, al Noroeste del área de estudio, intercaladas con los esquistos cuarzo-muscovítico-albítico-cloríticos.

Finalmente, hacia el extremo Sur del Río Petaquire, dentro del área estudiada (El Molino-Puente Volado), aflora en las riveras del río, un grupo litológico muy complejo caracterizado por mezclas en forma de fluidos, entre anfibolitas granatíferas

y metatrondjemitas, en la que se distinguió 1 o 2 familias de diaclasas con baja frecuencia, excepto en un lugar llamado Puente Volado, donde éste melange (figura 25), dominado por la anfibolita está altamente diaclasado, aflorando en sendas paredes acantiladas de más de 100 m de altura, desde el río, con hasta cuatro familias de diaclasas con una mediana frecuencia (4-6 d/m).



Figura 25.- Detalle del afloramiento de melange

La alta frecuencia de diaclasas en este sector ha sido interpretada como una zona de falla (figura 26). También se consiguieron zonas de poca frecuencia de diaclasas/metro pero con gran abertura (véase figura 27) y que ha sido traducido como un indicio de la existencia de una porosidad secundaria, la cual influye en este tipo de litología, para que funcione como un área favorable ante la eventual recarga del sistema acuífero.



Figura 26.- Diaclasas en el macizo rocoso (anfibolitas granatíferas) en la zona de Puente Volado.



Figura 27.- Diaclasas en el macizo rocoso (anfibolitas granatíferas), Río Petaquire. Nótese la poca frecuencia de diaclasas por metro pero con gran abertura (8 cm).

Es importante destacar, que no se observó el contacto entre las anfibolitas y los esquistos en la mayoría de los afloramientos asociados, debido a la espesa

vegetación y cobertura de suelos, sólo en algunos lugares como en la carretera vía Hacienda Carayaca Abajo (parte central de la ladera norte de la cuenca), se observó el contacto abrupto entre ambos, no obstante en todos los casos se pudo detectar, por lo menos, el cambio litológico en pocos metros.

La importancia de los suelos en este levantamiento está relacionada esencialmente, con la facilidad o la dificultad que puedan éstos permitir la infiltración del agua de lluvia.

En la mayoría de los afloramientos asociados a los sedimentos cuaternarios, se observaron coluviones, cuyos constituyentes tienen diferentes dimensiones; desde pequeños fragmentos de algunos centímetros hasta enormes bloques de aproximadamente 5 m³. La matriz de estos coluviones y los suelos residuales están constituidos por arenas muy finas, limos y arenas con arcilla, presentando colores entre pardo, ocre y amarillo y rojo (para suelos residuales).

En las carreteras principales, El Junquito- Carayaca y Carayaca-Catia la mar, se observó un suelo residual de granulometría areno-arcillosa y una importante capa de humus, mientras que en los afloramientos de las carreteras adyacentes que conducían a los caseríos de Paso Caballo, La Macanilla y Alto Paraíso, los suelos están compuestos por limos y arenas finas.

Los espesores de los sedimentos cuaternarios son muy variables, y en ningún caso se pudo estimar el espesor verdadero, sin embargo se tomaron valores de espesores estimados como referencia. Sólo se pudo obtener un dato de espesor verdadero de coluvión, cuando se realizó un sondeo eléctrico vertical en la carretera del asentamiento Cataure, aproximado al límite Este de la zona de estudio, donde las condiciones de terreno (plano, con 5 grados de máxima inclinación) fueron óptimas (prácticamente fue el único lugar con estas condiciones) para utilizar el SEV, y los

datos obtenidos en este sondeo serán ajustados con software y analizados en otro capítulo.

Por último, los manantiales como elemento de descarga son el elemento a destacar, ya que son evidencia contundente de la presencia de aguas subterráneas en la zona de estudio. Sólo hay tres sectores donde se pudo detectar la presencia de manantiales, a saber: los sectores de Cataure y Alto Paraíso (Piedra La Campana) y la Hacienda Carayaca Abajo. La mayor parte de los manantiales se observaron en el Sector de Cataure.

Con base en todo lo anterior se estableció que la zona de estudio se encuentra conformada con 2 unidades hidrogeológicas principalmente, a saber:

Unidad 1: conformada por el macizo rocoso del área, compuesta principalmente por anfibolitas granatíferas en la base y esquistos en el tope. En ésta unidad las anfibolitas granatíferas presentan un grado de fracturamiento variable, incluso hay sectores en los cuales se encontraron manantiales que brotaban de diaclasas, lo cual es indicativo de la ocurrencia de aguas subterráneas en rocas fracturadas, pero las rocas productoras de agua son solamente las anfibolitas, los esquistos del sector, aparentemente no tienen ningún valor hidrogeológico relevante.

Unidad 2: conformada por suelos residuales y coluviones. Los análisis de suelos según el SUCS han dado como resultado que los suelos y coluviones encontrados en la zona son, en superficie, de material heterogéneo, con poca capacidad de infiltración local, sin embargo, según un SEV realizado en el asentamiento Cataure y otro en Plan de Caoma, indican la presencia en el subsuelo, de estratos de sedimentos con buena calidad para el flujo de agua subterránea, éste aspecto está evidenciado por la presencia de aljibes construidos en el sector Cataure, que incluso dan una buena producción de agua.

Toma de Muestras.

Roca: Se tomaron muestras de roca fresca de aprox. 5 Kg. para hacer secciones finas.-

- Coordenada 707869-E / 1162600-N. Muestra *Cataure 5*.
- Coordenada 707869-E / 1162600-N. Muestra *Cataure 9*.
- Coordenada 705570-E / 1161922-N. Muestra *Petaquire 1*.
- Coordenada 705270-E / 1161660-N. Muestra *Petaquire 2*.
- Coordenada 704340-E / 1163595-N. Muestra *Gruta 1*.
- Coordenada 704340-E / 1163595-N. Muestra *Gruta 2*.
- Coordenada 707215-E / 1165010. Muestra *Carayaca Abajo 5*.

Suelo: Se tomaron muestra de suelo de aprox. 2 Kg para el análisis de laboratorio y clasificar según el SUCS.-

- Coordenada 706331-E / 1162928-N. Muestra *Cataure 3*.
- Coordenada 708153-E / 1163020-N. Muestra *Cataure 6*.
- Coordenada 705035-E / 1162550. Muestra *El Molino*.
- Coordenada 705730-E / 1163905-N. Muestra *Plan de Caoma 1*.
- Coordenada 705076-E / 1162841-N. Muestra *Altos de Caoma*.
- Coordenada 707110-E / 1164965-N. Muestra *Carayaca Abajo 3*.
- Coordenada 707100-E / 1164913-N. Muestra *Carayaca Abajo 4*.

Agua: Se tomaron aprox. 2 L de muestra de agua para análisis de laboratorio.-

- Coordenada 706282-E / 1163150-N. Muestra *Cataure 1*.
- Coordenada 706331-E / 1162928-N. Muestra *Cataure 2*.
- Coordenada 707506-E / 1163381-N. Muestra *Cataure 4*.
- Coordenada 705757-E / 1163905-N. Muestra *Plan de Caoma 2*.
- Coordenada 708089-E / 1162905-N. Muestra *Cataure 7*.
- Coordenada 708160-E / 1162825-N. Muestra *Cataure 8*.
- Coordenada 707394-E / 1164740-N. Muestra *Carayaca Abajo 1*.
- Coordenada 707727-E / 1164821-N. Muestra *Caravaca abajo 2*.

Sondeos Eléctricos Verticales (SEV).

Se hicieron dos Sondeos Eléctricos Verticales, el primero en la Carretera principal del Asentamiento Cataure (figura 28) y el segundo Sondeo en la Cancha de Béisbol ubicada en Plan de Caoma (Carretera Junquito-Carayaca, figura 29).



Figura 28.- Ejecución del SEV N°1, Sector Cataure. Figura 29.- Ejecución del SEV N°2, Sector Plan de Caoma.

Se utilizó el equipo SARIS (figura 30) para la realización de los Sondeos con la configuración Schlumberger, y el software IPI2WIN para SEV el cual se encarga de hacer las correcciones de los valores de resistividades y espesores obtenidos en campo. Para la realización de cada SEV se determina previamente la longitud AB, para colocar después la fuente de poder de energía a una distancia $AB/2$. Posteriormente se colocan los electrodos y los dipolos de emisión y recepción según las normas del SEV configuración Schlumberger.

En el sector Cataure (SEV N°1) el punto $AB/2$ se ubica en la coordenada 708548-E / 1163879-N, el rumbo de la líneas del sondeo es N81E y la distancia AB es de 130m de longitud. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 10.- Valores de campo del SEV N° 1, sector Cataure.

**VALORES DE CAMPO OBTENIDOS EN LA REALIZACION DE SONDEO ELECTRICO VERTICAL N° 1
CARAYACA - ESTADO VARGAS (Sector Cataure)**

AB/2 (m)	MN (m)	VP (mv)	R0(ohmxm)	SD (%)	TXI (ma)	SP (mv)
2	1	132.11	22.1	0	29.6	82
3	1	67.07	64.68	0	28.8	85
4	1	43.84	72.78	0	30.1	85
5	1	27.36	77.41	0	27.7	85
6	1	16.16	80.35	0	22.8	87
8	1	9.67	77.6	0	25.2	90
8	3	30.66	75	0	25.4	9
10	3	25.65	79	0	33.8	12
13	3	18.86	79.22	0	42	12
16	3	82.87	81.86	0.1	272	12
20	3	55.98	87.69	0.1	268	14
25	3	69.34	85.51	0.2	534	14
32	3	23.7	80.19	0.1	319	14
40	3	28.34	82.37	0.1	581	14
50	3	17.46	96.87	0.1	476	14
65	3	5.16	53.69	0.4	430	19

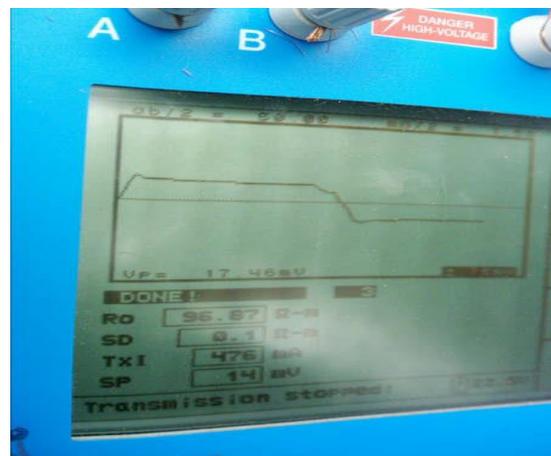


Figura 30.- Detalles del equipo de Sondeo Eléctrico Vertical utilizado.

En el sector Plan de Caoma (SEV N°2) el punto AB/2 se ubica en la coordenada 705646-E / 1163967-N, y el rumbo de la línea del sondeo es N82W, la distancia AB es de 80m de longitud. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 11.- Valores de campo del SEV N° 2, sector Plan de Caoma (Cancha de Béisbol)

**VALORES DE CAMPO OBTENIDOS EN LA REALIZACION DE SONDEO ELECTRICO VERTICAL N° 2
CARAYACA - ESTADO VARGAS (Sector Altos de Caoma)**

AB/2 (m)	MN (m)	VP (mv)	R0(ohmxm)	SD (%)	TXI (ma)	SP (mv)
2	1	182.63	93.95	0.1	23.1	-17
3	1	72.82	103.2	0	19.6	-17
4	1	27.62	104.8	0.1	13.2	-17
5	1	19.55	93.26	0	16.5	-19
6	1	17.41	84.52	0	23.4	-19
8	1	11.05	82.34	0	27.1	-19
10	1	8.13	85.92	0.1	29.9	-19
10	3	22.76	78.32	0.1	30.1	43
13	3	10.71	76.54	0.1	24.7	63
16	3	7.98	74.93	0	28.2	70
16	5	13.02	73	0.1	28.2	-56
20	5	8.68	74.87	0	28.9	12
25	5	4.07	76.26	0.1	20.9	31
25	10	8.4	76.39	0.1	20.9	43
32	10	15.69	78.03	0.2	63.7	46

Los datos de campo corregidos para cada SEV son los siguientes:

Tabla 12.- Valores de resistividad y espesores verdaderos (SEV N°1), sector Cataure

Sondeo Electrico Vertical N° 1 Carayaca
Tabla de Resistividades, Espesores y Profundides Verdaderas

Error = 0.954%				
N	ρ	h	d	Alt
1	22.96	1.033	1.033	-1.0328
2	110.2	31.14	32.18	-32.177
3	1.367			

Tabla 13.- Valores de resistividad y espesores verdaderos (SEV N°2), sector Plan de Caoma (Cancha de béisbol)

Sondeo Electrico Vertical N° 2 Carayaca
Tabla de Resistividades, Espesores y Profundides Verdaderas

Error = 0.0343%				
N	ρ	h	d	Alt
1	69.92	1	1	-1
2	234.2	0.7966	1.797	-1.7966
3	9.79	0.3376	2.134	-2.1343
4	81.94			

Para el SEV N^a 1 de la zona de Cataure se tiene como resultado tres unidades geoelectricas:

Capa 1: Espesor: 1,033m;	Resistividad = 22,96 ohm/m
Capa 2: Espesor: 31,14m;	Resistividad = 110,2 ohm/m
Capa 3: Espesor: sin determinar;	Resistividad =1367 ohm/m

Para el SEV N^a 2 de la zona de Plan de Caoma (cancha de béisbol) se tiene como resultado cuatro unidades geoelectricas:

Capa 1: Espesor: 1m;	Resistividad = 69,92 ohm/m
Capa 2: Espesor: 0,79m;	Resistividad = 234,2 ohm/m
Capa 3: Espesor: 0,33m;	Resistividad = 9,79 ohm/m
Capa 4: Espesor: sin determinar;	Resistividad =81,94 ohm/m

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LABORATORIO.

Análisis Petrográfico

El objetivo de hacer los análisis petrográficos es el de definir el conjunto de unidades litológicas presentes en la región. En función de la litología presente en la zona, se decidió tomar 7 muestras representativas para realizarles el correspondiente análisis petrográfico:

- Muestra 1: Coordenada 707869-E / 1162600-N (Cataure 9).
- Muestra 2: Coordenada 707215-E / 1165010 (Carayaca Abajo 5).
- Muestra 3: Coordenada 704340-E / 1163595-N (Gruta 1).
- Muestra 4: Coordenada 705570-E / 1161922-N (Petaquire 1).
- Muestra 5: Coordenada 704340-E / 1163595-N (Gruta 2).
- Muestra 6: Coordenada 707869-E / 1162600-N (Cataure 5).
- Muestra 7: Coordenada 705270-E / 1161660-N (Petaquire 2).

La muestra 1 (Cataure 9) fue tomada de la zona alta del asentamiento Cataure a unos 1000 msnm y la sección fina arrojó la siguiente mineralogía:

Mineral	Cuarzo	Moscovita (fengita)	Albita	Epidoto	Clorita	Leucoxeno	Minerales opacos (Limonita y magnetita)	Esfena
Porcentaje	35%	27%	10%	8%	8%	5%	5%	2%

La presencia de clorita, epidoto y fengita son indicativos de la facie de los esquistos verdes, a su vez prevalecen la subfacie clorita-moscovita y la subfacie cuarzo-albita. Esto permite decir que la muestra 1 represente un esquisto cuarzo-muscovítico-albítico-clorítico.

La muestra 2 (Carayaca Abajo 5) fue recolectada de la hacienda Carayaca abajo a unos 625 msnm, y cuya sección fina arrojó los siguientes resultados:

Mineral	Cuarzo	Albita	Moscovita	Clorita	Epidoto (clinozoisita)	Esfena	Minerales opacos (magnetita y limonita)
Porcentaje	40%	25%	20%	9%	8%	3%	<1%

La presencia de clorita y epidoto son indicativos de la facie de los esquistos verdes, a su vez prevalecen la subfacie clorita-moscovita y la subfacie cuarzo-albita. Esto permite decir que la muestra 2 representa un esquisto cuarzo-albítico-muscovítico-clorítico.

La muestra 3 (Gruta 1) fue tomada en la Gruta de la Virgen en el caserío Altos de Paraíso a unos 1120 msnm. La sección fina mostró los siguientes minerales:

Mineral	Cuarzo	Moscovita	Albita	Epidoto	Minerales opacos (limonita, hematina, magnetita)	Esfena	Turmalina
Porcentaje	53%	25%	10%	5%	5%	2%	<1%

La presencia de epidoto indica una facie de esquistos verdes. La muestra 3 representa un esquisto cuarzo-muscovítico-albítico

La muestra 4 (Petaquire 1) fue recolectada aguas abajo del dique petaquire, cerca del Caserío el Molino, aprox. A unos 300 m, a una altura de 1075 msnm. La sección fina mostró los siguientes resultados:

Mineral	Plagioclasa	Cuarzo	Granate	Clorita	Biotita	Moscovita	Esfena	Epidoto	Minerales Opacos (limonita, hematina, magnetita)	Circón	Leucoxeno
Porcentaje	33%	25%	10%	8%	7%	5%	5%	4%	3%	<1%	<1%

Los porcentajes de plagioclasa y cuarzo, junto con las micas cloritizadas, indican que la muestra es una meta-trondjemita típica del Complejo Ávila.

La muestra 5 (Gruta 2) fue tomada en la Gruta de la Virgen en el caserío Altos de Paraíso a unos 1120 msnm. La sección fina mostró los siguientes minerales:

Mineral	Cuarzo (anguloso)	Cuarzo microcristalino	Moscovita	Granates esquelatales (sustituidos por limonita)	Clorita	Hematina	Circón	Esfena
Porcentaje	45%	30%	10%	10%	5%	<1%	<1%	<1%

La muestra 5 representa una cuarcita.

La muestra 6 (Cataure 5) fue recolectada a unos 50 m de la muestra 1 (Sector Cataure, a unos 1000 msnm). la sección fina contiene los siguientes minerales:

Mineral	Actinolita	Clinozoisita	Granate	Albita	Cuarzo	Esfena	Moscovita
Porcentaje	45%	20%	15%	5%	5%	5%	5%

La presencia de actinolita y granate indican que la muestra es una anfibolita granatífera, el epidoto confirma la facie de los esquistos verdes.

La muestra 7 (Petaquire 2) fue recolectada aguas arriba del dique petaquire, cerca del Caserío el Molino, aprox. A unos 300 m, a una altura de 1105 msnm. La sección fina mostró los siguientes resultados:

Mineral	Moscovita	Granate esquelital (almandino)	Esfena	Epidoto
Porcentaje	80%	10%	5%	5%

La presencia de epidoto es indicativo de la facie de los esquistos verdes, subfacies Almandino.

La muestra 7 representa un esquisto-muscovítico-granatífero.

Con base a los análisis de las secciones finas (facies metamórficas en función de la mineralogía observada) se han determinado tres unidades litológicas, a saber:

Unidad Litológica 1:

-Esquisto-muscovítico-granatífero.

-Meta-trondjemita.

Se encuentra en la parte Sur del área de estudio (El Molino) está en contacto abrupto con la Unidad Litológica 3 (anfíbolita granatífera). Los afloramientos de metatrondjemita son locales. Las asociaciones minerales de las secciones finas definen a esta unidad dentro de la facie metamórfica de los esquistos verdes. Ésta unidad pertenece a una zona de melange tectónico.

Unidad Litológica 2:

- Cuarcita.
- Esquisto cuarzo-muscovítico-albítico.
- Esquisto cuarzo-albítico-muscovítico-clorítico.
- Esquisto cuarzo-muscovítico-albítico-clorítico.

Se encuentra en la periferia de la zona de estudio, exceptuando la parte Este. En el poblado de El Paraíso-El Arenal y Carayaca Abajo se consiguen intercalaciones de los esquistos con cuarcitas que contienen granate. Las asociaciones minerales de las secciones finas definen a esta unidad dentro de la facie metamórfica de los esquistos verdes.

Unidad Litológica 3:

- Anfibolita granatífera.

Se encuentra ubicada en la parte central de la zona de estudio y es la que abarca mayor área de extensión, se observa subyaciendo a la Unidad Litológica 2 en contacto abrupto a lo largo de la carretera Carayaca-Catia La Mar y en Carayaca Abajo. Las asociaciones minerales de las secciones finas definen a esta unidad dentro de la facie metamórfica de la anfibolita epidótica.

CAPITULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Ubicación estimada de las zonas de recarga.

Con base en el análisis fisiográfico

El sector comprendido entre las coordenadas: 10°30´- 10°33´ latitud Norte 67°05´- 67°10´ longitud Oeste, de la Cordillera de la Costa, presenta un desarrollo orográfico dominado por un sistema de montañas estribadas que se orientan, en general, hacia el noreste y descienden su cota en este sentido hasta llegar a la costa.

En este sentido, el área de estudio contiene dos elementos de estas características que dominan el paisaje; Fila Capadare y la montaña Piedra La Campana-El Pozo. El primero se encuentra al Sur del área de estudio cuya línea de cresta es (límite Sur del área de estudio) de forma sinuosa y orientación preferencial Este-Oeste, y el segundo se encuentra al Norte de la misma, con orientación Noreste-Suroeste. La fila Capadare alcanza cotas superiores a los 1400 m de forma continua a lo largo de la línea de cresta, mientras que la montaña Piedra La Campana-El Pozo desciende su cota desde los 1500 hasta los 900 m de altura donde disminuye notoriamente la pendiente de descenso. Es importante destacar que estos elementos exhiben un pseudo paralelismo entre si. Esta configuración muestra que Fila Capadare se remonta en el paisaje como elemento dominante del mismo.

Lo anterior contribuye a presumir que la zona de recarga natural se ubica al Sur del área de estudio (Fila Capadare). Éste relieve es el responsable de las precipitaciones que se generan en la zona de Cataure (zona con mayor producción de aguas subterráneas), ya que las masas de aire chocan con el frente de montaña (véase figuras 31 a la 34), generándose precipitaciones de tipo orográfica, por lo que se

puede asumir que, en principio, el sector de Fila Capadare deba ser considerada como la zona de recarga natural del sector. Por otro lado, existe un cambio de pendiente abrupto en este frente de montaña, donde una pendiente muy pronunciada desde la cresta, cambia a los 1000 m aproximadamente, a una pendiente más suave.



Figura 31.- Fila Capadare vista desde la carretera Carayaca-Catia La Mar.



Figura 32.- Obsérvese el choque de las masas de aire con Fila Capadare. La figura fue tomada 10 minutos después de tomar la figura 28.



Figura 33.- Continúa el choque de las masas de aire contra Fila Capadare. La figura fue tomada 10 minutos después de tomar la figura 29.



figura 34.- Obsérvese la condensación de las masas de aire contra Fila Capadare.

La ladera Sur de la cuenca del Río Petaquire está caracterizada por presentar pendientes que varían entre recta, cóncava y recta. Las pendientes con segmentos rectos son abruptas, entre 60° y 80° de inclinación. Las pendientes cóncavas varían entre 30° y 50° de inclinación aproximadamente. Éstas pendientes se distribuyen aleatoriamente en la ladera (ver figura 35).

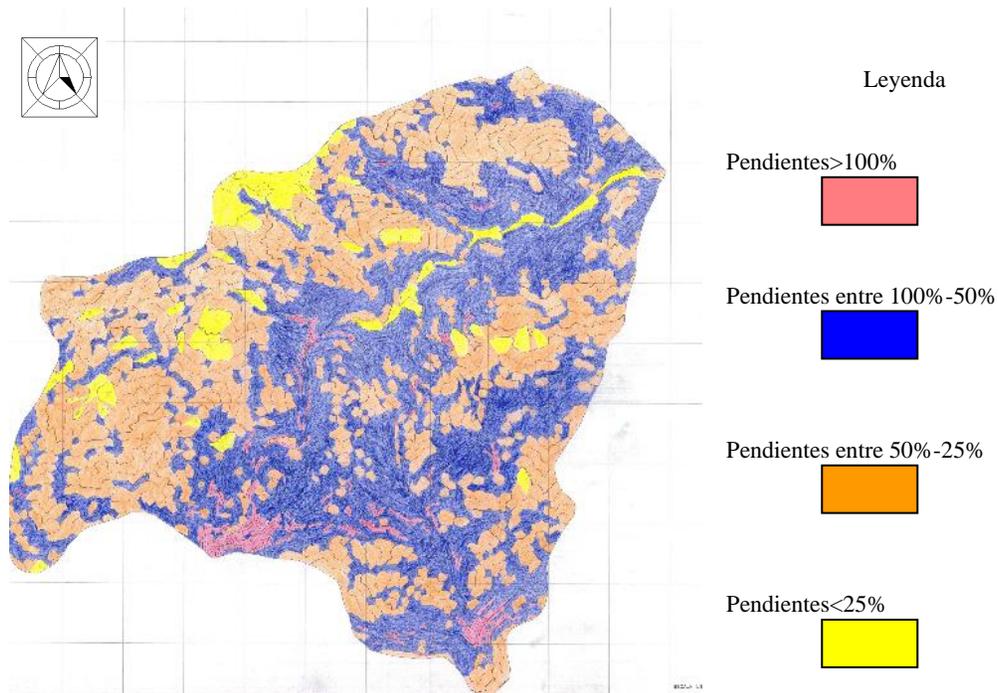


Figura 35.- Mapa de pendientes de la zona de Carayaca, Estado Vargas.

Éstas relaciones de pendientes se convierten en elementos fundamentales para la posible ubicación de la(s) zona(s) de recarga del sistema acuífero. Los lugares con pendiente abrupta claramente favorecen la escorrentía superficial del agua de lluvia, mientras que los segmentos de pendiente más suave favorecen la infiltración, sin embargo, en las zonas de cambio de pendiente es donde es posible que ocurra la mayor cantidad de infiltración de agua al subsuelo, debido a que en éstos lugares hay una disminución en la velocidad del flujo y esto favorece el movimiento vertical descendente del agua por fuerza de gravedad. Cabe destacar que algunas zonas de cambios de pendiente corresponden con contacto roca-coluvión, en éstos casos, la infiltración del agua será más eficaz que en las zonas de cambio de pendiente por irregularidades del coluvión.

Un fenómeno similar a lo anterior debe ocurrir en los alrededores de Piedra La Campana, pues se observan condiciones fisiográficas similares. No obstante estas condiciones son muy diferentes en las cercanías del pueblo de Carayaca, las cuales parecieran no ser favorables para la recarga.

Con base en el análisis del TSD.

El valor del TSD es directamente proporcional al recorrido de las aguas subterráneas desde su infiltración, lo cual implica que las zonas en donde el TSD es bajo, es indicativo de que el agua subterránea ha tenido poco recorrido desde la infiltración. Los datos del TSD para cada muestra de agua tomada se encuentran en la tabla 13.

En el sector Cataure es donde se observan los valores más bajos del análisis del TSD ($90 < \text{TSD} < 194$), lo cual indica que la zona de recarga natural puede estar próxima a esta zona aguas arriba.

Tabla 14.- Resultados de los análisis físico-químicos de aguas

Parámetros/Muestra	Cataure 1	Cataure 2	Cataure 4	Cataure 7	Cataure 8	Carayaca Abajo 1	Carayaca Abajo 2	Plan de Caoma
Sulfatos (mg/L)	60	64	43	28	43	95	110	16
Calcio (mg/L)	43	28	35	16	24	136	156	32
Magnesio (mg/L)	18	19	15	11	11.3	24	36	13
Ph	7.9	6.7	7.7	7.2	6.6	7.7	8.1	7.5
TSD (mg/L)	194	170	154	90	119	426	507	149
Cloruro (mg/L)	19	20	15	10	11	65	66	19
Conductividad (µS/cm)	403	353	332	188	252	872	1032	310
Nitrato (N-NO ₃ mg/L)	4.9	5.1	2.5	3.2	0.6	11	13	6.5
Fluoruro (mg/L)	<0.1	0.32	<0.1	<0.1	0.18	0.49	0.28	0.11
Color Real (Upt.Co)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Turbidez (NTU)	3	2	1	174	4	7	156	12
Nitrito (N-NO ₂ mg/L)	0.002	0.004	0.004	0.001	0.001	0.002	0.058	0.01

En el sector Plan de Caoma se obtuvo un valor de TSD = 149, lo cual indica, que la zona de recarga natural es cercana aguas arriba (Piedra La Campana), análogo al sector Cataure. Sin embargo, por la ubicación del sector Plan de Caoma con respecto al asentamiento Cataure, se presume que existen áreas de recarga distintas.

En el sector Carayaca Abajo se consiguieron los mayores valores de TSD en toda la zona de estudio (426<TSD<507) lo cual implica que la zona de recarga está más alejada que las otras dos zonas expuestas. Por la ubicación de Carayaca Abajo con respecto a las otras zonas, se cree que estas aguas provienen del sector Plan de Caoma. Sin embargo es importante destacar que las aguas del sector Carayaca Abajo están afectadas por la contaminación del poblado de Carayaca.

Con base en los resultados anteriormente expuestos, se puede concluir que la zona de recarga está ubicada en la Fila Capadare (para el Sector Cataure) y Piedra La Campana (para los sectores Plan de Caoma-Carayaca Abajo).

Con base en el análisis de suelos.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) pretende dar una idea de la granulometría presente en cada muestra de suelo tomada en los diferentes sectores de la zona de estudio, con la finalidad de determinar aquellos suelos que permitirán o no la infiltración del agua de lluvia en el subsuelo, cabe destacar que todas las muestras de suelos fueron tomadas en superficie.

La o las zonas de recarga en lo alto del áreas de estudio, que se puedan considerar óptimas, deben tener en sus alrededores el menor desarrollo posible de suelos impermeables, como los las arcillas de alta y baja plasticidad arenosas (s(CH) y s(CL) respectivamente), pues estos tienden a impedir la infiltración del agua al sistema subterráneo. Por el contrario, todos aquellos sectores ubicados en las zonas mas altas del área de estudio que posean suelos más permeables, como arenas limosas con y sin grava ((SM)g o SM respectivamente), tendrán condiciones más favorables para que ocurra la recarga al acuífero.

En la tabla 15 se muestran los resultados de los tipos de suelos encontrados en la zona de estudio con base en el análisis de SUCS.

Tabla 15.- Clasificación de muestras de suelos según el SUCS

Tesis Eduardo Moros & Jesús Portilla							
Clasificación de las muestras de suelo según:							
"El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos" ASTM D 24-87							
Muestras	Grava	Arena	Fino	LL	LP	IP	Clasificación
Cataure 6	0.45	25.49	74.06	54.69	29.02	25.67	s(CH) Arcilla alta plasticidad arenosa
Cataure 3	23.21	40.78	36.00	NA	NP	NA	(SM)g Arena limosa con gravas
Carayaca abajo 4	8.32	40.52	51.16	36.49	20.22	16.27	s(CL) Arcilla de baja plasticidad arenosa
Altos de Caoma	6.49	60.83	32.69	NA	NP	NA	SM Arena limosa
Plan de Caoma	12.47	46.6	40.93	41.69	29.48	12.21	SC Arena arcillosa
El Molino	2.33	22.52	75.15	NA	NP	NA	s(ML) Limo arenoso
Carayaca abajo 3	20.13	43.72	36.16	NA	NP	NA	(SM)g Arena limosa con gravas

Direcciones de flujo de las aguas subterráneas.

Debido a la ausencia de pozos y de lecturas de niveles piezométricos, se hizo el análisis de las probables direcciones de flujo de las aguas subterráneas de la zona de Carayaca, con base en 3 aspectos fundamentales:

- Fisiografía.
- Análisis del Sistema de diaclasas.
- Análisis del TSD.

Fisiografía.

La zona de estudio presenta un relieve montañoso con líneas de cresta sinuosas y dirección preferencial Este-Oeste que definen una divisoria de aguas local para el área en cuestión, específicamente en el Sector Cataure (Fila Capadare) además de ser una zona de choque de las masas de aire con este frente de montaña, las pendientes de sus laderas disminuyen de Sur a Norte, esto implica que tanto el flujo superficial como el subterráneo de agua debería ser de Sur a Norte por ley de gravedad.

Análisis del Sistema de diaclasas.

Durante el levantamiento de campo se tomaron en cuenta todas las diaclasas que afloraban, para plasmarlas en el correspondiente mapa de la zona y así poder establecer las redes de diaclasas presumiblemente interconectadas que permitan el flujo subterráneo de agua. La intención de estas redes es sustentar que el macizo rocoso se comporta como un medio poroso y permeable óptimo, que permite efectivamente el movimiento del fluido.

Es importante resaltar que se está tomando en cuenta la estimación de la extensión de las diaclasas en el subsuelo, de decenas de metros para que puedan

lograr la interconexión, pues de no existir la misma no existirían los manantiales, que son respuesta directa de la real interconexión de las diaclasas.

Se establecieron 4 zonas para el estudio de diaclasas:

Zona 1 (figura36): representada por toda el área que abarca la carretera El Junquito-Carayaca desde el sector El Molino hasta Carayaca. La red estereográfica presenta una familia de diaclasas:

-F1: Rumbos entre 20° y 50° al Noroeste con buzamiento hacia el Sur.

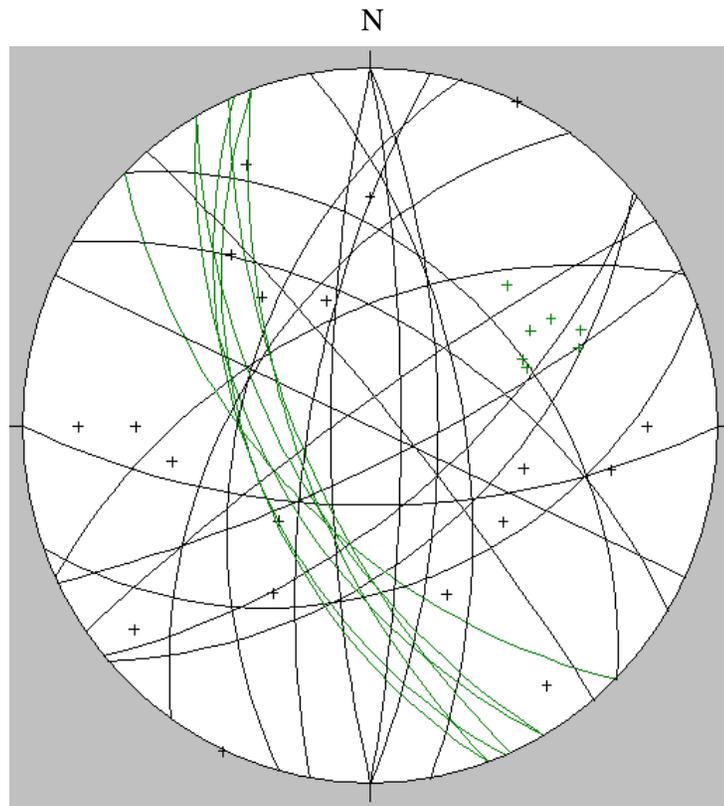


Figura 36.- Representación de los planos de diaclasas de la zona 1 en red estereográfica.

Para la zona 1, la familia de diaclasas F1 mostrada en la figura 33, no favorece aparentemente el flujo de las aguas subterráneas, más bien contribuye a su acumulación, en el caso de las diaclasas con rumbo Noreste de la misma figura, aparentemente favorecen el flujo subterráneo hacia el Noreste.

Zona 2 (figura 37): representada por el asentamiento Cataure.

La red estereográfica presenta dos familias de diaclasas:

-F2: Rumbos entre 50° y 60° al Noreste con buzamiento al Norte.

-F3: Rumbo Este-Oeste con buzamiento hacia el Sur.

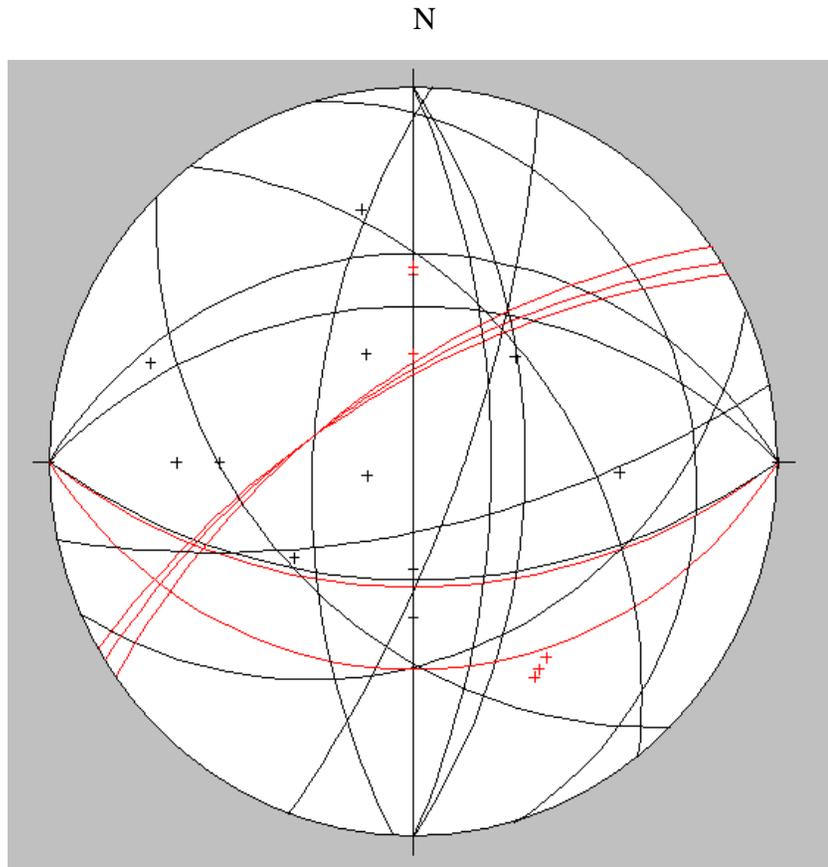


Figura 37.- Representación de los planos de diaclasas de la zona 2 en red estereográfica.

Para el caso de la zona 2, las familias de diaclasas F2 y F3 mostradas en la figura 37, no favorecen aparentemente el flujo de las aguas subterráneas, más bien contribuyen a su acumulación. En el caso de las diaclasas con rumbo Norte-Sur de la misma figura, aparentemente favorecen el flujo subterráneo hacia el Norte. Evidencia

de esto se observó en el manantial que brota de la roca fracturada en la carretera principal de Cataure.

Zona 3 (figura 38): representada por el área que abarca la carretera Carayaca-Catia La Mar incluyendo el sector Carayaca Abajo. La red estereográfica presenta una familia de diaclasas:

-F4: Rumbos entre 0° y 30° al Noreste con buzamiento hacia el Norte.

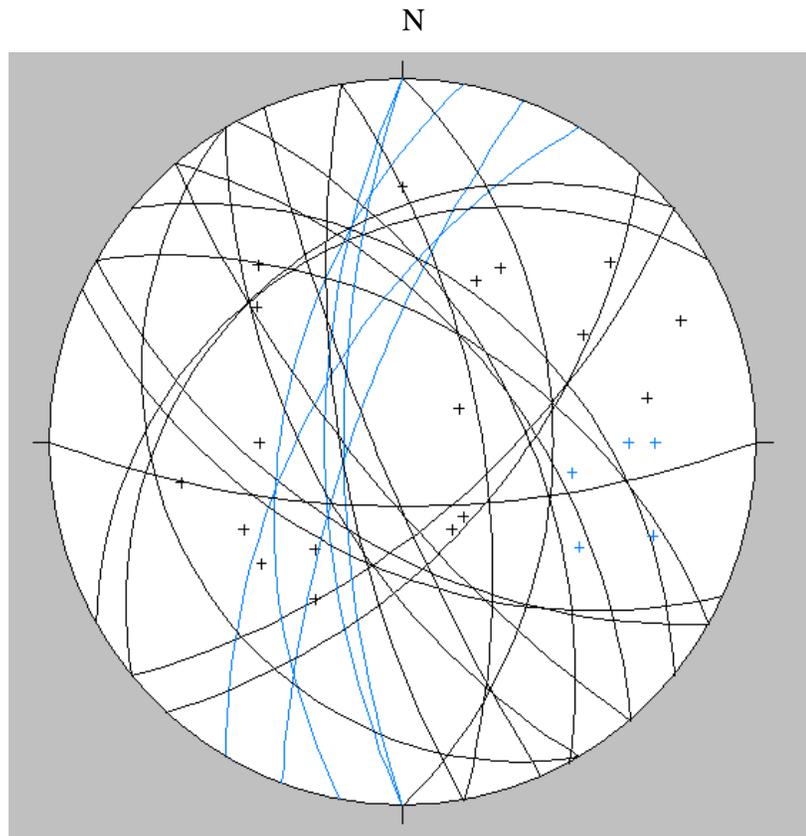


Figura 38.- Representación de los planos de diaclasas de la zona 3 en red estereográfica.

En la zona 3, la familia de diaclasas F4 mostrada en la figura 38, favorece aparentemente el flujo de las aguas subterráneas, y presumiblemente, puedan estar interconectadas con las diaclasas de rumbo Noreste de la zona 1 (ver figura 36). Los

demás grupos de diaclasas de la zona 3 pueden favorecer el flujo y acumulación de aguas subterráneas, prueba de esto es la presencia de dos manantiales en el sector Carayaca Abajo.

Zona 4 (figura 39): Sector El Pozo-Planta de Mamo. La red estereográfica presenta una familia de diaclasas:

- F5: Rumbos entre 0° y 30° al Noreste con buzamiento hacia el Norte.

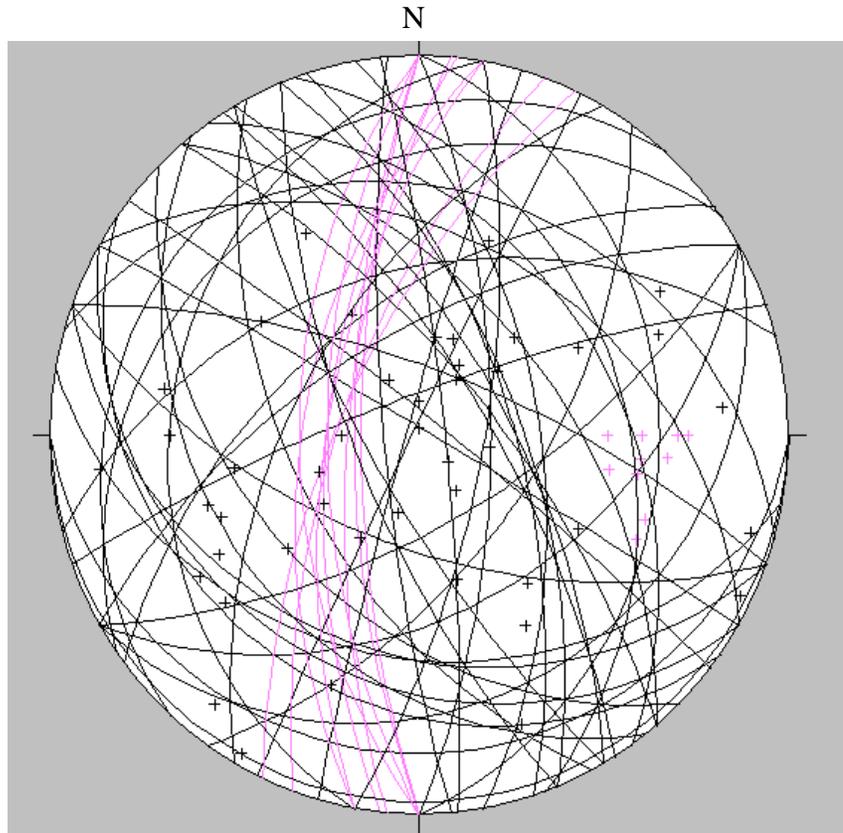


Figura 39.- Representación de los planos de diaclasas de la zona 4 en red estereográfica.

Para el caso de la zona 4, la familia de diaclasas F5 mostradas en la figura 39 junto con los demás grupos de diaclasas, presumiblemente favorecen el flujo de aguas subterráneas, ya que hasta los momentos no se registraron manantiales en esta zona (El Pozo-Planta de Mamo).

Análisis del TSD.

Los análisis del TSD reflejan, en el Sector Cataure, valores similares (90 a 170 ppm), lo cual puede indicar que se está en presencia de un mismo sistema de aguas subterráneas, donde el sentido del flujo de las aguas subterráneas es de Sur a Norte, debido a que la zona de recarga natural correspondiente se encuentra aguas arriba (Fila Capadare a 1500 m.s.n.m.) y la zona de descarga evidenciada por manantiales, se encuentra aproximadamente a unos 750 m.s.n.m., esto significaría que el sector Cataure es un solo sistema de acuíferos, además, los valores de TSD registrados en Cataure, son bajos, lo cual permite presumir que el recorrido de las aguas subterráneas en la zona es poco.

Existe otro sistema acuífero representado por la zona Piedra La Campana-Caoma-Carayaca Abajo, evidenciado porque los análisis de TSD en la zona de Caoma (149 ppm) son más bajos con respecto al valor del TSD en Carayaca Abajo (426 y 507 ppm). En este caso, la dirección y sentido del flujo de las aguas subterráneas en éste segundo sistema es de Suroeste a Noreste (sin embargo, es importante hacer notar que el TSD calculado en Carayaca Abajo está afectado por las aguas negras del poblado de Carayaca).

Análisis de los SEV.

Para el SEV N^a 1 de la zona de Cataure se tiene como resultado tres unidades geoelectricas:

Capa 1: Espesor: 1,033m;	Resistividad = 22,96 ohm/m
Capa 2: Espesor: 31,14m;	Resistividad = 110,2 ohm/m
Capa 3: Espesor: sin determinar;	Resistividad =1367 ohm/m

Para el SEV N^a 2 de la zona de Plan de Caoma (cancha de béisbol) se tiene como resultado cuatro unidades geoelectricas:

Capa 1: Espesor: 1m;	Resistividad = 69,92 ohm/m
Capa 2: Espesor: 0,79m;	Resistividad = 234,2 ohm/m
Capa 3: Espesor: 0,33m;	Resistividad = 9,79 ohm/m
Capa 4: Espesor: sin determinar;	Resistividad =81,94 ohm/m

Con respecto a los resultados de estos SEV, se puede decir que el SEV N^o1, realizado en el sector Cataure es el que nos puede dar una mejor idea de la configuración de las facies en el subsuelo, debido a que el SEV N^o2 apenas penetró 2,12m de profundidad:

Resultados del SEV N^o 1:

a) Se tiene una primera unidad geoelectrica A, de espesor sin determinar, cuya resistividad es de 1367 ohm/m, lo cual puede indicar una capa competente de roca (roca metamórfica, posiblemente anfibolita), que según la geología local, puede corresponder con la unidad litológica de anfibolita.

b) Una segunda unidad geoelectrica B, cuyo espesor es 31,14m y tiene una resistividad de 110,2 ohm/m, lo cual puede corresponder a una capa de arena con gran potencial hidrológico.

c) Una tercera unidad geoelectrica C, la más superficial, cuyo espesor es de 1,033m y un resistividad de 22,96 ohm/m, que bien puede corresponder con una capa de limo, sin ningún interés hidrológico puesto que no transmite agua de manera óptima.

<p>22,96 ohm/m limo espesor: 1,033 m</p>
<p>110,2 ohm/m Arena Espesor: 31,14 m</p>
<p>1367 ohm/m. Anfibolita Espesor desconocido.</p>

Figura 40.- Columna de las unidades geoelectricas interpretadas del SEV

Cabe destacar que de las muestras de suelos analizadas, se encontró que hay dos tipos de suelos que presentan buenos valores de porosidad y permeabilidad, que es la arena limosa (SM) y arena limosa con grava ((SM)g), y la evidencia del valor hidrogeológico de éstos tipos de suelos está en que, en donde se tomaron las muestras, hay cerca zonas de manantiales y aljibes construidos sobre estos tipos de suelos y con gran productividad. Estos tipos de suelos pertenecen a la unidad geoelectrica B.

Estimación de la ubicación y del número de sistemas acuíferos o cuencas subterráneas.

Como se mencionó en el capítulo 2 que todo acuífero consta de 3 partes; zona de recarga, zona de saturación y zona de descarga. Para el área de estudio se han estimado dos zonas de recarga, las cuales se ubican en los lugares más altos al Sur de la cuenca. Así mismo, las zonas de descargas fueron identificadas a través de los manantiales. Por lo tanto, en un acuífero la zona de saturación está sujeta y necesariamente vinculada a las zonas antes mencionadas, por lo que no se pueden desvincular entre ellas. Si lo anterior es cierto deben necesariamente existir 2 zonas de saturación, lo que se traduce en la posible existencia de 2 cuencas subterráneas.

Otra evidencia palpable, es el hecho de la existencia de 2 manantiales, ubicados en la carretera del Asentamiento Cataure, con gastos muy diferentes, ambos aflorando en roca, los cuales se encuentran separados por el Río Petaquire, es decir, un manantial se encuentra del lado Este del Río y el otro se encuentra del lado Oeste del mismo.

Estas 2 cuencas subterráneas se ubican, una en la zona de Cataure (ladera Sur de la cuenca del Petaquire) y la otra desde Piedra La Campana hasta Carayaca Abajo (ladera Norte de la cuenca del Petaquire).

Análisis del macizo rocoso

Con base en las clasificaciones para macizos rocosos URCS (análisis cualitativo) y RQD (análisis cuantitativo) se determinaron las siguientes características de las rocas en función de los elementos mayoritarios para el URCS y el valor promedio para el caso del RQD.

El elemento de clasificación predominante en el URCS fue el BBE, y el segundo fue el ABE, se determinaron las siguientes características del macizo rocoso:

- Grado de meteorización incipiente, a veces sin meteorizar.
- La roca presenta alta resistencia a la compresión sin confinar (determinado en campo con martillo de cabeza redonda de 450g de peso aproximado).
- Se presentan más de 2 discontinuidades planares (diaclasas) que se intersectan a través del macizo.

El valor promedio para el RQD estimado en campo fue de 70,1% lo cual implica que el macizo rocoso tiene una condición regular.

A partir de los resultados obtenidos del URCS y el RQD, se puede presumir que el macizo rocoso presenta condiciones de fracturamiento que permiten deducir la existencia de una porosidad secundaria tal que permite la acumulación y movimiento de las aguas subterráneas.

Determinación de las zonas con potencial hidrogeológico.

Bajo potencial.

Las zonas con bajo potencial hidrogeológico, corresponden a las zonas de Alto Paraíso-Arenal, Carayaca y vía Sector El pozo, debido a la presencia de material (tanto sedimentario como metamórfico) que impiden la infiltración, acumulación y flujo de aguas subterráneas por varios motivos:

- a) Baja frecuencia de diaclasas en las rocas.
- b) Ausencia de manantiales.
- c) Las zonas están ubicadas en las líneas de cresta de los relieves que conforman la región.
- d) Escasa precipitación.
- e) Presencia de suelos de material fino.
- f) Concentración de las actividades humanas en estas zonas.

Mediano potencial.

Las zonas con potencial hidrogeológico medio son Caoma y Carayaca Abajo, debido a:

- a) Acceso restringido a la zona de Carayaca Abajo.
- b) Precipitaciones frecuentes en la zona de Caoma.
- c) Presencia de suelos con gran potencial hidrogeológico.
- d) Interconexión entre las familias de diaclasas de ambas zonas.
- e) Frecuencia de diaclasas moderada.
- f) Presencia de manantiales de gran producción.

Alto potencial.

La zona con alto potencial en el área de estudio es el asentamiento Cataure. Los parámetros para definir esta zona como la más productiva de aguas subterráneas fueron:

a) Más del 70% de los manantiales encontrados en Carayaca corresponden al asentamiento Cataure.

b) Presencia de aljibes de gran producción de aguas.

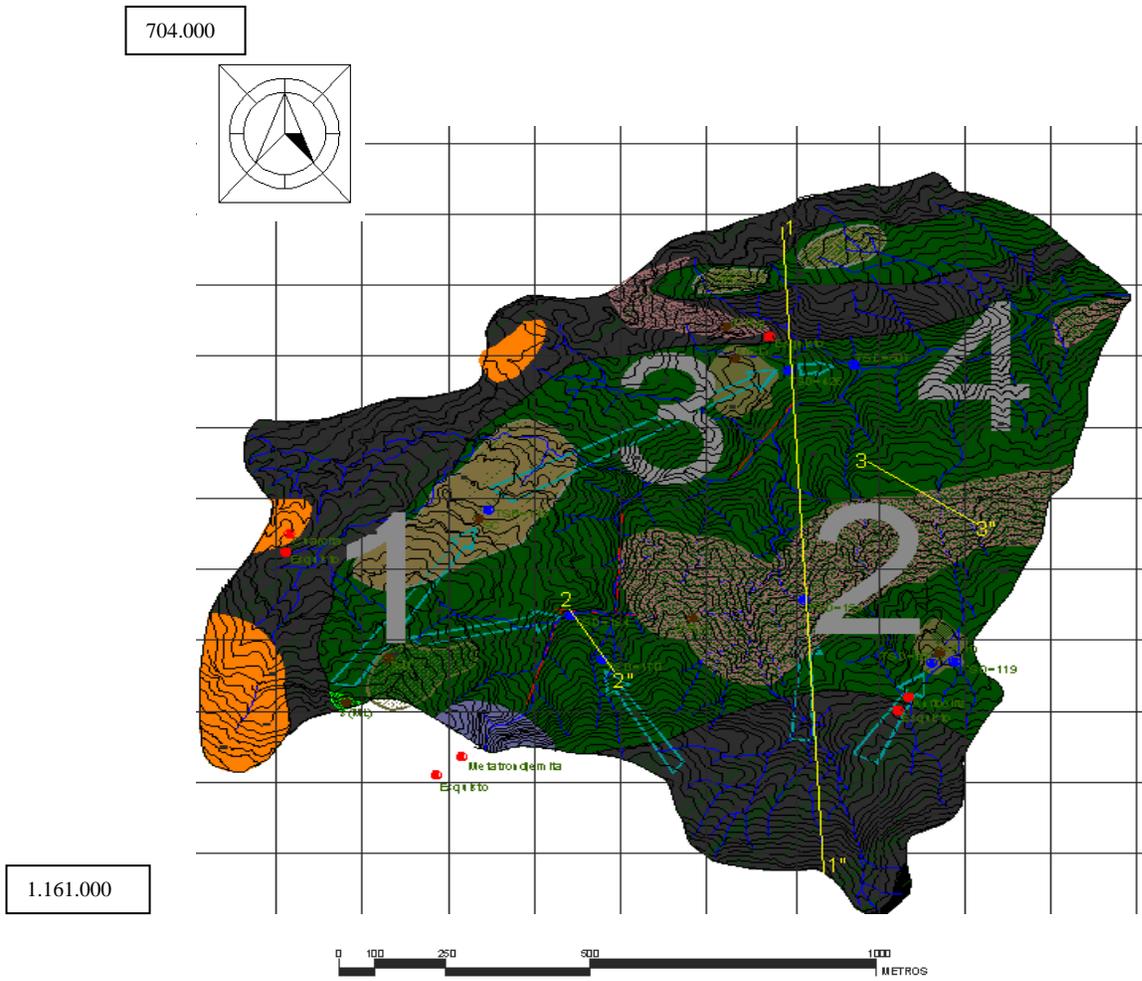
c) Lluvias orográficas constantes.

d) Macizo rocoso bien fracturado.

d) Con base en los resultados obtenidos del Sistema Unificando de Clasificación de Suelos (SUCS), se determinó que los suelos limo-arenosos con o sin grava, permiten el flujo del agua subterránea, y la evidencia de esta afirmación está en que las muestras de suelos fueron tomadas en zonas donde hay aljibes construidos.

Mapa Hidrogeológico.

El mapa hidrogeológico constituye una representación gráfica a escala de una serie de fenómenos o características de las aguas subterráneas. Los fenómenos pueden ser estáticos (datos geológicos, puntos de agua) o dinámicos (profundidad del nivel de agua, calidad del agua), por lo tanto deben ir perfectamente situados en el tiempo. El mapa debe ir acompañado de uno o varios perfiles donde se represente el modelo hidrogeológico conceptual del área de estudio (figura 41).



LEYENDA

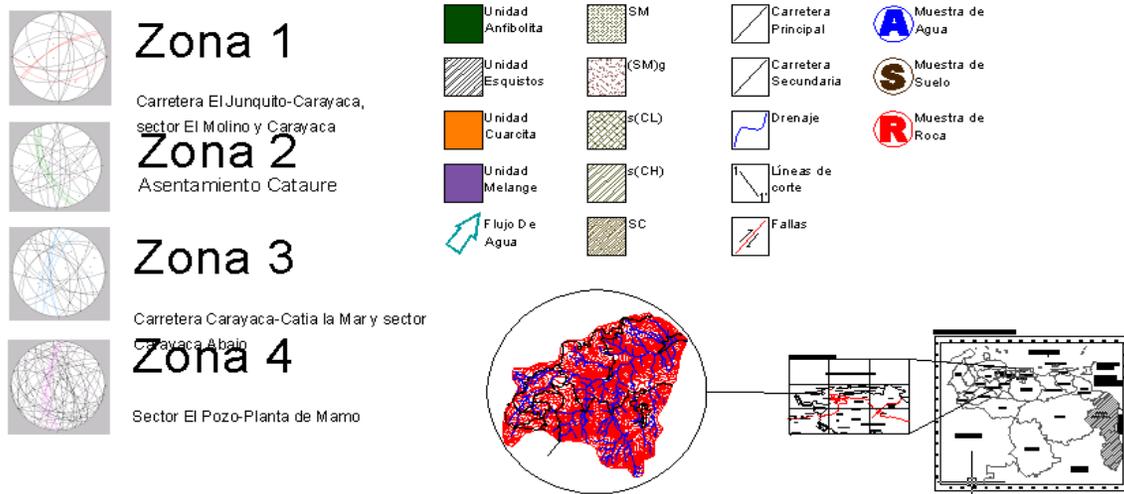


Figura 41.-Mapa hidrogeológico de la zona de Carayaca, Estado Vargas.

Mapeo de las unidades litológicas.

Con base en los datos de las poligonales hechas en campo y de los análisis de las secciones finas representativas, se determinaron los contactos y extensión de los diferentes litotipos.

Mapeo de los patrones estructurales.

Con base en los datos estructurales contenidos en las poligonales hechas en campo, se procedió a mapear las familias de diaclasas de la siguiente manera:

-Se colocaron las respectivas redes estereográficas que contienen los planos de diaclasas de cada zona definidas en el capítulo 5 en el mapa estructural

-Trazados de líneas de fallas y ejes de pliegues

Mapeo de suelos, coluviones y manantiales.

Con base en los datos hidrogeológicos (ubicación de manantiales, ubicación y extensión de suelos y coluviones) de las poligonales hechas en campo se determinaron las unidades hidrogeológicas de la zona de estudio.

Cortes geológicos

En los cortes geológicos se presenta la interpretación de las posibles estructuras y configuración del subsuelo con base en los datos de campo obtenidos, de esta manera se definieron los contactos coluvión-roca, manantiales, aljibes y ubicación del Sondeo Eléctrico Vertical realizado. Los espesores de coluvión son arbitrarios (excepto en la zona donde se realizó el SEV, en la cual se llegó a calcular el espesor con exactitud) debido a la falta de registros de pozos que pudieran aportar este tipo de información, así como la extensión de los sistemas de diaclasas en el subsuelo.

Se realizaron 3 cortes geológicos, el primero abarca la zona de Cataure-Carayaca Abajo, el segundo y el tercero están ubicados en la zona de Cataure exclusivamente. En los tres cortes geológicos se presentan coluviones descansando discordantemente sobre un macizo rocoso presumiblemente fracturado, por el cual fluyen las aguas subterráneas del sector y que saturan en algunas zonas los coluviones suprayacentes.

Corte geológico 1: en este corte se observa la diferencia de cota entre los manantiales de Cataure y Carayaca-Abajo (240m) lo cual evidencia que hay dos sistemas de aguas subterráneas, limitadas por el Río Petaquire (figura 42).

Corte geológico 2: se observa una diferencia de cota entre dos manantiales igualmente limitados por el Río Petaquire (145m). El manantial Mc brota de coluvión, mientras que el manantial Mr brota de roca fracturada. En ambas laderas del río se observa el contacto coluvión-roca (figura 43).

Corte geológico 3: se obtuvo el espesor verdadero de coluvión en esta zona (30 m aproximadamente) debido a la ejecución del Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), se observan dos aljibes construídos sobre el coluvión (figura 43).

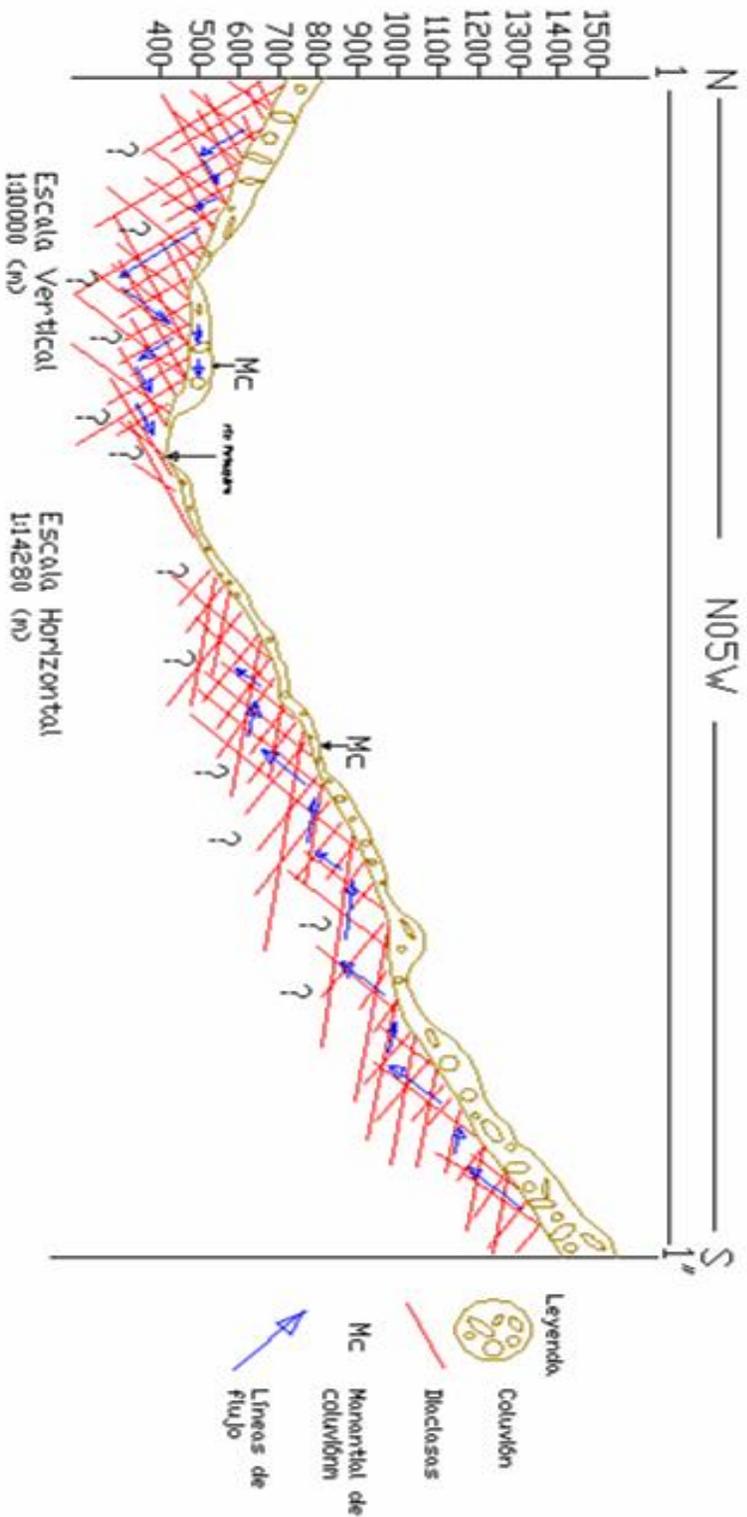


Figura 42.- Corte geológico I. Se muestra una sección del río Petaguire denominada Craure-Carayaca Abajo

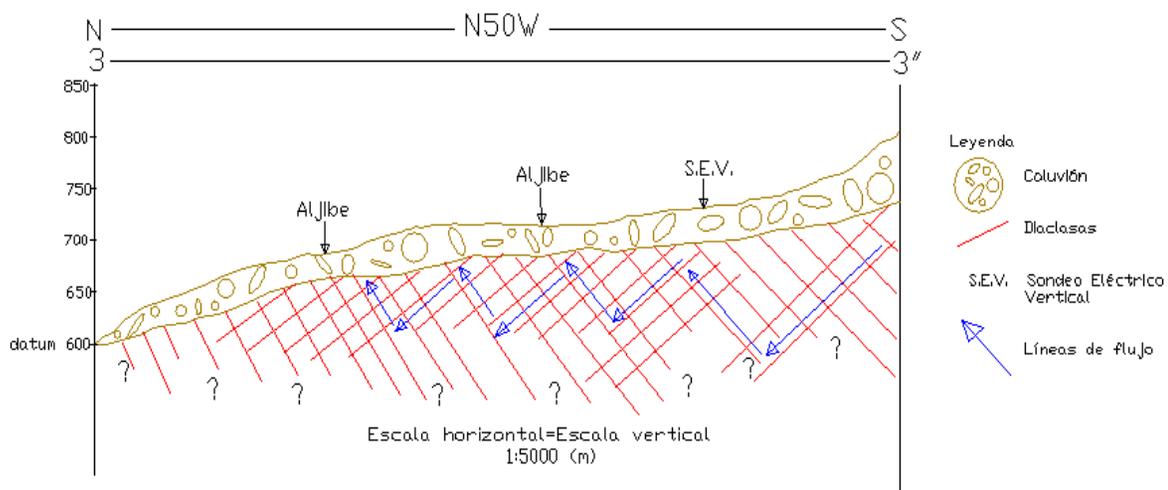
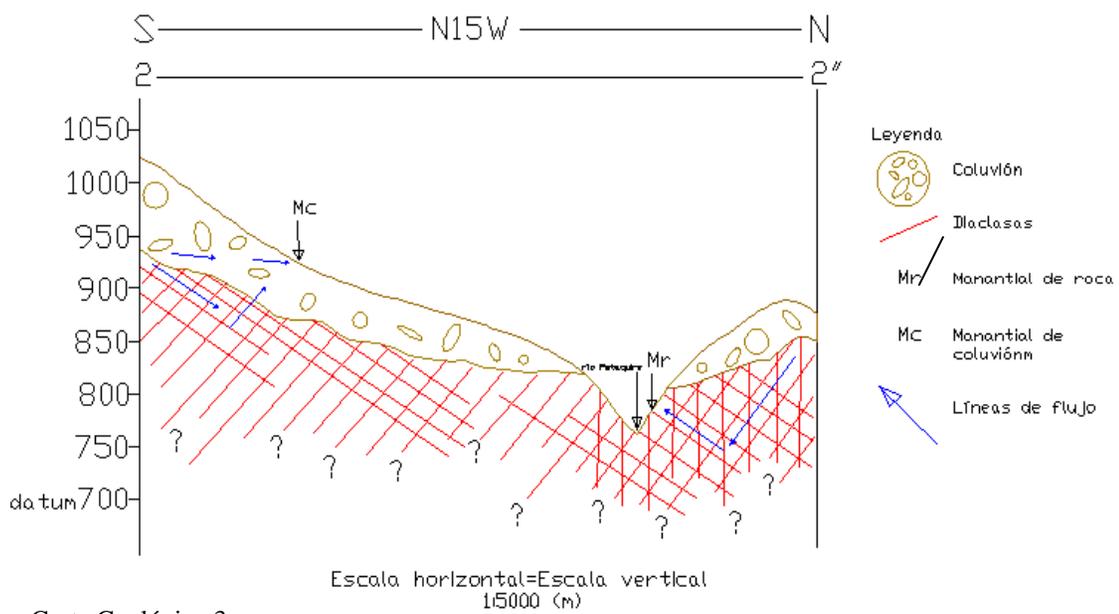


Figura 43. Cortes geológicos (de arriba a bajo: 2 y 3) de la zona de Cataure.

Con base en el mapa hidrogeológico, se plantea una propuesta de modelo de acuíferos en rocas Metamórficas:

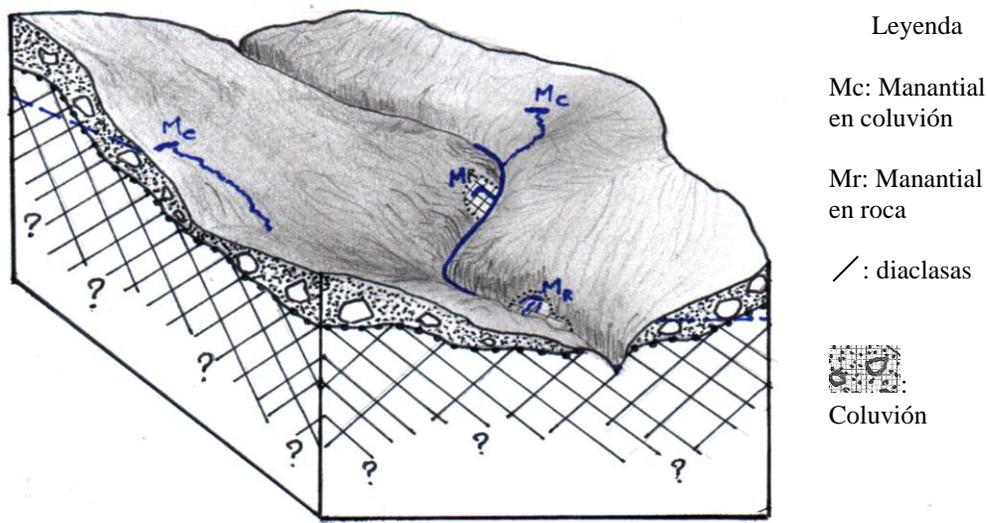


Figura 44.- Modelo de acuíferos en el sector de Carayaca, Estado Vargas

Características generales.

En líneas generales, se tienen acuíferos en los cuales la zona de saturación está en su parte superior dentro del coluvión mientras que en su base está embebida en la roca metamórfica fracturada, es decir que el espesor saturado cubre parte de los dos intervalos. Recordemos que el coluvión descansa discordantemente sobre el macizo rocoso fracturado. La manera en como se recargan los acuíferos podría ser la siguiente:

- a) Precipitaciones constantes en las zonas de recarga natural.
- b) Infiltración del agua de lluvia hasta alcanzar el nivel impermeable (cierre de diaclasas).
- c) Saturación del medio rocoso fracturado.
- d) Transmisión de fluidos a través de diaclasas interconectadas.

e) Elevación de la mesa de agua en los acuíferos de roca fracturada hasta que interceptan los sedimentos cuaternarios con la consiguiente saturación de agua de éstos últimos.

f) Descarga de ambos acuíferos por medio de manantiales terrestres y subfluviales que recargan al Río Petaquire.

CONCLUSIONES.

- La zona de estudio presenta en su región central anfibolitas granatíferas frescas de moderado a alto grado de fracturamiento , en las periferias de la zona se encuentran esquistos muy meteorizados con poco o ningún diaclasamiento que suprayacen a las anfibolitas granatíferas anteriormente expuestas. Suprayaciendo al macizo rocoso en general se encuentran coluviones de granulometría variable pero predominan los limos arenosos con o sin grava.
- La fisiografía de la zona presenta relieves montañosos con líneas de cresta en dirección preferencial Este-Oeste, presentándose las mayores cotas hacia la parte Sur del área de estudio (Fila Capadare, Piedra La Campana) y laderas con pendientes moderadas en general y abruptas localmente. El drenaje en líneas generales se encuentra entallado, formando valles en V encajados (Río Petaquire sector Carayaca Abajo-El Pozo) paredes verticales (Río Petaquire sector Puente Volado) y depresiones drenadas con interfluvios lobulados anchos (sector Caoma) y estrechos (sector Cataure).
- El clima presente en la región de Carayaca es de tipo tropical, siendo el sector Cataure la región que posee el mayor valor de pluviosidad, a causa de la formación de precipitaciones orográficas por el choque de las masas de aire con el frente de montaña Fila Capadare.
- El sector de mayor potencial acuífero es el Asentamiento Cataure, y esto lo refleja la gran cantidad de manantiales que se observaron, entre aquellos de bajo y alto gasto, durante el trabajo de campo. Así mismo, estos manantiales son el resultado de la concatenación de varios factores, como lo son las *constantes precipitaciones* aisladas

en este lugar, producto de la acumulación y choque de las nubes y masas de aire contra el frente de montaña (fila Capadare), el cual se elevaba por encima de los 1500 m, provocando con todo esto una *vegetación* mucho más densa que en otras áreas de la zona de estudio, y por ende, una retención mayor de humedad (estos factores fueron observados durante las 3 semanas de trabajo de campo). No obstante, y a pesar de las condiciones tan opuestas, se registraron algunos manantiales fuera de este asentamiento, como en Altos de Caoma y Carayaca abajo, los cuales pese a no contar con las mismas condiciones de recarga estos aportan un gasto muy importante de agua para explotar. Un elemento en común y de gran importancia en estos 3 sectores fue la existencia de 3 o más *familias de diaclasas*, con variadas frecuencias, por lo cual se considera estas condiciones de fracturamiento mínimas para que haya ocurrencia de agua subterránea.

- Un elemento desfavorable a la ocurrencia de manantiales en mayor cantidad dentro del área de estudio, es la presencia de suelos finos y sobre todo coluviones de grandes espesores (decenas de metros), ambos de matriz arcillosa, los cuales por su configuración sirven como sello de la roca fracturada permeable que se encuentra por debajo, sin embargo, es importante destacar que todas las muestras de suelos y coluviones analizadas fueron tomadas en superficie; ya que la granulometría de estos cuerpos sedimentarios podría variar con la profundidad.

- Siempre y cuando existan condiciones geológicas, hidrológicas y topográficas idóneas, como las expuestas en este trabajo, las rocas metamórficas pueden ser consideradas como litologías de valor y

potencial hidrogeológico aprovechable, para resolver problemas existentes en las comunidades.

- Como factor fundamental para que el agua subterránea fluya es primordial que más de 3 familias de diaclasas se interconecten y al mismo tiempo deben tener grandes longitudes tanto horizontales como verticales.

- En lo que respecta al sondeo eléctrico vertical -SEV- realizado en la zona, éste aportó poca información, no obstante los datos obtenidos permitieron definir y aclarar algunos puntos como lo son los espesores y la litología del subsuelo, permitiendo así extrapolar los datos al resto de la zona, por supuesto a través de estimaciones, y correlacionar de la mejor manera posible todos los datos obtenidos tanto en campo como en el laboratorio. No obstante, el SEV tiene algunas debilidades, en particular aquellas que tienen que ver con el desempeño en el terreno en donde se trabaja, pues éste método ofrece mayor utilidad en terrenos llanos (con pendientes no mayor a los 10 °) de gran extensión, ya que la prolongación superficial de los electrodos y la profundidad de la lectura o registros son proporcionales. Es por ello que en el caso de terrenos tipo Carayaca, con inexistencia de áreas llanas y extensas (>100 m² aprox.) que permita un mejor desempeño del SEV, no es recomendable utilizar éste método, aunque aporta información útil en sectores planos pequeños.

- Las aguas subterráneas del sector de Carayaca, específicamente de la zona de Cataure, presentan una buena calidad, con excepción de la muestra Cataure 7, así como también las muestras en otras zonas como Plan de Caoma y Carayaca Abajo 1 y 2 que presentaron altos valores de turbidez que merecen especial cuidado, lo cual los hace no aptos para consumo humano según la tabla 6. La muestra de agua Carayaca Abajo 2 presentó además altos valores de dureza total.

- Es importante destacar que las diaclasas juegan un papel significativo en el desarrollo de acuíferos en rocas metamórficas fracturadas. Aparte de generar la porosidad secundaria pueden contribuir a la acumulación de agua o al flujo de las mismas en el subsuelo; en el primer caso, las diaclasas sirven como elemento receptor y acumulador de las aguas, delimitando las dimensiones del(los) acuífero(s); en el segundo caso, contribuyen al flujo interno del acuífero, y a su vez como conectores entre ellos de ser posible, o fluir a la superficie en forma de manantiales; es decir, una vez saturado el medio, las aguas deben seguir por las interconexiones, de tal manera que halla movimiento hacia otros sectores tanto subterráneos como superficiales.

- Existen dos sistemas de acuíferos o de cuencas subterráneas, a partir de los siguientes elementos:

En las riveras del río Petaquire (con orientación al Norte), a nivel de la carretera de Cataure, se observaron dos manantiales, uno en la ladera Oeste y otro en la ladera Este, ambos brotaban de roca diaclasada, los cuales dan un claro indicio que existen dos flujos subterráneos disociados uno del otro, pues los separa el Río Petaquire y a diferentes cotas de éste. Con un TSD

diferente entre sí, se puede agregar que el primero ha transportado más sólidos que el otro. Así mismo, las orientaciones de las familias de diaclasas son diferentes entre ambas.

Se estima que en la zona sólo se encuentran dos sectores de recarga; Fila Capadare y montaña Piedra La Campana. Esto en función del río Petaquire ya que por su ubicación y su configuración, divide el sistema acuífero en dos subsistemas, uno al Norte y otro al Sur. Además, los manantiales registrados se distribuyen a diferentes alturas.

Existe una posible conexión entre las familias de diaclasas del Sector Piedra La Campana-Caoma con el sector Carayaca Abajo. Esto se evidencia por la ubicación del sector Carayaca Abajo pues por encima de éste se encuentra el pueblo de Carayaca, sector éste que por sus condiciones de urbanismo y topografía, no proporciona los elementos necesarios, en comparación con el sector Cataure, para permitir una infiltración acorde con la respuesta dada por los manantiales del sector Carayaca Abajo, mientras que el sector piedra La Campana-Caoma si presenta las condiciones mínimas que sustentarían los valores registrados en Carayaca Abajo.

El TSD aumenta en función del recorrido, aguas abajo, del fluido subterráneo. El TSD de Carayaca Abajo es mucho mayor a los de las aguas en Cataure, lo cual implica que el agua puede tener un mayor recorrido desde la zona de recarga hasta éste sector, sin embargo, cabe destacar que éste resultado de TSD

está afectado por la contaminación de las aguas negras del poblado de Carayaca, ubicado aguas arriba del sector Carayaca Abajo.

RECOMENDACIONES.

Debido a la ya mencionada necesidad de abastecimiento de agua de algunos sectores dentro del área de estudio, ya sea para consumo humano o para la producción agropecuaria, es necesario implementar acciones dirigidas a resolver tal problemática, a través de las siguientes soluciones:

- En sustitución de los sondeos eléctricos verticales se puede tomar la opción de utilizar el método de sísmica de refracción, el cual puede tener mayor eficacia en este tipo de terreno.
- Se recomienda pasar a una segunda etapa de estudio detallado de las condiciones hidrogeológicas de la zona, empezando por la construcción de una red de pozos que permita confirmar la presencia del o de los acuíferos y establecer sus parámetros físicos básicos, tales como espesor, extensión, litología, niveles freáticos, y además que se certifique la presunta interconexión y extensión de diaclasas en la zona a través de la prueba de RQD. Se recomienda hacer los RQD en la zona Cataure-Carayaca Abajo con el fin de determinar la extensión de las familias de diaclasas en sentido Sur-Norte y en la zona Piedra La Campana-Caoma-Carayaca Abajo para determinar la posible continuidad de las familias de diaclasas en sentido Suroeste-Noreste. También se certificarían las posibles direcciones de flujo sugeridas en este trabajo.
- A los efectos anteriores se deberá programar un plan de perforaciones por el método de percusión y rotación, con recuperación de testigos mediante los cuales se pueda establecer con precisión las litologías presentes, y sus propiedades tales como la granulometría en el caso de los suelos, y el RQD y la recuperación en

el caso de las rocas, para tratar de establecer la influencia de los sistemas de discontinuidad que afecten y controlen el movimiento de la aguas hacia y a través del(los) acuífero(s).

- Con base en los resultados de esas perforaciones, proceder a diseñar una red de pozos de observación para comenzar a llevar el control de los niveles piezométricos en el tiempo. De esta forma se podrá crear la base de datos hidrogeológicos que, después de un tiempo prudencial, permita la elaboración de los mapas isopiézicos y trazar las verdaderas líneas de flujo, así como de los correspondientes niveogramas (variaciones del nivel del agua medido en los pozos)
- Esos pozos exploratorios permitirían también la toma de muestras de agua para la determinación precisa de las características físico-químicas y bacteriológicas de las aguas, a los fines de establecer los planes de uso de las aguas.
- Finalmente, tales pozos de observación servirían para complementar la red que con otros pozos de bombeo, permitan la determinación de los correspondientes parámetros hidráulicos del acuífero, para la definición del régimen de aprovechamientos del recurso.
- De forma complementaria deberá realizarse un estudio minucioso de los perfiles de suelos con el fin de determinar la capacidad de infiltración y permeabilidad en profundidad del terreno de una manera exacta, con el fin de establecer las zonas con mayor potencial de recarga y acumulación de aguas subterráneas.

- Cálculo del balance hídrico de la zona de estudio, con el fin de establecer por esta vía la capacidad de acumulación de agua en el subsuelo.

- Construcción de tanques de almacenamiento de agua en las bocas de los manantiales, acordes (en dimensión) con el gasto de los mismos, para después ser distribuida el agua, a los sectores más prioritarios, por gravedad o por hidro-bombas, en mangueras, tuberías o canales. Esta solución no afectaría el nivel normal de capacidad del acuífero o los acuíferos, por utilizar el gasto natural del acuífero, además de ser económica y viable.

- Por último, y no menos viable, es el saneamiento por medio de plantas de tratamiento de aguas residuales de las quebradas y ríos que posean un caudal de agua importante en la zona (Río Petaquire y Quebrada Yaguara).

BIBLIOGRAFÍA

Aguerrevere, S. E. y G. Zuloaga, 1937. Observaciones geológicas de la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela. *Bol. Geol. y Min.* (MEM, Caracas), 1(2-4): 8-24.

Beck, C., 1986. Geologie de la chaîne Caraïbe su meridien de Caracas (Venezuela). *Soc. Geol. de Nord*, Villeneuve s'Ascq, Francia, Public. no. 14, 462 p.

Bellizzia, A. y D. Rodríguez G., 1967. Guía de la excursión a la región de Duaca - Barquismeto - Bobare. *Bol. Geol.*, Caracas, 8(16): 289-309.

Bellizzia, A. y D. Rodríguez G., 1968. Consideraciones sobre la estratigrafía de los estados Lara, Yaracuy, Cojedes y Carabobo. *Bol. Geol.*, 9(18): 515-563.

Bellizzia, A. y D. Rodríguez G., 1976. Geología del estado Yaracuy. *Bol. Geol.*, Caracas, Public. esp. 5, 6: 3317-3417.

Blyth, F. y De Freitas M.(2001) Geología para Ingenieros. Compañía Editorial Continental S.A. México.

Cantisano, M. 1989. Estudio geológico y geotécnico de la cuenca de la quebrada Mamera, Distrito Federal. Mem. *VII Congr. Geol. Venezolano*, Barquisimeto, 4: 1047-1069.

Compton, Robert (1962). Geología de Campo Pax-México , México D.F., MEXICO

Custodio, E. y Llamas, R. (1976). Hidrología Subterránea. Ediciones Omega. Barcelona. España.

Dengo, G., 1950. Eclogitic and glaucophane amphibolites in Venezuela. *Am. Geophys. Union, Trans.*, 31(6): 873-878.

Dengo, G., 1951. Geología de la región de Caracas. *Bol. Geol.*, Caracas, 1(1): 39 - 115.

Dengo, G., 1953. Geology of the Caracas region, Venezuela. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 64(1): 7 - 40.

Díaz Q. Armando (1995) Guías de Hidrogeología. UCV Facultad de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Caracas.

Fetter, C.W.(1994) Applied Hydrogeology.

González de Juana, C., J. M. Iturralde y X. Picard, 1980. *Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas*. Edic. Foninvés, Caracas, 2 vols., 1031 p.

Johnson, E. (1966-1974). El agua subterránea y los Pozos. Biblioteca del Congreso. Minnesota. U.S.A.

Kovach, A., P. M. Hurley y H. W. Fairbain, 1979. Preliminary Rb/Sr whole rock dating of basement rocks from the Coast Range. *Bol. Asoc. Venez. Geol. Min. Petrol.*, 20(1-3): 86 - 89.

Leet, L. Don (1968) Fundamentos de geología física Limusa , México D.F., MEXICO.

Low, Julian W. (1960) Geología de Campo C.E.C.S.A. , México D.F., MEXICO

Linsley - Kholer - Paulus (1977). Hidrología para Ingenieros. Editorial McGraw-Hill. Bogotá. Colombia.

Low, J. (1960). Geología de Campo. Compañía Editorial Continental, S.A.. Mexico.

Compton, R. (1962). Geología de Campo. Editorial Pax-Mexico. Mexico.

Macsotay, O., 1972. Significado cronológico y paleoecológico de los amonites desenrollados de la Formación Chuspita del Grupo Caracas. *Bol. Geol.*, Caracas, Public. esp. 5: 1703-1710.

Morgan, B. A., 1966. Significación de las eclogitas en la Cordillera de la Costa. *Bol. Geol.*, Caracas, 8(15): 154-155.

Morgan, B. A., 1968. Eclogite and eclogite-amphibolite from Puerto Cabello, Venezuela. *Geol. Soc. Amer.*, Spec. Paper. 115: 155-156.

Morgan, B. A., 1969. Geología de la región de Valencia, Carabobo, Venezuela. *Bol. Geol.*, Caracas, 10(20): 3-136.

Morgan, B. A., 1970. Petrology and mineralogy of eclogite and garnet amphibolite from Puerto Cabello, Venezuela. *Journal of Petrology*. 11(1): 101-145.

Morgan, B. A., 1971. Metamorphic facies between Valencia and Puerto Cabello in the Cordillera de la Costa, Venezuela (Resumen). Trans. *5th. Caribb. Geol. Conf.*, Queens College Geological Bulletin, 5: 116.

Ostos, M., 1981. Geología de una zona ubicada entre la autopista Caracas - La Guaira y el estribo Galindo, Parque Nacional El Avila, D.F. UCV, Escuela de Geología, *Trabajo de ascenso*, 279 p.

Ostos, M., E. Navarro y F. Urbani, 1989. Edad Rb/Sr. del augengneis de Peña de Mora, Cordillera de la Costa. Mem. *VII Congreso Geológico Venezolano*, Barquisimeto, 1: 127 - 136.

Ostos, M., 1990, Evolución tectónica del margen Sur-Central del caribe basado en datos geoquímicos. *Geos*, Caracas, (30): 1-294.

Oxburgh, E. R. 1965. Geología de la región del estado Carabobo, Venezuela. *Bol. Geol.*, Caracas, 11: 113-208.

Pérez M., J.L. (1987). Introducción al Estudio de la Hidrología Subterránea. Departamento de Meteorología e Hidrología. Facultad de Ingeniería. U.C.V. Caracas. Venezuela.

PDVSA, S.A. (1996) Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela.

Seiders, V. M., 1965. Geología de Miranda central, Venezuela. *Bol. Geol.*, Caracas, 6(12):289-416.

Smith, R. J., 1952. Geología de la región Los Teques-Cúa. *Bol. Geol.*, Caracas, 2(6): 333-406.

Strahler, A.N. (1977). Geografía Física. Ediciones Omega S.A. Barcelona. España.

Talukdar, S. y D. Loureiro, 1982. Geología de una zona ubicada en el segmento norcentral de la Cordillera de la Costa, Venezuela: metamorfismo y deformación. Evolución del margen septentrional de Suramérica en el marco de la tectónica de placas. *Geos*, Caracas, (27): 15-76.

Tood, D.K. (1973). Hidrogeología. Agua Subterránea. Editorial Paraninfo. Madrid. España.

U.C.V. Facultad de Ingeniería. (1967). Desarrollo de aguas Subterráneas. Gráficas Condal. Barcelona. España.

Ugas T., C. (1981). Ensayos de Laboratorio en Mecánica de suelos. Facultad de Ingeniería. U.C.V. Caracas. Venezuela.

Urbani, F., 1969. Primera localidad fosilífera del Miembro Zenda de la Formación Las Brisas: Cueva del Indio, La Guairita, estado Miranda. *Bol. Inf., Asoc. Venez. Geol., Min. y Petról.*, 12(11): 417-423.

Urbani, F., 1982. Comentarios sobre algunas edades de las rocas de la parte central de la Cordillera de la Costa. *Geos*, UCV, Caracas, (27): 77 - 85.

Urbani, F., 1983. Las rocas graníticas del área de Las Trincheras - Mariara, estado Carabobo (Resumen). *Acta Científica Venezolana*, 34(supl. 1): 93.

Urbani, F., 1987. El Granito de Guaremal, estado Carabobo (Resumen). *37a. Convención Anual de ASOVAC*, Maracaibo, Resúmenes, p. 79.

Urbani, F., 1989. El Gneis de Cabriales, Carabobo, Venezuela. *Geos*, UCV, Caracas, (29): 276 - 277.

Urbani, F. y M. Ostos, 1989. El Complejo Avila, Cordillera de la Costa, Venezuela. *Geos*, UCV, Caracas, (29): 205 - 217.

Urbani, F. y Rodríguez, José A. (2004) Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa. UCV, Escuela de Geología y FUNVISIS, Fundación Geos, Ediciones en CD-ROM, nº1, Caracas.

Wehrmann, M., 1972. Geología de la región de Caracas - Colonia Tovar. *Bol. Geol.*, Caracas, Public. esp. 5, 4: 2093-2121.

Wolcott, P. P., 1943. Fossils from metamorphic rocks of the Coast Range of Venezuela. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, 27: 1632.

Direcciones web:

<http://web.usal.es/~javisan/hidro/>

http://www2.sernageomin.cl/pto_varas/Biblioteca/Articulos.pdf

<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html>

<http://web.usal.es/~javisan/hidro/temas/SEV.pdf>

<http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/uscsM2.htm>

<http://epubl.ltu.se/1402-1757/2004/72/LTU-LIC-0472-SE.pdf>

ANEXOS.

LEVANTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LA ZONA DE CARAYACA,
ESTADO VARGAS (POLIGONALES)

Carretera Junquito-Carayaca (desde el poblado El Molino hasta el pueblo de Carayaca):

Punto JC-1: Coordenada 705037-E / 1162550-N. (EL MOLINO) Afloramiento de suelo residual color pardo amarillento, grano fino y 2m de espesor mínimo. Este afloramiento sigue hasta el punto 02. (FIGURA 9)

Punto JC-2: Coordenada 704912-E / 1162586-N. Afloramiento de roca más coluvión. Roca.- Anfibolita (AAA), color fresco gris, color meteorizado amarillento. Coluvión.- color pardo rojizo, grano fino (limoso), 2m de espesor mínimo (FIGURA 11: N66W).

Punto JC-3: Coordenada 704888-E / 1162578-N. Afloramiento de Anfibolita (AAA) color fresco gris oscuro, color meteorizado gris claro, se aprecian 3 familias de diaclasas sin relleno: (FIGURAS 12: N49E / 13: N61E / 14: E-W)

D1: N-S77W // Frecuencia: 5 diaclasas/m.

D2: N-S68E // Frecuencia: 2 diaclasas/m.

D3: N75E55N // Frecuencia: 4 diaclasas/m.

D1 y D2 son conjugadas.

R.Q.D. : $115 - 3,3 * 11 = 78,7$

Punto JC-4: Coordenada 704840-E / 1162567-N. Afloramiento de roca más coluvión. Roca.- Anfibolita (CCA) color fresco gris oscuro, color meteorizado pardo claro y naranja. Coluvión.- color gris claro y pardo, matriz fina (limoso), espesor mínimo 3m (FIGURA 15: N45E).

Punto JC-5: Coordenada 704792-E / 1162588 -N. Punto de control (cubierto por vegetación)

Punto JC-6: Coordenada 704755-E / 1162610-N. Punto de control (cubierto por vegetación).

Punto JC-7: Coordenada 704713-E / 1162577-N. Punto de control (cubierto por vegetación). Se observo un bloque rodado (metarenisca?). FIGURAS 16 a la 20, todas con orientación N25W.

Punto JC-8: Coordenada 704533-E / 1162622-N. Afloramiento de coluvión de matriz arcillosa, color naranja, espesor mínimo 2m. (FIGURAS 20: N50E / 21: E-W).

Punto JC-9: Coordenada 704360-E / 1162615-N. Punto de control (cubierto por vegetación).

Punto JC-10: Coordenada 704330-E / 1162660-N. ENTRADA DE LA MACANILLA. Punto de control (cubierto por vegetación).

Punto JC-11: Coordenada 704375-E / 1162659-N. Afloramiento de Coluvión, matriz fina (limosa), color ocre, espesor mínimo 3m. (FIGURA 22 Y 23: N78E).

Punto JC-12: Coordenada 704500-E / 1162715-N. FIGURA 24: N60E. Afloramiento de Coluvión, matriz fina (limosa), color ocre, espesor mínimo 3m.

Punto JC-13: 704593-E / 1162752-N. Se observa zona de contacto de Coluvión matriz fina (limosa), color ocre, espesor mínimo 3m.con Anfibolita (AAE) color fresco gris, color meteorizado pardo. Se aprecian 2 familias de diaclasas perpendiculares entre sí: (FIGURA 25: N60W / 26: N50E)

D1: N23W51S // Frecuencia: 5 diaclasas/m.

D2: N49E51S // Frecuencia: 2 diaclasas/m.

D1 y D2 son conjugadas.

$$\text{R.Q.D.} = 115 - 3,3 \cdot 7 = 91,9$$

Punto JC-14: Coordenada 704708-E / 1162776-N. Afloramiento de Coluvión, matriz fina (limosa), color ocre, espesor mínimo 3m.

Punto JC-15: Coordenada 704980-E / 1162915-N. Afloramiento de Coluvión, matriz fina (limosa), color ocre, espesor mínimo 3m. (FIGURA 27: N50W / 28:E-W).

Punto JC-16: Coordenada 705063-E / 1163106-N. Afloramiento de Coluvión de matriz fina, color naranja, espesor mínimo 2m. FIGURA 29: N61E.

Punto JC-17: Coordenada 704960-E / 1163031-N. Afloramiento de suelo residual de grano fino, color rojizo, espesor mínimo 1,5m. FIGURA 30:N15E.

Punto JC-18: Coordenada 704920-E / 1163080-N. Afloramiento de suelo residual de arenoso, color naranja claro, espesor mínimo 1,5m. FIGURA 31: N15W.

Punto JC-19: Coordenada 704875-E / 1163120-N. Afloramiento de suelo residual de arenoso, color naranja claro y rosado, espesor mínimo 1,5m. FIGURA 32: N60W.

Punto JC-20: Coordenada 704790-E / 1163135-N. Coluvión de matriz fina (limoso) color naranja, espesor mínimo 2m. FIGURA 33: N85E.

Punto JC-21: Coordenada 704620-E / 1163118-N. Punto de control (cubierto por vegetación).

Punto JC-22: Coordenada 704770-E / 1163261-N. Coluvión color naranja, matriz fina (limosa), espesor mínimo 3m.

Punto JC-23: Coordenada 704890-E / 1163252-N. Afloramiento de Anfibolita (BBE)

. Se aprecian 3 familias de diaclasas: (FIGURA 180 y 181: N50E)

D1: N45W41N // Frecuencia: 10 diaclasas/m.

D2: N45W58S // Frecuencia: 5 diaclasas/m.

D3: N40W83N // Frecuencia: 4 diaclasas/m.

D2 es la conjugada de D1 y D3.

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 19 = 52,3$

Se observa una traza de falla: N65E50N. (no se observaron estrías de falla).

Punto JC-24: Coordenada 704866-E / 1163334-N. Zona de contacto litológico abrupto entre Anfibolita (BBE) y Esquisto (DDE) La Anfibolita presenta 2 familias de diaclasas:

D1: N-S80E // Frecuencia: 10 diaclasas/m.

D2: E-W65S // Frecuencia: 5 diaclasas/m.

D1 y D2 son conjugadas.

El Esquisto presenta 1 familia de diaclasa más su foliación:

Fol: N30W35S

D1: N10E70N // Frecuencia: 6 diaclasas/m.

FIGURAS 182 y 183: N35E / 184: E-W.

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 21 = 45,7$

Punto JC-25: Coordenada 704910-E / 1163380-N. Suelo residual color naranja y rojizo. 2,5m de espesor mínimo, de grano fino (arcilloso).

Punto JC-26: Coordenada 704900-E / 1163400-N. Coluvión de matriz fina (arcilloso) color naranja. 2,5m de espesor mínimo.

Punto JC-27: Coordenada 704905-E / 1163526-N. Suelo residual, color naranja, grano fino, 2m de espesor mínimo.

Punto JC-28: Coordenada 704960-E / 1163660-N. Coluvión color naranja, matriz fina (limosa) 2m de espesor mínimo.

Punto JC-29: Coordenada 705150-E / 1163730-N. Afloramiento de Anfibolita (BBE). Se aprecian 2 familias de diaclasas: (FIGURA 185: E-W)

D1: N64E78S // Frecuencia: 5 diaclasas/m.

D2: N30W56S // Frecuencia: 6 diaclasas/m.

D1 y D2 son conjugadas.

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 11 = 78,7$

Punto JC-30: Coordenada 705140-E / 1163738-N. Punto de control (cubierto por vegetación).

Punto JC-31: Coordenada 705490-E / 1163420. Coluvión color pardo rojizo, grano fino (arcilloso). 2,5 m de espesor mínimo.

Punto JC-32: Coordenada 705757-E / 1163905-N. Coluvión color pardo, espesor mínimo 5m, grano fino (limoso).

Punto JC-33: Coordenada 705750-E / 1163950-N. Manatíal. Gasto: 0.5 lt/seg

Punto JC-34: Coordenada 706010-E / 1164570-N (MERCAL). Coluvión color pardo, espesor mínimo 5m, grano fino (limoso).

Carretera Carayaca-Catia La Mar (desde el pueblo de Carayaca hasta el sector El Pozo)

Punto CC-1: Coordenada 708500-E / 1166286-N. Afloramiento de Anfibolita Granatífera (BBE). Se observaron 3 familias de diaclasas:

D1: N60E40S // Frecuencia: 6 diaclasas/m.

D2. N40W50N // Frecuencia: 3 diaclasas/m.

D3: N28W52S // Frecuencia: 3 diaclasas/m.

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 10 = 82$

Punto CC-2: Coordinada: 708302-E / 1166195-N. Coluvión, matriz arcillosa, color amarillento a rojizo de base a tope y 5m de espesor mínimo.

Punto CC-3: Coordinada 708250-E / 1166115-N. Afloramiento de roca más coluvión. Roca.- Anfibolita granatífera (BBE). Se observaron 2 familias de diaclasas:

D1: N60E19S // Frecuencia: 2 diaclasas/m.

D2: N-S70W // Frecuencia: 3 diaclasas/m.

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 5 = 98,5$

Coluvión.- matriz fina, color rojizo y 3m de espesor mínimo.

Punto CC-4: Coordinada 708170-E / 1166082-N. Se observa una zona de contacto litológico abrupto entre una Anfibolita Granatífera (BBE) que suprayace a un Esquisto Feldespático Micáceo Grafitoso (EDE).

El plano de foliación del Esquisto presenta la siguiente orientación: N80E47N. Se observaron 2 familias de diaclasas en todo el afloramiento:

D1:N55E20N // Frecuencia: 3 diaclasas/m.

D2:N05W79S // Frecuencia: 4 diaclasas/m.

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 7 = 91,9$

Punto CC-5: Coordinada 708100-E / 1166000-N. Afloramiento de Anfibolita Granatífera (DEE), se aprecian 3 familias de diaclasas:

D1: N42E12N // Frecuencia: 4 diaclasas/m.

D2: N18W62N // Frecuencia: 5 diaclasas/m.

D3: N70W57S// Frecuencia: 2 diaclasas/m.

$$\text{R.Q.D.} = 115 - 3,3 \cdot 11 = 78,7$$

Se observó además Esquisto Feldespático Micáceo Grafitoso suprayacente a la Anfibolita en contacto litológico abrupto con foliación preferencial N42E12N.

Punto CC-6: Coordenada 707529-E / 1165915-N. Afloramiento de Anfibolita Granatífera (BBE), se aprecian 2 familias de diaclasas:

D1: N50E65S // Frecuencia: 3 diaclasas/m.

D2: N10E52N // Frecuencia: 2 diaclasas/m.

$$\text{R.Q.D.} = 115 - 3,3 \cdot 5 = 98,5$$

Se observó además Esquisto Feldespático Micáceo Grafitoso (CBD) suprayacente a la Anfibolita en contacto litológico abrupto con foliación preferencial N65E80S.

Punto CC-7: Coordenada 707498-E / 1165861-N. Afloramiento de Anfibolita Granatífera (BBE) con Vetas de Cuarzo. Se aprecian 2 familias de diaclasas:

D1: N50W42N // Frecuencia: 2 diaclasas/m.

D2: N-S65W // Frecuencia: 3 diaclasas/m.

$$\text{R.Q.D.} = 115 - 3,3 \cdot 5 = 98,5$$

Punto CC-8: Coordenada 707268-E / 1165716-N. Afloramiento de Anfibolita Granatífera (BBE) infrayacente en contacto litológico abrupto con Esquisto (CCE) (colores meteorizados rojo, rosado y amarillo), hay desarrollo de suelo residual color rojo de poco espesor . Se aprecian 2 familias de diaclasas:

D1: N60W58S // Frecuencia: 3 diaclasas/m.

D2: N20E74N// Frecuencia: 2 diaclasas/m.

Fol: N45E20N

D1 y D2 son conjugadas.

$$\text{R.Q.D.} = 115 - 3,3 \cdot 5 = 98,5$$

Punto CC-9: Coordenada 706875-E / 1165750-N. Afloramiento de Anfibolita Granatífera (BBE) más Esquisto (DDE) color rojo. Se aprecian 2 familias de diaclasas:

D1: N30E60N // Frecuencia: 3 diaclasas/m.

D2: N40W55N // Frecuencia: 2 diaclasas/m.

Fol: N40E15N

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 5 = 98,5$

Punto CC-10: Coordenada 706675-E / 1165433-N. Afloramiento de Esquisto Feldespático Micáceo Granatífero Grafítico (BBD) suprayacente en contacto litológico abrupto con Anfibolita Granatífera (BBE), ambos tipos de rocas contienen Vetas de Cuarzo. Se observaron 3 familias de diaclasas:

D1: N30W61S // Frecuencia: 3 diaclasas/m.

D2: N65W52S // Frecuencia: 3 diaclasas/m.

D3: N10W65N // Frecuencia: 5 diaclasas/m.

Fol: N50E15N

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 11 = 78,7$

Carretera El Pozo-Planta de Mamo

Carretera El Pozo-Planta de Mamo:

Punto PP-1: Coordenada 708810-E / 1165150-N. Roca metamórfica muy meteorizada sin diferenciar (EEA) (Anfibolita?).

Punto PP-2: Coordenada 708861-E / 1165185-N. Coluvión de matriz arcillosa, color rojizo. 15m de espesor mínimo.

Punto PP-3: Coordenada 708852-E / 1165265-N. Afloramiento de Esquisto Grafítico Micáceo (CCE). Se aprecian 2 familias de diaclasas:

D1: N53E52N // Frecuencia: 5 diaclasas/m
D2: N60W88N // Frecuencia: 2 diaclasas/m
Fol: N69W40S
R.Q.D. = $115 - 3,3*7 = 91,9$

Punto PP-4: Coordenada 708793-E / 1165304-N. Coluvión de matriz limosa, color rojizo. 3,5m de espesor mínimo. Este afloramiento continúa hasta el punto 17.

Punto PP-5: Coordenada 708740-E / 1165533-N. Afloramiento de Anfibolita Granatífera (BBE), se aprecian 3 familias de diaclasas:

D1: N06E68N // Frecuencia: 10 diaclasas/m
D2: N74W24N // Frecuencia: 5 diaclasas/m
D3: N-S68E // Frecuencia: 5 diaclasas/m
R.Q.D. = $115 - 3,3*20 = 49$

Punto PP-6: Coordenada 708800-E / 1165370-N. Roca metamórfica muy meteorizada sin diferenciar (EEA) más Coluvión de matriz arenosa, color pardo. 3m de espesor mínimo.

Punto PP-7: Coordenada 702869-E / 1165376-N. Afloramiento de Anfibolita Granatífera (BBE). Se aprecian 3 familias de diaclasas:

D1: E-W10S // Frecuencia: 6 diaclasas/m
D2: N70W70N // Frecuencia: 3 diaclasas/m
D3: N26E88N // Frecuencia: 10 diaclasas/m
R.Q.D. = $115 - 3,3*19 = 52,3$

Punto PP-8: Coordenada 708925-E / 1165380-N. Afloramiento de Anfibolita Granatífera (ABE). Se observaron claramente 5 familias de diaclasas:

D1: N80W29S // Frecuencia: 6 diaclasas/m
D2: N16E86N // Frecuencia: 10 diaclasas/m

D3: N10E55N // Frecuencia: 10 diaclasas/m

D4: N45W40S // Frecuencia: 4 diaclasas/m

D5: N30W64N // Frecuencia: 10 diaclasas/m

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 30 = 16$ (AQUÍ SE TOMAN EN CUENTA LOS 3 MAYORES)

Punto PP-9: Coordenada 708933-E / 1165451-N. Coluvión de matriz arcillosa, color rojizo. 5m de espesor mínimo.

Punto PP-10: Coordenada 708940-E / 1165548-N. Afloramiento de Anfibolita Granatífera (BBE). Se aprecian 2 familias de diaclasas:

D1: N20E66N // Frecuencia: 12 diaclasas/m

D2: N55W20S // Frecuencia: 8 diaclasas/m

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 20 = 49$

Punto PP-11: Coordenada 709081-E / 1165522-N. Afloramiento de Anfibolita Granatífera (ABE). Se aprecian 4 familias de diaclasas: (FIGURAS 223 y 224)

D1: N-S72W // Frecuencia: 4 diaclasas/m

D2: N60W35N // Frecuencia: 4 diaclasas/m

D3: N35E55S // Frecuencia: 2 diaclasas/m

D4: N32W70N // Frecuencia: 5 diaclasas/m

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 15 = 65,5$

Punto PP-12: Coordenada 709126-E / 1165576-N. Afloramiento de Anfibolita (ABE). Se aprecian 3 familias de diaclasas:

D1: N06E62N // Frecuencia: 4 diaclasas/m

D2: N35W35N // Frecuencia: 6 diaclasas/m

D3: N70W30S // Frecuencia: 5 diaclasas/m

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 15 = 65,5$

Punto PP-13: Coordenada 709200-E / 1165575-N. Afloramiento de Anfibolita (BCE), con Vetas de Cuarzo, calcita y serpentina.

Punto PP-14: Coordenada 709260-E / 1165600-N. Afloramiento de Esquistos (CCE) más Anfibolitas (BBE) con boudines de Cuarzo y Vetas de Cuarzo. Se aprecian 3 familias de diaclasas:

D1: N70E78N // Frecuencia: 5 diaclasas/m

D2: N-S54W // Frecuencia: 4 diaclasas/m

D3: N75E43N // Frecuencia: 5 diaclasas/m

Fol: N20W20S

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 14 = 68,8$

Asentamiento Caoma (Paso Caballo, Altos de Caoma y Alto Paraíso Hasta El Arenal)

Paso Caballo:

Punto PC-1: Coordenada 705683-E / 1162862-N. Coluvión de matriz limosa, color naranja. 5m de espesor mínimo. Figuras desde 174 hasta 179 (N70E) Este Afloramiento continúa hasta el punto 2. Se tomaron figuras donde se observa la panorámica del Río Petaquire (FIGURAS 169 a la 171).

Punto PC-2: Coordenada 705696-E / 1162380-N. Punto de control (cubierto por vegetación)

Punto PC-3: Coordenada 705805-E / 1163410-N. Coluvión de matriz limosa, color naranja. 5m de espesor mínimo.

Altos de Caoma:

Punto AC-1: Coordenada 705166-E / 1163418-N. Coluvión de matriz limosa, color naranja. 2m de espesor mínimo. Este Afloramiento continúa en los puntos de control 2,3,4,5 y 6.

Punto AC-2: Coordenada 705100-E / 1163444-N. Punto de control (cubierto por vegetación)

Punto AC-3: Coordenada 704966-E / 1163419-N. Punto de control (cubierto por vegetación)

Punto AC-4: Coordenada 705076-E / 1162841-N. Aljibe de 30m de profundidad, no se encontró agua, a los 30m se encontró arena color gris oscura húmeda.

Punto AC-5: Coordenada 705217-E / 1162975-N. Punto de control (cubierto por vegetación).

Punto AC-6: Coordenada 705400-E / 1162600-N. Punto de control (cubierto por vegetación).

Punto AC-7: Coordenada 705463-E / 1162485-N. Punto de control (cubierto por vegetación).

Alto Paraíso hasta El Arenal:

Punto AA-1: Coordenada 704561-E / 1163109-N. Suelo residual limoso, color pardo amarillento. 5m de espesor mínimo.

Punto AA-2: Coordenada 704500-E / 1163100-N. Coluvión de matriz limosa, color pardo amarillento. 5m de espesor mínimo.

Punto AA-3: Coordenada 704400-E / 1163253-N. Suelo Residual limoso, color ocre. 2,5m de espesor mínimo.

Punto AA-4: Coordenada 704275-E / 1163448-N. Suelo residual limoso, color pardo. 4m de espesor mínimo. Se aprecian Esquistos Micáceos muy meteorizados (EEB)

Punto AA-5: Coordenada 704310-E / 1163473-N. Suelo residual arenoso, color naranja. 5,5m de espesor mínimo.

Punto AA-6: Coordenada 704340-E / 1163595-N. Afloramiento de Esquistos (BBE) plegados. Se tomaron las siguientes estructuras: (Figuras desde 195 hasta 212)

Fol: N35E18S

Plano Axial: N65W18S

Falla: N60E52S (falla normal)

Punto AA-7: Coordenada 704400-E / 1163804-N. Afloramiento de Cuarzita (ABD) más Esquistos (BBE) plegados. Se anotaron las siguientes estructuras:

Fol: N70Whorizontal

Plano Axial-1: N65E53S

Plano Axial-2: N55W40S (pliegue chevron)

Punto AA-8: Coordenada 704320-E / 1164347-N. Afloramiento de Cuarzita (EEE) más suelo residual limoso, color ocre. 1,5m de espesor mínimo.

Punto AA-9: Coordenada 704760-E / 1164510-N. Afloramiento de Esquistos (CEB) Grafitoso Micáceo Feldespático con ojos de Cuarzita. La orientación de la foliación N-S04S.

Punto AA-10: Coordenada 704902-E / 1164568-N. Afloramiento de Esquistos (EEE) Grafitoso, Micáceo y Feldespático con ojos de Cuarzita. Fol: N70Whorizontal

Punto AA-11: Coordenada 705550-E / 1164700-N. Afloramiento de Esquistos (EEB) con menos porcentaje de grafito. Fol: N70Whorizontal

Punto AA-12: Coordenada 705675-E / 1164708-N. Afloramiento de Cuarzita (AAA) con Vetas de Cuarzo.

Punto AA-13: Coordenada 705731-E / 1164743-N. Afloramiento de Cuarzita (AAA) con Vetas de Cuarzo. También se observa suelo residual arenoso, color ocre y pardo. 3m de espesor mínimo.

Punto AA-14: Coordenada 705800-E / 1164763-N. Afloramiento de Cuarzita (AAA) con Vetas de Cuarzo. También se observa suelo residual arenoso, color ocre y pardo. 3m de espesor mínimo.

Carretera La Macanilla

Punto MC-1: Coordenada 704035-E / 1162838-N. Afloramiento de Esquisto (EEE) Feldespático Micáceo. Foliación: N42W45N. Suelo Residual limoso, color amarillento. 2m de espesor mínimo.

Punto MC-2: Coordenada 703900-E / 1162723-N. Suelo residual orgánico húmedo limoso, color pardo oscuro. 5m de espesor mínimo.

Punto MC-3: Coordenada 703950-E / 1162825-N. Suelo residual limoso, color ocre. 5m de espesor mínimo. Figura 189.

Punto MC-4: Coordenada 704000-E / 1162838-N. Suelo residual arenoso, color rojizo. 5m de espesor mínimo. Figuras 190 a la 193.

Punto MC-5: Coordenada 704074-E / 1162846-N. Afloramiento de Esquisto (EEE)
Feldespático Micáceo:

Fol: N15E49N

D1: N20W27S // Frecuencia: 3 diaclasas/m.

Suelo residual arenoso, color amarillento. 2m de espesor mínimo.

Punto MC-6: Coordenada 704250-E / 1162742-N. Suelo residual limoso, color ocre. 5m de espesor mínimo.

Punto MC-7: Coordenada 704100-E / 1162700-N (Piedra La Campana).
Afloramiento de Cuarzita (AAA) con boudines de Anfíbolita. Figuras 214 a la 216.

Río Petaquire en sus diferentes sectores

Sector El Molino hasta Puente volado (cerca de Paso Caballo):

Punto mp-1: Coordenada 705494-E / 11617269-N. Punto de control (cubierto por vegetación). (Dique-toma de agua Petaquire)

Punto mp-2: Coordenada 705530-E / 1161840-N. Manantial ubicado a 50m por encima de la rivera Este del Río. Afloramiento de Cuarzita fresca color azul.

Punto mp-3: Coordenada 705574-E / 1161865-N. Afloramiento de Anfíbolita (AAC).
D1: N12E81N. Figuras 64 a la 66 (E-W).

Punto mp-4: Coordenada 705570-E / 1161922-N. Contacto entre Anfibolita (AAA) y Cuarzita (AAA). Figuras 67, 68 (N05E).

Punto mp-5: Coordenada 705500-E / 1161978-N. Afloramiento de Anfibolita Granatífera (AAE). Se observaron 3 familias de diaclasas: (FIGURA 69, 70: N15E)

D1:N82W56S // Frecuencia: 3 diaclasas/m

D2 N35E50S // Frecuencia: 3 diaclasas/m

D3: N74W42N // Frecuencia: 5 diaclasas/m

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 11 = 78,7$

Punto mp-6: Coordenada 705600-E / 1162200-N. Afloramiento de rocas metamórficas de composición heterogénea (Anfibolitas (AAA) y Cuarzitas (AAA)). Figuras 71,72.

Punto mp-7: Coordenada 705750-E / 1162200-N. Afloramiento de Anfibolita (AAE). Se aprecian 2 familias de diaclasas: (FIGURA 86: N71E)

D1: N20W65S // Frecuencia: 2 diaclasas/m

D2: N10W60N // Frecuencia: 3 diaclasas/m

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 5 = 99,5$

Estas diaclasas cortan el macizo en forma romboidal.

Punto mp-8: Coordenada 705721-E / 1162226-N. Zona muy fracturada. Figuras 73 a la 82 (Panorámicas)

Punto mp-9: Coordenada 705685-E / 1162255-N. Puente Volado (Punto de control). Figuras desde la 88 hasta la 104.

Punto mp-10: Coordenada 705686-E / 1162250-N. Túnel Puente Volado. Afloramiento de Anfibolitas (AAE), se aprecian 3 familias de diaclasas:

D1: N59W57N // Frecuencia: 4 diaclasas/m

D2: N30W62S // Frecuencia: 5 diaclasas/m

D3: N50E64S // Frecuencia: 6 diaclasas/m

D1 y D2 son conjugadas.

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 15 = 65,5$

Figuras desde la 106 a la 115.

Sector Cataure:

Punto cat-1: Coordenada 706319-E / 1163170-N. Afloramiento de Anfibolita Granatífera (AAE) con Vetas de Cuarzo y de flujos de color blanco conteniendo granates. Se observaron 2 familias de diaclasas:

D1: N20E75S // frecuencia: 4 diaclasas/m

D2: E-W53S // frecuencia: 4 diaclasas/m

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 8 = 88,6$

Punto cat-2: Coordenada 706282-E / 1163150-N. Afloramiento de Anfibolita Granatífera (AAE). Se aprecian 3 familias de diaclasas:

D1: E-W32N // frecuencia: 4 diaclasas/m

D2: N-S vertical // frecuencia: 3 diaclasas/m

D3: E-W55S // frecuencia: 4 diaclasas/m

D1 y D3 son conjugadas.

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 11 = 78,7$

En un segmento de 3,5m de longitud de la diaclasa D1 de 2 a 5mm de abertura y sin relleno, nace un manantial cuyo Gasto es de 0.34 lts/seg.

Sector Hacienda Carayaca Abajo:

Punto ca-1: Coordenada 707190-E / 1164100-N. Afloramiento de Anfibolita Granatífera (ABA).

Sector Planta de Mamo:

Punto Yaguara: Coordenada 709575-E / 1165350-N. Afloramiento de Anfibolita (ABE). Se aprecian 3 familias de diaclasas (FIGURAS 217 y 218):

D1: N10E22N // Frecuencia: 4 diaclasas/m

D2: N60E63S // Frecuencia: 2 diaclasas/m

D3: N52W84N // Frecuencia: 2 diaclasas/m

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 8 = 88,6$

Punto pm-1: Coordenada 709530-E / 1165378-N. Coluvión de matriz arenosa, color pardo. 5m de espesor mínimo.

Punto pm-2: Coordenada 709300-E / 1165393-N. Coluvión de matriz limosa, color rojizo. 6,5m de espesor mínimo.

Punto pm-3: Coordenada 709250-E / 1165390-N. Afloramiento de Anfibolita (ABE). Se observaron 3 familias de diaclasas: (FIGURAS 219 a la 221)

D1: N06W82N // Frecuencia: 15 diaclasas/m

D2: E-W02S // Frecuencia: 6 diaclasas/m

D3: N10E70S // Frecuencia: 4 diaclasas/m

D1 y D2 son conjugadas.

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 25 = 32,5$

Punto pm-4: Coordenada 709150-E / 1165330-N. Coluvión de matriz arenosa, color rojizo. 5m de espesor mínimo.

Punto pm-5: Coordenada 708980-E / 1165190-N. Coluvión de matriz arenosa, color pardo. 6m de espesor mínimo. Este afloramiento continúa hasta el punto 6.

Punto pm-6: Coordenada 708884-E / 1165111-N. Afloramiento de Anfibolita (ABE) se aprecian 2 familias de diaclasas:

D1: N10E62N // Frecuencia: 10 diaclasas/m

D2: N-S24E // Frecuencia: 5 diaclasas/m

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 15 = 65,5$

Punto pm-7: Coordenada 708840-E / 1165090-N. Anfibolita Granatífera (ABE). Se aprecian 4 familias de diaclasas:

D1: N30E53N // Frecuencia: 5 diaclasas/m (rellena de Calcita)

D2: N60W24S // Frecuencia: 5 diaclasas/m

D3: N30W74S // Frecuencia: 7 diaclasas/m

D4: N10W54N // Frecuencia: 4 diaclasas/m

D1 y D2 son conjugadas

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 21 = 45,7$

Punto pm-8: Coordenada 708820-E / 1165070-N. Coluvión de matriz arcillosa, color pardo rojizo. 7m de espesor mínimo.

Punto pm-9: Coordenada 708770-E / 1165030-N. Afloramiento de Anfibolita Granatífera (ABE). Se aprecian 4 familias de diaclasas:

D1: N25E66N // Frecuencia: 5 diaclasas/m

D2: N40W69N // Frecuencia: 7 diaclasas/m

D3: N-S62W // Frecuencia: 10 diaclasas/m

D4: N20W32N // Frecuencia: 4 diaclasas/m

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 26 = 29,2$

Punto pm-10: Coordenada 708680-E / 1164960-N. Coluvión de matriz arcillosa, color pardo oscuro. 8m de espesor mínimo.

Punto pm-11: Coordenada 708650-E / 1164998-N. Coluvión de matriz arcillosa, color pardo rojizo. 2m de espesor mínimo.

Punto pm-12: Coordenada 708630-E / 1165085-N. Afloramiento de Anfibolita Granatífera (ABE). Se aprecian 5 familias de diaclasas:

D1: N22W60N // Frecuencia: 7 diaclasas/m

D2: N22W70S // Frecuencia: 7 diaclasas/m

D3: N38W30S // Frecuencia: 5 diaclasas/m

D4: N60E60N // Frecuencia: 5 diaclasas/m

D1 y D4 son conjugadas.

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 24 = 35,8$

Asentamiento Cataure

Vía Principal:

Punto CAT-1: Coordenada 705757-E / 1163905-N. Manantial que nace de coluvión (Entrada de Cataure-Plan de Caoma). Gasto: 0.5 lts/seg.

Punto CAT-2: Coordenada 706146-E / 1163687-N. Suelo residual arcilloso, color naranja. 6m de espesor mínimo.

Punto CAT-3: Coordenada 706197-E / 1163539-N. Afloramiento de Anfibolita Granatífera (ABE), se aprecian 3 familias de diaclasas:

D1: N70E41S // frecuencia: 5 diaclasas/m

D2: N65W vertical // frecuencia: 3 diaclasas/m

D3: N20W51S // frecuencia: 4 diaclasas/m

D1 y D3 son conjugadas.

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 12 = 75,4$

Punto CAT-4: Coordenada 706200-E / 1163465-N. Coluvión de matriz limosa, color rojizo y amarillento. 7m de espesor mínimo. Este afloramiento continúa hasta el punto 5.

Punto CAT-5: Coordenada 706365-E / 1163375-N. Afloramiento de Anfibolita Granatífera (EDE), se aprecian 2 familias de diaclasas:

D1: N24W67S // frecuencia: 6 diaclasas/m

D2: N35E50N // frecuencia: 1 diaclasa/m

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 7 = 91,9$

Se observó suprayaciendo a la roca coluvión de matriz limosa, color rojizo. 2m de espesor mínimo.

Punto CAT-6: Coordenada 706319-E / 1163170-N. Punto de control (cubierto por vegetación). (Río Petaquire).

Punto CAT-7: Coordenada 706400-E / 1163115-N. Punto de control (cubierto por vegetación).

Punto CAT-8: Coordenada 706331-E / 1162928-N. Manantial que nace de coluvión. Gasto: 0,16 lts/seg.

Punto CAT-9: Coordenada 706532-E / 1163173-N. Afloramiento de Anfibolita Granatífera (ABE), se aprecian 3 familias de diaclasas:

D1: N66E35S // frecuencia: 5 diaclasas /m

D2: N60E67N // frecuencia: 9 diaclasas /m

D3: N-S66E // frecuencia: 6 diaclasas /m

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 20 = 49$

Punto CAT-10: Coordenada 706727-E / 1163520-N. Suelo residual arcilloso, color rosado. 13m de espesor mínimo. Este Suelo continúa hasta el punto 11.

Punto CAT-11: Coordenada 707214-E / 1163211-N. Coluvión de matriz arcillosa, color ocre. 15m de espesor mínimo. Este coluvión continúa hasta el punto 13.

Punto CAT-12: Coordenada 707255-E / 1163107-N. Manantial que nace de coluvión, gasto: 0,01lts/seg.

Punto CAT-13: Coordenada 707276-E / 1163040-N. Manantial. (proyectar 15m por encima de la carretera).

Punto CAT-14: Coordenada 707420-E / 1163197-N. Coluvión de matriz arcillosa, color rojizo. 10m de espesor mínimo.

Punto CAT-15: Coordenada 707504-E / 1163288-N. Coluvión de matriz limosa, color ocre. 8m de espesor mínimo.

Punto CAT-16: Coordenada 707506-E / 1163381-N. Manantial que nace de roca. Gasto: 0.4lts/seg. Afloramiento de Anfibolita Granatífera (AAE), se aprecian 3 familias de diaclasas:

D1: N-S56E // frecuencia: 12 diaclasas/m

D2: E-W32S // frecuencia: 3 diaclasas/m

D3: E-W45N // frecuencia: 6 diaclasas/m

D2 y D3 son conjugadas.

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 21 = 45,7$

Punto CAT-17: Coordenada 707652-E / 1163496-N. Manantial que nace de coluvión. Gasto: 0,15lts/seg.

Punto CAT-18: Coordenada 708196-E / 1164125-N. Aljibe:
Sección rectangular 1,7m x 1,5m (2,55m²).

Profundidad: 9m.

Nivel estático: 2m.

Volumen de agua almacenada: (7m x 2,55m²) 17,85m³.

Nivel Freático: 6m.

Nota: el aljibe construido en coluvión de matriz arenosa (información del dueño). Se utiliza una bomba de 7,5 HP.

Punto CAT-19: Coordenada 708400-E / 1163977-N.

Aljibe:

Sección rectangular 2m x 2m (4 m²).

Profundidad: 4,5m.

Nivel estático: 1,5m.

Volumen de agua almacenada: (3m x 4m²) 12 m³.

Nota: 5m al sur del aljibe se encuentra un manantial, gasto 0,2lts/seg. El aljibe fue construido en coluvión de matriz arenosa (información del dueño).

Punto CAT-20: Coordenada 708880-E / 1163993-N. Coluvión de matriz arcillosa, color rojizo. 4m de espesor mínimo.

Punto CAT-21: Coordenada 709151-E / 1163883-N. (ENTRADA HACIENDA BUCARAL) Afloramiento de Anfibolita Granatífera (BBE), se aprecian 3 familias diaclasas: (FIGURA 58 a la 63: N25W)

D1: N45W43S // frecuencia: 6 diaclasas /m

D2: N55E65N // frecuencia: 10 diaclasas /m

D3: N38W45N // frecuencia: 10 diaclasas /m

D1 y D2 son conjugadas.

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 26 = 29,2$

Suprayacente al macizo rocoso se encuentra suelo residual limoso, color pardo claro. 1m de espesor mínimo.

Desvío desde la Casa Agraria:

Punto CAG-1: Coordenada (CASA AGRARIA).Punto de control.

Punto CAG-2: Coordenada 708188-E / 1163093-N. Suelo residual arcilloso, color ocre. 2m de espesor mínimo. Figura 49 (N50E).

Punto CAG-3: Coordenada 708162-E / 1162807-N. Manantial intermitente que nace de coluvión (sólo nace en época de lluvia). A 10m del manantial se encuentra un aljibe de 8m de profundidad y cuyo nivel estático es de 2m. Cabe destacar que este nivel estático se mantiene constante durante todo el año.

Punto CAG-3: Coordenada 708112-E / 1162647-N. Manantial que nace de coluvión intermitente (sólo nace en época de lluvia).

Punto CAG-4: Coordenada 707743-E / 1162572-N. Afloramiento de roca (CCE) no diferenciable con colores de alteración variables (amarillo, azul, gris y verde), se aprecian cristales de granate de 5mm de diámetro; presencia de azufre (posiblemente hidrotermal) en cantidades explotables. Se aprecian 3 familias de diaclasas: (FIGURA 50: E-W)

D1: N03E59N // frecuencia: 1 diaclasa/m

D2: N58E66N // frecuencia: 1 diaclasa/m

D3: N16W15N // frecuencia: 6 diaclasas/m

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 8 = 88,6$

Punto CAG-5: Coordenada 707617-E / 1162732-N. Manantial (nace del coluvión)

Punto CAG-6: Coordenada 708061-E / 1162780-N. Manantial (nace del coluvión)

Punto CAG-7: Coordenada 708543-E / 1162960-N. Manantial (nace del coluvión)
gasto: 0,03lts/seg.

Punto CAG-8: Coordenada 708547-E / 1162904-N. Manantial intermitente (nace del coluvión)

Punto CAG-9: Coordenada 708630-E / 1162459-N. Punto de control (cubierto por vegetación).

Punto CAG-10: Coordenada 708805-E / 1162580-N. Punto de control (cubierto por vegetación).

Punto CAG-11: Coordenada 708712-E / 1162643-N. Punto de control (cubierto por vegetación).

Punto CAG-12: Coordenada 709123-E / 1162189-N. Punto de control (cubierto por vegetación).

Carretera La Virgen-Hacienda Carayaca Abajo

Punto VC-1: Coordenada 706890-E / 1165635-N. Coluvión de matriz limosa, color ocre amarillento. 5m de espesor mínimo.

Punto VC-2: Coordenada 706914-E / 1165641-N. Esquisto (EED) Feldespático Micáceo Grafitoso. Foliación: E-W28S.

Punto VC-3: Coordenada 706961-E / 1165647-N. Esquisto (EED) Feldespático Micáceo Grafitoso. Foliación: E-W28S. (FIGURA 243, 244: N20W).

Punto VC-4: Coordenada 706956-E / 1165599-N. Esquisto (EED) Feldespático Micáceo Grafítico. Foliación: N60E31N. Coluvión suprayacente al Esquisto de matriz arcillosa, color pardo rojizo. 3m de espesor mínimo.

Punto VC-5: Coordenada 706956-E / 1165519-N. Esquisto Feldespático (CCE) moscovítico Grafítico con Vetas de Cuarzo.

Foliación: N15E38N.

D1: N60W53N // Frecuencia: 3 diaclasas/m

Punto VC-6: 706952-E / 1165468-N. Esquisto (CCE) Cuarzoso Micáceo Grafítico y Cuarzita (ABC).

Foliación: E-W28S.

D1: N40W75S // Frecuencia: 3 diaclasas/m

Punto VC-7: Coordenada 707000-E / 1165394-N. Afloramiento de Anfibolita Granatífera (ABE) intercalada con Esquisto (CCE) Feldespático más intervalos de Cuarzita (ABE). Se aprecian 3 familias de diaclasas: (FIGURAS 245 a la 247)

D1: N30W21S // Frecuencia: 3 diaclasas/m

D2: N-S71W // Frecuencia: 4 diaclasas/m

D3: E-W70S // Frecuencia: 4 diaclasas/m

Fol: N12W25S

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 11 = 78,7$

Punto VC-8: Coordenada 707080-E / 1165310-N. Esquisto (EED) con mineralogía sin diferenciar a simple vista (colores meteorizados rojizos). Foliación: N25E47S. Coluvión (suprayacente al Esquisto) de matriz arcillosa, color pardo. 6m de espesor mínimo.

Punto VC-9: Coordenada 707117-E / 1165246-N. Esquisto (EED) con mineralogía sin diferenciar a simple vista (colores meteorizados rojizos y pardo claro).

Foliación: N11E35N

D1: N42E58S // Frecuencia: 3 diaclasas/m

Punto VC-10: Coordenada 707100-E / 1165132-N. Afloramiento de Esquistos (CCD) Feldespáticos Micáceos Grafitosos, Cuarzitas (BBE) y Anfibolitas (BBE). Se observa un pliegue:

Foliación preferencial: N53W37S

L1: N53W37S

L2: N50W51N

D1: N28W54N // Frecuencia: 3 diaclasas/m

D2: E-W67S // Frecuencia: 3 diaclasas/m

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 6 = 95,2$

Punto VC-11: Coordenada 707075-E / 1165100-N. Esquistos (CCD) Feldespático Micáceos. Foliación preferencial: N80E45S.

Punto VC-12: Coordenada 707266-E / 1165142-N. Esquistos (CCD) Feldespático Micáceos y Cuarzitas (ABAC). Foliación: N60W34S.

Punto VC-13: Coordenada 707320-E / 1165484-N. Afloramiento de Esquisto (CCDC) Feldespático Micáceo Grafitoso con Anfibolita Granatífera (ABE):

D1: N23W81S // Frecuencia: 5 diaclasas/m

D2: N60E31N // Frecuencia: 3 diaclasas/m

D3: N-S44E // Frecuencia: 4 diaclasas/m

Fol: E-W25N

R.Q.D. = $115 - 3,3 \cdot 12 = 75,4$

Punto VC-14: Coordenada 707410-E / 1165484-N. Afloramiento de Esquisto Feldespático (CCD) Micáceo y Cuarzita (ABAC). Foliación: N75E32S.

Punto VC-15: Coordenada 707557-E / 1165722-N. Afloramiento de Esquisto Feldespático (CCD) Micáceo suprayacente en contacto litológico abrupto Cuarzita (ABA). Foliación: N-S25E .

Hacienda Carayaca Abajo:

Punto CAB-1: Coordenada 707282-E / 1164480-N. Afloramiento de anfibolita granatífera (CEE):

D1: N10W70S // Frecuencia: 10 diaclasas/m

D2: N50E30N // Frecuencia: 5 diaclasas/m

R.Q.D. = $115 - 3,3 * 15 = 49,5$

Punto CAB-2: Coordenada 707394-E / 1164740-N. Manantial (nace de coluvión)
Producción: 0,5lts/seg.

Punto CAB-3: Coordenada 707727-E / 1164821-N. manantial intermitente (nace de coluvión)

Punto CAB-4: Coordenada 707668-E / 1164760-N. Manantial producción:
0,03lts/seg.

Carretera Fila Capadare-La Niebla (Yagrimal)

Punto CY-1: Coordenada 706458-E / 1161397-N. Afloramiento de Esquisto Grafitoso (CCD) Micáceo. Foliación: N71E25S. Este afloramiento continúa hasta el punto2.

Punto CY-2: Coordenada 706543-E / 1161421-N. Punto de control (cubierto por vegetación).

Punto CY-3: Coordenada 706571-E / 1161458-N. Punto de control (cubierto por vegetación).

Punto CY-4: Coordenada 706567-E / 1161478-N. Punto de control (cubierto por vegetación).

Punto CY-5: Coordenada 706522-E / 1161511-N. Punto de control (cubierto por vegetación).

Punto CY-6: Coordenada 706552-E / 1161550-N. Punto de control (cubierto por vegetación).

Punto CY-7: Coordenada 706656-E / 1161601-N. Punto de control (cubierto por vegetación).

Punto CY-8: Coordenada 706690-E / 1161655-N. Punto de control (cubierto por vegetación).

Punto CY-9: Coordenada 706704-E / 1161710-N. Punto de control (cubierto por vegetación).

Punto CY-10: Coordenada 706724-E / 1161726-N. Afloramiento de Esquisto (CCD) Grafitoso Micáceo Feldespático. Foliación: N15E30S. Este afloramiento continúa hasta el punto 11.

Punto CY-11: Coordenada 706802-E / 1161770-N. Punto de control (cubierto por vegetación).

Punto CY-12: Coordenada 706825-E / 1161846-N. Punto de control (cubierto por vegetación).

Punto CY-13: Coordenada 706844-E / 1161845-N. Punto de control (cubierto por vegetación).

Punto CY-14: Coordenada 706832-E / 1161910-N. Punto de control (cubierto por vegetación).

Punto CY-15: Coordenada 706507-E / 1161293-N. Afloramiento de Esquisto (CCD) Feldespático Micáceo, color meteorizado pardo. Foliación: N55E30S.

Punto CY-16: Coordenada 707326-E / 1161089-N. Afloramiento de Esquistos (CCD) en bandas de diferentes colores (rosado, naranja y gris):Foliación: N73E25S. D1: N78E69S // Frecuencia: 5 diaclasas/m.

PROYECTO:	Tesis Eduardo Moros & Jesús Portilla					
PROCEDENCIA:	Pueblo de Carayaca, Estado Vargas					
PERFORACION N°:				PROGRESIVA:		
LABORATORIS:	Darwin Sánchez/ Mariela Urbina			FECHA:	09/20/2005	

UBICACIÓN		Cataure	Cataure	Carayaca Abas Colonia	Plan Caoma	Remolino
MUESTRA:		6	3	4		
TARAN°:		040	005	010	009	035 007

A. CONTENIDO DE HUMEDAD

I	Peso Húmedo + Tara	825.16	789.95	1008.24	533.11	823.20	519.21
II	Peso Seco + Tara	654.43	734.05	924.84	475.23	688.62	433.07
III	Peso de Agua (I-II)	170.73	55.90	83.40	57.88	134.58	86.14
IV	Peso Tara	167.55	163.98	164.99	164.68	167.63	167.99
V	Peso Seco Neto (II-IV)	486.88	570.07	759.85	310.55	520.99	265.08
VI	W% (III*100/IV)	35.07	9.81	10.98	18.64	25.83	32.50

B. PASA N° 200

VII	Peso Muestra Total						
	Seco al Aire	486.88	570.07	759.85	310.55	520.99	265.08
VIII	Peso Muestra Total (Seca)						
	Corregida por Humedad						
	[VII/(1+VII/100)]	486.88	570.07	759.85	310.55	520.99	265.08
IX	Peso Seco Muestra						
	Lavada + Tara	293.86	528.82	536.07	373.72	475.36	233.86
X	Peso Neto Seco de						
	Muestra Lavada	126.31	364.84	371.08	209.04	307.73	65.87
XI	Peso PASA N° 200						
	(VIII-X)	360.57	205.23	388.77	101.51	213.26	199.21
XII	Peso Retenido Tamiz 4	2.21	132.34	63.22	20.14	64.97	6.17
XIII	% PASA 200						
	(XI/VIII) x 100	74.06	36.00	51.16	32.69	40.93	75.15
XIV	% Retenido Tamiz N° 4						
	(XII*100/VIII)	0.45	23.21	8.32	6.49	12.47	2.33
XV	% de Arena (100-(XII+XIV))	25.49	40.78	40.52	60.83	46.60	22.52

HECHO POR:		APROBADO POR:
Mariela Urbina		Ing. Feliciano De Santis

P A S A 2 0 0 ASTM (C-117-95)

**DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA
(ASTM D 4318-00)**

Proyecto:	Tesis Eduardo Moros & Jesús Portilla		
Procedencia:	Carayaca, Estado Vargas		
Fosa o Perforación N°			
Muestra N°	Plan de Caoma		
Fecha ensayo	23/09/2005	Ensayó:	MU
Calculó:	MU	Revisó:	FDS

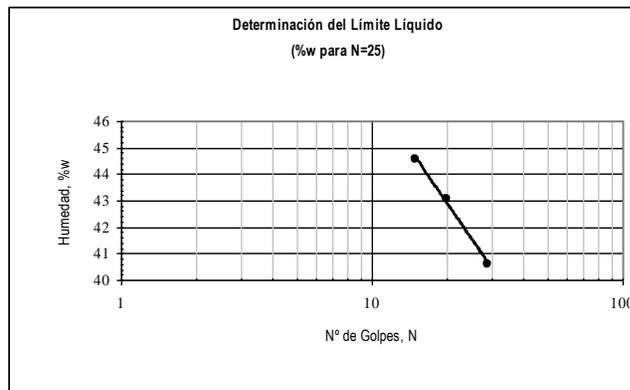
RESUMEN			
Lim. Liq.	Lim. Plast.	Ind. Plast.	Calcáreo
41,69	29,48	12,21	
Lim. Encog.	Valor B	Ind. de Flu.	Ind. de Resist.

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO		
1) Determinación N°	1	2
2) Tara N°	171	132
3) Peso de la Tara	28,03	21,45
4) Peso húmedo + Tara	32,33	25,10
5) Peso seco + tara	31,35	24,27
6) Peso del agua (4-5)	0,98	0,83
7) Peso neto seco (5-3)	3,32	2,82
8) % de humedad (100 x 6/7)	29,52	29,43

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE ENCOGIMIENTO		
1) Determinación N°	1	2
2) Tipo de muestra		
3) Tara N°		
4) Peso de la Tara		
5) Peso húmedo + Tara		
6) Peso seco + Tara		
7) Peso del agua (5-6)		
8) Peso n seco Wo (6-4)		
9) % de humedad W% (100 x 7/8)		
10) Volumen de m. húmeda V		
11) Volumen de m. seca Vo		
12) Límite de encogimiento LE		

$LE = W\% [(V-V_0)/W_0 \times 100]$

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO						
1) Determinación N°	1	2	3	4	5	6
2) Número de golpes	15	20	29			
3) Tara N°	180	151	183			
4) Peso de la Tara	26,43	27,63	21,60			
5) Peso húmedo + Tara	43,08	44,28	36,04			
6) Peso seco + Tara	37,95	39,27	31,87			
7) Peso del agua (5-6)	5,13	5,01	4,17			
8) Peso neto seco (6-4)	11,52	11,64	10,27			
9) % de humedad (100 x 7/8)	44,53	43,04	40,60			



PROYECTO:	Tesis Eduardo Moros & Jesús Portilla		
PROCEDENCIA:	Pueblo de Carayaca, Estado Vargas		
PERFORACION N°:			PROGRESIVA:
LABORATORISTA:	Darwin Sánchez/ Mariela Urbina		FECHA: 09/20/2005

#¡REF!	Carayaca Abajo		
MUESTRA:		3	
TARAN°:		031	

A. CONTENIDO DE HUMEDAD

I	Peso Húmedo + Tara	1022.82			
II	Peso Seco + Tara	929.17			
III	Peso de Agua (I-II)	93.65			
IV	Peso Tara	165.49			
V	Peso Seco Neto (II-IV)	763.68			
VI	W% (III*100/V)	12.26			

B. PASA N° 200

VII	Peso Muestra Total Seco al Aire	763.68			
VIII	Peso Muestra Total (Seca) Corregida por Humedad [VII/(1+VII/100)]	763.68			
IX	Peso Seco Muestra Lavada + Tara	653.05			
X	Peso Neto Seco de Muestra Lavada	487.56			
XI	Peso PASA N° 200 (VIII-X)	276.12			
XII	Peso Retenido Tamiz 4	153.70			
XIII	% PASA 200 (XI/III) x 100	36.16			
XIV	% Retenido Tamiz N° 4 (XIII*100/III)	20.13			
XV	% de Arena (100-(XII+XIV))	43.72			

HECHO POR:		APROBADO POR:
Mariela Urbina		Ing. Feliciano De Santis

Proyecto:	Tesis Eduardo Moros & Jesús Portilla		
Procedencia:	Carayaca, Estado Vargas		
Fosa o Perforación N°			
Muestra N°	Carayaca Abajo 4		
Fecha ensayo	09/23/2005	Ensayó:	MU
Calculó:	MU	Revisó:	FDS

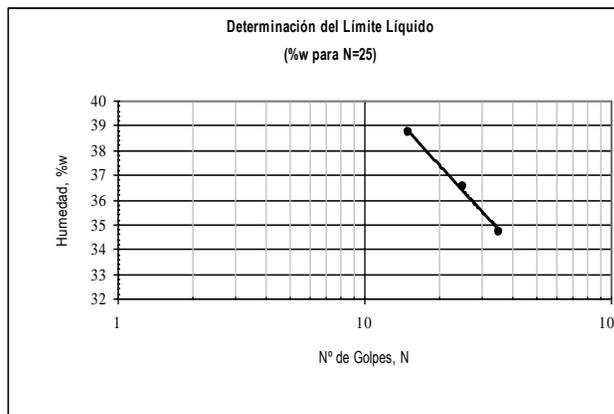
RESUMEN			
Lim. Liq.	Lim. Plast.	Ind. Plast.	Calcáreo
36.49	20.22	16.27	
Lim. Encog.	Valor B	Ind. de Flu.	Ind. de Resist.

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO		
1) Determinación N°	1	2
2) Tara N°	058	123
3) Peso de la Tara	21.16	21.36
4) Peso húmedo + Tara	29.78	29.09
5) Peso seco + tara	28.33	27.79
6) Peso del agua (4-5)	1.45	1.30
7) Peso neto seco (5-3)	7.17	6.43
8) % de humedad (100 x 6/7)	20.22	20.22

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE ENCOGIMIENTO		
1) Determinación N°	1	2
2) Tipo de muestra		
3) Tara N°		
4) Peso de la Tara		
5) Peso húmedo + Tara		
6) Peso seco + Tara		
7) Peso del agua (5-6)		
8) Peso n seco Wo (6-4)		
9) % de humedad W% (100 x 7/8)		
10) Volumen de m. húmeda V		
11) Volumen de m. seca Vo		
12) Límite de encogimiento LE		

$$LE = W\% \left[\frac{(V-V_0)}{W_0} \times 100 \right]$$

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO						
1) Determinación N°	1	2	3	4	5	6
2) Número de golpes	15	25	35			
3) Tara N°	238	118	107			
4) Peso de la Tara	20.67	25.32	28.23			
5) Peso húmedo + Tara	38.90	41.59	44.18			
6) Peso seco + Tara	33.81	37.24	40.07			
7) Peso del agua (5-6)	5.09	4.35	4.11			
8) Peso neto seco (6-4)	13.14	11.92	11.84			
9) % de humedad (100 x 7/8)	38.74	36.49	34.71			



Proyecto:	Tesis Eduardo Moros & Jesús Portilla		
Procedencia:	Carayaca, Estado Vargas		
Fosa o Perforación N°			
Muestra N°	Cataure 6	Profundidad:	
Fecha ensayo	09/23/2005	Ensayó:	MU
Calculó:	MU	Revisó:	FDS

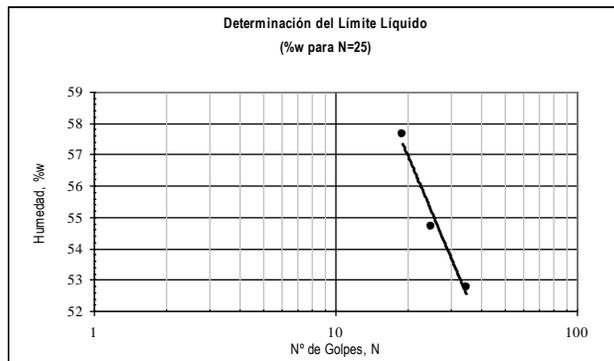
RESUMEN			
Lim. Liq.	Lim. Plast.	Ind. Plast.	Calcáreo
54.69	29.02	25.67	
Lim. Encog.	Valor B	Ind. de Flu.	Ind. de Resist.

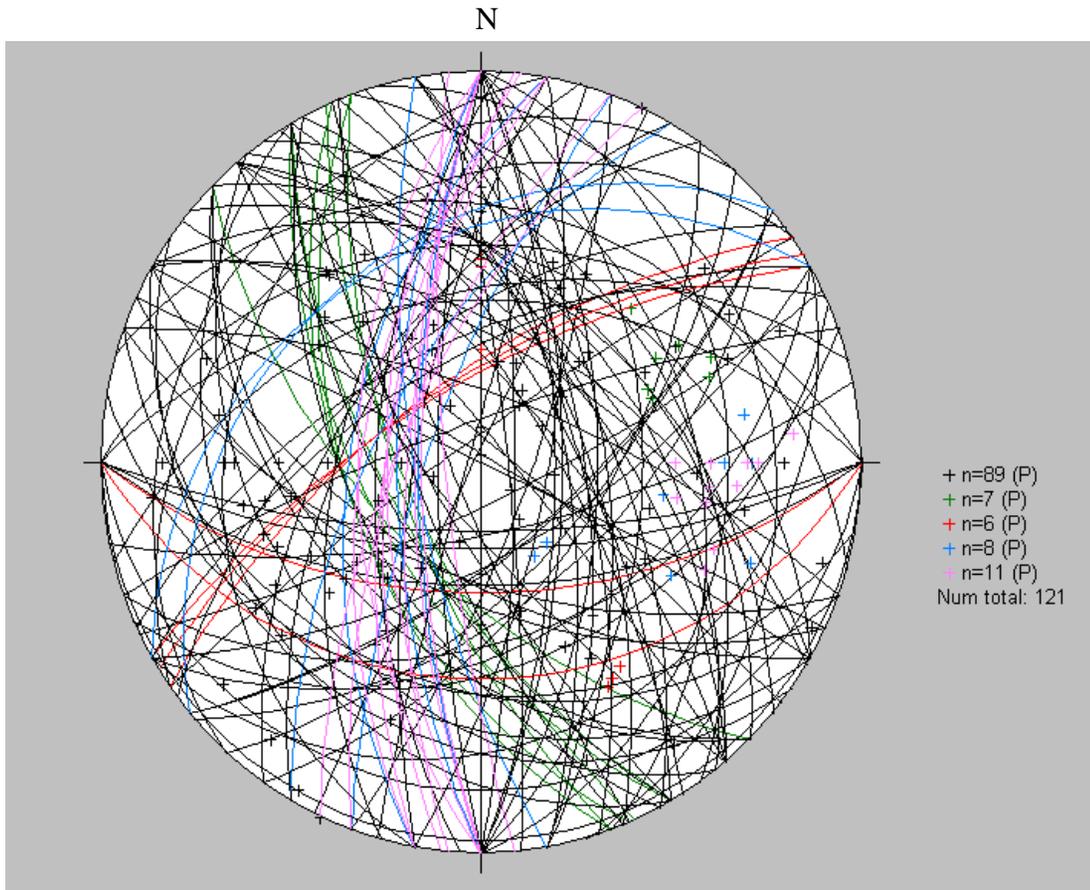
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO		
1) Determinación N°	1	2
2) Tara N°	056	198
3) Peso de la Tara	24.49	26.02
4) Peso húmedo + Tara	32.35	34.75
5) Peso seco + tara	30.57	32.80
6) Peso del agua (4-5)	1.78	1.95
7) Peso neto seco (5-3)	6.08	6.78
8) % de humedad (100 x 6/7)	29.28	28.76

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE ENCOGIMIENTO		
1) Determinación N°	1	2
2) Tipo de muestra		
3) Tara N°		
4) Peso de la Tara		
5) Peso húmedo + Tara		
6) Peso seco + Tara		
7) Peso del agua (5-6)		
8) Peso n seco Wo (6-4)		
9) % de humedad W% (100 x 7/8)		
10) Volumen de m. húmeda V		
11) Volumen de m. seca Vo		
12) Límite de encogimiento LE		

$$LE = W\% \left[\frac{(V-V_o)}{W_o} \times 100 \right]$$

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO						
1) Determinación N°	1	2	3	4	5	6
2) Número de golpes	19	25	35			
3) Tara N°	131	033	296			
4) Peso de la Tara	28.29	26.22	21.50			
5) Peso húmedo + Tara	44.40	39.74	35.98			
6) Peso seco + Tara	38.51	34.96	30.98			
7) Peso del agua (5-6)	5.89	4.78	5.00			
8) Peso neto seco (6-4)	10.22	8.74	9.48			
9) % de humedad (100 x 7/8)	57.63	54.69	52.74			





Representación en red estereográfica de todos los planos de diaclasas medidos en campo en la zona de Carayaca. Se muestran en colores las 5 familias de diaclasas pertenecientes a las 4 zonas estudiadas en el capítulo 5



RESULTADOS DE ANALISIS

MUESTRAS CAPTADAS EN : POBLACION DE CARAYACA ESTADO VARGAS
 FECHA DE CAPTACION : 07/09/2005
 SOLICITADA POR : DIRECCION DE CUENCAS HIDROGRAFICAS

PARAMETROS	LUGAR DE CAPTACION									
	CATAURE 1	CATAURE 2	CATAURE 4	CATAURE 7	CATAURE 8	CARAYACA ABAJU 1	CARAYACA ABAJU 3	MUESTRA 5 MANANTIAL	NEVA TUBERIA	UNIVERSIDAD MARTINA DEL CARIBE
Alcalinidad Total (mgCaCO ₃ /L)	44	44	72	46	44	161	240	66	75	237
Cloruro (mg/L)	19	20	15	10	11	65	68	19	11	785
Color Real (Upt.Co)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2
Conductividad (µS/cm)	403	353	332	188	252	872	1032	310	281	7500
Dureza Total (mgCaCO ₃ /L)	184	150	152	84	106	440	540	132	124	5000
Dureza Calcio (mgCaCO ₃ /L)	108	70	88	40	59	340	390	80	94	600
Dureza Magnesio (mgCaCO ₃ /L)	76	80	64	44	47	100	150	52	30	4400
Fluoruro (mg/L)	<0,10	0,32	<0,10	<0,10	0,18	0,46	0,28	0,11	<0,04	1,4
Nitró (N-NO ₂ , mg/L)	0,002	0,004	0,004	0,001	0,001	0,002	0,058	0,01	0,004	0,006
Nitrato (N-NO ₃ , mg/L)	4,90	5,10	2,50	3,20	0,60	11,00	13,00	6,50	1,60	0,40
pH	7,9	6,7	7,7	7,2	6,8	7,7	8,1	7,5	6,5	6,2
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	194	170	154	90	119	426	507	149	134	3560
Sólidos Totales (mg/L)	390	225	285	1630	390	1380	2420	730	190	4380
Sulfatos (mg/L)	60	64	43	28	43	95	150	16	27	1500
Turbidez (NTU)	3	2	1	174	4	7	156	12	6	1
Calcio (mg/L)	43	28	35	16	24	136	156	32	36	240
Magnesio (mg/L)	18	19	15	11	11,3	24	36	13	7	1056

ANALIZADO POR:

TSU FREISANET CABRERA

TEC DAGNI MELENDEZ

TEC CARLOS FIGUEROA

LAB GLADYS PALMERA

REVISADO POR:

LIC. OMAR LAMEDA

