



**GEOQUIMICA DEL AGUA ASOCIADA A MANTOS DE CARBON DE LA
FORMACION GUADUAS EN LA CUENCA DE BOGOTA.**

ANDREA FABIOLA ARIAS RAMIREZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2007

**GEOQUIMICA DEL AGUA ASOCIADA A MANTOS DE CARBON DE LA
FORMACION GUADUAS EN LA CUENCA DE BOGOTA.**

ANDREA FABIOLA ARIAS RAMIREZ

Proyecto de grado para optar el título de Geólogo.

Director

MARIO GARCIA GONZALEZ, PhD.

Profesor Titular

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2007

AGRADECIMIENTOS

El Autor de esta tesis presenta sus agradecimientos a:

Al grupo de Investigación en Geología de Hidrocarburos y Carbones de la Universidad Industrial de Santander y a COLCIENCIAS, por la financiación y realización de este proyecto de investigación.

Al Doctor Mario García González, por su apoyo y esfuerzo incondicional durante el desarrollo y realización de este proyecto.

A mis padres por su incansable apoyo, por su constancia y dedicación.

A mis amigos por la compañía y la amistad brindada.

CONTENIDO

RESUMEN

	PÁG.
1. INTRODUCCION	13
2. OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVOS GENERALES	14
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
4. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO	16
5. ANTECEDENTES	17
6. METODOLOGIA	19
7. MARCO GEOLOGICO REGIONAL	24
8. CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DEL SINCLINAL CHECUA - LENGUAZAQUE.	27
9. ESTRATIGRAFIA DEL SINCLINAL CHECUA LENGUAZAQUE	29
10. CARACTERISTICAS DEL DRENAJE	37
11. CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS E HIDROGEOQUIMICAS	39
12. RESULTADOS DE LA CALIDAD QUIMICA DEL AGUA EN LA SABANA DE BOGOTA.	46
13. INTERPRETACION HIDROGEOQUIMICA DEL AGUA ASOCIADA A MANTOS DE CARBON.	60
13.1 DIAGRAMAS STIFF.	66
14. NIVELES DE SATURACION DEL AGUA ASOCIADA A MANTOS DE CARBON.	73
15. RELACION ENTRE EL AGUA Y EL GAS ASOCIADOS A LOS MANTOS DE CARBON.	82

CONCLUSIONES	92
REFERENCIAS CITADAS	94
ANEXOS	96

LISTA DE TABLAS

	PAG.
Tabla 1. Métodos de detección de parámetros Físicoquímicos.	23
Tabla 2. Reporte de Resultados Obtenidos en Campo.	47
Tabla 3. Reporte de Resultados, Laboratorio Químico de Consultas Industriales, UIS.	52
Tabla 4. Clasificación de Agua por Diagrama de Piper.	64
Tabla 5. Datos utilizados para conversión a miliequivalentes.	67
Tabla 6. Clasificación del Agua según su origen.	68
Tabla 7. Resultado de Clasificación del Agua según su origen.	70
Tabla 8. Saturación del Agua.	74
Tabla 9. Comparación de tendencias entre parámetros del agua y Contenido de gases, El Triunfo.	84
Tabla 10. Comparación de tendencias entre parámetros del agua y Contenido de gases, Montecristo.	86
Tabla 11. Comparación de tendencias entre parámetros del agua y Contenido de gases, Lenguazaque.	88

LISTA DE FIGURAS

	PAG.
Figura 1. Localización del Área de Estudio.	17
Figura 2. Multiparamétrico WTW 340i.	20
Figura 3. Test de Dureza Total de Aquamerck.	21
Figura 4. Pila de Sedimentación, Mina el Convenio, zona del Triunfo.	22
Figura 5. Mapa Geológico de la Zona de Estudio.	26
Figura 6. Mapa Estructural del Área Checua – Lenguazaque.	28
Figura 7. Columna Estratigráfica Generalizada para la Sabana de Bogotá.	29
Figura 8. Quebrada Chuguas. Mayor contenido de Hierro.	55
Figura 9. Diagrama de Pípper para las Muestras 1- 15.	61
Figura 10. Diagrama de Pípper para las Muestras 16 - 25.	62
Figura 11. Clasificación de Aguas utilizando el programa Qualigraf.	65
Figura 12. Diagrama de Stiff. Inclinado la Grande, Manto 5. El Triunfo	68
Figura 13. Influencia de la temporada de lluvias en el área de estudio, Quebrada Pueblo Viejo, Montecristo.	72

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis Geoquímico del Agua.

Anexo 2. Diagramas de Stiff.

Anexo 3. Base Hídrica zona de Estudio.

Anexo 4. Perfil Topográfico Zona de Montecristo.

Anexo 5. Perfil Topográfico Zona del Triunfo.

Anexo 6. Perfil Topográfico Zona de Lenguazaque.

Anexo 7. Perfil Topográfico General Zona de Estudio.

Anexo 8. Perfil Geológico Balanceado Sinclinal Checua – Lenguazaque.

RESUMEN

TITULO: GEOQUIMICA DEL AGUA ASOCIADA A MANTOS DE CARBON DE LA FORMACION GUADUAS EN LA CUENCA DE BOGOTA.*

AUTOR: ARIAS RAMIREZ Andrea F.**

PALABRAS CLAVES: Formación Guaduas – Acuíferos – Características Geoquímicas – Origen del Agua – Saturación del Agua – Contenidos de Gas.

Los estratos de carbón de la Formación Guaduas son acuíferos con alta porosidad debido a su fracturamiento, presentando altos volúmenes de agua. Las características hidrogeoquímicas de la Formación Guaduas se caracterizan por los altos contenidos de hierro, alta conductividad y alto contenido en Sólidos Disueltos.

La información obtenida permitió la clasificación genética de 25 muestras de agua, las cuales se distribuyen así: 9 muestras de agua meteórica, (36%), 12 muestras aguas salobres o mezcladas (48%) y 4 aguas connatas o saladas 4 (16%)

La saturación de las aguas asociadas a carbón se determinó para los minerales Calcita, Aragonito, Dolomita y Siderita; encontrándose que 12 muestras están sobresaturadas en Dolomita.

Se observó una relación directa entre el contenido de gases de los carbones y la salinidad, sólidos disueltos y sulfatos de las aguas asociadas a mantos de carbón.

* Tesis

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología, Mario García González, Ph. D., Profesor Titular de Geología.

ABSTRACT

TITLE: GEOCHEMISTRY OF THE WATER ASSOCIATE TO COAL BED IN THE GUADUAS FORMATION, BOGOTÁ BASIN.*

AUTHOR: ARIAS RAMIREZ, Andrea F.**

KEY WORDS: Guaduas Formation, Aquifer – Characteristic
Geochemistry – Origin of the Water – Saturation of the one
It dilutes – Contents of Gas.

Coal seams of the Guaduas formation are considered aquifers due to their high porosity created by coal cleats, consequently high volume of circulating water are present. The hydro –geochemical features of the Guaduas Formation are dominated by high content f iron, dissolved solid and high conductivity.

Coal-waters were classified as follow: meteoric water 25%, mixed water 48%, and connate or saline water 16%.

Mineral saturation of the coal water was calculated for Calcite, Dolomite, aragonite and siderite; only 48% of the waters are Dolomite saturated all other mineral are under-saturated.

A direct relationship was observed among coal gas content, salinity, dissolved solid and sulfate.

* Thesis

** Faculty of Physics – Chemistry Engineerings, Geology School, Mario García González, Ph. D., Professor of Geology.

INTRODUCCION

En algunas áreas, los estratos de carbón pueden funcionar como acuíferos regionales o locales y son fuentes importantes para la producción de agua. La cantidad de agua producida en la mayoría de las minas donde son explotados mantos de carbón es relativamente alta comparándolo con los contenidos de gas natural convencionales, los estratos de carbón contienen fracturas y poros que pueden contener y pueden transmitir grandes volúmenes de agua. El agua en los estratos de carbón contribuye para presionar el depósito que guarda el gas metano.

El acuífero de la Formación Guaduas, no ha sido estudiado hasta el momento, sin embargo el planteamiento del problema de este proyecto de investigación es conocer las características geoquímicas del agua asociada a los mantos de carbón que pertenecen a esta formación influenciados por el sinclinal Checua – Lenguazaque que es la estructura central en la zona de trabajo.

Los resultados de este estudio permitieron identificar características importantes del agua tales como pH, Eh, conductividad, salinidad, acidez o alcalinidad y composición química que se deben tener en cuenta en el momento de evaluar la calidad del agua proveniente de los mantos de carbón. Estos datos obtenidos proporcionan información de la heterogeneidad del depósito de carbón, los caminos potenciales de drenaje en el depósito, la fuente y evolución del agua, y la calidad del agua para la reutilización o eliminación.

Teniendo en cuenta estos factores, también se busca establecer una relación entre la composición química del agua y los contenidos de gas asociados a los mantos de carbón siguiendo la posición estratigráfica de dichos mantos y correlacionarlos entre las zonas donde fueron recolectados estos datos, Montecristo, Lenguazaque y el Triunfo.

2. OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES:

- Determinar si existe una relación entre el contenido de gas de los mantos de carbón y las características fisicoquímicas del agua asociada a estos mantos.
- Determinar si existe un control estratigráfico en la composición química del agua asociada a los mantos de carbón.
- Determinar la calidad del agua asociada a los mantos de carbón.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Tomar las respectivas muestras de agua de las minas provenientes de cada uno de los mantos de carbón, explotados en el área de estudio, previamente ubicados geográfica y estratigráficamente.
- Realizar las pertinentes mediciones en campo de pH, eH, conductividad, salinidad, temperatura, alcalinidad o acidez de las muestras recogidas. Esta información permitirá planear el sistema de disposición de las aguas de producción.
- Estudiar la composición química de las aguas teniendo en cuenta los siguientes parámetros: Nitratos, Fosfatos, Carbonatos, Bicarbonatos, Cloruros, Sulfatos, Ca, Na, K, Fe, SiO₂, Mg, S, Total de Sólidos Disueltos (TDS).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El principal problema de la explotación de gas asociado a mantos de carbón, es la disposición final del agua de producción que afecta estos mantos, La cual debe ser empleada en riego agrícola cuando el agua cumple con los parámetros fisicoquímicos determinadas por las Corporaciones Regionales para la calidad de los recursos. Esta opción depende principalmente de la composición del agua. La información de la composición debe incluir TDS, pH, Eh, salinidad, metales disueltos, iones disueltos (iones y cationes), el tipo y cantidades de elementos orgánicos disueltos.

En caso contrario, si el agua no cumple las normas de calidad para consumo, o si el costo de tratamiento es excesivo, el agua está dispuesta para la inyección en una formación del subsuelo compatible o en los acuíferos correspondientes, en nuestro caso los mantos de carbón de la Formación Guaduas, o sometidas a tratamiento para su vertimiento a las quebradas y ríos que circundan las zonas mineras. La inyección del agua en el subsuelo requiere los estudios de compatibilidad de la formación propuesta y el agua que se inyecta, considerando que la zona de descarga pueda encontrarse con los arroyos.

Se quiere investigar si hay alguna relación entre los contenidos de gas asociados a los mantos de carbón, los parámetros fisicoquímicos del agua asociados a los mismos, y las características propias de cada manto que se encuentran referenciados estratigráficamente en la Formación Guaduas, a lo largo del flanco occidental del Sinclinal Checua – Lenguazaque. Estos estudios combinan investigaciones de geología regional e hidrología así como depósitos específicos, estudia también la orientación de las fracturas del carbón, la composición del carbón, composición del gas y valores isotópicos, y composición de agua.

4. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada 80 Km. Al NE de Santa Fé de Bogotá, entre las poblaciones de Nemocón al sur y Fúquene al Norte, en el departamento de Cundinamarca, comprende los municipios de Tausa, Sutatausa, Cucunubá, Ubaté y Lenguazaque.

La principal vía de acceso es la carretera pavimentada que comunica a Bucaramanga – Bogotá, esta vía comunica los municipios de Barbosa (Departamento de Santander) con Chiquinquirá, la vía continua hasta Ubaté (Departamento de Cundinamarca), la cual llega hasta Bogotá.

Existen además vías pavimentadas como Ubaté – Cucunubá, Ubaté – Tausa, y casi la totalidad de la vía Ubaté – Lenguazaque, facilitando el acceso a la zona, así como una serie de caminos sin pavimentar en buen estado que unen las poblaciones de Sutatausa, Cucunubá y Lenguazaque.

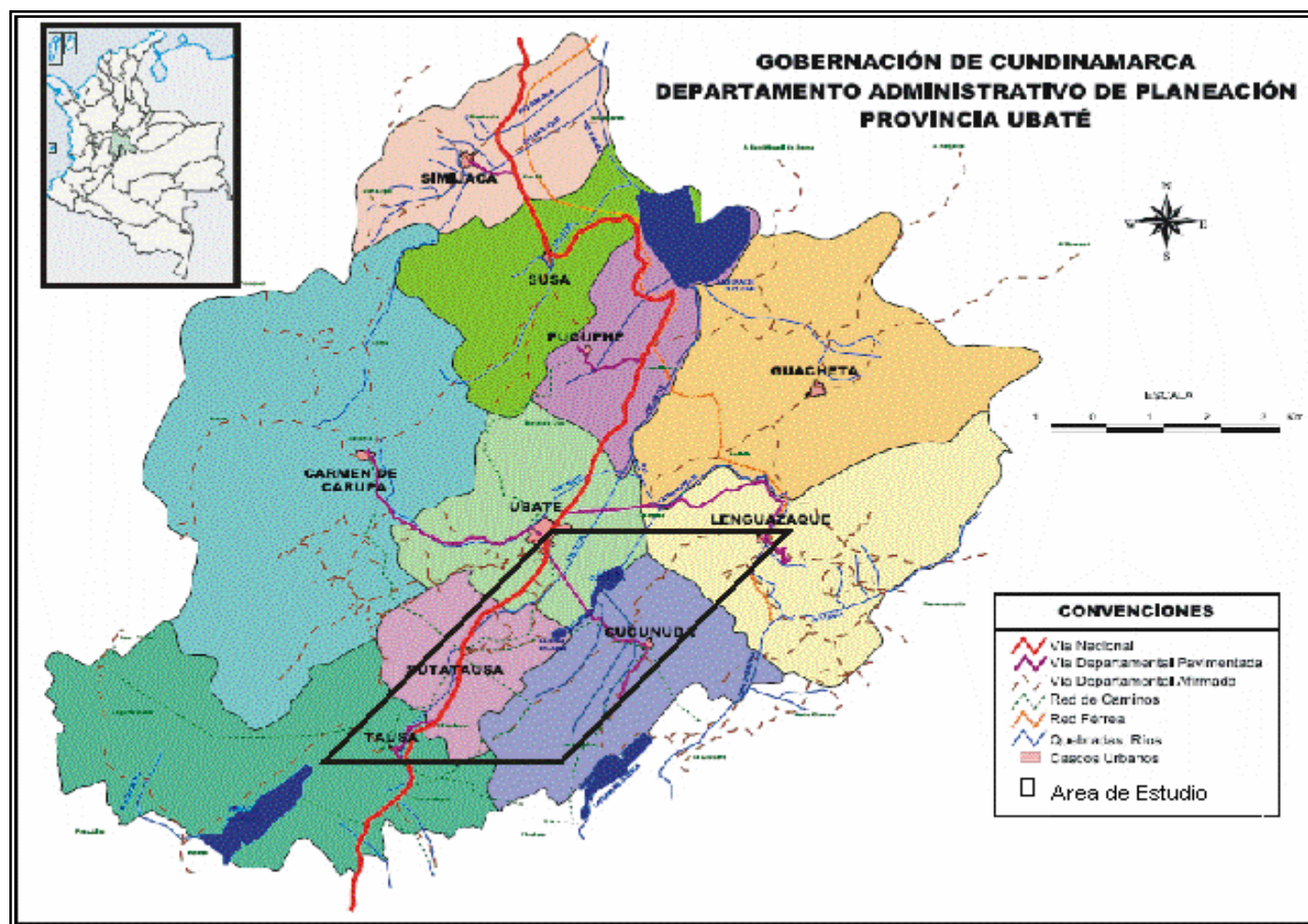


Figura 1. Localización del Área de Estudio. Tomado del Departamento Administrativo de Planeación, Gobernación de Cundinamarca.

5. ANTECEDENTES

Para el trabajo presentado a continuación se han tenido en cuenta las investigaciones del área efectuadas previamente, además recopilación de datos hidrogeológicos e hidrogeoquímicos, características del sistema de agua subterránea, existentes de la Sabana de Bogotá.

Los principales trabajos realizados para esta zona son:

Estudio Regional de Niveles e Isopiezas de agua subterránea en la Sabana de Bogotá. Alayón, E, Villegas, O. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). Subdirección Científica, División de Investigación, 2001.

Estudio Nacional del Agua. Republica de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, 2000.

Interpolación Lineal de Kriging para la Estimación de Parámetros Hidrogeológicos. 3^{er} Simposio Colombiano de Hidrogeología, Bogotá, Álvarez, J, Robles, Burbano, 1988.

Recopilación de los Datos Geohidrológicos existentes de la Sabana de Bogotá. Corporación Autónoma Regional de la Sabana de Bogotá y de los Valles de Ubaté y Chiquinquirá. Reyes, I, De Reyes, M, 1984.

Hidrogeología de los valles de Ubaté y Chiquinquirá. Boletín Geológico, volumen 25 N° 1 Bogotá, De Speelman H, 1982.

6. METODOLOGIA

Para la realización de este proyecto de investigación se llevaron a cabo las siguientes fases:

Fase de documentación en la cual se recopiló toda la información geológica e hidrogeoquímica disponible sobre el área de trabajo.

En la fase de campo se realizó un muestreo de aguas en donde se tomaron 25 muestras de agua en las áreas de Montecristo, El Triunfo y Lenguazaque, de las cuales 14 muestras corresponden a aguas provenientes de las minas de carbón, 10 corresponden a quebradas de las zonas y una corresponde a agua lluvia.

La posición geográfica de los mantos de carbón fue determinada con GPS, la posición estratigráfica de los mantos de carbón de la Formación Guaduas fue determinado mediante levantamiento estratigráfico de 3 columnas estratigráficas las cuales estuvieron a cargo de Rincón y Rocha (2007). Estas columnas permitieron establecer con precisión la posición estratigráfica de los mantos de carbón a partir de los cuales se tomaron muestras de agua.

Las muestras de agua fueron sometidas a los siguientes análisis químicos in situ, temperatura, pH, Eh conductividad y salinidad. Estos análisis se adelantaron con el equipo Multiparamétrico WTW 240 (figura 2), adicionalmente a las muestras se les determinó alcalinidad y dureza, con el test de Alcalinidad total de Aquamerck y el Test de Dureza total de Aquamerck el cual se observa en la figura 3.



Figura 2. Multiparamétrico WTW 340i, Se determino pH, Eh, Conductividad, Salinidad y Temperatura.

Para la medición de pH y Eh, Conductividad Eléctrica, Salinidad y temperatura era necesario introducir cada uno de los electrodos correspondientes (calibrados previamente) a las muestras teniendo en cuenta que para envasar la muestra era necesario someter el agua a un proceso de filtrado el cual libera de algunos microorganismos que pueden alterar la composición química de la muestra en el transcurso de los días de campo hasta ser llevadas al laboratorio. Las muestras recogidas permanecían refrigeradas y muy bien tapadas, en envases plásticos y opacos, para no alterar la calidad de la muestra.



Figura 3. Test de Dureza Total de Aquamerck. Se determino la dureza del agua en campo, por Método Volumétrico.

Las muestras analizadas fueron tomadas de las mangueras que traen el agua a superficie mientras están siendo bombeadas, algunas de estas aguas son recopiladas en pilas de sedimentación como se observa en la figura 3 y en algunos casos son utilizadas para apagar los hornos donde coquizan el carbón, en otras minas son arrojadas directamente a las quebradas cercanas, por eso se recogieron muestras también de estas quebradas para determinar la calidad de las mismas; y para tener puntos de comparación se tomaron muestras de agua que no tienen contacto con estas minas y muestras de agua lluvia que además nos ayudaran a determinar el origen de estas aguas.



Figura 4. Pila de Sedimentación, Mina el Convenio, zona del Triunfo. Se busca oxidar el agua para que precipiten óxidos y sulfatos, por medio de los filtros eliminarlos del agua para verterlas a las quebradas cercanas.

En la fase de laboratorio las 25 muestras fueron llevadas al Laboratorio Químico de Consultas Industriales de la Universidad Industrial de Santander donde se realizaron los respectivos análisis fisicoquímicos, cuyas unidades fueron dadas en mg/L, por medio de los siguientes métodos:

Tabla 1. Métodos de detección de parámetros fisicoquímicos.

PARAMETRO (mg/L)	METODO
Carbonatos	Trimétrico
Bicarbonatos	
Acidez	
Dureza Total	
Nitratos	Espectrofotométrico
Fosfatos	
Sulfatos	Turbidimétrico
Cloruros	Argentométrico
Total de Sólidos Disueltos	Gravimétrico
Calcio	Absorción Atómica
Magnesio	
Sodio	
Potasio	
Hierro	
Sílice	

Con los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico se hizo el correspondiente estudio geoquímico teniendo en cuenta los parámetros tales como Bicarbonatos, carbonatos, Sulfatos y Cloruros evaluar la calidad de estas aguas, los iones de Magnesio y Sodio para conocer el origen del agua; y en conjunto todos los parámetros para calcular el grado de saturación del agua en los siguientes componentes: Calcita, Aragonito, Siderita, Dolomita, $MgSO_4$ y $NaSO_4$.

7. MARCO GEOLOGICO REGIONAL

La Sabana de Bogotá es la mas grande de varias altiplanicies de la Cordillera Oriental de Colombia, a una altura de aproximadamente 2600 metros. Comprende un área de 1400 Km², sobre la cual se encuentran varias pequeñas ciudades o pueblos. La Sabana de Bogotá representa una cuenca casi completamente cerrada, rodeada por cerros, drenada por los afluentes del río Bogotá.

Durante el Cretáceo y Terciario Inferior, la actual Sabana de Bogotá formaba parte de una cadena de sedimentación muy activa del oriente andino. Durante el Cretáceo Inferior se depositaron lutitas negras narinadas con algunas capas de arenisca (Formación Villeta).

Durante el Cretáceo Superior aumento la sedimentación de las areniscas, y este periodo marino termina con la alternancia respectiva de arenisca y "plaeners", y finalmente, se deposita una arenisca llamada "arenisca tierna" (Formación Guadalupe). La "arenisca tierna", que es del Maastrichtiano Inferior. Encima de esta arenisca se encuentra la Formación Guaduas, de edad Maastrichtiano Superior, exceptuando la parte más superior, que ya es de edad paleocena. La Formación Guaduas presenta principalmente una facies intermedia hasta terrestre (lutitas y arcillas grises, areniscas y mantos de carbón). Es claro, por consiguiente, que la cuenca sufrió un ligero movimiento positivo durante la primera parte del Maastrichtiano, o el mar se retiró. Nuevamente se realizaron movimientos poco después de principiar el Paleoceno, resultado de la sedimentación de areniscas (Areniscas del Cacho).

La Arenisca del Cacho forma la arenisca basal de la Formación Bogotá, de edad Paleoceno y Eoceno Inferior. Esta Formación Bogotá consiste principalmente en arcillas manchadas de rojo, y areniscas arcillosas. En la parte media de la formación puede presentarse una arenisca de grano grueso representando

la base de Eoceno Inferior (Arenisca de Lenguazaque).

Al principio del Oligoceno Superior, en la Cordillera Oriental, sufrió fuertes movimientos orogénicos: Levantamiento y probablemente plegamiento (Van der Hammen, 1959). En este tiempo se empiezan a desarrollar las principales características estructurales y morfológicas de la Sabana. Este desarrollo fue completado durante el Mioceno, y el levantamiento principal tuvo lugar probablemente al principio del Plioceno. Entonces la Sabana era un valle sinclinal compuesto, ancho, profundo y cerrado.

La evolución Terciaria de la Cordillera Oriental y áreas adyacentes, esta caracterizada por el desarrollo de un sistema de cuencas de tipo Foreland, posiblemente relacionadas con el estado final de acreción de la Cordillera Occidental (McCourt y Otros, 1984; Cooper y Otros, 1995). Los ejes depositacionales de estas cuencas se localizaron inicialmente en el Valle Medio y Superior del Magdalena y con el tiempo migraron a la actual área de la Cordillera Oriental.

Durante el Plioceno, y posiblemente el Pleistoceno mas inferior, se depositó la Formación Tiltatá en valles, desembocando en la propia Sabana, y cerca de la base de los cerros que la circundan. Esta Formación consiste en arenas, cascajo, gredas y arcillas, y a veces de diatomita, ceniza volcánica y caolín. La Cordillera sufrió un fuerte levantamiento desde el principio de la deposición Tiltatá. Esta formación no sufrió plegamiento de alguna importancia, pero presenta a veces pequeñas fallas.

El curso del cuaternario, fue probablemente durante la última parte del Plioceno, donde fueron erodadas por el río Bogotá y sus afluentes, grandes cantidades que se depositaron en la laguna de la sabana en forma de arcilla y arena.

En la siguiente figura se observa el Mapa Geológico de la zona, resaltando la principal estructura que es el Sinclinal Checua – Lenguazaque, alrededor del cual se lleva a cabo este estudio.

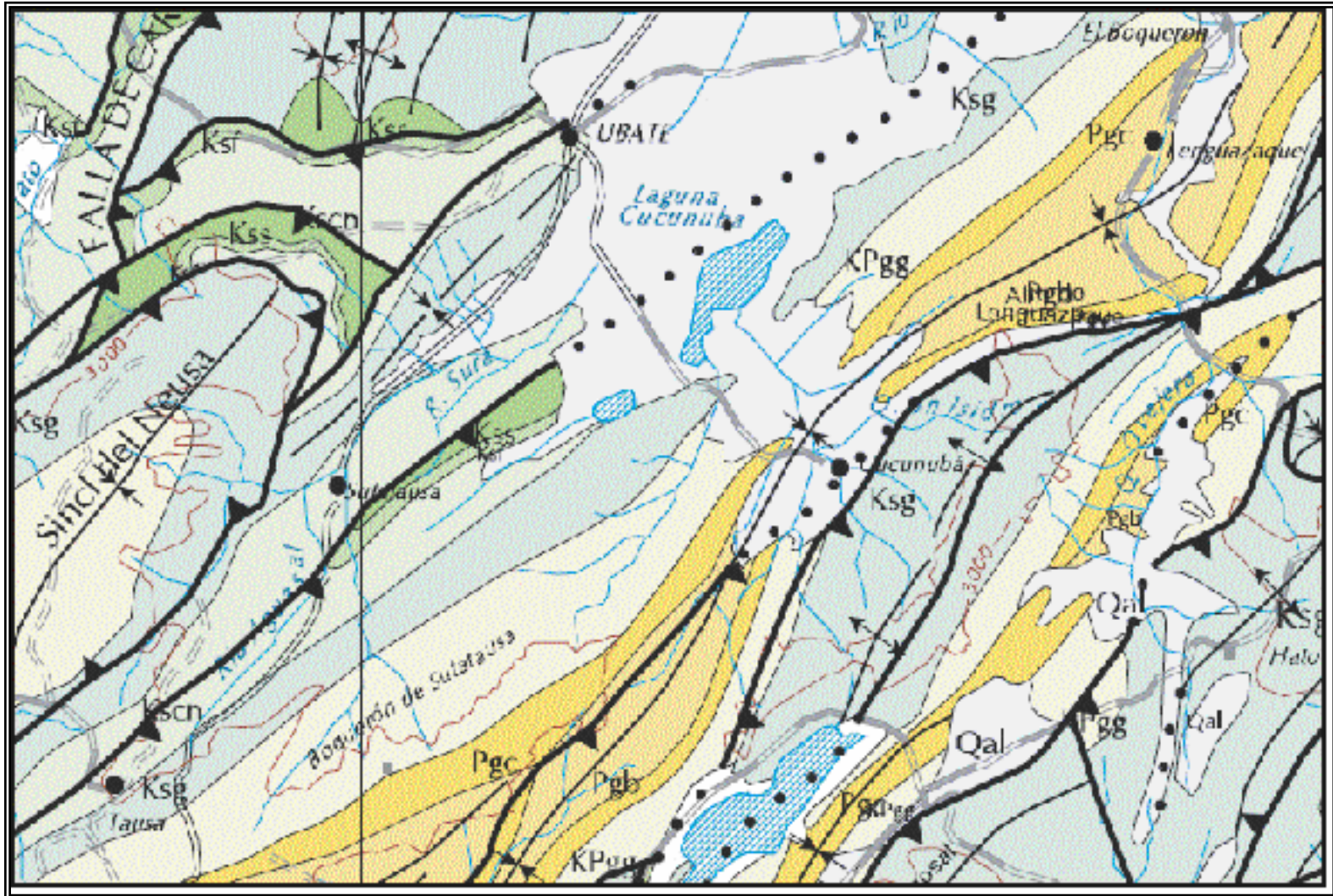


Figura 5. Mapa Geológico de la Zona de Estudio. Geología del Departamento de Cundinamarca, Escala 1:250.000, Ingeominas.

8. CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DEL SINCLINAL CHECUA- LENGUZAQUE

A continuación se hace una descripción del Sinclinal Checua – Lenguaque y sus estructuras asociadas.

Sinclinal Checua – Lenguaque: Es una estructura asimétrica, presenta una dirección general de N46E el cual se extiende por más de 60 kilómetros, su flanco oriental se encuentra más inclinado que el occidental, e invertido en casi su totalidad.

En el flanco occidental afloran estratos siguiendo un rumbo general de 46° NE, con buzamientos que van desde los 85° en Guachetá, hasta los 35° en el sector de Cucunubá, estos buzamientos son menores en cercanías al eje, siendo en general menos inclinados los estratos mas superiores, dentro de este flanco se presentaban estructuras de un orden de deformación menor formando sinclinorios–anticlinorios, tales como los encontrados en la Formación Chipaque, en el flanco occidental des Sinclinal Checua– Lenguaque.

Los buzamientos de los estratos del flanco oriental son de mas alto ángulo de inclinación llegando hasta 85°, siendo frecuentes las inversiones de capas debido al efecto de la gravedad. Por presentar una tectónica más compleja y buzamientos cercanos a la vertical, este flanco en general ha sido menos explotado que el occidental, encontrándose frecuentes truncamientos en los mantos de carbón, formación de estructuras que colapsan por presión y por la perdida de sostenimiento natural, levantamiento del piso produciendo estrechamiento de las paredes de la mina hasta su cierre total.

La distancia entre los flancos del sinclinal varia considerablemente, en su parte mas amplia que corresponde a su parte norte y sur alcanza los 12

Kilómetros de amplitud, mientras que en las zonas donde se presenta mas estrecho alcanza los 3.5 Kilómetros como en la zona comprendida entre Cucunubá y Lenguazaque.

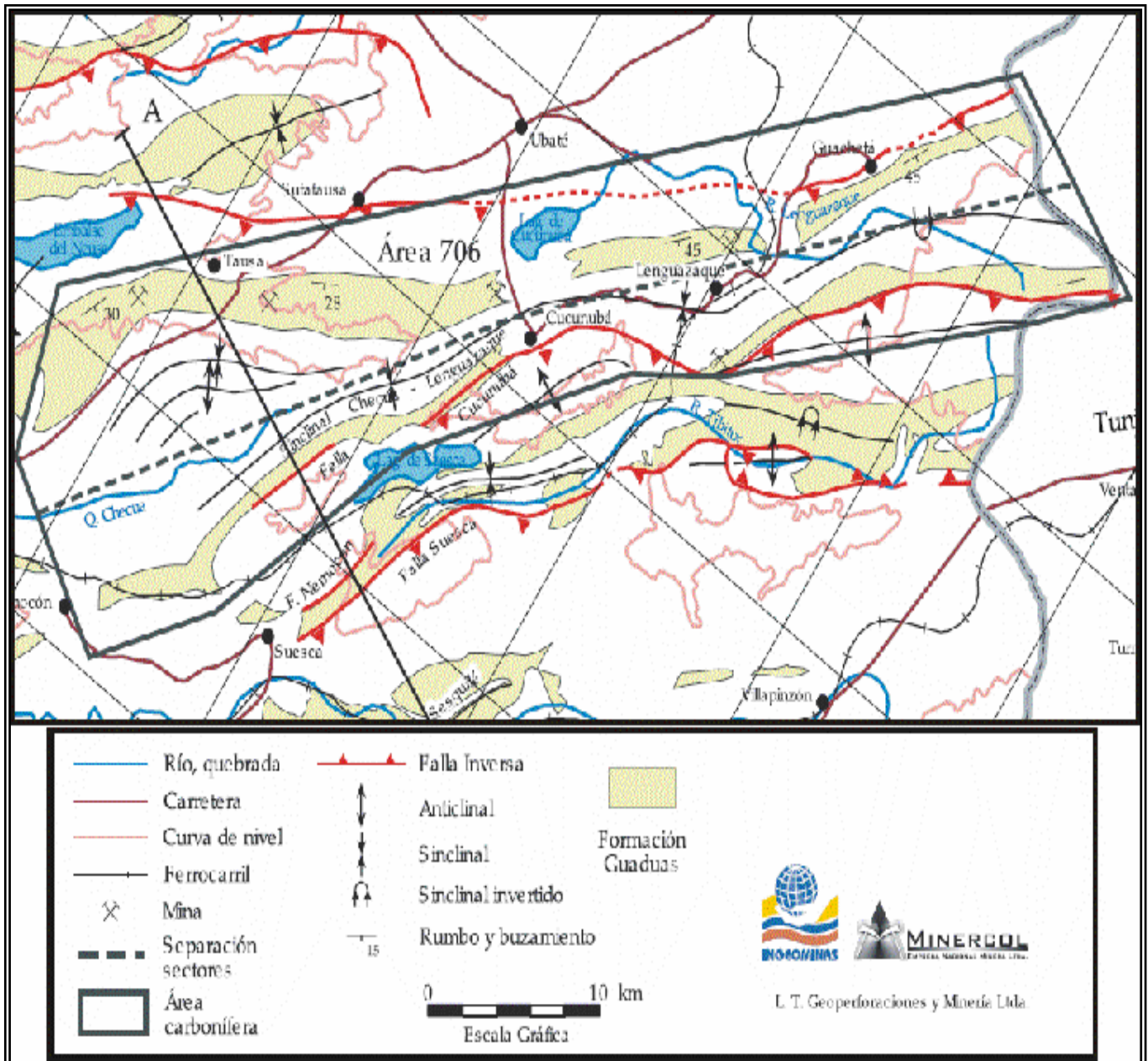


Figura 6. Mapa Estructural del Área Carbonífera Checua – Lenguazaque (Modificado de Acosta & Ulloa, 1997). Tomado de El Carbón Colombiano, Recursos, Reservas y Calidad, Ingeominas 2004.

9. ESTRATIGRAFIA DEL SINCLINAL CHECUA – LENGUAZAQUE

EDAD		EPOCA	FORMACION	
ERA	PERIODO			
CENOZOICO	CUATERNARIO		TILATA	
	NEOGENO	PLIOCENO		
		MIOCENO		
	PALEOGENO	OLIGOCENO	USME	
		EOCENO	REGADERA	
		PALEOCENO	BOGOTA	
			CACHO	
	MESOZOICO	CRETACEO	TARDIO	GUADUAS
				Maastrichtiano
				Campaniano
Santoniano				
Coniaciano				CHIPAQUE
TEMPRANO			Turoniano	
			Cenomaniaco	UNE
			Albiano	
			Aptiano	FOMEQUE
			Barremiano	
Hauteriviano				
Valanginiano	GRUPO CAQUEZA			
Berriasiano				
PRE - CRETACEO				

Figura 7. Columna Estratigráfica Generalizada para la Sabana de Bogotá. Modificada de Ulloa y Rodríguez, 1991.

A continuación se describe la estratigrafía que aflora en el Sinclinal Checua – Lenguazaque, correspondiente al área de estudio, desde la más antigua hasta la más nueva.

- **FORMACION UNE**

Representa arenitas de cuarzo, de grano fino a grueso; algunos estratos presentan lentes conglomeráticos con guijos de cuarzo. Bancos de lodolitas gris oscuro a negras hasta de 8 metros de espesor separan paquetes de las areniscas de grano medio a grueso. La Formación Une representa el paso de Fόμεque a condiciones netamente marinas con depósitos litorales de marcada tendencia deltáica en la desembocadura de ríos. Fabre (1985b: 93) considera una edad de Albiano a Cenomaniano para la Formación Une.

- **FORMACION CHIPAQUE**

La formación se caracteriza por lodolitas que suprayacen e infrayacen a unidades areníticas, que son respectivamente la Formación Une y el Grupo Guadalupe (Guerrero & Sarmiento, 1996). La Formación Chipaque tiene un espesor de 565 m, compuesta principalmente por lodolitas negras, con intercalaciones menores de cuarzoarenitas de grano muy fino y fino, según columna estratigráfica levantada por Guerrero & Sarmiento (1996).

- **GRUPO GUADALUPE**

Renzoni (1962) redefine el Grupo Guadalupe, engloba el Guadalupe inferior de Hubach en la Formación Chipaque y eleva el Guadalupe Superior a la categoría de grupo, constituido por la Formación Arenisca Dura, la Formación Plaeners y la Formación Labor y Tierna.

ARENISCA DURA: Descrita inicialmente por Hubach (1931) (en JULIVERT 1968) representa la parte más inferior de Grupo Guadalupe. Esta constituida por areniscas cuarzosas de grano muy fino a grueso, interpuestas con capas delgadas de limolitas y algunas de arcillolitas grises oscuras, las areniscas se

presentan intensamente bioturbadas, con thalasinoides hacia la base de las capas principalmente. La edad para la Formación Arenisca Dura es de Campaniano tardío a Maastrichtiano temprano, edad asignada por Vergara & Rodríguez (1995) con base en análisis bioestratigráficos.

PLAENERS: se caracteriza por Limolitas silíceas con partición romboidal intercaladas con lodolitas gris oscuras, areniscas cuarzosas y esporádicos niveles de chert. Se puede asignar una edad Campaniano superior-Maastrichtiano inferior, para esta denominada Formación Plaeners. La Formación Plaeners se cree depositada durante un marcado ascenso relativo del nivel del mar (GUERRERO Y SARMIENTO, 1996).

FORMACION LABOR Y TIERNA: está constituida de arenitas de cuarzo de grano fino a grueso, en estratos medios a gruesos, con delgadas intercalaciones de lodolitas gris oscuro; la estratificación es planoparalela y plano no paralela a ondulada, estratos con láminas inclinadas. Algunos estratos están bioturbados. Se observa que la unidad infrayace concordantemente a la Formación Guaduas y su edad ha sido considerada como del Maastrichtiano, de acuerdo con su posición estratigráfica y con base en estudios paleontológicos efectuados por Etayo Serna (1985) y en Fabre (1985 a y b).

- **FORMACION GUADUAS**

El trabajo paralelo desarrollado por Rincón y Rocha, consintió en caracterizar a detalle la estratigrafía de la Formación Guaduas lo largo de todo el sinclinal Checua – Lenguazaque. Los resultados obtenidos en dicho trabajo permiten obtener importantes conclusiones estratigráficas, estructurales y sedimentológicas que se resumen a continuación.

Las 3 áreas trabajadas en el presente trabajo (El triunfo, Lenguazaque y Montecristo) pueden ser correlacionadas estratigráficamente gracias a la interpretación de las columnas levantadas por Rincón y Rocha (2007). Para esta correlación se establecieron segmentos teniendo en cuenta las

características o propiedades de las diferentes litologías que componen los estratos y morfológicas que coinciden con sus características genéticas.

Los segmentos iniciales (1, 2 ,3 y 4) propuestos por Rincón y Rocha (2007) hacen referencia a los llamados mantos inferiores, en donde se agrupan numerosas cintas y algunos mantos de espesores considerables que en su totalidad corresponden a carbones coquizables, que según las secciones estratigráficas evaluadas, corresponden a los mantos 1 a 4, y que finalizan en una potente capa de arenas fácilmente reconocible en todas las áreas de trabajo, conocida como Arenisca de la Guía.

En contacto con la Arenisca la Guía aparece el primero de varios sistemas de arenas de canal que se observan a lo largo de todo el sinclinal. Estos mantos inferiores son de gran importancia para la minería de la región ya que aportan la totalidad de Coque que se produce en este distrito minero.

Los siguientes segmentos (5, 6 y 7) corresponden a los denominados mantos medios, en estos mantos se encuentran a lo largo de las tres secciones trabajadas los mantos más potentes y continuos lateralmente. Estos mantos constituyen el nivel en el cual los carbones disminuyen sus características coquizables e inician la secuencia de carbones térmicos. Algunos autores así como mineros de la región denominan los carbones de estos segmentos como carbones Coquizantes. Estos carbones están suprayacidos por un segundo sistema de arenas de canal, que a su vez esta en contacto ondulado con un paquete espeso de lodolitas y arcillolitas abigarradas.

Continuando con los segmentos 8, 9 ,10 y 11, se encuentra el paquete de mantos de carbón térmico o mantos superiores que corresponden al último nivel estratigráfico en el cual se realiza minería. La parte inferior de este paquete (segmento 8) muestra la aparición de Shales carbonosos y mantos de carbón, que en algunas ocasiones se encuentran intercalados, como en el caso del manto 7 Bancos. Estos mantos son los que constituyen los carbones explotables de menor calidad en el área, y se encuentran infrayaciendo un tercer sistema de arenas de canal que aunque mas delgado que los dos

anteriores, presenta orientación similar. Finalmente en este paquete, aparecen las últimas cintas de carbón de la Formación Guaduas, que no son explotadas y están suprayacidas por un nivel potente de arenas tabulares.

Los segmentos 12 a 15 constituyen la parte superior de la Formación Guaduas y no presentan mantos o cintas de carbón. Algunas apariciones de láminas y delgadas capas de shale carbonoso constituyen la mayor acumulación de materia orgánica. Litológicamente, este paquete está dominado por la alternancia de lodolitas y arcillolitas de tonalidades rojizas y amarillentas, con capas de espesor variable de arenas cuarzosas y esporádicos lentes de carbón.

El modelo propuesto por Rincón y Rocha (2007) plantea un relativo ascenso del nivel del mar evidenciando al inicio de la Formación Guaduas por una secuencia progradante, que acumuló sedimentos finos y los primeros mantos de carbón, lo cual es sustentado por los resultados de los análisis proximales y de azufre llevados a cabo a las muestras de las diferentes áreas, que indican una fuerte influencia de ambientes marinos someros. Los mantos inferiores o coquizables fueron formados durante esta fase conocida como Middle Highstand System Track. La formación de carbones disminuye durante la fase posterior (Late Highstand System Track) y posteriormente durante un aumento del nivel del mar, se depositan las Areniscas de la Guía.

Continuando este ascenso se depositan una serie de cintas de carbón. Este proceso se detiene cuando la dinámica sufre una conversión y un descenso del nivel del mar produce erosión del canal formado inicialmente. A continuación durante un ascenso estos canales comienzan a sedimentarse con sedimentos aluviales.

Durante este ascenso, se llega a un punto de acumulación de carbones de espesores variables, lateralmente continuos y con buena preservación, correspondientes a los mantos medios, que a lo largo de las 3 secciones trabajadas son de fácil reconocimiento y sirvieron de referencia para la correlación de las columnas estratigráficas levantadas en el trabajo de Rincón y

Rocha (2007), evidenciando además un aumento del nivel del mar y un avance de la línea de costa.

El prolongado y continuo ascenso del nivel del mar da lugar a un incremento del espacio de acomodación en el que se generan canales, dada las elevadas tasas de sedimentación que en el área se registraban.

Una trasgresión en este punto es el factor principal de la inexistencia de carbones hacia el tope del paquete de mantos medios, dado que un rápido aumento del nivel del mar impide la conservación de materia orgánica.

En este punto, las condiciones cambian y se asemejan nuevamente a las presentadas durante el inicio de la depositación en la formación Guaduas, dando lugar a mantos continuos y de espesores intermedios. Es así como se formo el paquete de mantos superiores, que presenta características térmicas y no coquizables como en el anterior caso. Esto se puede explicar mediante el análisis de reflectancia de vitrinita.

Un posterior descenso relativo del nivel del mar permite la formación de los canales que suprayacen estos carbones.

El ascenso en el nivel del mar que se hace presente en este punto se hace prolongado y continuo lo que produce inicialmente la generación de pequeñas capas de carbón que poco a poco van desapareciendo hasta crear grandes espacios de acomodación en los que debido a la reaparición de altas tasas de sedimentación se acumulan canales.

En el tope de la Formación Guaduas predomina el ambiente fluvial, como consecuencia de la acreción definitiva de la cordillera occidental lo cual transformó drásticamente los ambientes de marino a continental.

- **FORMACION CACHO**

Se encuentra la Arenisca del Cacho al suroeste de Ubaté. Tiene un espesor máximo de 88 m y se compone de areniscas cuarzosas, de grano grueso a conglomerático en la base, y de grano medio hacia el techo. Estas areniscas son probablemente de edad Paleoceno inferior. El ambiente de depósito es fluvial.

- **FORMACION BOGOTA**

Esta unidad se divide en dos partes, una inferior que consta de una secuencia alternante de lodolitas rojas y arenitas líticas y feldespáticas, medias y gruesas, levemente conglomeráticas, grises oscuras y verdosas, en capas gruesas a muy gruesas, convergentes. La parte superior, está conformada por una sucesión monótona de arcillolitas rojas, las cuales sirven como materia prima para las ladrilleras. Las rocas son de origen lacustre (REYES, I. y de REYES M.T., 1962) y tiene una edad Paleoceno a Eoceno.

- **FORMACION REGADERA**

Está compuesto por areniscas de cuarzo y feldespato, finas hasta conglomerados de gránulos, blancas, amarillentas y violáceas, con cemento silíceo, en capas medias, gruesas y muy gruesas, cuneiformes, con estratificación plana e inclinada. Otro segmento constituido por una secuencia de arcillolitas grises, verdosas, que por meteorización dan coloraciones violáceas y rojizas, con intercalaciones de areniscas cuarzo-feldespáticas, medias a gruesas, en capas gruesas. La edad de la Formación La Regadera ha sido considerada por Hubach (1957) como del Eoceno. Presentan una serie de ambientes fluviales anastomosados, meandriformes, llanuras de inundación y de lagunas para el depósito de la unidad.

- **FORMACION USME**

La unidad fue redefinida por Julivert (1963), quien distinguió en ella dos partes: una basal, predominantemente lutítica, con intercalaciones de capas de areniscas finas, con un espesor de 50 m; y una parte superior, de unos 75 m de espesor, compuesta por areniscas de cuarzo, gruesas, y por conglomerados de cuarzo. Por su posición estratigráfica, se puede asumir que esta unidad tiene un rango de entre el Eoceno superior y alcanzar el Mioceno. La parte inferior de la unidad presenta condiciones de depósito de plataforma interna estable, mientras que la parte superior podría corresponder a barras de arena, que indicarían el retorno del depósito a ambientes de transición marino-continentales.

- **FORMACION TILATA**

Está constituida por areniscas conglomeráticas, blancas, mal seleccionadas, semiconsolidadas, en capas gruesas, cuneiformes y onduladas, con intercalaciones de conglomerados, con cantos de areniscas, redondeados a subangulares, de hasta 5 cm. De diámetro, mal seleccionados y semiconsolidados, y arcillolitas blancas, plásticas, con algunos gránulos y arena gruesa dentro de éstas; constantemente la unidad se presenta fuertemente tectonizada. Van der Hammen (1958) le asigna una edad pliocena – pleistocena.

10. CARACTERÍSTICAS DEL DRENAJE

La importancia de poder determinar las características de los drenajes superficiales de una cuenca hidrográfica, radica en la posibilidad que brindan estas de comprender mejor la dinámica de la regulación hídrica en una unidad hidrográfica particular y establecer la oferta natural del recurso en un área determinada.

Las características analizadas en los drenajes están sujetas a la disponibilidad de información sobre cada uno de ellos, obtenida básicamente de observaciones en campo, y con limitantes técnicas, como la ausencia de información sobre caudales, niveles de sedimentación, profundidades, etc. Que podrían enriquecer el conocimiento sobre los drenajes más importantes del área de estudio. Las características son:

- **Orden de los drenajes:** Es el nivel de importancia de un drenaje que aumenta a medida que tiene más afluentes con orden menor, hasta llegar a un drenaje mayor. En la microcuenca de Montecristo la Quebrada Pueblo Viejo y Quebrada Palacios, son las más importantes de la zona, son las que mayor número de afluentes tiene y se encuentran a lo largo de toda el área. En la Microcuenca de Lenguazaque, el Río Lenguazaque es la corriente más importante, recoge el agua proveniente de las pequeñas quebradas de toda la región. En la Microcuenca del Triunfo, la Quebrada Chorrera es la que recoge todo el flujo a lo largo de la zona. Ver anexo 3.
- **Régimen:** El régimen de un drenaje está definido por la disponibilidad de agua en su cauce, en función de las épocas de lluvia, y de grados de alteración del terreno. La mayoría de los drenajes que se encuentran a lo largo de la zona de estudio dependen de los factores climáticos que afectan la región, los drenajes mas importantes de cada microcuenca se clasifican como permanentes, pero algunos de sus afluentes son semi-permanentes

ya que aparecen o aumentan su caudal en las temporadas lluviosas, sin embargo cabe decir que aunque los drenajes sean permanentes sus caudales son muy bajos teniendo en cuenta que las temporadas de verano son largas y fuertes. Ver anexo 3

- **Patrón de drenaje:** La distribución espacial de los drenajes en una cuenca se denomina patrón. Esta distribución está directamente relacionada con aspectos físicos de la cuenca como material parental, presencia de fallas, topografía, etc. El drenaje presente en la microcuenca del Triunfo, Montecristo y Lenguazaque tiene un patrón dendrítico, debido a la topografía expresada en la zona de pendientes suaves y pequeños valles. Ver anexo 3

- **Densidad:** La densidad de drenajes se refiere a la cantidad de drenajes expresada en términos de longitud, en la superficie de una cuenca expresada en unidades de área. La microcuenca que mayor cantidad de drenajes presenta en toda su área, es El Triunfo, sus quebradas más importantes son alimentadas por un gran número de afluentes. La microcuenca cuyos drenajes son más extensos en longitud es la de Montecristo, la Quebrada Palacios y Pueblo Viejo, que son las más importantes, recorren la zona teniendo en cuenta que su caudal es bajo debido a que no tienen muchos afluentes alimentadores. La Microcuenca de Lenguazaque esta influenciada enormemente por el río Lenguazaque, que es el que recoge las pequeñas quebradas que irrigan la zona. Ver anexo 3.

En los anexos 4, 5, y 6 se observan los perfiles topográficos de las microcuencas del Triunfo, Montecristo y Lenguazaque. En el anexo 7 se observa el perfil topográfico de la Cuenca de la Sabana, zona de estudio.

11. CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS E HIDROGEOQUIMICAS

Se pueden distinguir en el subsuelo de la zona acuíferos (estratos o formaciones geológicas que almacenan y contienen agua y permiten su circulación) y acuitardos (estratos o formaciones geológicas que contienen agua pero las transmiten lentamente en comparación con los acuíferos). Esta distinción da una indicación cualitativa de la capacidad de un medio poroso para transmitir agua.

Para caracterizar los acuíferos y acuitardos cuantitativamente se usan parámetros geohidrológicos, como el coeficiente de la permeabilidad K (metros/día), que se define como el caudal que se pasa por una sección unidad de un acuífero o acuitardo, bajo un gradiente unidad a una temperatura determinada; depende de las características del fluido, como su viscosidad y su peso específico, y de las características del acuífero o acuitardo mismo; la transmisividad KD que es el producto de la permeabilidad por el espesor de un acuífero D ($m^2/día$) y el coeficiente c que da un valor (en días) para la resistividad vertical de la transmisión de agua en un acuitardo ($c=D/K_v$; D = espesor del acuitardo, K_v = coeficiente de la permeabilidad vertical). El coeficiente de almacenamiento S se define como el volumen de agua que puede ser liberado por una superficie unidad del acuífero si se produce un descenso unidad en el nivel estático.

Para la región en cuestión se dispone de poca información en cuanto los parámetros geohidrológicos; se obtuvieron algunos datos (principalmente de conductividad, salinidad, pH, Eh) por medio de las pruebas realizadas en las pilas de sedimentación y quebradas en la fase de campo de este proyecto. Por lo tanto se describen a continuación las características hidrogeológicas de las distintas unidades geológicas del área estudiada, principalmente de una manera cualitativa, basadas en los datos geológicos.

Teniendo en cuenta que las características geológicas de las diferentes formaciones influyen también en gran parte sobre la composición química del agua de las mismas, se describe también en el presente capítulo un resumen de las características químicas del agua subterránea en relación con las distintas unidades geológicas el cual se basa en el informe 1840 de CORRALES, BADEL Y VERWEIJ DE SPEELMAN, HANNEKE (1981), de DE SPEELMAN (1982)

- **FORMACION CHIPAQUE**

Los tres conjuntos de esta formación no poseen muchas posibilidades acuíferas.

El conjunto inferior, compuesto de arcillolitas y limolitas con intercalaciones de areniscas cuarzosas, es en su mayor parte un acuitardo. Únicamente los horizontes de arenisca presentan alguna posibilidad de transmitir agua.

Las limolitas silíceas y las arcillolitas del conjunto intermedio, son en sí impermeables. Algún fracturamiento de las rocas les da una permeabilidad secundaria. Por la existencia de alguna permeabilidad secundaria se puede clasificar el conjunto intermedio como acuitardo.

La clasificación hidrogeológica del conjunto superior de la Formación Chipaque, se basa no solo en la descripción litológica del conjunto, sino también en los datos obtenidos mediante pruebas de bombeo ejecutadas en cuatro pozos profundos que drenan este conjunto. Las capas de arenisca pueden contener y transmitir agua (principalmente a través de las fracturas), así como las capas de caliza. Prescindiendo de los horizontes acuíferos compuestos por areniscas o calizas, el conjunto superior es en su mayor parte un acuitardo.

En la Formación Chipaque se encuentran distintos tipos de agua, como agua bicarbonatada cálcica, agua clorada y agua sulfatada cálcica y sódica, debido a las diferentes composiciones litológicas que existen dentro de esta formación. Los depósitos de sal pueden suministrar iones de cloruro y de sodio al agua

subterránea, mientras que los depósitos piritosos pueden suministrar sulfuros y aumentar la concentración de sulfatos en el agua.

- **GRUPO GUADALUPE**

El miembro Arenisca del Raizal en la base de la formación Guadalupe, y el miembro de Arenisca Tierna en su techo, forman acuíferos, mientras que entre ellos se encuentran los acuitardos del miembro Plaeners y Arenisca de Labor y del miembro Los Pinos.

La Arenisca del Raizal, compuesta principalmente por areniscas cuarzosas compactas de grano fino, es prácticamente impermeable en si misma, pero presenta una permeabilidad secundaria por la intensa facturación de las mismas.

El miembro Plaeners y Arenisca Labor consta de limolitas silíceas con intercalaciones delgadas de shale (Plaeners) y areniscas cuarzosas separadas por láminas de arcillolitas (Labor). Aunque este miembro muestra facturación, que teóricamente puede proveer una cierta permeabilidad secundaria, Es evidente que el miembro Plaeners no tiene características de acuífero, sino las de acuitardo. Las características litológicas del horizonte de la Arenisca de Labor indican posibilidades mucho mejores. Se calculó una transmisividad de $2.5 \text{ m}^2/\text{día}$ para este horizonte, mostrando que es permeable o que sea que la Arenisca de Labor forma un nivel acuífero regular.

La composición litológica del miembro Los Pinos compuesta por arcillolitas fracturadas con intercalaciones de limolita y algunos niveles de arenisca indica pequeñas posibilidades acuíferas, por lo tanto se considera este miembro como un acuitardo.

- **FORMACION GUADUAS**

No se dispone de datos cuantitativos respecto a las características hidrogeológicas de esta formación. Como la formación se compone

principalmente de arcillolitas no permeables, solamente con algunos niveles de arenisca que si presentan una cierta permeabilidad, se puede clasificar como un acuitardo. A lo largo de este trabajo se comprobó que los mantos de carbón funcionan también como acuíferos, debido al fracturamiento que estos presentan pueden contener y transmitir grandes volúmenes de agua. (RICE C, NUCCIO V., 2000). Cabe tener en cuenta que dentro de la Formación Guaduas se tienen intercalaciones de arenas tanto de canal, como tabulares bien compactadas sementadas, las cuales pueden establecerse como acuíferos dependiendo de su permeabilidad.

El agua subterránea contiene muchas veces concentraciones altas de hierro no admisibles para el consumo humano (límite recomendado 0.3 ppm); esto se debe a la presencia de hierro en casi todas las unidades geológicas; se presentan especialmente concentraciones de este mineral en el de la Formación Guaduas y en los depósitos lacustres del cuaternario, alcanzando valores muy altos (mas de 100 ppm).

Especialmente en zonas carbonosas de la Formación Guaduas influyen en la composición química del agua subterránea de esta formación (se encuentran aguas sulfatadas magnésicas). Las conductividades (más de 8000 $\mu\text{mho/cm}$) indican una alta concentración total de sólidos en solución. Esta alta concentración es debida al poder de la zona carbonosa en ceder cantidades notables de sales. Además, por la oxidación y disolución de los sulfatos los niveles carbonosos se encuentran sulfatos en el agua.

- **ARENISCAS DEL CACHO**

Esta unidad esta constituida por una arenisca ligeramente friable, de grano grueso a conglomerático en la base, y mediano hacia el techo. Presenta una facturación bastante fuerte. Con base en la litología, y sobre todo en su facturación se le considera como un acuífero.

Baja concentración total de sales solubles del agua de la Arenisca del Cacho (conductividad de 138 $\mu\text{mho/cm}$) es causada por su composición litológica, el grueso de sus granos con pocos materiales solubles, su poco espesor, y además del poco tiempo de contacto del agua con los materiales del acuífero.

- **FORMACION BOGOTA**

Con base en la constitución litológica de la Formación Bogota, arcillolitas impermeables con intercalaciones de areniscas arcillosas poco permeables, se espera que esta formación sea un acuitardo. Se calculo una transmisividad de 2 $\text{m}^2/\text{día}$ para una unidad espesor total de 45m, compuesta por areniscas arcillosas que se halla entre las arcillolitas. Es evidente que el coeficiente de permeabilidad de esta unidad es menor de $4 \cdot 10^{-2}$ m/día , indicando que aun los horizontes mas favorables en cuanto a las características hidrogeológicas dentro de la Formación Bogota, son poco permeables. El agua sulfatada de la Formación Bogota debe sus características, probablemente, a la presencia de yeso en esta formación.

- **DEPOSITOS CUATERNARIOS**

Los depósitos fluviales de poco espesor y extensión lateral, pueden formar localmente acuíferos.

Los depósitos inconsolidados fluviolacutres que afloran en la altiplanicie de la zona poseen características acuíferas. El techo de estos depósitos consta en su mayor parte de arcillas. Estas son pocos permeables y se puede considerar la capa arcillosa como un acuitardo.

Debajo de la capa superficial se encuentran tanto capas de arena, gravas y gránulos, como capas de arcillas. Claramente las capas compuestas por material bien seleccionado de grano grueso son los más permeables, mientras que las capas arcillosas solo pueden transmitir agua subterránea muy lentamente.

En el área estudiada los sedimentos arcillosos, arcillas y limos presentan resistividades entre 2.5 y 25 ohmm, y los sedimentos arenosos saturados, arenas y gravas presentan resistividades entre 25 y 100 ohm. Se observa que desde Ubaté hacia el noreste, este y sureste, la resistividad de la zona acuífera disminuye a partir de 95 ohm, lo cual significa que el alto contenido de material grueso disminuye gradualmente en estas tres direcciones.

El material grueso forma, parte del delta del río Ubaté, depositado en el antiguo lago de la altiplanicie. Además de la información sobre la constitución litológica del horizonte acuífero cerca de Ubaté, los datos muestran claramente las buenas posibilidades del acuífero fluviolacustre en esta zona; las transmisividades calculadas varían entre 130 y 135 m²/día.

Una situación semejante, pero en una extensión mas pequeña se encuentra directamente al norte del Boquerón de Lenguazaque. El subsuelo consta parcialmente de depósitos fluviales del río Lenguazaque que presentan resistividades entre 58 y 80 ohmm. EL espesor del horizonte acuífero es menor en comparación con el de la zona anterior: 18-48 m.

Al oeste de esta región, donde el río Lenguazaque fluye a través del valle plano, los horizontes acuíferos ya tienen mayor porcentaje de material arcilloso. Las zonas acuíferas con espesores entre 41 y 91 m, muestran resistividades entre 23 y 33 ohmm (ALAYÓN, E, VILLEGAS, O., 2001).

Se calculo una transmisividad de 75 m²/día. Aunque esa transmisividad indica características favorables respecto a la situación hidrogeológica del subsuelo en esta zona, se observa que el valor de transmisividad es mas bajo que el de la zona de Ubaté, reflejando tanto las diferencias de espesores de los niveles acuíferos como las diferencias en las composiciones litológicas.

Al oeste de Cucunubá la litología y el espesor de los horizontes presentan valores de resistividad de más de 20 ohmm, indicando que estos depósitos constan en su mayor parte de sedimentos arcillosos que son poco permeables.

Resumiendo, se puede decir que las características hidrogeológicas más favorables de los sedimentos fluviolacustres de toda la altiplanicie, se encuentran en los depósitos al sur de la laguna de Fúquene, especialmente en el área cerca de Ubaté y en una región pequeña al norte del Boquerón de Lenguazaque.

La composición química del agua subterránea de los depósitos del Cuaternario se modifica no solo por los factores geológicos, sino también por las mezclas con aguas que fluyen de otras formaciones inmediatas. Las concentraciones elevadas de sodio y cloruro que aparecen en la mayoría de las muestras de agua indican la influencia importante de la mezcla con aguas provenientes de la Formación Chipaque.

Dentro del desarrollo de este proyecto se realizó un muestreo del agua proveniente de los mantos de carbón en las zonas carboníferas tales como Montecristo, El Triunfo y Lenguazaque. Uno de los objetivos de este trabajo es determinar la distribución de los diferentes tipos de aguas subterráneas en la región y explicar su génesis, de lo cual se dedujo que los diversos tipos de agua están influenciados en gran parte por las características geológicas del área estudiada.

12. RESULTADOS DE LA CALIDAD QUIMICA DEL AGUA EN LA SABANA DE BOGOTA

Los más importantes factores que definen la calidad química y bacteriológica de las aguas subterráneas son: Las formaciones geológicas, las condiciones litológicas de sus capas acuíferas, el carácter de la vegetación y el clima, teniendo en cuenta que para esta zona es frío y seco, presenta como una temperatura promedio de 12 a 18°C y precipitación promedio anual entre 500 y 1.000 milímetros (IDEAM 2005); esta franja se encuentra localizada en altitudes comprendidas entre 2.000 y 3.000 m.

La mayor parte de las explotaciones del agua en la Sabana de Bogotá se ha realizado en las capas cuaternarias, constituidas por sedimentos lacustres. Los depósitos consisten en arcillas de varios colores, arcillas ferruginosas, arenas desde muy finas hasta gruesas, gravas y cascajos, material grueso deltáico y restos vegetales en proceso de carbonización, como la turba.

Las formaciones rocosas que circundan la Sabana de Bogotá son predominantemente areniscosas y arcillosas con muchas diaclasas rellenas y cementadas por materiales silicosos y ferruginosos, especialmente hidróxido de hierro. En estos sedimentos penetran y circulan las aguas de lluvia que van a alimentar las aguas subterráneas y de ellos depende su calidad química.

En la siguiente tabla se exponen los datos recogidos en campo de aguas subterráneas asociadas a los mantos de carbón localizados en la Formación Guaduas, efectuados a 25 muestras tomadas en las diferentes minas distribuidas en el área de estudio.

Tabla 2. Reporte de Resultados obtenidos en campo.

N° MTRA	UBICACIÓN	COORDENADAS			pH	Eh (mv)	SALINIDAD	CONDUCTIVIDAD (Ms/cm)	TEMPERATURA (T°C)	ALCALINIDAD (mmol/L)	DUREZA (mg/L)
		X	Y	Z							
M1	Inclinado la Grande, Manto 5	1024791	1067401	2820	7,13	-27	0,5	1334	19,5	7,3	200
M2	Inclinado el Rincón, Manto 2	1024569	1067426	2745	6,46	25	0,6	1620	18	2,1	892
M3	Quebrada Chuguas	1024669	1067592	2820	4,93	112	0	586	17,8	acidez	203
M4	Manto 10 (Ciscuda), Montecristo	1029554	1069758	2704	5,93	51	3,7	0,00675	20,2	acidez	3050
M5	Reunión de agua quebrada arriba	1030500	1070577	2655	8,28	-86	0,5	1445	20,6	6	260
M6	Manto 2, Colminas	1030500	1070577	2655	7,82	-60	0	539	20,9	5,9	120
M7	Manto 10, Colminas	1030500	1070577	2655	8,08	-75	1	0,00223	20,5	9,2	230
M8	Quebrada El Rosal	1024492	1067418	2800	6,94	-8	0	424	17,5	1,3	100
M9	Cruce de Quebradas El Rosal y Chuguas	1024663	1067600	2750	6,65	24	0	493	17,6	1	150
M10	Inclinado la Quinta, Manto 7	1024819	1067379	2810	6,6	11	1,4	2,86	17,8	3,7	500
M11	Quebrada Honduras	1025729	1066686	2970	7,71	62	0	50	20	1	56
M12	Quebrada Peñas	1026297	1067010	2970	5,79	59	0	79	19,8	0,7	44
M13	Quebrada Chorrera	1025839	1068249	2800	7,35	-34	0	632	20,2	1,4	129
M14	Quebrada el Mortiño	1026550	1066999	2995	5,76	58	0	34	19,1	0,8	36
M15	Quebrada Pilitas	1027753	1067867	2992	5,93	47	0	47	18,7	1	52
M16	Mina la Esperanza, Manto 7	1025230	1067656	2831	7,09	-18	0,5	1439	19,5	3,8	390
M17	Tanque, Manto 7 y Quebrada Colminas	1030500	1070577	2655	7,79	-58	0,4	1240	21,7	8,5	434
M18	Quebrada Pueblo Viejo	1030295	1070815	2670	7,78	-56	0	154	18,8	1,1	62
M19	Quebrada Palacios	1030438	1070511	2650	8,37	-91	0,5	1426	18,9	6,5	450
M20	Mina La Golondrina, Manto 2	1026865	1068652	2812	7,89	-65	0,1	800	20,1	7	14
M21	Agua Lluvia Ubaté, Noche Nov 9/2006				6,87	-6	0	21	15,1	0,7	12
M22	Mina Cajón 2, Manto 7 Lenguazaque	1039680	1080786	3063	7,23	-29	0	557	17	4,6	170
M23	Mina Cajón 1, Manto 1 y manto 3	1039436	1080723	3063	8,04	-74	0	461	17,3	3	200
M24	C. M. Los Pinos, M. Veta Grande, M 13	1037996	1079140	3063	6,72	3	0,2	813	17	3	333
M25	Manto 13, Lenguazaque	1036775	1077475	3063	7,99	-73	0	345	17,3	3,2	23

El agua subterránea tomada de las minas de carbón ubicadas en la Formación Guaduas a lo largo del área de estudio, tienen un promedio de pH de 7.08 y varía entre 4.93, tomado en la quebrada Chuguas en la zona del Triunfo, y 8.37, en la quebrada Palacios en la zona de Montecristo.

Analizando los valores obtenidos por microcuencas, en la zona del Triunfo se observa en promedio valores de pH de 6.63, estos valores varían desde 7.89 hasta 4.93, correspondientes a la mina La Golondrina, manto 2 y Quebrada Chuguas respectivamente.

En la zona de Montecristo, el valor de pH en promedio es de 7.72, los valores de pH fluctúan entre 5.93 en el manto 10 (la Ciscuda) hasta 8.37 correspondiente a la Quebrada Palacios. En la zona de Lenguaque el promedio de pH es 7.49, los valores en esta área varían entre 6.72 en la Compañía Minera Los Pinos y 8.04 de la Mina Cajón 1, donde explotan Manto 1 y manto 3.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores se puede catalogar la zona de Montecristo, como la zona donde se encuentra el agua más básica o alcalina; la zona del Triunfo, como la zona donde se encuentra el agua más ácida. Esta acidez se deriva del anhídrido carbónico libre y disuelto, presente casi siempre en exceso, proveniente de la atmósfera y principalmente de la descomposición orgánica; también influye en la acidez la presencia de sustancias orgánicas derivadas del ácido húmico y de la descomposición de la turba.

La dureza del agua proveniente de las minas de carbón tiene un promedio de 324.4 (mg/L) de CaCO_3 en donde sus valores fluctúan entre 12 (mg/L), perteneciente al agua lluvia del 9 de noviembre de 2006 en el municipio de Ubaté, y 3050 (mg/L), la cual pertenece a la zona de Montecristo en el manto 10 (la Ciscuda).

Si se analizan los resultados por microcuencas se tiene que: en el área de Montecristo los valores varían entre 62 y 3050 (mg/L) de CaCO_3 correspondientes a la Quebrada Pueblo Viejo y manto 10 (la Ciscuda)

respectivamente, y 658 (mg/L) de CaCO_3 en promedio. En el área del Triunfo se encuentran valores que fluctúan entre 36 (mg/L) correspondiente a la quebrada El Mortiño y 892 (mg/L) CaCO_3 , que representa el Inclinado el Rincón, manto 2; en promedio se encuentra en esta zona valores de 212.8 (mg/L) de CaCO_3 .

En el área de Lenguazaque los valores varían entre 23 (mg/L) del manto 13 y 333 (mg/L) de CaCO_3 en la Compañía Minera los Pinos, manto 13; y en promedio se tiene 181.5 (mg/L). Se puede catalogar el área de Montecristo como la zona que más altos valores de dureza presenta.

El carácter de dureza del agua subterránea y superficial lo suministra la presencia de carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio, que provienen de las formaciones calcáreas y dolomíticas que en esta región afloran solo ocasionalmente. Si la dureza es inferior a 60 mg/L de CaCO_3 el agua se considera blanda, si es superior a 270 mg/L se considera agua dura. (Harris, DC. Quantitative Chemical Analysis. Ed. Freeman. 1999).

La salinidad es una de las características importantes a estudiar. Esta propiedad resulta de la combinación de las diferentes sales que se encuentran disueltas en el agua, siendo las principales los cloruros, carbonatos y sulfatos. He aquí los diferentes tipos de agua:

- Agua Dulce – menos de 1 ppm
- Agua levemente salada – Desde 1 ppm hasta 3 ppm
- Agua moderadamente salada- Desde 3 ppm a 10 ppm
- Agua altamente salada – Desde 10 ppm a 35 ppm (Agua del Mar).

Con lo anterior y teniendo en cuenta los datos recogidos en este estudio se puede decir que en promedio la salinidad de la zona en general se encuentra en 0.38 (ppm), donde el nivel mas alto es de 3.7 (ppm) en el manto 10 (Ciscuda) en la zona de Montecristo, y el nivel mas bajo es 0 que en la mayoría de los casos corresponden a las quebradas. Sin embargo se encontró que aparte de las quebradas, algunas muestras de agua correspondientes a

mantos también presentan salinidad cero, estos son: manto 2 en la zona de Montecristo, manto 1 y 3, manto 7 y manto 13 en la zona de Lenguazaque. Al parecer el agua propia de estos mantos tiene una fuerte influencia de aguas frescas que diluyen esta salinidad.

Si se analizan las muestras por microcuencas la zona de Montecristo tiene en promedio un valor de 0.9 (ppm), en donde el valor mas alto lo presenta el manto 10 (la Ciscuda) con 3.7 (ppm) que hace parte de los mantos medios y el mas bajo lo presentan las quebradas Pueblo Viejo y Palacios con 0 (ppm).

En la zona del Triunfo el valor promedio es 0.2 (ppm), donde el valor mas alto lo tiene el Inclinado la Quinta, manto 7 con 1.4 (ppm), el mas superior de los mantos muestreados en esta zona, y los mas bajos lo tienen las quebradas que irrigan esta zona.

La corriente eléctrica se transporta por medio de iones en solución en el agua, la conductividad aumenta cuando aumenta la concentración de iones. De tal manera, que la conductividad cuando el agua disuelve compuestos iónicos. El total de sólidos disueltos y la conductividad eléctrica están estrechamente relacionados. Cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será el valor de la conductividad eléctrica.

La conductividad de toda el área de estudio tiene un promedio 581,67 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), encontrando su valor más alto en el inclinado el Rincón manto 2 con 1620 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y el valor mínimo es 0,00223 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) correspondiente al manto 10 muestreado en Colminas en la zona de Montecristo.

Si se analizan las muestras a nivel de microcuencas en la zona del Triunfo tenemos que el promedio es 580.1 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), el valor mas alto es 1620 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) del inclinado el Rincón manto 2 y el mas bajo es 2.86 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) del inclinado la Quinta manto 7, encontrando una diferencia enorme con la muestra 16 que también es manto 7 y tiene un valor de 1439 ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

En la zona de Montecristo el valor promedio es 683.3 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), en donde el valor mas alto se presenta en la muestra 5 que es la Reunión de aguas quebrada arriba con 1445 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), y el valor mas bajo se encuentra en el manto 10 muestreado en Colminas con 0,00223 1439 ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

En la zona de Lenguazaque, la conductividad tiene un valor promedio de 544 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), teniendo como valor más alto 813 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y mas bajo 345 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) correspondientes a la mina Veta Grande manto 13 y el manto 13 (Deposito). Se observa una variación lateral de la conductividad en estos mantos.

Los datos se tomaron en temporada de lluvias y esto puede causar diluciones en las concentraciones. En la siguiente tabla se exponen los resultados de análisis de aguas subterráneas asociadas a mantos de carbón.

Tabla 3. Reporte de Resultados, Laboratorio Químico de Consultas Industriales, UIS.

Nº MUESTRA	HCO₃ (mg/L)	CO₃ (mg/L)	SO₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	NO₃ (mg/L)	PO₄ (mg/L)	S (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Fe (mg/L)	SiO₂ (mg/L)	TDS (mg/L)	ACIDEZ (mg/L)
M1	518,3	0	183	16,65	0,7	0,501	81,8	29,7	39,8	231,5	8,8	N.D	N.D	852	
M2	233,7	0	369	26,64	8,8	0,036	92,3	45,3	71,4	54,5	4,1	N.D	N.D	2006	
M3	N.D	0	197,2	29,97	1,2	0,065	370	114,1	189,1	113,4	6,6	29,5	N.D	564	319,3
M4	40,6	0	1053	23,31	0,7	0,098	128,9	270,3	301,2	851,4	22,8	1,4	N.D	4698	116,1
M5	508,1	69,7	121,6	23,31	2,3	0,088	138,8	104,7	91,8	151,2	9,6	0,4	N.D	1104	
M6	376	139,32	10,4	19,98	1,8	0,471	8,11	70,3	6,2	127,8	3,4	N.D	N.D	690	
M7	396,3	69,7	386,9	33,3	4,1	0,09	137,5	104,7	57,1	231,5	5,3	N.D	N.D	1566	
M8	142	0	67	23,3	1,65	0,079	22,333	15,8	13,3	23,1	2,12	2,4	12	820	
M9	142	0	88	26,6	2,11	0,008	29,333	19,7	16,6	22,4	2,19	1,46	13	400	
M10	283	34,8	822	20	90,6	0,002	274	96,2	26	28,5	2,86	0,46	10	2168	
M11	213	0	43,2	13,3	1,33	0,065	14,4	3,16	2,08	6,82	1,88	7,4	0,4	124	
M12	106	0	21,7	16,7	0,88	0,06	7,2333	2,81	2,24	9,7	0,91	2,34	9	128	
M13	177	0	248	15	4,37	0,074	82,667	20,4	18,2	25,4	1,96	3,64	11	512	
M14	142	0	42,2	11,7	1,25	0,098	14,067	2,81	1,97	6,27	1,99	4,93	6	204	
M15	1062	0	35,6	13,3	1,35	0,081	11,867	3,16	2,16	11,5	1,87	6,22	15	172	
M16	231	209	359	13,3	18	0,281	119,67	60,4	25,7	26,2	2,87	0,16	9	1408	
M17	425	69,7	213	10	2,92	0,084	71	62,8	25,5	27,3	2,28	N.D	11	796	
M18	213	0	34,8	13,3	0,33	0,169	11,6	7,72	7,94	12,4	2,3	5,87	12	196	
M19	460	69,7	317	11,7	3,57	0,023	105,67	61,4	25,6	27,6	2,59	N.D	10	1028	
M20	496	0	43,1	10	15,3	0,089	14,367	1,76	0,71	20,4	0,86	0,22	11	652	
M21	212	55,7	3,3	10	0,75	0,033	1,1	4,56	0,1	5,62	1,33	N.D	1	40	
M22	425	34,8	50,5	13,3	3,76	0,019	16,833	21,4	20,3	24,9	1,09	0,05	22	1160	
M23	283	41,8	53,2	8,3	4,94	0,038	17,733	31,2	21,1	15,9	1,68	0,69	24	372	
M24	319	55,7	222	10	0,66	0,044	74	60,7	25,7	11,4	1,99	N.D	30	692	
M25	213	34,8	21,2	6,7	2,79	0,347	7,0667	5,67	2,71	19,6	1,17	2,11	10	296	

Los sólidos disueltos están relacionados con el grado de mineralización del agua ya que son iones de sales minerales que el agua ha conseguido disolver a su paso. Están relacionados con la conductividad del agua ya que un aumento de estos iones aumenta la capacidad conductiva.

El total de sólidos disueltos (TDS) de agua asociada a carbón va de fresca (200 mg/L o partes por millón) a la salina (170,000 mg/L) y varía entre y dentro de las cuencas. Para la comparación, los TDS recomendados para el agua potable el límite es 500 mg/L, y para el beneficio como los estanques accionarios o irrigación, el límite es 1,000–2,000 mg/L. La media del agua de mar tiene un TDS de aproximadamente 35,000 mg/L.

El contenido de sólidos totales disueltos en promedio es de 905.92 (ppm) para estas 25 muestras de agua tomadas de las minas, donde el valor mas alto se encuentra en el manto 10 (Ciscuda) con 4698 (ppm), en la zona de Montecristo y el valor mas bajo 40 (ppm) correspondiente al agua lluvia. Haciendo un análisis detallado de las muestras en las microcuencas, se tiene que en el área del Triunfo se tiene un valor promedio de 770 (ppm), donde el valor mas alto es 2168 (ppm) del inclinado la Quinta manto 7 y el mas bajo es 124 (ppm) de la Quebrada Honduras.

En el área de Montecristo en promedio se tiene un valor de 1439.7 (ppm), el valor mas alto es 4698 (ppm) que corresponde al manto 10 (Ciscuda) y el mas bajo es 196 (ppm) correspondiente a la Quebrada Pueblo Viejo. En el área de Lenguaque, 630 (ppm) es el promedio de Sólidos Disueltos en esta zona, en donde los valores mas altos se encuentran en la mina Cajón 2 manto 7 con 1160 (ppm), y el mas bajo es en la mina Cajón 1 manto 1 y 3 con 372 (ppm), según los datos recogidos. En la zona de Montecristo se observan las aguas con mayor cantidad de sólidos totales disueltos, estos valores están por encima del límite del agua potable. Estas aguas presentan un alto contenido de sustancias disueltas debido a que la Formación Guaduas es predominantemente arcillosa y con cantidades relativamente menores de arenas y gravillas finas, el agua adquiere un grado de dureza mayor y un contenido mas elevado de sustancias disueltas.

El factor más importante que afecta la calidad química de estas aguas subterráneas y superficiales es la presencia de hierro. Es notorio que el agua extraída de los mantos a superficie de las minas localizadas en el área de estudio, sale inicialmente incolora y cristalina, pero al cabo de unas horas se torna amarilla, opalescente y turbia. El hierro soluble en forma de bicarbonato ferroso se oxida al contacto con el aire y parte de él se precipita en forma de hidróxido férrico coloidal.

Las formaciones de la sabana son bastante ferruginosas, lo mismo que los sedimentos sueltos (principalmente las arcillas), en los cuales el hierro se presenta en forma coloidal. Estos compuestos insolubles de hierro, oxidados y precipitados, se vuelven solubles después de una serie de etapas intermedias en las cuales actúan como agentes disolventes varias sustancias (anhídrido carbónico, bacterias reductoras, restos de plantas en descomposición). Estas son las causas principales por las cuales el hierro entra en dos formas de solución:

1. Solución Simple (bicarbonato ferroso soluble).
2. Soluciones coloidales en compuestos húmicos coloidales.

La Agencia para la Protección Ambiental de los EE.UU ha establecido que los Niveles Máximos de Contaminantes Secundarios (SMCL) para hierro son 0.3 mg/L. Teniendo en cuenta lo anterior y los datos recopilados en el área de trabajo, el contenido de hierro en promedio tiene 2.77 (mg/L), alcanzando los valores más altos la Quebrada Chuguas (figura 6), en la zona del Triunfo con 29.5 (mg/L) y el más bajo en la Mina Cajón 2, Manto 7 Lenguaque con 0.05 (mg/L).

Analizando las muestras separándolas en microcuencas se tiene que en la zona de Montecristo, en promedio el contenido de hierro alcanza 1.1 (mg/L), donde el valor más alto es 5.87 (mg/L) en la Quebrada Pueblo Viejo y el más bajo es de 0.4 (mg/L) en la reunión de agua quebrada arriba; cabe aclarar que en esta zona no se determinó la concentración de hierro en 4 muestras. En la zona del Triunfo en promedio se tiene 4.52 (mg/L) de Fe, teniendo el valor más alto la Quebrada Chuguas de 29.5 (mg/L) y el más bajo es de 0.16 (mg/L), el cual se

presenta en la Mina la Esperanza, Manto 7. Se presenta una variación lateral entre los valores de los contenidos de hierro de la muestra 10 y 16 que son muestras de agua del manto 7.



Figura 8. Quebrada Chuguas, Nótese la coloración del agua debida a la presencia de Fe. La zona del Triunfo presenta el mayor contenido de Hierro.

En el área de Lenguazaque se tiene 0.71 (mg/L) de Fe en promedio, donde le valor mas alto se encuentra en el Manto 13 con 2.11 (mg/L) y el mas bajo es 0.05 (mg/L) en la mina Cajón 2, manto 7. Si este último valor se compara con los de las muestras 10 y 16 correspondientes también al manto 7 de la zona del Triunfo, se presenta una fuerte reducción de las concentraciones de hierro hacia la zona de Lenguazaque. Sin embargo hay que tener en cuenta que las muestras fueron tomadas en la temporada de lluvias y esto puede afectar en la concentración de las mismas, y aun así la mayoría de estas, superan los parámetros de calidad, no son aptas para el consumo.

Los contenidos de Sodio en las aguas naturales pueden tener concentraciones extremadamente variables; para agua de río una concentración de 10 (ppm) es común, siempre y cuando no tenga circulación dentro de rocas salinas. Observando los datos proporcionados por el laboratorio, la zona de Montecristo presenta mayor cantidad de sodio alcanzando valores tales como 851.4 (mg/L), y el menor valor lo presenta la zona del Triunfo en la Quebrada Honduras con 9.7 (mg/L), teniendo en promedio toda la zona de estudio un valor de 83.45 (mg/L).

Si se revisan los valores obtenidos por microcuencas, en la zona de Montecristo, las Quebradas Pueblo Viejo y Palacios superan la concentración común de un río con 12.4 y 27.6 (mg/L), respectivamente. El valor promedio de sodio en esta zona es de 204.17 (mg/L). Además en esta zona se observa una fuerte variación lateral entre las muestras 4 (Ciscuda) y 7 (Colminas) correspondientes al manto 10 donde se tienen valores de 851.4 y 231.5 (mg/L) de Na respectivamente.

En el área del Triunfo el valor promedio es de 44.59 (mg/L), las Quebradas Chuguas, Chorrera y Mortiño superan la concentración común de un río con 113.4, 25.4 y 11.5 (mg/L) de Na respectivamente, en cuanto al agua propia de las minas el valor mas alto lo tiene el Inclinado la Grande Manto 5 con 231.5 (mg/L) y el mas bajo lo tiene la Quebrada Peñas con 9.7 (mg/L) de Na. Con respecto a las muestras 2 y 20, también se presenta variación lateral con valores de 54.5 y 20.4 (mg/L) respectivamente.

En la zona de Lenguazaque el valor promedio alcanza 17.95 (mg/L), en los datos de esta zona se observa una variación lateral entre las muestras 24 (Veta Grande) y 25 (Deposito) correspondiente al manto 13 con valores tales como 11.4 y 19.6 (mg/L) respectivamente. Con lo anterior la zona de Montecristo es la que presenta mayor contenido de sodio en el agua de sus minas.

La presencia de Potasio en las aguas naturales es poco constante no sobrepasando los 15 (ppm). Puede originarse por la conversión de feldespatos potásicos en arcillas, también puede provenir de la disolución de sales minerales

tales como KCl, K_2SO_4 , K_2CO_3 . Los resultados obtenidos del análisis de las muestras en el laboratorio, podemos deducir que los niveles de potasio en el agua no superan los 15 (ppm), con excepción de la muestra 4, perteneciente al manto La Ciscuda de la zona de Montecristo que alcanza 22.8 (mg/L).

Las aguas potable pueden contener hasta 140 (ppm) de Calcio, en aguas de río una concentración de 15 (ppm) es común. En los datos proporcionados por el laboratorio solo la muestra numero 4 sobrepasa los niveles de concentración de calcio permitidos para agua potable con un valor de 270.3 (mg/L o ppm).

El contenido de Magnesio en aguas de río, 5 (ppm) son comunes. En aguas connatas el contenido de Magnesio es generalmente alto de hasta 1000 (ppm). En aguas subterráneas bicarbonatadas, el Magnesio tiende a tener la concentración más alta entre los cationes. Dentro de las muestras analizadas los valores no superan los 1000 (ppm), aunque en las muestras de las quebradas estudiadas si superan ampliamente el rango dado, como la Quebrada Chuguas en la zona del Triunfo con 189.1 (mg/L).

El Bicarbonato es el ión mas difundido dentro de las aguas subterráneas; en las aguas de río un valor de 30 (ppm) es común. La concentración del bicarbonato puede estar determinada por la permeabilidad y el tipo de roca que hay entre el acuífero y la emergencia de agua, o por la distancia que el agua recorre antes de alcanzar la superficie.

En el estudio realizado a las muestras se encuentran resultados muy variados, el valor promedio es de 304.68 (mg/L) en el área de estudio, donde el valor mas alto se encuentra en la Quebrada Pilitas, con 1062 (mg/L), y el mas bajo en la Quebrada Peñas con 112 (mg/L), en la zona del Triunfo, se observan variaciones laterales con respecto a las muestras 2 (Inclinado el Rincón) y 20 (Mina la Golondrina) correspondientes al manto 2 con valores de 233 y 496 (mg/L) de HCO_3 respectivamente, también entre las muestras 10 (Inclinado la Quinta) con 283 (mg/L) y 16 (Mina la Esperanza) con valores de 231 (mg/L), propias del manto 7. En la zona de Montecristo el valor más alto lo presenta la reunión de agua quebrada arriba con 508.1 (mg/L) y el más bajo es 40.6 (mg/L)

correspondiente al manto 10 (Ciscuda). Se presenta variación lateral en las muestras tomadas del agua del manto 10, la muestra 7 (Colminas) tiene un valor de 396.3 (mg/L).

En el área de Lenguazaque el valor promedio es 310 (mg/L) donde el valor más alto lo presenta la mina Cajón 2 manto 7 con 425 (mg/L) y el más bajo es 213 (mg/L) en el manto 13 (Deposito). Se observa variación lateral en el manto 13 en la muestra 24 (Veta Grande) y 25 (Deposito) con valores tales como 319 y 213 (mg/L) de HCO_3 .

Los sulfatos se encuentran, en aguas naturales de terrenos que no contienen una proporción importante de sulfatos minerales, en concentraciones entre los 30 y 50 (ppm). Los sulfatos, sulfuros hiposulfitos y los sulfuros de hidrógeno provienen principalmente de la disolución de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) por la reducción y la descomposición de sulfuros metálicos como FeS, FeAsS, CuFeS_2 .

La mayoría de las muestras analizadas supera las concentraciones dadas anteriormente, tanto que se tienen valores tan altos como 1053 (mg/L) en el agua tomada del manto 10 (Ciscuda) en la zona de Montecristo, pero también bastantes inferiores tales como 3.3 (mg/L) correspondiente a la muestra tomada del agua lluvia en el municipio de Ubaté, en toda la zona el promedio es de 200.24 (mg/L).

En la zona del Triunfo se encuentran variaciones laterales importantes, en el manto 2 las muestras 2 (Inclinado el Rincón) y 20 (Mina la Golondrina) se tienen valores tales como 369 y 43.1 (mg/L) de SO_4 , respectivamente. Se presenta la misma situación con las muestras 10 (Inclinado La Quinta) con 283 (mg/L) y 16 (Mina La Esperanza) con 231 (mg/L), tomadas del agua del manto 7, además todas las quebradas que fueron muestreadas en esta zona superan las concentraciones de aguas naturales.

En la zona de Montecristo se presenta una fuerte variación lateral en el manto 10 con valores de 1053 (mg/L) en la Ciscuda y 386.9 en Colminas. Las concentraciones de SO_4 de las quebradas muestreadas en esta zona no

superan los parámetros de sulfatos de aguas naturales. En el área de Lenguazaque es evidente la variación lateral presente en el manto 13 con valores de 222 (mg/L) en la mina Veta Grande y 21.2 (mg/L) en Deposito.

No es común la presencia de Cloro en las aguas de río. En aguas connatas el contenido de cloro es del orden de los miles de ppm. El cloro proviene de la disociación de sales como NaCl y KCl de origen marino. En las quebradas pertenecientes a la zona de estudio después del análisis correspondiente, se hallaron valores de cloro. En todas las muestras analizadas se encuentran datos de cloro que van desde 6.7 hasta 29.97 (mg/L) teniendo como valor promedio 16.79 (mg/L), estos valores se pueden considerar como estables ya que no se presentan variaciones tan marcadas como con los otros parámetros.

El contenido de Sílice en aguas subterráneas en primera instancia, depende de la naturaleza petrográfica de la roca del acuífero que la contiene. Teniendo en cuenta lo anterior, los datos suministrados por el laboratorio nos indican que de la muestra 1 a la 7 no fue determinada la concentración de sílice presente en las muestras, sin embargo las demás muestras presentan contenidos del orden de 12.02 (mg/L) en promedio, lo que se puede indicar que el agua de esta muestras no esta en contacto directo con rocas ricas en Sílice, teniendo en cuenta que en la Formación Guaduas se presenta alternancia de arcillolitas y areniscas.

13. INTERPRETACION HIDROGEOQUIMICA DEL AGUA ASOCIADA A MANTOS DE CARBON

La interpretación hidrogeoquímica se basa en el análisis de las diversas representaciones gráficas de los análisis químicos: las curvas de isovalores de las distintas concentraciones o relaciones iónicas, así como los diferentes diagramas comparativos entre los más usados son: Shoeller, Willcox y Piper.

Estos diagramas se utilizan para la clasificación del agua conforme a su relación iónica, la cual permite la identificación de las posibles fuentes acuíferas, así como para delimitar zonas atendiendo a la calidad del agua. La calidad y tipo de compuestos en solución va a depender tanto de la composición química de las rocas como de algunas propiedades físicas del acuífero.

El método para clasificar el agua de acuerdo a su composición química, lo constituyen los diagramas triangulares, en este caso el Diagrama de Piper. Dichos diagramas lo conforman tres partes: un triángulo para los cationes (Ca, Mg, Na+K), otro para los aniones (CO_3+HCO_3 , SO_4 , $\text{Cl}+\text{NO}_3$) y un diamante donde se agrupan tanto cationes como aniones. La relación entre las concentraciones de las especies es en porcentaje de miliequivalente por litro (%meq/L).

El diamante donde se agrupan los cationes y los aniones, esta dividido en cuatro grandes familias hidrogeoquímicas:

- Aguas sulfatadas o cloradas – cálcicas o magnesianas
- Aguas bicarbonatadas – cálcicas o magnesianas
- Aguas sulfatadas o cloradas – sódicas
- Aguas bicarbonatadas – sódicas

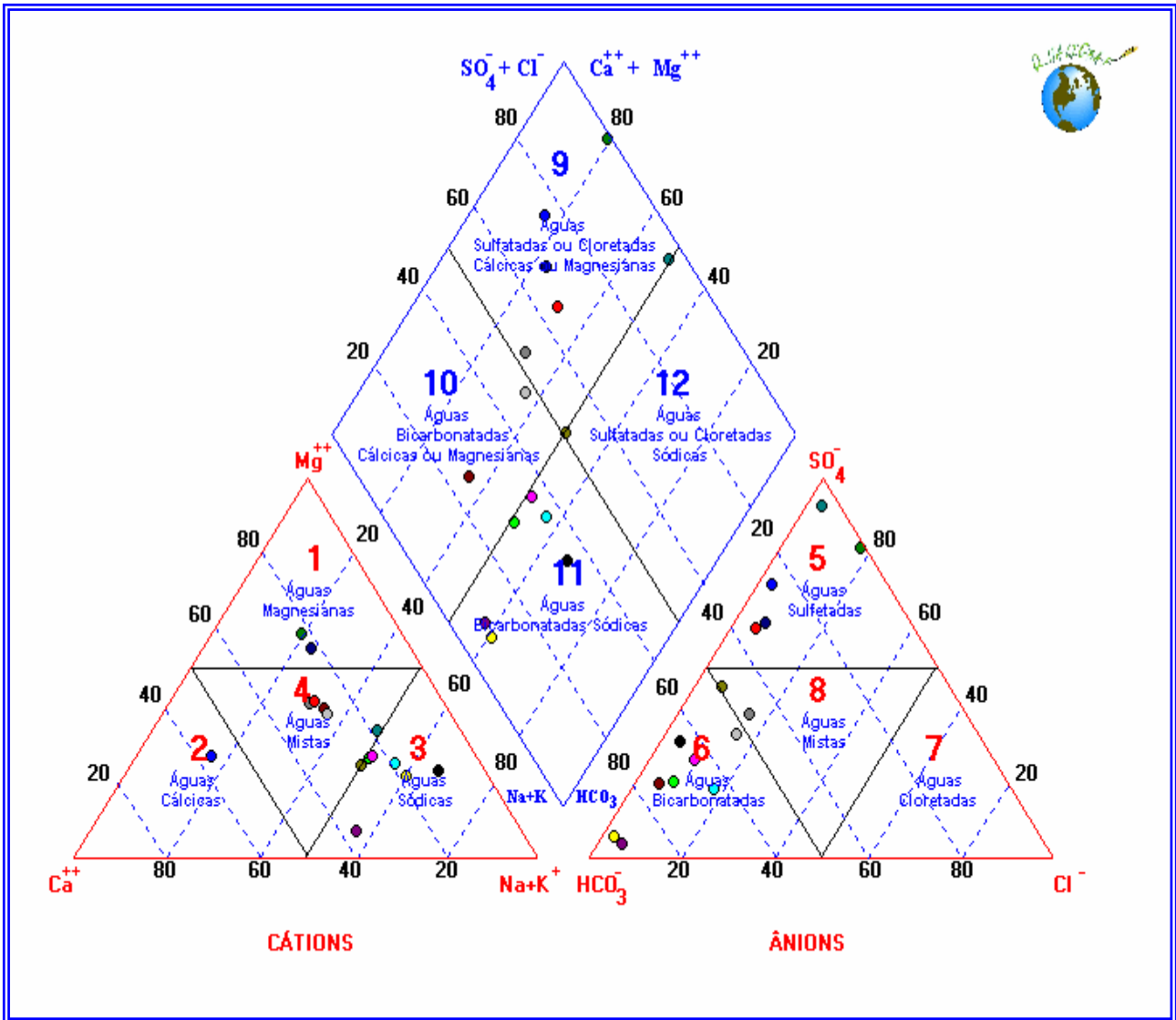


Figura 9. Diagrama de Piper para las Muestras 1-15.

En el Diagrama de Piper N° 1 se observan los puntos originados por los datos recopilados de las aguas desde la muestra 1 hasta la muestra 15, en el grafico se distinguen cada una de las cuatro familias hidrogeoquímicas y sus subdivisiones. Estas subdivisiones en los triángulos de cationes y aniones ayudan a aclarar las dudas que se tengan respecto a la clasificación de las aguas dependiendo de la presencia de las respectivas especies.

Estos Diagramas se realizaron gracias al programa QUALIGRAF, Programa para Análisis de Calidad de Agua, adquirido a través de Internet, en el cual se introduce la lista de datos con las unidades correspondientes y como resultado origina los gráficos. A continuación se presenta el Diagrama 2.

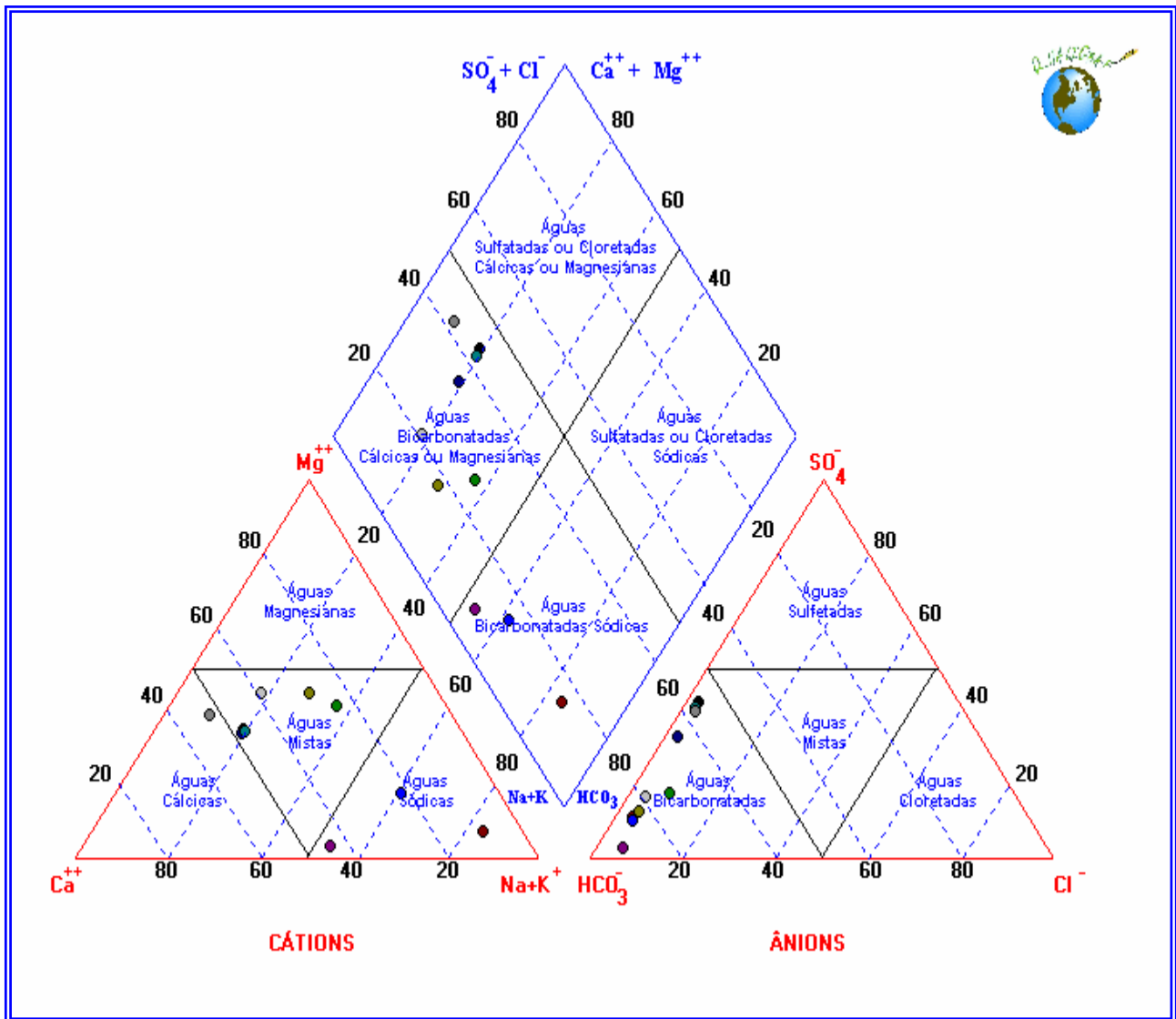


Figura 10. Diagrama de Piper para las Muestras 16-25.

En el Diagrama de Piper N° 2, en el que se indican los puntos de cada muestra tomada en las minas, mediante distintos colores y se han diferenciado las aguas que cuentan con clasificación oficial y las agrupaciones más características de puntos, la mayoría de las muestras graficadas aquí se encuentran clasificadas como Aguas bicarbonatadas – cálcicas o magnesianas, teniendo en cuenta que tres de las muestras se hallan clasificadas como Aguas bicarbonatadas sódicas.

Comparando con el Diagrama de Piper N° 1 se observan los puntos algo dispersos, cabe anotar que hay concentración de los puntos en Aguas sulfatadas o cloradas – cálcicas o magnesianas y en Aguas bicarbonatadas sódicas.

A continuación se presentan la tabla con los datos correspondientes para la realización de los diagramas de Piper para las 25 muestras y su respectiva clasificación:

Tabla 4. Clasificación de Agua por Diagrama de Piper.

COLOR	MUESTRA	CLASIFICACION
•	M1	Agua Bicarbonatada Sódica
•	M2	Agua Mixta: Sulfatada o Clorada Cálcica o Magnesiana
•	M3	Agua Sulfatada Magnesiana
•	M4	Agua Mixta: Sulfatada Cálcica o Magnesiana
•	M5	Agua Mixta: Bicarbonatada Cálcica o Magnesiana
•	M6	Agua Bicarbonatada Sódica
•	M7	Agua Mixta: Sulfatada o Clorada Sódica
•	M8	Agua Mixta: Bicarbonatada Cálcica o Magnesiana
•	M9	Agua Mixta: Sulfatada o Clorada Cálcica o Magnesiana
•	M10	Agua Sulfatada Cálcica
•	M11	Agua Bicarbonatada Sódica
•	M12	Agua Bicarbonatada Sódica
•	M13	Agua Mixta: Sulfatada Cálcica o Magnesiana
•	M14	Agua Bicarbonatada Sódica
•	M15	Agua Bicarbonatada Sódica
•	M16	Agua Mixta: Bicarbonatada Cálcica o Magnesiana
•	M17	Agua Mixta: Bicarbonatada Cálcica o Magnesiana
•	M18	Agua Mixta: Bicarbonatada Cálcica o Magnesiana
•	M19	Agua Mixta: Bicarbonatada Cálcica o Magnesiana
•	M20	Agua Bicarbonatada sódica
•	M21	Agua Bicarbonatada sódica
•	M22	Agua Mixta: Bicarbonatada Cálcica o Magnesiana
•	M23	Agua Mixta: Bicarbonatada Cálcica o Magnesiana
•	M24	Agua Bicarbonatada Cálcica
•	M25	Agua Bicarbonatada Sódica

Como resultado se obtuvo que las muestras M1, M6, M11, M12, M14, M15, M20, M21 y M25 son aguas Bicarbonatadas Sódicas, las muestras M2 y M9

corresponden a Aguas Mixtas Sulfatadas o Cloradas Cálcicas o Magnesianas, la muestra 3 es la única que esta dentro de las Aguas Sulfatadas Magnesianas, las muestras 4 y 13 hacen parte de las Aguas Mixtas: Sulfatadas Cálcicas o Magnesianas, las muestras 5, 8, 16, 17, 18, 19, 22 y 23 están dentro del grupo de las Aguas Mixtas: Bicarbonatadas Cálcicas o Magnesia, la muestra 10 corresponde a un Agua Sulfatada Cálcica, la muestra 7 corresponde a Agua Mixta: Sulfatada o Clorada Sódica y la muestra 24 es Agua Bicarbonatada Cálcica.

Según lo anterior, los resultados se pueden colocar en la siguiente figura donde se observa el porcentaje correspondiente a cada uno de los tipos de aguas encontradas en las muestras analizadas con el programa Qualigraf. Esta clasificación coincide con la cantidad de muestras, que según la Clasificación de aguas según su origen de Sulin 1946, se tienen como connatas.

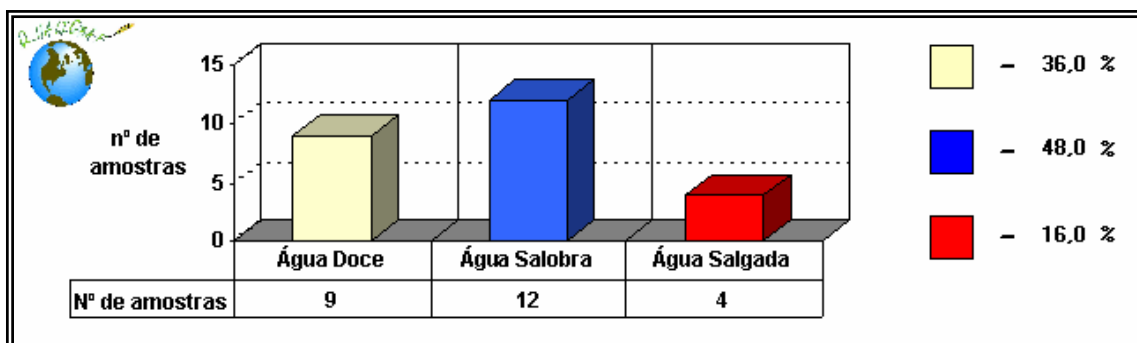


Figura 11. Clasificación de Aguas utilizando el programa Qualigraf.

En la figura anterior se puede observar que las muestras clasificadas como agua dulce son 9 correspondiente a un porcentaje del 36%, como agua salobre o de mezcla son 12 (Diagrama de Piper) con un porcentaje del 48% y las aguas connatas o saladas son 4 con un porcentaje de 16%, de las 25 muestras que fueron analizadas en este trabajo. Las aguas saladas corresponden aguas subterráneas y superficiales de drenaje de mina localizadas en la zona del Triunfo.

13.1 DIAGRAMAS STIFF

Existen métodos que permiten presentar gráficamente los análisis, como el Método de Stiff (figura) el cual compara el contenido de cationes (Na+K, Ca, Mg) y aniones (Cl, HCO₃+CO₃, SO₄) en unidades de meq/L con el fin de establecer un posible origen del agua.

Esta representación grafica permite visualizar de una manera practica la procedencia del agua; es así como en aguas connatas, se presentan formas amplias en la parte superior y angosta hacia abajo, teniendo en cuenta que esta se debe a elevadas concentraciones de Calcio y Cloro usualmente > 1000 (ppm o mg/L) y bajas concentraciones de Bicarbonato y Sulfatos.

En aguas meteóricas se pueden presentar formas mas variadas pero principalmente tienden a ser amplias en la parte inferior, ilustrando cantidades substanciales de Bicarbonatos, Sulfatos y escasas concentraciones de de Calcio y Magnesio.

Existen algunos casos en que se puede tratar de agua mezcla es decir, agua connata con una gran influencia de agua meteórica, a pesar de ilustrar formas características de aguas connatas, por lo que es necesario considerar el valor de las concentraciones de cada uno de los iones.

Químicamente las aguas meteóricas se caracterizan por una baja concentración de sólidos disueltos, usualmente < 10000 (mg/L) y contienen considerables cantidades iones de bicarbonato, sulfato, altas concentraciones de Sodio y poco de Calcio y Magnesio. Son aguas con menor salinidad que las connatas.

Las aguas connatas químicamente son salinas, contienen 20.000 – 250.000 (mg/L) de sólidos disueltos. Los aniones son prácticamente

Cloruros, el Sulfato es escaso y el Bicarbonato en trazas o ausente, los cationes consisten de Sodio, Calcio y Magnesio en ese orden. El Calcio aumenta con la salinidad.

En la figura 12 a continuación se presenta el diagrama de Stiff para la muestra 1, analizada con la correspondiente clasificación y tipo, según los contenidos de cationes (Na+K, Ca, Mg) y aniones (Cl, HCO₃+CO₃, SO₄) en unidades de meq/L. Las siguientes figuras y tablas ver anexo 2.

Tabla 5. Datos utilizados para conversión a miliequivalentes.

MUESTRA N° 1								
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2
HCO ₃	518,3	61	8,4967213	1	8,496721311		8,49672	8,4967213
CO ₃	0	60	0	2	0		0	0
NO ₃	0,7	62	0,0112903	1	0,011290323		0,01129	0,0112903
PO ₄	0,501	94,9738	0,0052751	3	0,015825417		0,01583	0,0474763
SO ₄	183	96	1,90625	2	3,8125		3,8125	7,625
Cl	16,65	35,45	0,4696756	1	0,469675599		0,46968	0,4696756
S	81,8	32	2,55625	2	5,1125		5,1125	10,225
Ca	29,7	40	0,7425	2	1,485	1,485		2,97
Mg	39,8	24	1,6583333	2	3,31666667	3,316667		6,6333333
Na	231,5	23	10,065217	1	10,06521739	10,06522		10,065217
K	8,8	39	0,225641	1	0,225641026	0,225641		0,225641
Fe	N.D	55,8	0	3	0	0		0
SiO ₂	N.D	60	0	0	0	0		0
TOTAL						15,09253	17,9185	46,769355

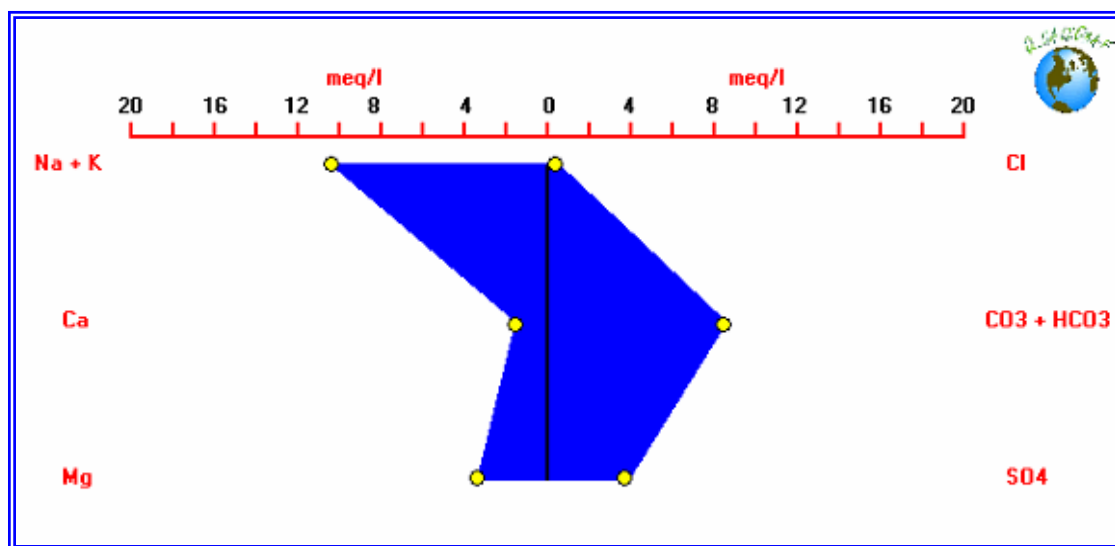


Figura 12. Diagrama de Stiff. Inclinado la Grande, Manto 5. El Triunfo. Corresponde a un Agua Meteórica de Tipo Bicarbonato de Sodio.

El posible origen de estas aguas se determino utilizando la clasificación de Sulin 1946 en Dieksey (1986), el cual se presenta un significado genético. Hay cuatro clases de aguas divididas en la siguiente tabla.

Tabla 6. Clasificación del agua según su origen (Tomado de Dieksey, 1986)

ORIGEN DEL AGUA	TIPO DE AGUA	Na/Cl	Na-Cl/SO ₄	Cl-Na/Mg
METEORICA	Sulfato de Sodio	> 1	< 1	< 0
	Bicarbonato de Sodio	> 1	> 1	< 0
CONNATA	Cloruro de Magnesio	< 1	< 0	< 1
	Cloruro de Calcio	< 1	< 0	> 1

Las aguas meteóricas del tipo bicarbonato de calcio ocurren en la parte superior de una cuenca de sedimentación basal. Debido a la situación hidrodinámica las aguas son movidas a una rápida razón en el tiempo geológico. Estas aguas tienen pocas posibilidades de preservar hidrocarburos. Las aguas meteóricas del tipo sulfato de sodio se relacionan con situaciones altamente hidrodinámicas.

Las aguas connatas del tipo cloruro de magnesio son características de zonas transitorias. La situación hidrodinámica es activa y pasan a ser más hidrostáticas con la profundidad.

Las aguas connatas del tipo cloruro de calcio están asociadas a zonas profundas, no tienen influencia de aguas infiltradas, ni de zonas hidrodinámicas. Por su carácter hidrostático, puede asociarse a condiciones favorables para la acumulación de hidrocarburos.

Teniendo en cuenta la clasificación de Sulin 1946 en Dieksey (1986), tanto para las aguas meteóricas como para las aguas connatas, se determino el origen de las 25 muestras de aguas de mina asociadas a mantos de carbón y como resultado se presenta la siguiente tabla:

Tabla 7. Resultado de Clasificación del Agua según su Origen. Sulín 1946.

Nº MUESTRA	Na/Cl (%meq)	<u>Na-Cl</u> SO4 (%meq)	<u>Cl-Na</u> Mg (%meq)
M1	21,4301	2,51686	-2,8931
M2	3,15319	0,21048	-0,2719
M3	5,83196	0,99433	-0,2592
M4	56,2963	1,65743	-1,4486
M5	9,99765	2,33541	-0,7734
M6	9,85879	23,0442	-9,6637
M7	10,7151	1,13218	-1,9179
M8	1,52807	0,24866	-0,3132
M9	1,29794	0,12194	-0,1616
M10	2,19636	0,03941	-0,3115
M11	0,79035	-0,0874	0,45378
M12	0,89525	-0,1092	0,26436
M13	2,60994	0,13185	-0,4492
M14	0,82598	-0,0653	0,34985
M15	1,33271	0,1683	-0,6935
M16	3,03625	0,10214	-0,3567
M17	4,20776	0,20391	-0,4258
M18	1,43701	0,22614	-0,2478
M19	3,6359	0,13173	-0,4078
M20	3,14426	0,67364	-10,223
M21	0,86621	-0,5489	4,52875
M22	2,8856	0,67241	-0,4182
M23	2,95262	0,41249	-0,26
M24	1,75709	0,04618	-0,0997
M25	4,50889	1,50153	-2,9366

Según esta clasificación la muestra 21 que representa el agua lluvia tomada en el municipio de Ubaté sería agua connata, aunque no es posible considerarla como tal por el hecho de ser agua lluvia tomada directamente, además presenta alto contenido de bicarbonato. Las muestras 11, 12 y 14 que representan Quebrada Peñas, Quebrada Honduras y Quebrada El Mortiño (zona El Triunfo) respectivamente serían aguas connatas, aunque no es posible considerarlas como tal, ya que son aguas de corrientes superficiales, sin embargo hay que tener en cuenta que son quebradas intermitentes y que por esos días de recolección de muestras, se presentaba una temporada de lluvias en la región, lo que hizo reactivar algunas de estas quebradas.

La composición que presentan estas aguas se debe quizás a su paso y contacto con los sedimentos aumenten sus concentraciones en la salinidad, en los cloruros y en los cationes sodio, calcio y magnesio. Otra de las razones por las que estas aguas, según la clasificación sean consideradas connatas, es que a lo largo de su recorrido por la zona del Triunfo se mezclen con las aguas de las minas que son arrojadas a los caudales naturales, esto permite darles un carácter de mezclas.

Las demás muestras fueron clasificadas como aguas meteóricas: Las muestras 1, 4, 5, 6, 7 y 25 se consideraron como aguas de tipo Sulfato de Sodio, debido a concentraciones importantes de sulfatos y de sodio. Las muestras 2, 3, 8, 9, 10, 13, 15-20, 22, 23 y 24 se consideraron como aguas tipo Bicarbonato de Sodio, esto por sus altos contenidos en bicarbonatos y de sodio.

En la foto que observamos a continuación se observa el carácter intermitente de las quebradas que rodean la zona en las temporadas de lluvia estas abarcan los meses de abril-mayo y de octubre-noviembre. El segundo periodo de lluvias es el más intenso y octubre es el más húmedo del año en toda la región.



Figura 13. Influencia de la temporada de lluvias en el área de estudio, Quebrada Pueblo Viejo, Montecristo.

14. NIVELES DE SATURACION DEL AGUA ASOCIADA A MANTOS DE CARBON

Las sales poco solubles saturan el agua con una pequeña cantidad de sus iones constituyentes y dichas cantidades se puede calcular con base en el modelo del equilibrio. La actividad del anión carbonato determina en parte el grado de saturación de las aguas naturales con respecto a los minerales carbonatados.

La determinación de la actividad o concentración del CO_3^{2-} no es fácil, es necesaria para la interpretación de procesos tales como los de precipitación-disolución así como de reacciones de cristalización. Las proporciones relativas de las diferentes especies del sistema del ácido carbónico pueden ser calculadas usando constantes de equilibrio. Si se usan constantes termodinámicas, entonces se deben utilizar actividades en lugar de concentraciones. La actividad de la especie disuelta i está relacionada con su concentración m_i por un coeficiente de actividad γ_i : $a_i = m_i \gamma_i$.

En la tabla 8 se puede observar aguas subsaturadas en ciertos compuestos, indicando que las porosidades primarias de las rocas que interactúan con estas aguas pueden deberse a la disolución de esos compuestos; y la sobresaturación indicar que las rocas que entran en contacto con estas aguas pueden llegar a presentar oclusión de poros por parte de estos compuestos debido a procesos diagenéticos.

Por ello se determino si las aguas se encontraban sobresaturadas o insaturadas de compuestos tales como: CaCO_3 (Calcita y Aragonito), $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, FeCO_3 , NaSO_4 , MgSO_4 como se observa a continuación.

Tabla 8. Saturación del Agua.

MUESTRA N°	COMPUESTO	IAP	KPS	IAP/KPS	SOBRESATURADO IAP/KPS > 1	INSATURADO IAP < 1
M1	CaCO ₃	---	3.31*10 ⁻⁹	---		MgSO ₄ NaSO ₄
	CaCO ₃	---	4.57*10 ⁻⁹	---		
	CaMg(CO ₃) ₂	---	9.54*10 ⁻¹⁸	---		
	FeCO ₃	---	2.81*10 ⁻¹¹	---		
	MgSO ₄	1.26*10 ⁻⁹	177.82	7.08*10 ⁻¹²		
	NaSO ₄	1.46*10 ⁻⁷	5.011	2.91*10 ⁻⁸		
M2	CaCO ₃	---	3.31*10 ⁻⁹	---		MgSO ₄ NaSO ₄
	CaCO ₃	---	4.57*10 ⁻⁹	---		
	CaMg(CO ₃) ₂	---	9.54*10 ⁻¹⁸	---		
	FeCO ₃	---	2.81*10 ⁻¹¹	---		
	MgSO ₄	4.57*10 ⁻⁹	177.82	2.57*10 ⁻¹¹		
	NaSO ₄	6.92*10 ⁻⁸	5.011	1.38*10 ⁻⁸		
M3	CaCO ₃	---	3.31*10 ⁻⁹	---		MgSO ₄ NaSO ₄
	CaCO ₃	---	4.57*10 ⁻⁹	---		
	CaMg(CO ₃) ₂	---	9.54*10 ⁻¹⁸	---		
	FeCO ₃	---	2.81*10 ⁻¹¹	---		
	MgSO ₄	6.47*10 ⁻⁹	177.82	3.64*10 ⁻¹¹		
	NaSO ₄	7.29*10 ⁻⁸	5.011	1.45*10 ⁻⁸		
M4	CaCO ₃	---	3.31*10 ⁻⁹	---		MgSO ₄ NaSO ₄
	CaCO ₃	---	4.57*10 ⁻⁹	---		
	CaMg(CO ₃) ₂	---	9.54*10 ⁻¹⁸	---		
	FeCO ₃	---	2.81*10 ⁻¹¹	---		
	MgSO ₄	5.5*10 ⁻⁸	177.82	3.09*10 ⁻¹⁰		
	NaSO ₄	2.84*10 ⁻⁶	5.011	5.67*10 ⁻⁷		

MUESTRA Nº	COMPUESTO	IAP	KPS	IAP/KPS	SOBRESATURADO IAP/KPS > 1	INSATURADO IAP < 1
M5	CaCO ₃ CaCO ₃ CaMg(CO ₃) ₂ FeCO ₃ MgSO ₄ NaSO ₄	1.22*10 ⁻⁹ 1.22*10 ⁻⁹ 9.3*10 ⁻¹⁴ 2.2*10 ⁻¹⁴ 1.94*10 ⁻⁹ 6.16*10 ⁻⁸	3.31*10 ⁻⁹ 4.57*10 ⁻⁹ 9.54*10 ⁻¹⁸ 2.81*10 ⁻¹¹ 177.82 5.011	0.36 0.27 9748.4 7.83*10 ⁻⁴ 1.09*10 ⁻¹¹ 1.23*10 ⁻⁸	DOLOMITA	CALCITA ARAGONITO SIDERITA MgSO ₄ NaSO ₄
M6	CaCO ₃ CaCO ₃ CaMg(CO ₃) ₂ FeCO ₃ MgSO ₄ NaSO ₄	1.63*10 ⁻⁹ 1.63*10 ⁻⁹ 8.43*10 ⁻¹⁵ --- 1.12*10 ⁻¹¹ 4.82*10 ⁻⁹	3.31*10 ⁻⁹ 4.57*10 ⁻⁹ 9.54*10 ⁻¹⁸ 2.81*10 ⁻¹¹ 177.82 5.011	0.49 0.36 883.6 --- 6.29*10 ⁻¹⁴ 9.62*10 ⁻¹⁰	DOLOMITA	CALCITA ARAGONITO MgSO ₄ NaSO ₄
M7	CaCO ₃ CaCO ₃ CaMg(CO ₃) ₂ FeCO ₃ MgSO ₄ NaSO ₄	1.22*10 ⁻⁹ 1.22*10 ⁻⁹ 5.79*10 ⁻¹⁴ --- 3.83*10 ⁻⁹ 3*10 ⁻⁹	3.31*10 ⁻⁹ 4.57*10 ⁻⁹ 9.54*10 ⁻¹⁸ 2.81*10 ⁻¹¹ 177.82 5.011	0.36 0.27 6069.2 --- 2.15*10 ⁻¹¹ 5.98*10 ⁻⁸	DOLOMITA	CALCITA ARAGONITO MgSO ₄ NaSO ₄
M8	CaCO ₃ CaCO ₃ CaMg(CO ₃) ₂ FeCO ₃ MgSO ₄ NaSO ₄	--- --- --- --- 3.48*10 ⁻¹⁰ 9.04*10 ⁻⁸	3.31*10 ⁻⁹ 4.57*10 ⁻⁹ 9.54*10 ⁻¹⁸ 2.81*10 ⁻¹¹ 177.82 5.011	--- --- --- --- 1.96*10 ⁻¹² 1.80*10 ⁻⁸		MgSO ₄ NaSO ₄

	COMPUESTO	IAP	KPS	IAP/KPS	SOBRESATURADO IAP/KPS > 1	INSATURADO IAP < 1
M9	CaCO ₃ CaCO ₃ CaMg(CO ₃) ₂ FeCO ₃ MgSO ₄ NaSO ₄	--- --- --- --- 5.71*10 ⁻¹⁰ 1.12*10 ⁻⁸	3.31*10 ⁻⁹ 4.57*10 ⁻⁹ 9.54*10 ⁻¹⁸ 2.81*10 ⁻¹¹ 177.82 5.011	--- --- --- --- 3.21*10 ⁻¹² 2.23*10 ⁻⁹		MgSO ₄ NaSO ₄
M10	CaCO ₃ CaCO ₃ CaMg(CO ₃) ₂ FeCO ₃ MgSO ₄ NaSO ₄	5.58*10 ⁻¹⁰ 5.58*10 ⁻¹⁰ 1.21*10 ⁻¹⁴ 1.05*10 ⁻¹⁴ 3.71*10 ⁻⁹ 7.64*10 ⁻⁸	3.31*10 ⁻⁹ 4.57*10 ⁻⁹ 9.54*10 ⁻¹⁸ 2.81*10 ⁻¹¹ 177.82 5.011	0.17 0.12 1268.3 3.77*10 ⁻⁴ 2.09*10 ⁻¹¹ 1.52*10 ⁻⁸	DOLOMITA	CALCITA ARAGONITO SIDERITA MgSO ₄ NaSO ₄
M11	CaCO ₃ CaCO ₃ CaMg(CO ₃) ₂ FeCO ₃ MgSO ₄ NaSO ₄	--- --- --- --- 6.24*10 ⁻¹¹ 2.4*10 ⁻⁹	3.31*10 ⁻⁹ 4.57*10 ⁻⁹ 9.54*10 ⁻¹⁸ 2.81*10 ⁻¹¹ 177.82 5.011	--- --- --- --- 3.51*10 ⁻¹³ 4.78*10 ⁻¹⁰		MgSO ₄ NaSO ₄
M12	CaCO ₃ CaCO ₃ CaMg(CO ₃) ₂ FeCO ₃ MgSO ₄ NaSO ₄	--- --- --- --- 2.29*10 ⁻⁹ 5.27*10 ⁻¹¹	3.31*10 ⁻⁹ 4.57*10 ⁻⁹ 9.54*10 ⁻¹⁸ 2.81*10 ⁻¹¹ 177.82 5.011	--- --- --- --- 1.29*10 ⁻¹¹ 1.05*10 ⁻¹¹		MgSO ₄ NaSO ₄

MUESTRA N°	COMPUESTO	IAP	KPS	IAP/KPS	SOBRESATURADO IAP/KPS > 1	INSATURADO IAP < 1
M13	CaCO ₃ CaCO ₃ CaMg(CO ₃) ₂ FeCO ₃ MgSO ₄ NaSO ₄	--- --- --- --- $5.70 \cdot 10^{-8}$ $4.9 \cdot 10^{-9}$	$3.31 \cdot 10^{-9}$ $4.57 \cdot 10^{-9}$ $9.54 \cdot 10^{-18}$ $2.81 \cdot 10^{-11}$ 177.82 5.011	--- --- --- --- $3.20 \cdot 10^{-10}$ $9.78 \cdot 10^{-10}$		MgSO ₄ NaSO ₄
M14	CaCO ₃ CaCO ₃ CaMg(CO ₃) ₂ FeCO ₃ MgSO ₄ NaSO ₄	--- --- --- --- $5.77 \cdot 10^{-11}$ $2.20 \cdot 10^{-9}$	$3.31 \cdot 10^{-9}$ $4.57 \cdot 10^{-9}$ $9.54 \cdot 10^{-18}$ $2.81 \cdot 10^{-11}$ 177.82 5.011	--- --- --- --- $3.24 \cdot 10^{-13}$ $4.39 \cdot 10^{-10}$		MgSO ₄ NaSO ₄
M15	CaCO ₃ CaCO ₃ CaMg(CO ₃) ₂ FeCO ₃ MgSO ₄ NaSO ₄	--- --- --- --- $3 \cdot 10^{-11}$ $2.28 \cdot 10^{-9}$	$3.31 \cdot 10^{-9}$ $4.57 \cdot 10^{-9}$ $9.54 \cdot 10^{-18}$ $2.81 \cdot 10^{-11}$ 177.82 5.011	--- --- --- --- $1.69 \cdot 10^{-13}$ $4.55 \cdot 10^{-10}$		MgSO ₄ NaSO ₄
M16	CaCO ₃ CaCO ₃ CaMg(CO ₃) ₂ FeCO ₃ MgSO ₄ NaSO ₄	$2.1 \cdot 10^{-9}$ $2.1 \cdot 10^{-9}$ $4.5 \cdot 10^{-14}$ $2.92 \cdot 10^{-14}$ $1.6 \cdot 10^{-9}$ $3.5 \cdot 10^{-8}$	$3.31 \cdot 10^{-9}$ $4.57 \cdot 10^{-9}$ $9.54 \cdot 10^{-18}$ $2.81 \cdot 10^{-11}$ 177.82 5.011	0.63 0.46 4716.9 $1.04 \cdot 10^{-3}$ $9 \cdot 10^{-12}$ $6.29 \cdot 10^{-9}$	DOLOMITA	CALCITA ARAGONITO SIDERITA MgSO ₄ NaSO ₄

MUESTRA Nº	COMPUESTO	IAP	KPS	IAP/KPS	SOBRESATURADO IAP/KPS > 1	INSATURADO IAP < 1
M17	CaCO ₃ CaCO ₃ CaMg(CO ₃) ₂ FeCO ₃ MgSO ₄ NaSO ₄	7.3*10 ⁻¹⁰ 7.3*10 ⁻¹⁰ 1.55*10 ⁻¹⁴ --- 9.42*10 ⁻¹⁰ 2.05*10 ⁻⁸	3.31*10 ⁻⁹ 4.57*10 ⁻⁹ 9.54*10 ⁻¹⁸ 2.81*10 ⁻¹¹ 177.82 5.011	0.22 0.16 1624.7 --- 5.29*10 ⁻¹² 4.09*10 ⁻⁹	DOLOMITA	CALCITA ARAGONITO MgSO ₄ NaSO ₄
M18	CaCO ₃ CaCO ₃ CaMg(CO ₃) ₂ FeCO ₃ MgSO ₄ NaSO ₄	--- --- --- --- 1.92*10 ⁻⁹ 3.52*10 ⁻⁸	3.31*10 ⁻⁹ 4.57*10 ⁻⁹ 9.54*10 ⁻¹⁸ 2.81*10 ⁻¹¹ 177.82 5.011	--- --- --- --- 1.08*10 ⁻¹¹ 7.02*10 ⁻⁹		MgSO ₄ NaSO ₄
M19	CaCO ₃ CaCO ₃ CaMg(CO ₃) ₂ FeCO ₃ MgSO ₄ NaSO ₄	7.13*10 ⁻¹⁰ 7.13*10 ⁻¹⁰ 1.52*10 ⁻¹⁴ --- 1.41*10 ⁻⁹ 3.01*10 ⁻⁸	3.31*10 ⁻⁹ 4.57*10 ⁻⁹ 9.54*10 ⁻¹⁸ 2.81*10 ⁻¹¹ 177.82 5.011	0.21 0.16 1593.3 --- 7.93*10 ⁻¹² 6.01*10 ⁻⁹	DOLOMITA	CALCITA ARAGONITO MgSO ₄ NaSO ₄
M20	CaCO ₃ CaCO ₃ CaMg(CO ₃) ₂ FeCO ₃ MgSO ₄ NaSO ₄	--- --- --- --- 1.2*10 ⁻¹¹ 5.13*10 ⁻¹⁰	3.31*10 ⁻⁹ 4.57*10 ⁻⁹ 9.54*10 ⁻¹⁸ 2.81*10 ⁻¹¹ 177.82 5.011	--- --- --- --- 1.29*10 ⁻¹⁵ 3.07*10 ⁻¹¹		MgSO ₄ NaSO ₄

MUESTRA N°	COMPUESTO	IAP	KPS	IAP/KPS	SOBRESATURADO IAP/KPS > 1	INSATURADO IAP < 1
M21	CaCO ₃ CaCO ₃ CaMg(CO ₃) ₂ FeCO ₃ MgSO ₄ NaSO ₄	1.69*10 ⁻⁷ 1.69*10 ⁻⁷ 2.82*10 ⁻¹⁴ --- 2.29*10 ⁻¹³ 1.54*10 ⁻¹⁰	3.31*10 ⁻⁹ 4.57*10 ⁻⁹ 9.54*10 ⁻¹⁸ 2.81*10 ⁻¹¹ 177.82 5.011	51.06 36.98 2389.9 --- 1.29*10 ⁻¹⁵ 3.07*10 ⁻¹¹	CALCITA ARAGONITO DOLOMITA	MgSO ₄ NaSO ₄
M22	CaCO ₃ CaCO ₃ CaMg(CO ₃) ₂ FeCO ₃ MgSO ₄ NaSO ₄	2.79*10 ⁻¹⁰ 2.79*10 ⁻¹⁰ 2.36*10 ⁻¹³ 5.41*10 ⁻¹⁵ 4*10 ⁻⁹ 4*10 ⁻⁸	3.31*10 ⁻⁹ 4.57*10 ⁻⁹ 9.54*10 ⁻¹⁸ 2.81*10 ⁻¹¹ 177.82 5.011	0.08 0.06 24737.9 1.92*10 ⁻⁴ 2.25*10 ⁻¹¹ 1.4*10 ⁻⁸	DOLOMITA	CALCITA ARAGONITO SIDERITA MgSO ₄ NaSO ₄
M23	CaCO ₃ CaCO ₃ CaMg(CO ₃) ₂ FeCO ₃ MgSO ₄ NaSO ₄	4.89*10 ⁻¹⁰ 4.89*10 ⁻¹⁰ 1.29*10 ⁻¹⁴ 9.38*10 ⁻¹⁴ 4.38*10 ⁻¹⁰ 4.71*10 ⁻⁹	3.31*10 ⁻⁹ 4.57*10 ⁻⁹ 9.54*10 ⁻¹⁸ 2.81*10 ⁻¹¹ 177.82 5.011	0.15 0.11 1352.2 3.34*10 ⁻³ 2.46*10 ⁻¹² 9.4*10 ⁻¹⁰	DOLOMITA	CALCITA ARAGONITO SIDERITA MgSO ₄ NaSO ₄
M24	CaCO ₃ CaCO ₃ CaMg(CO ₃) ₂ FeCO ₃ MgSO ₄ NaSO ₄	5.63*10 ⁻⁹ 5.63*10 ⁻⁹ 1.21*10 ⁻¹³ --- 9.90*10 ⁻¹⁰ 8.94*10 ⁻⁹	3.31*10 ⁻⁹ 4.57*10 ⁻⁹ 9.54*10 ⁻¹⁸ 2.81*10 ⁻¹¹ 177.82 5.011	1.70 1.23 12683.4 --- 5.57*10 ⁻¹² 1.78*10 ⁻⁹	CALCITA ARAGONITO DOLOMITA	MgSO ₄ NaSO ₄

MUESTRA Nº	COMPUESTO	IAP	KPS	IAP/KPS	SOBRESATURADO IAP/KPS > 1	INSATURADO IAP < 1
M25	CaCO ₃	1.38*10 ⁻¹⁰	3.31*10 ⁻⁹	0.04	DOLOMITA	CALCITA
	CaCO ₃	1.38*10 ⁻¹⁰	4.57*10 ⁻⁹	0.03		ARAGONITO
	CaMg(CO ₃) ₂	6.25*10 ⁻¹⁶	9.54*10 ⁻¹⁸	65.81		
	FeCO ₃	6.33*10 ⁻¹³	2.81*10 ⁻¹¹	0.02		SIDERITA
	MgSO ₄	3.99*10 ⁻¹¹	177.82	2.24*10 ⁻¹³		MgSO ₄
	NaSO ₄	3.39*10 ⁻⁹	5.011	6.76*10 ⁻¹⁰		NaSO ₄

Ecuaciones:

$$\bullet \quad \text{Log } \gamma_i = \frac{-Az_i^2 \sqrt{I}}{1+\sqrt{I}} \quad ; \quad I = \frac{1}{2} \sum m_i z_i^2$$

$$\bullet \quad \text{IAP} = m_i \gamma_{i(1)} * m_i \gamma_{i(2)}$$

Después del respectivo análisis de las tablas anteriores se encontró que las muestras M5 Reunión de agua quebrada arriba , M6 Manto 2, Colminas , M7 Manto 10, Colminas , M10 Inclinado la Quinta, Manto 7 , M16 Mina la Esperanza, Manto 7 , M17 Mina la Esperanza, Manto 7 , M19 Quebrada Palacios , M21 Agua Lluvia Ubaté, Noche Nov 9/2006 , M22 Mina Cajón 2, Manto 7 Lenguaque , M23 Mina Cajón 1, Manto 1 y manto 3 , M24 Compañía Minera Los Pinos, Mina Veta Grande, manto 13 , M25 Manto 13 (Deposito), Lenguaque se encuentran sobresaturadas en Dolomita.

Las muestras M21 Agua Lluvia Ubaté, Noche Nov 9/2006 y M24 Compañía Minera Los Pinos, Mina Veta Grande, manto 13 se encuentran sobresaturadas en Calcita y Aragonito.

Las muestras M1 Inclinado la Grande, Manto 5, M2 Inclinado el Rincón, Manto 2, M3 Quebrada Chuguas, M4 Manto 10 (Ciscuda), Montecristo, M8 Quebrada El Rosal, M9 Cruce de Quebradas El Rosal y Chuguas, M11 Quebrada Honduras, M13 Quebrada Chorrera, M14 Quebrada el Mortiño, M15 Quebrada Pilitas, M18 Quebrada Pueblo Viejo y M20 Mina La Golondrina, Manto 2 se encuentran insaturadas de Calcita, Aragonito, Dolomita y Siderita al no presentar contenidos de carbonatos (CaCO_3) en sus composiciones.

Las 25 muestras que se tomaron y analizaron a lo largo de este estudio están totalmente insaturadas de Sulfato de Magnesio (MgSO_4) y Sulfato de Sodio (NaSO_4). Teniendo en cuenta que dentro de los datos suministrados por el Laboratorio Químico de Consultas Industriales, donde fueron estudiadas las muestras alcanzan contenidos considerables de sulfatos. Estos contenidos posiblemente sean por disolución de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), por la reducción y la descomposición de sulfuros metálicos como FeS, FeAsS, CuFeS_2 .

15. RELACION ENTRE EL AGUA Y EL GAS ASOCIADOS A LOS MANTOS DE CARBON

El carbón se forma de la materia orgánica que se transforma durante procesos complejos que en forma conjunta se denominan “Carbonización”. La carbonización es controlada por procesos físicos y químicos, la temperatura, la presión y la historia geológica.

Los diferentes niveles de carbonización producen los diferentes “rangos” de carbón comenzando con la turba, pasando por el lignito, el carbón sub-bituminoso, bituminoso, la antracita y finalmente el grafito. Los resultados de la carbonización son los cambios físicos y químicos exhibidos por el carbón incluyendo la generación de gases de hidrocarburos (metano principalmente) y gases inorgánicos tales como CO, CO₂ y gases de azufre, y agua.

La cantidad de metano que se produce aumenta durante todo el proceso de carbonización, en consecuencia los carbones de los grados mayores tienden a contener más metano que los carbones de los grados menores.

Los gases que liberan los mantos de carbón interactúan con el agua que se encuentra en estos mantos de varias formas como son:

- $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3$
- $\text{H}_2\text{CO}_3 = \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$
- $\text{HCO}_3^- = \text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+$

Como se puede observar de las ecuaciones anteriores, la interacción del gas CO_2 con el agua de los mantos de carbón puede incrementar acidez o la alcalinidad según sean las condiciones del pH original del agua.

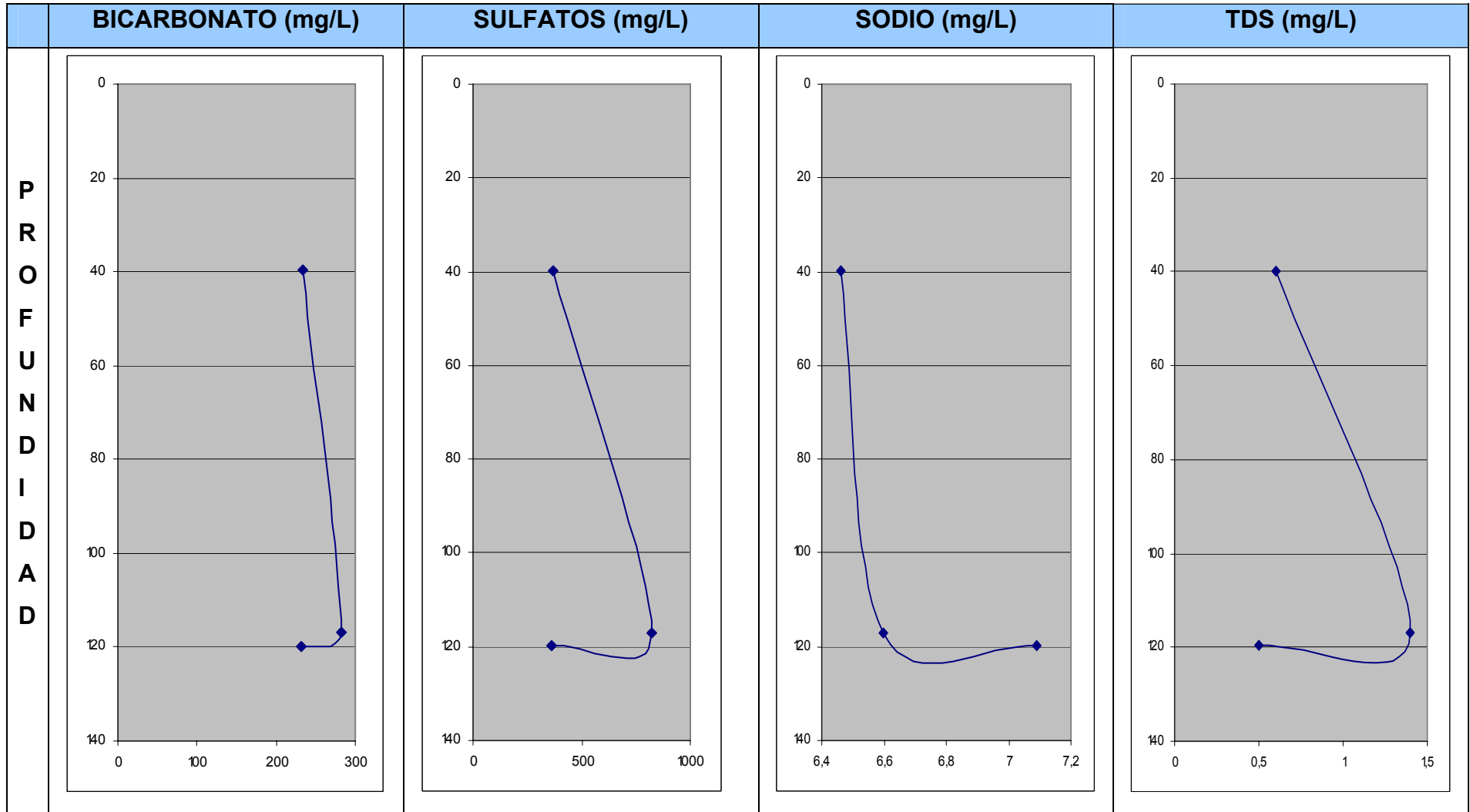
De otra parte los gases de azufre en combinación con el oxígeno generan ácido sulfúrico el cual acidifica las aguas asociadas a mantos de carbón.

El metano y los demás gases orgánicos no afectan la acidez del agua.

Teniendo en cuenta lo anterior se van analizar líneas de tendencias de algunos parámetros analizados en las muestras de agua y el total de gases encontrados en los mantos de carbón para hacer comparaciones y establecer alguna relación entre el agua y el gas asociados a estos mantos.

A continuación se presenta la tabla comparativa entre las características químicas de las aguas y el contenido de gas medido en los mantos de carbón por Cortes y Jiménez (2007).

Tabla 9. Comparación de tendencias entre parámetros del agua y contenido total de gases, El Triunfo.



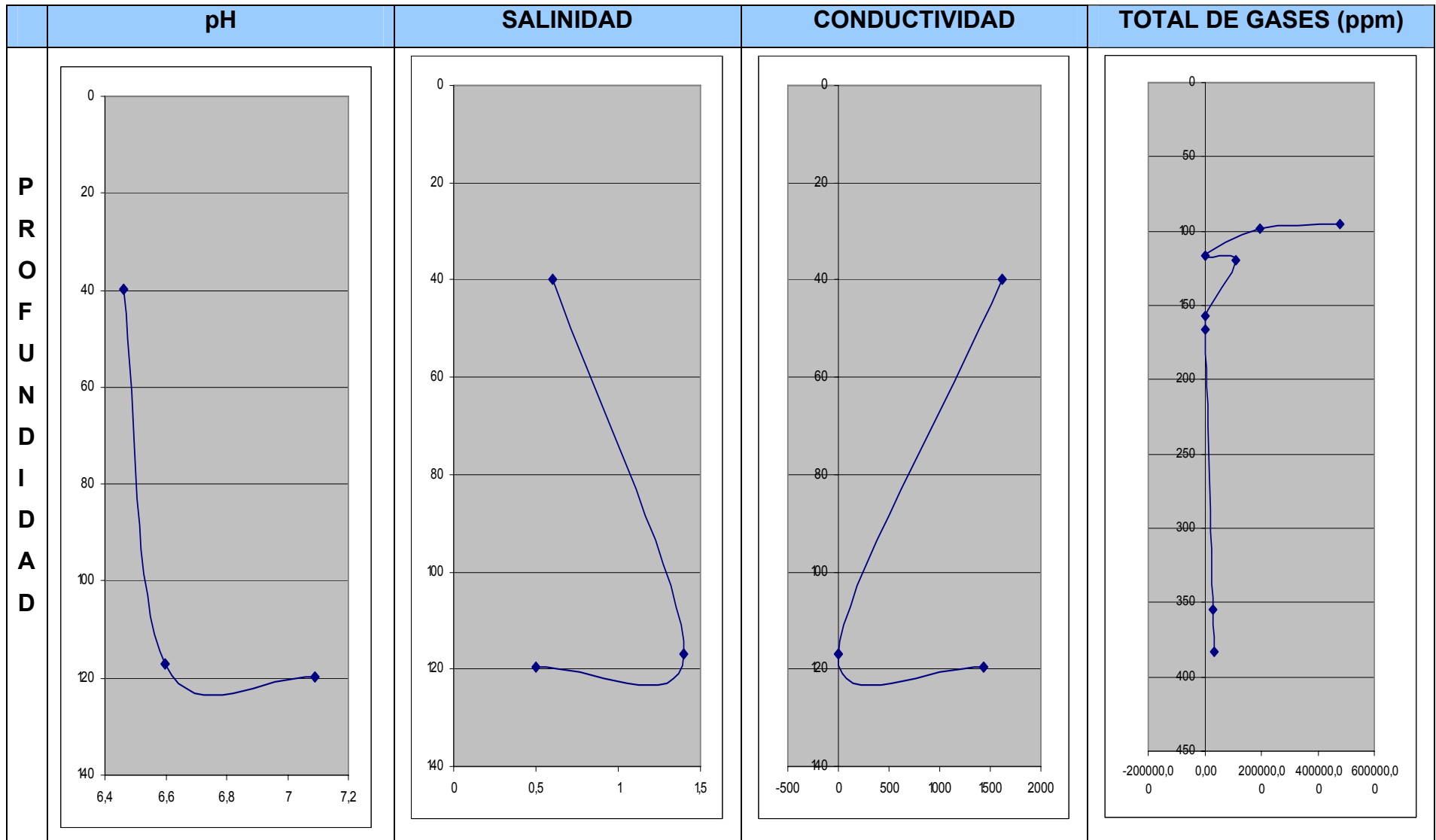
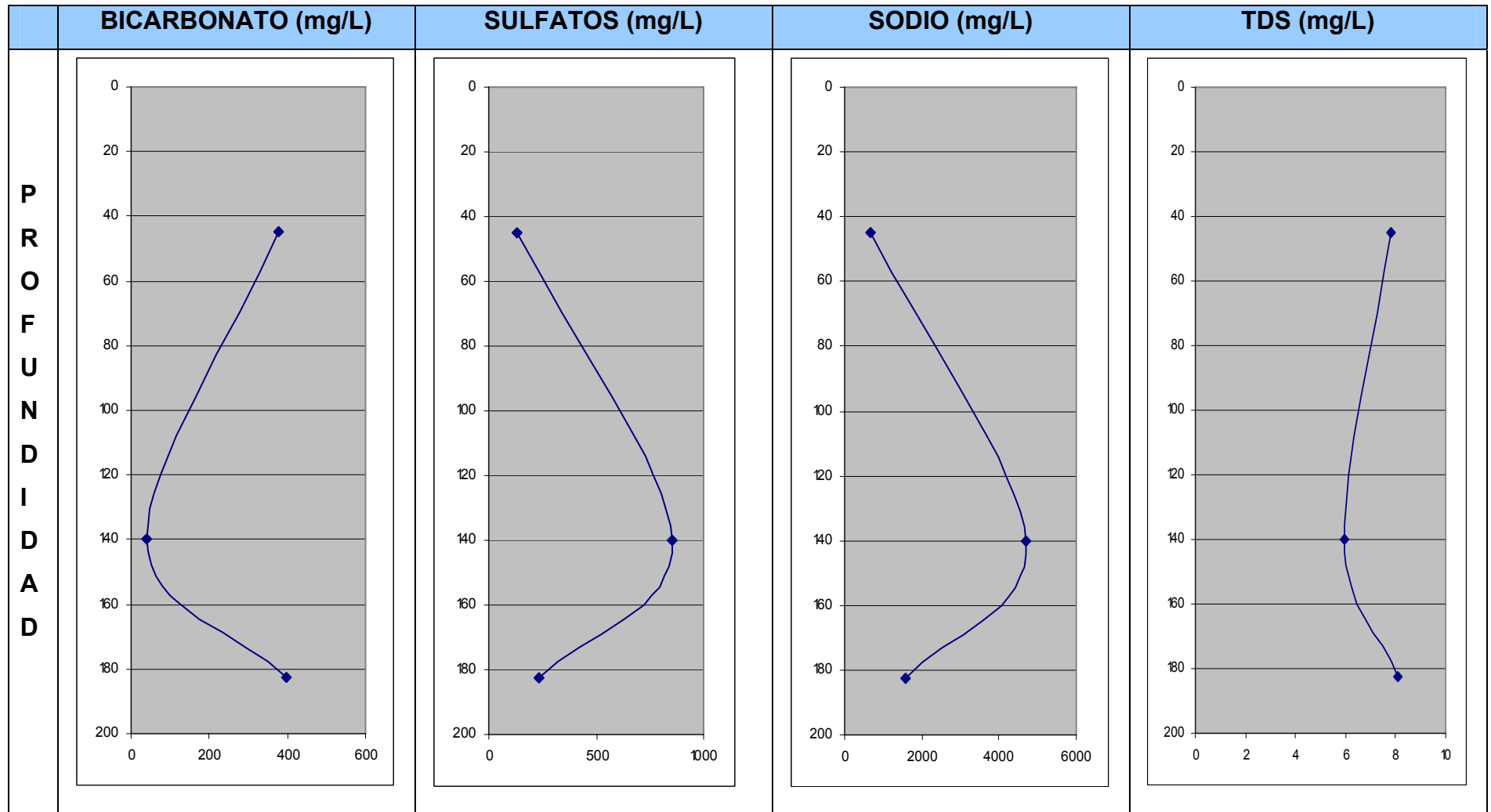


Tabla 10. Comparación de tendencias entre parámetros del agua y contenido total de gases, Montecristo.



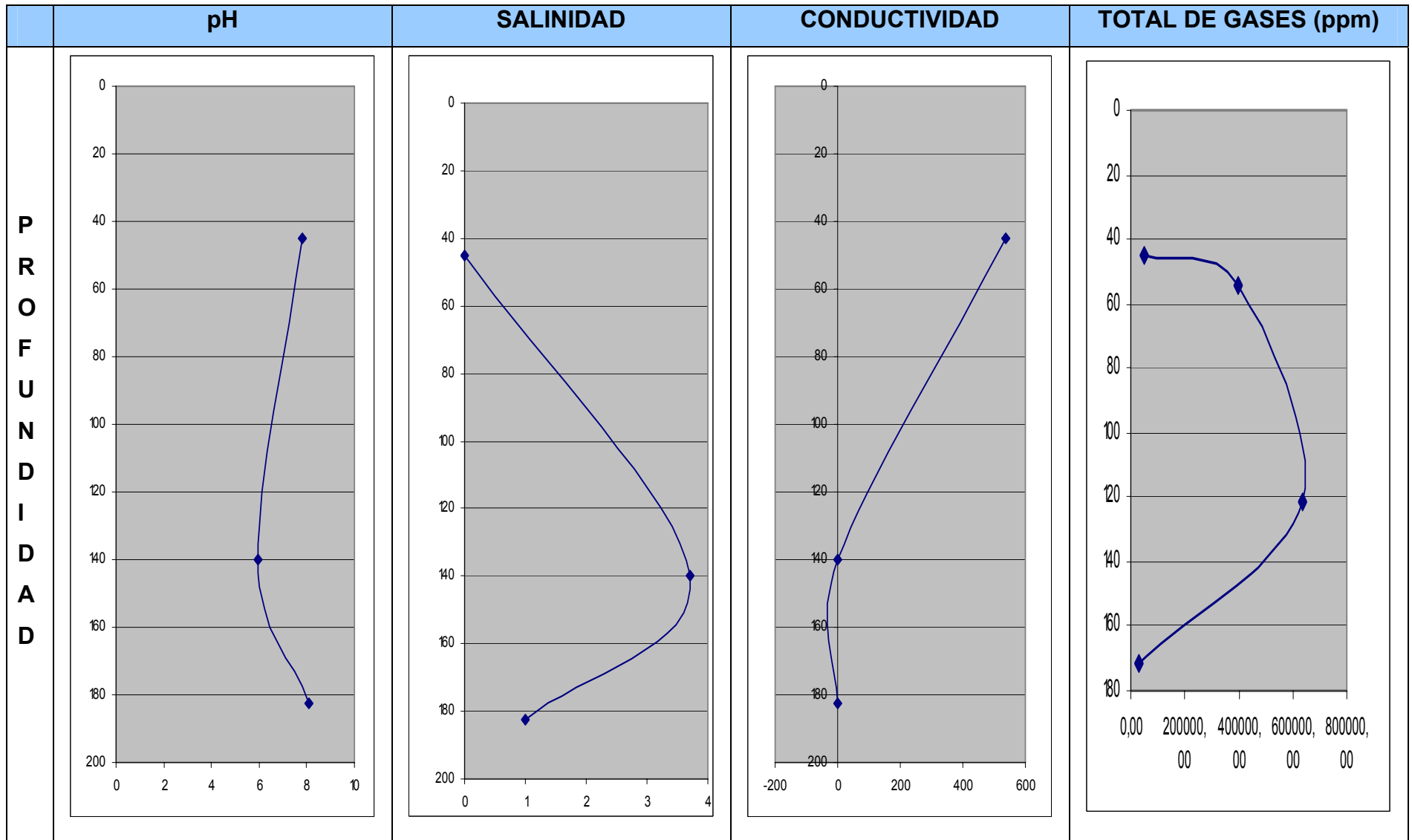
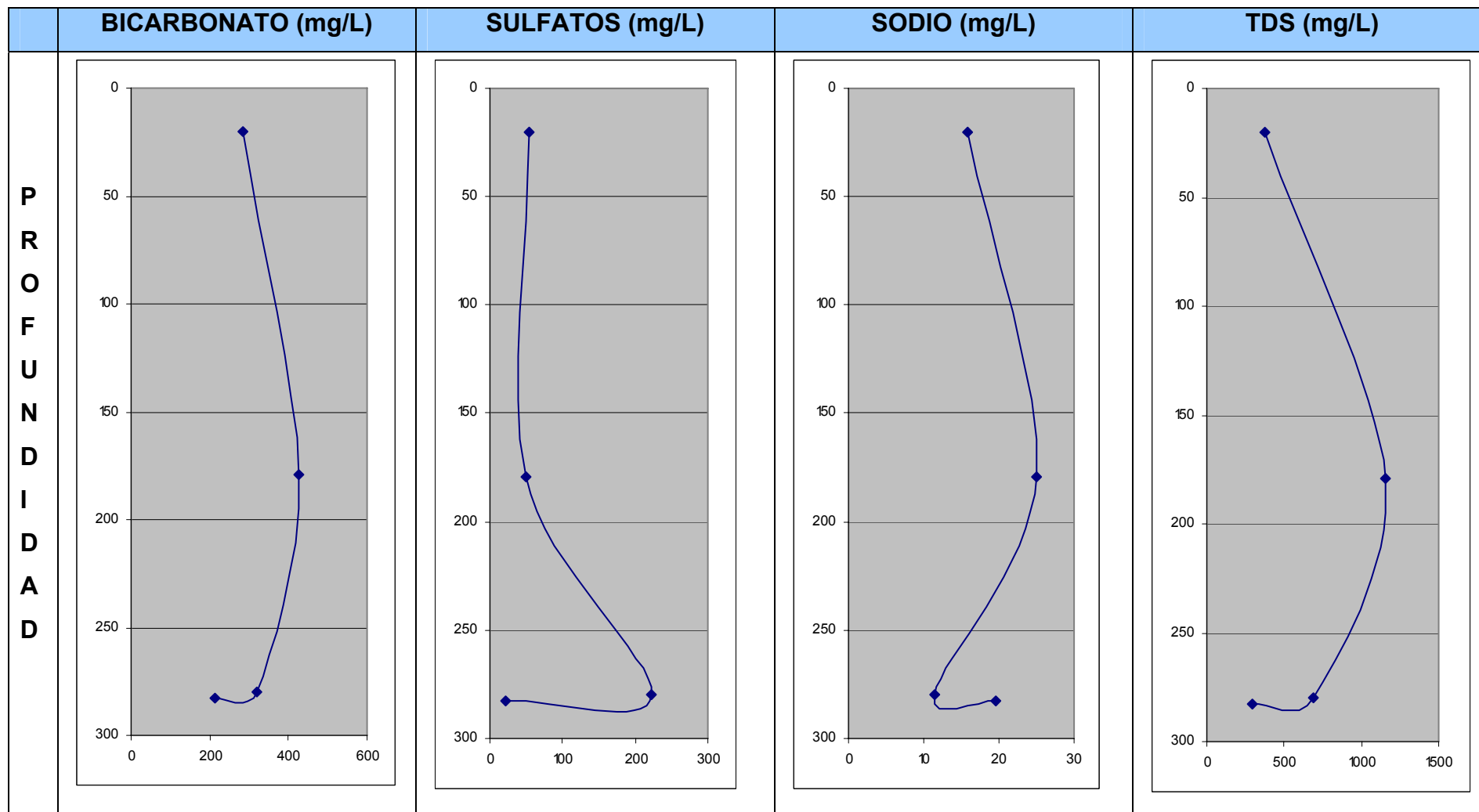
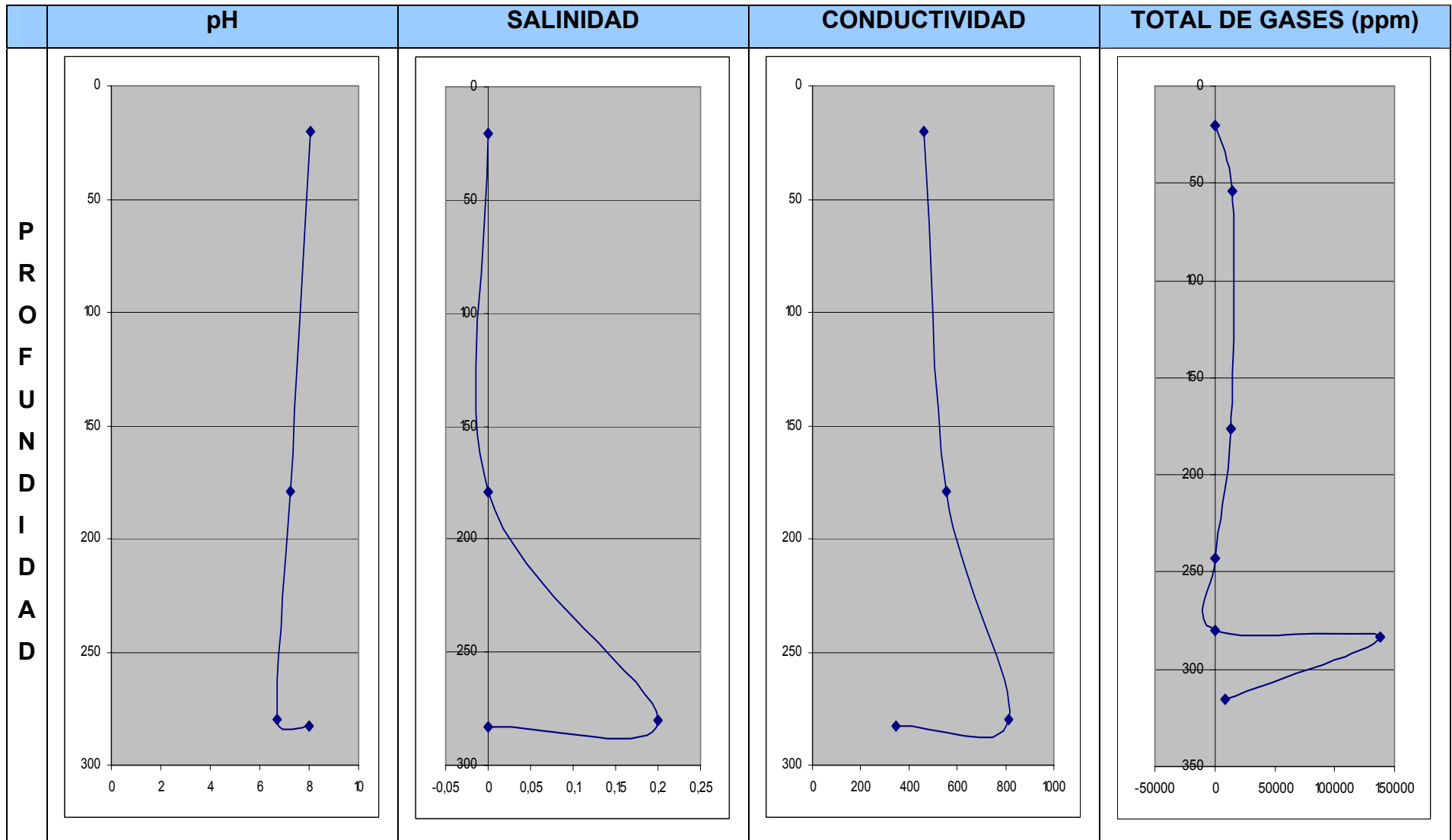


Tabla 11. Comparación de tendencias entre parámetros del agua y contenido total de gases, Lenguazaque.





Para la zona de Montecristo, se puede decir que se marca una tendencia entre la salinidad, sulfatos, sodio y TDS correspondiente a un aumento en el contenido de estos parámetros hacia los estratos medios y una disminución con la profundidad, esto coincide con la curva hecha para el contenido total de gases, en la cual se mantiene esta tendencia, sin embargo también se nota que las curvas de Bicarbonato, pH y conductividad tienen la misma disposición pero no están dispuestos de igual forma que los demás elementos, disminuyen hacia los estratos medios y aumentan con la profundidad.

En el área del Triunfo la comparación con el total de contenido de gas se realizó con la sección comprendida entre los mantos 7 y 11 que corresponden con las muestras de agua evaluados en esta zona. En estas gráficas se observa que los contenidos de Bicarbonato, Sulfatos, total de sólidos disueltos y salinidad se sigue con la tendencia de aumento en los mantos medios y una disminución a medida que se incrementa la profundidad.

Estos resultados coinciden con la forma de la sección definida para la comparación marcando una tendencia de aumento hacia los mantos medios. Con respecto a la conductividad y el pH se presentan los mayores valores en los mantos que están cerca de la superficie, disminuye hacia los medios y continúa en aumento a medida que alcanza profundidad.

El caso del contenido de sodio para la zona del Triunfo es particular ya que está fuera de las tendencias nombradas anteriormente, presenta una disminución casi lineal de su contenido a medida que aumenta su profundidad.

En la zona de Lenguazaque la comparación con el total del contenido de gases se hizo con cuatro muestras que corresponden a los mantos 1, 7 y 13 de este se tienen dos datos a diferentes profundidades y parámetros geoquímicos del agua.

Con respecto a las líneas de tendencia en esta área, se observa que las curvas de salinidad, conductividad y sulfatos coinciden con la disposición de los gases, disminuye al llegar a mantos medios, un fuerte aumento hacia el manto 13 más

somero y un decaimiento en el manto 13 que esta un poco más profundo. Los elementos Bicarbonato, Sodio y Total de Sólidos Disueltos, presentan una disposición contraria con respecto al gas un aumento hacia los mantos medios y disminución hacia los mantos más profundos.

Con respecto al pH, este muestra un comportamiento un poco diferente a todas las tendencias, disminuye linealmente a medida que aumenta la profundidad, hasta llegar al manto 13 más somero y vuelve a aumentar el pH al llegar al manto 13 mas profundo.

CONCLUSIONES

1. Se comprobó que los mantos de carbón de la Formación Guaduas funcionan como acuíferos, debido al fracturamiento que estos presentan y a los grandes volúmenes de agua que contienen.
2. Los carbones de la Formación Guaduas influyen en la composición química del agua, aumenta la conductividad, la concentración total de sólidos disueltos y los contenidos de hierro, al ceder cantidades notables de sales.
3. En la microcuenca de Montecristo y El Triunfo el ión más abundante es el Sulfato seguido del ión Bicarbonato, donde se manifiestan altos contenidos de sodio.
4. En la microcuenca de Lenguazaque el ión mas abundante es el Bicarbonato, seguido del ión Carbonato, también se manifiestan altos contenidos de Sulfatos.
5. Se clasificaron las aguas según su origen de la siguiente manera: 9 muestras como agua dulce o meteórica, 12 como agua salobre o de mezcla, y 4 como aguas connatas o saladas.
6. Dentro de las muestras analizadas el anión carbonato esta ausente de 14 de ellas, esto restringe la presencia de especies tales como Calcita, Aragonito, Dolomita y Siderita dentro de la composición química de estas aguas. Sin embargo se encontró que 12 de las muestras analizadas están sobresaturadas en Dolomita.

7. Con los resultados de los estudios de los contenidos de gas asociados a los mantos de carbón se realizó la comparación con las líneas de tendencia con parámetros influyentes en el agua y se encontró una relación importante entre curvas de salinidad, sulfatos, sodio, total de sólidos disueltos y el comportamiento de los gases, en las cuales se observa un aumento en sus contenidos a medida que aumenta la profundidad.

REFERENCIAS CITADAS

ALAYÓN, E., VILLEGAS, O., 2001, Estudio Regional de Niveles e Isopiezas de agua subterránea en la Sabana de Bogotá. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). Subdirección Científica, División de Investigación.

CORTES, Y., JIMENES, M., 2007, Geoquímica de los Yacimientos de Gas Asociados a Carbón en la Cuenca de Bogotá. Tesis de Grado, Universidad Industrial de Santander.

DE SPEELMAN H., 1982, Hidrogeología de los valles de Ubaté y Chiquinquirá. Boletín Geológico, volumen 25 N° 1 Bogotá.

DIEKSEY, P., A., 1986, Petroleum Development Geology. Pennwel Books. Tulsa, Oklahoma, USA. 3ª Edición.

FABRE, A. 1983. La Subsistencia de la Cuenca del Cucuy (Cordillera Oriental de Colombia) Durante el Cretáceo y el Terciario Inferior Primera parte Estudio.

HARRIS, D.,C., 1999. Quantitative Chemical Analysis. Ed. Freeman.

HUBACH, E. 1957 Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y sus alrededores. Boletín Geológico, Servicio Geológico Nacional. No.5. P 93-112.

IDEAM, 2005, Estudio Nacional del Agua. Republica de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

JULIVERT, M., 1963, Los Rasgos Tectónicos de la Región de la Sabana de Bogotá y los Mecanismos de Formación de las Estructuras. Boletín UIS. Vol. 13-14.

REYES, I, DE REYES, M., 1984, Recopilación de los datos Geo-Hidrológicos existentes de la Sabana de Bogotá. Corporación Autónoma Regional de la Sabana de Bogotá y de los Valles de Ubaté y Chiquinquirá.

RICE C, NUCCIO V., 2000, Water Produced with Coal-Bed Methane, U.S. Geological Survey Fact Sheet FS-156-00.

RINCON, L., ROCHA, A., 2007, Estratigrafía de la Formación Guaduas en la Cuenca de Bogotá, Tesis de Grado, Universidad Industrial de Santander.

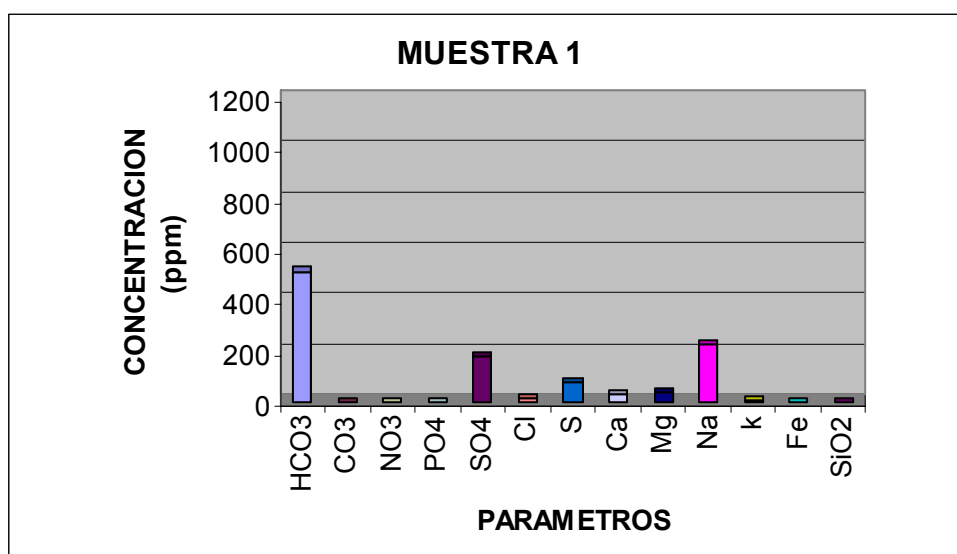
SARMIENTO G, 1994, Visión Regional de la Formación Guaduas Publicación Especial del Ingeominas No. 20.

ULLOA, C., CARO, P.E, y RODRIGUEZ. E, 1988 Excursión Geológica Bogotá- Villavicencio-Acacias, INGEOMINAS Bogotá.

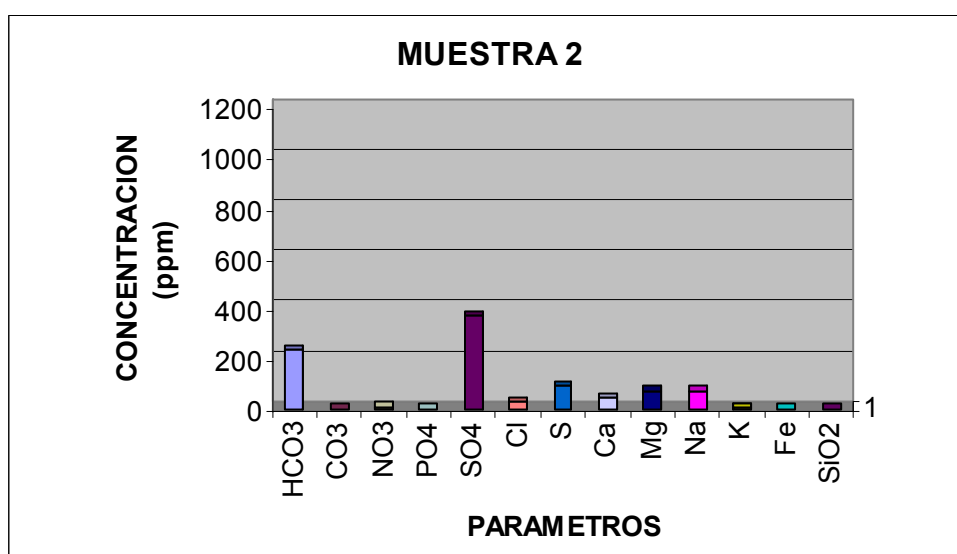
VAN DER HAMMEN, 1958, Estratigrafía del Terciario y Maastrichtiano Continentales y Tectogénesis de los Andes Colombianos. Boletín Geológico Vol. 6 No.2 P 67-128. INGEOMINAS Bogotá.

ANEXOS

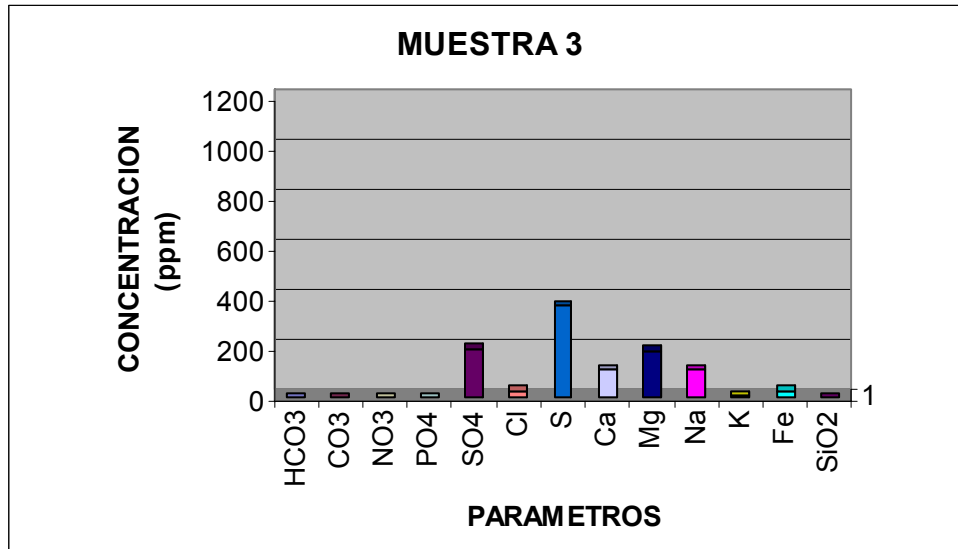
- ANEXO 1: ANALISIS GEOQUIMICO DEL AGUA



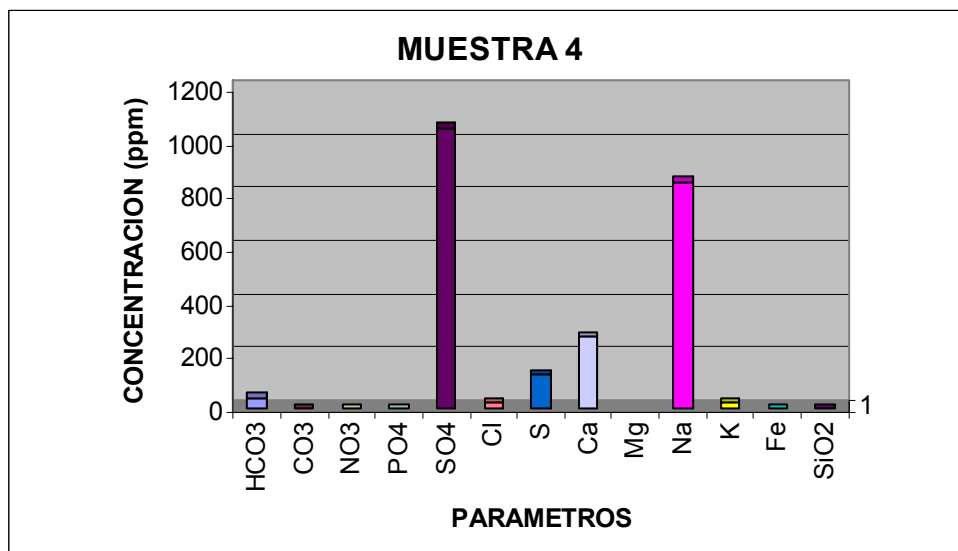
Inclinado la Grande, Manto 5.



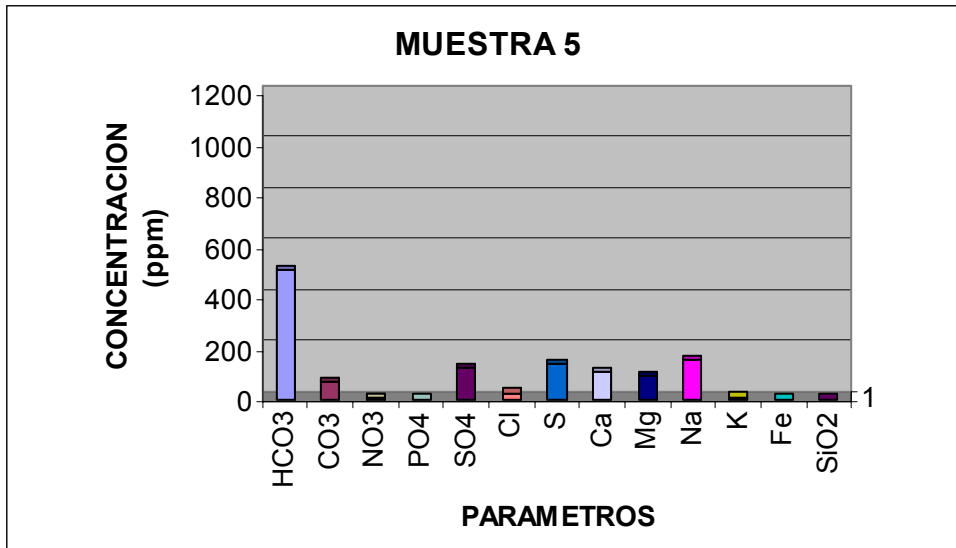
Inclinado el Rincón, Manto 2.



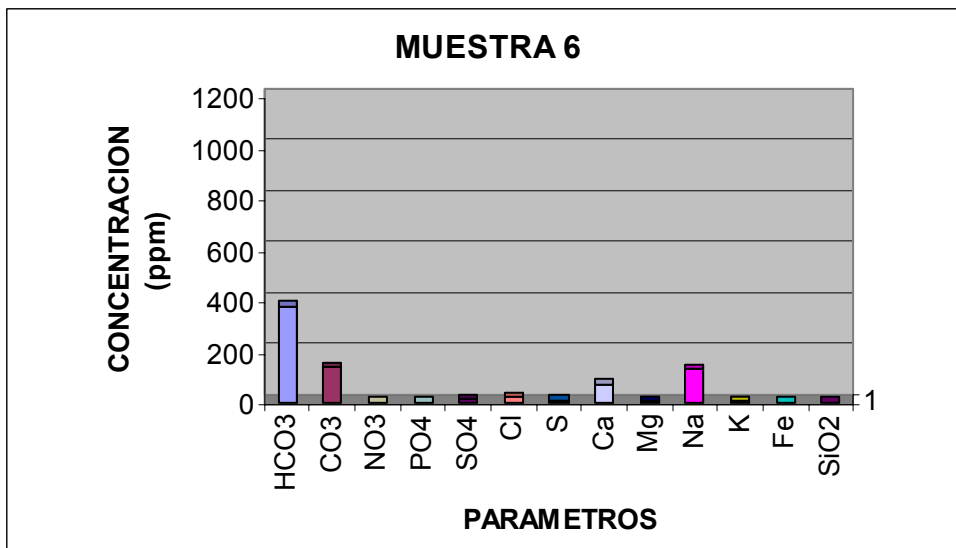
Quebrada Chuguas.



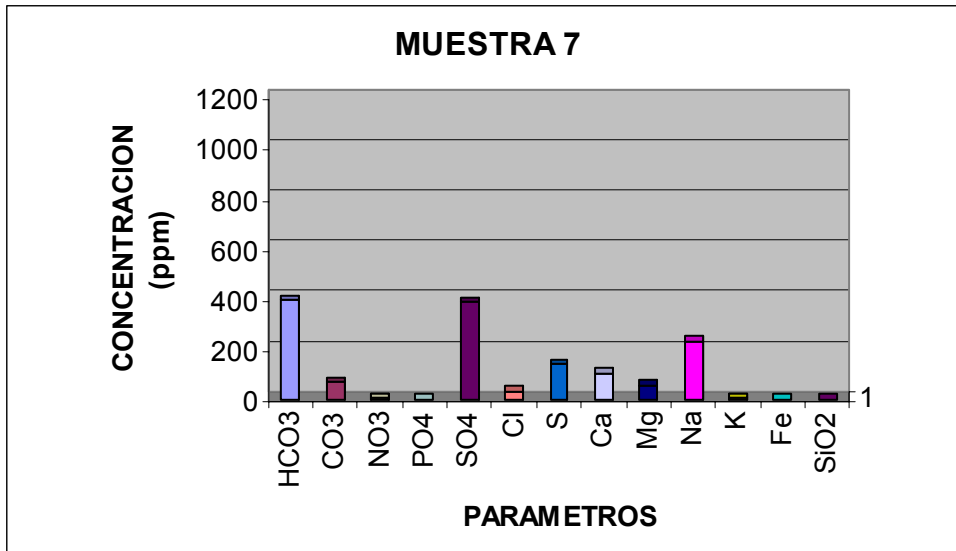
Manto 10 (Ciscuda), Montecristo.



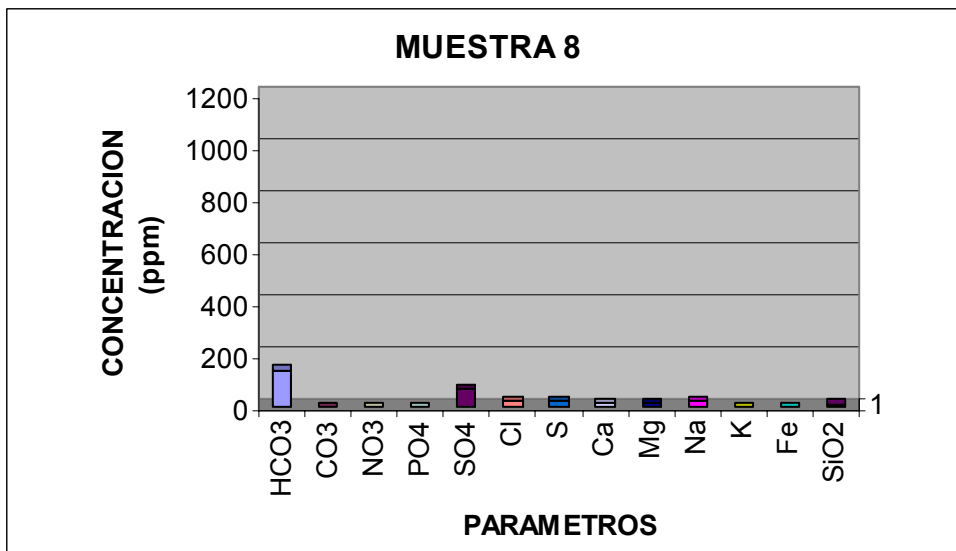
Reunión de agua quebrada arriba.



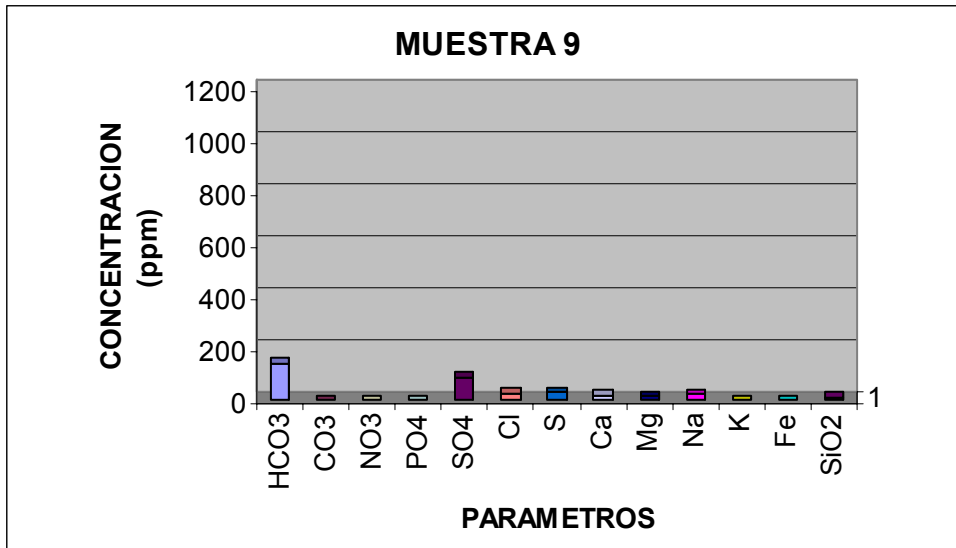
Manto 2, Colminas.



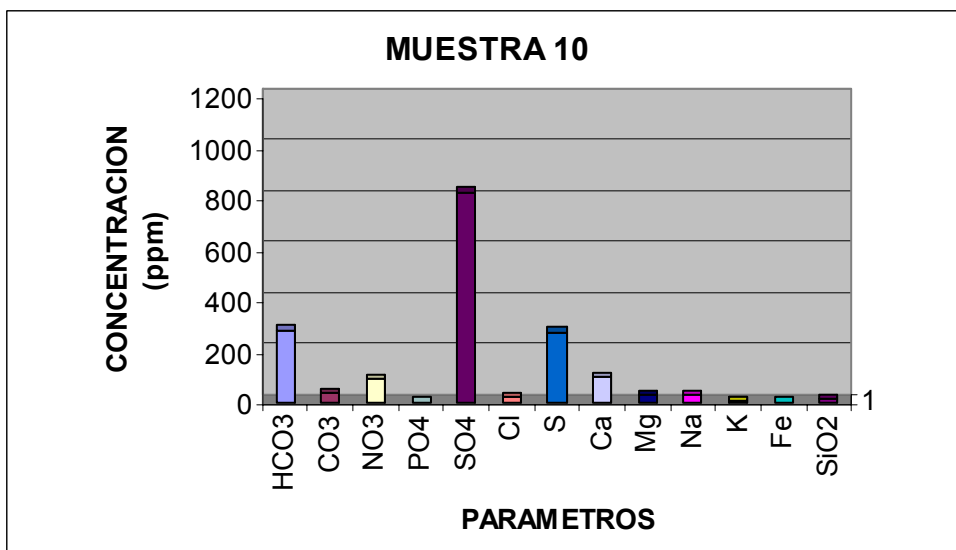
Manto 10, Colminas.



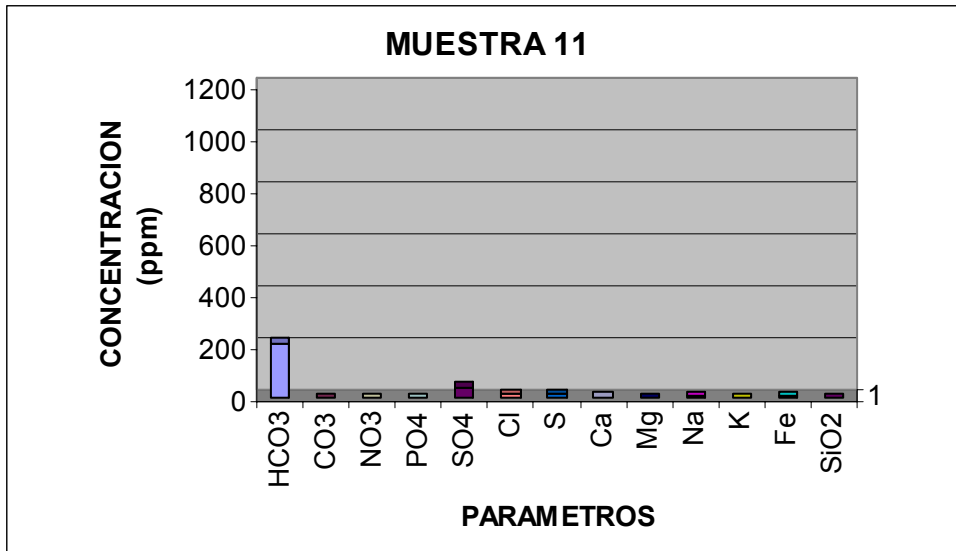
Quebrada El Rosal.



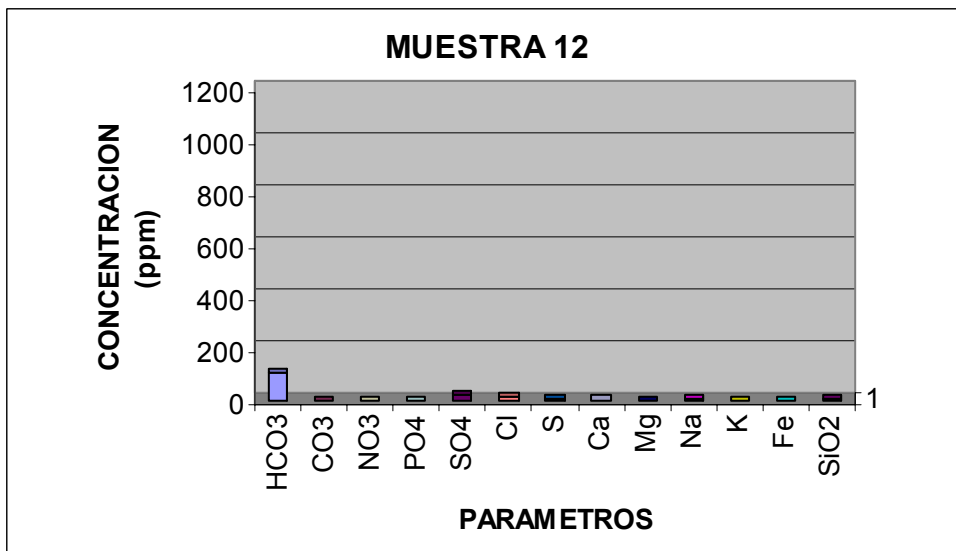
Cruce de Quebradas El Rosal y Chuguas.



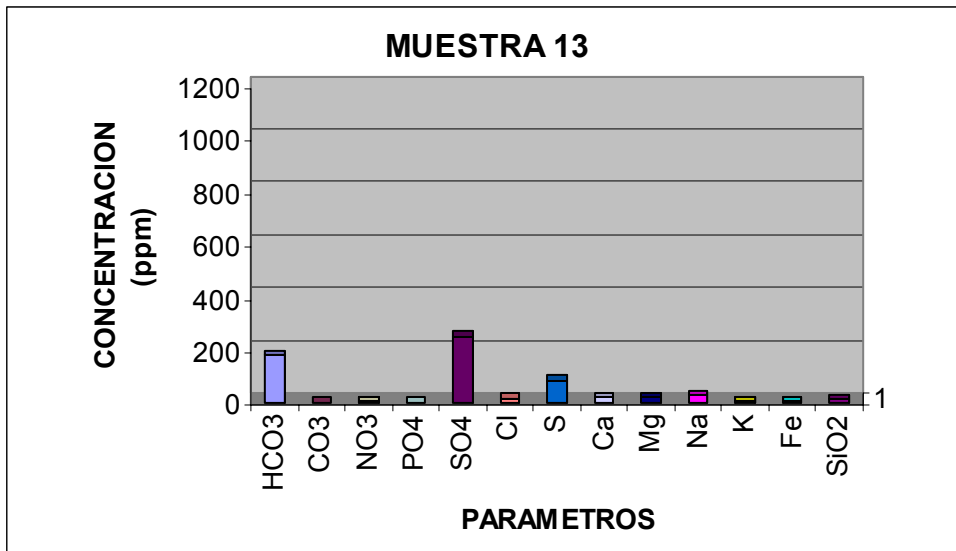
Inclinado la Quinta, Manto 7.



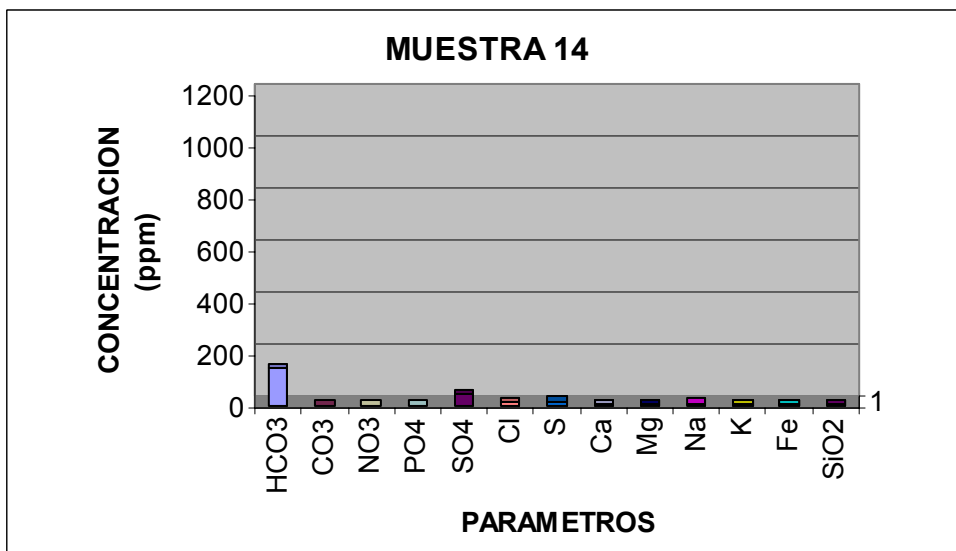
Quebrada Honduras.



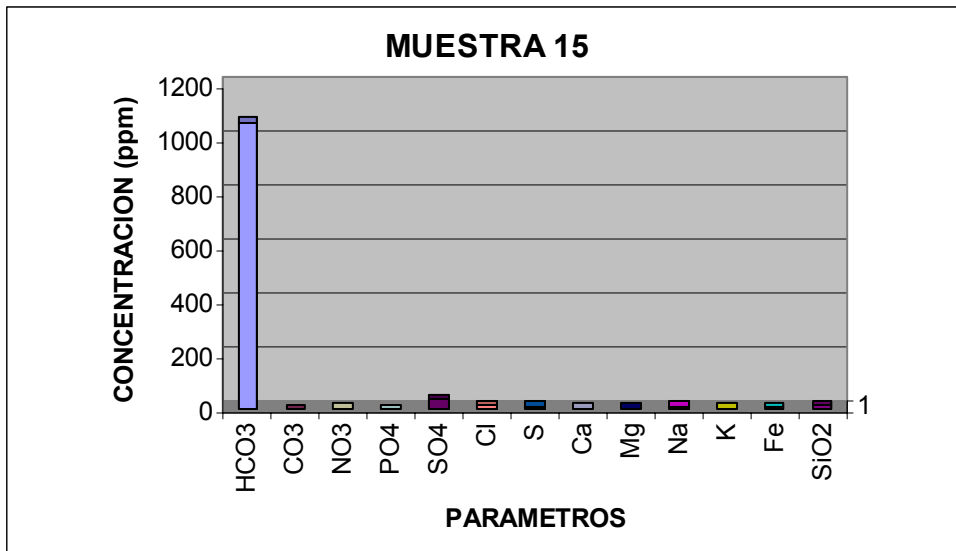
Quebrada Peñas.



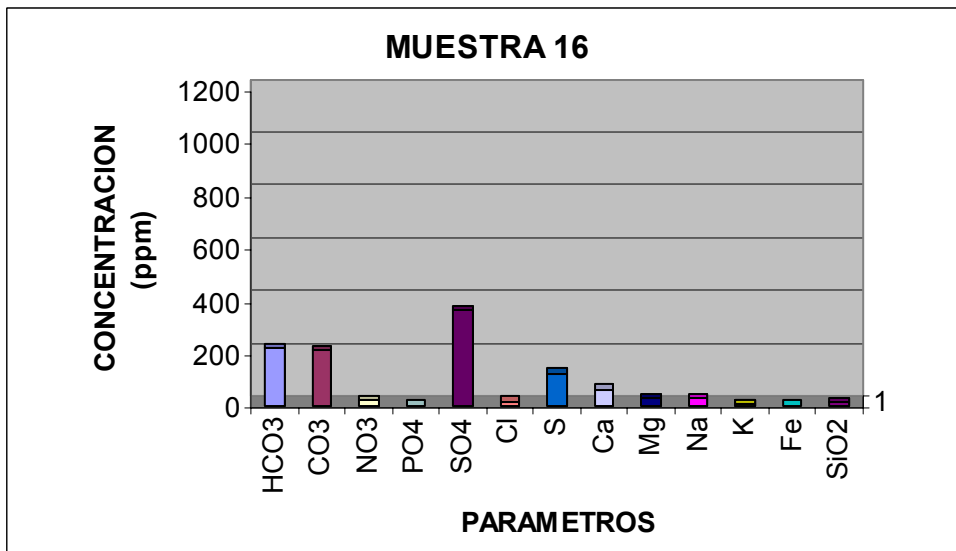
Quebrada Chorrera.



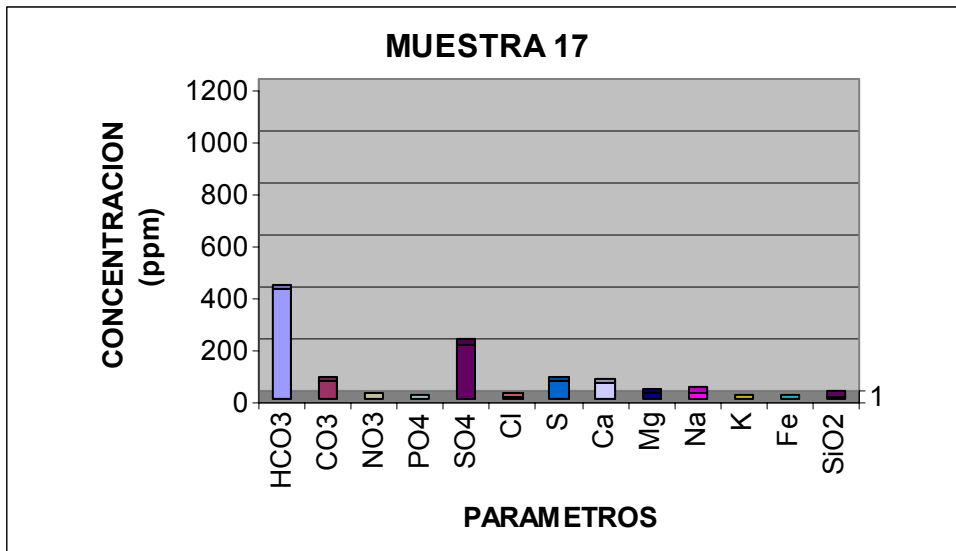
Quebrada el Mortiño.



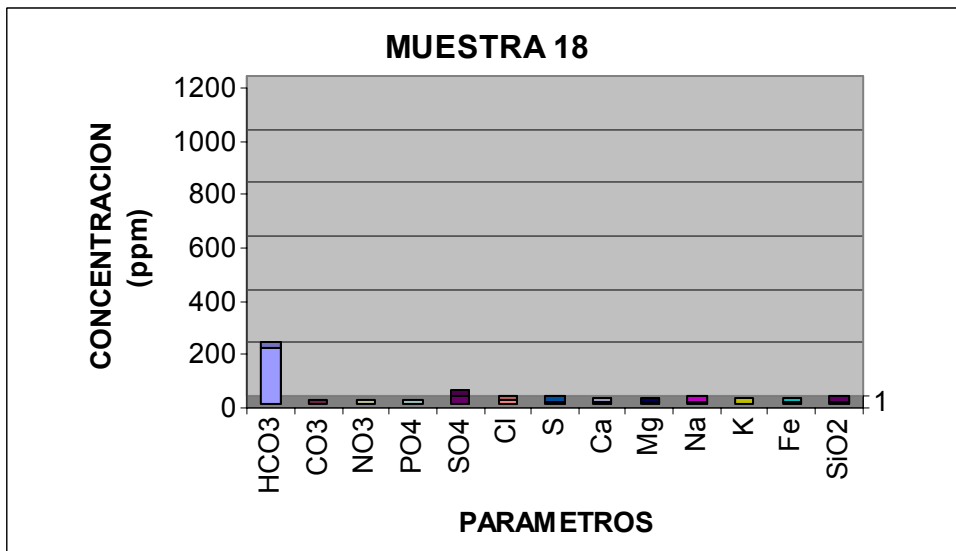
Quebrada Pilitas



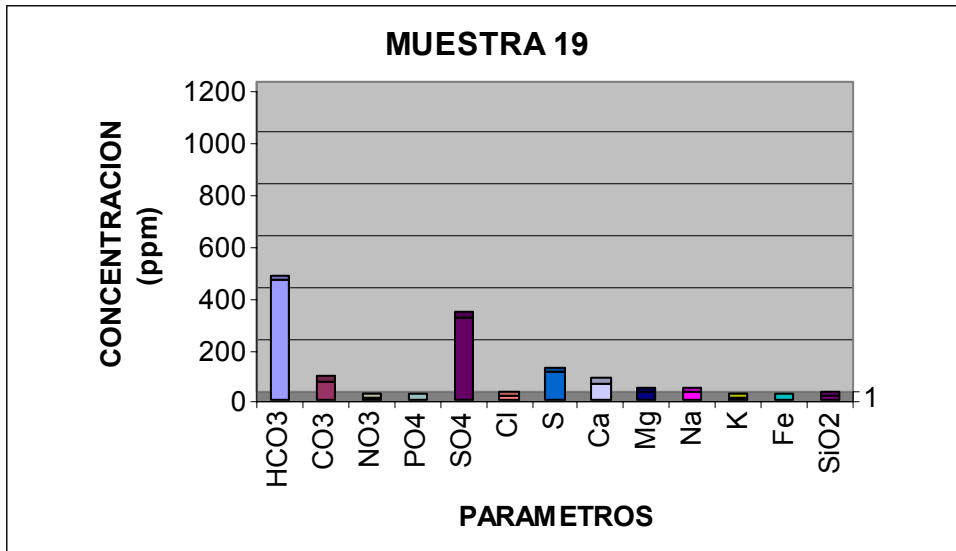
Mina la Esperanza, Manto 7.



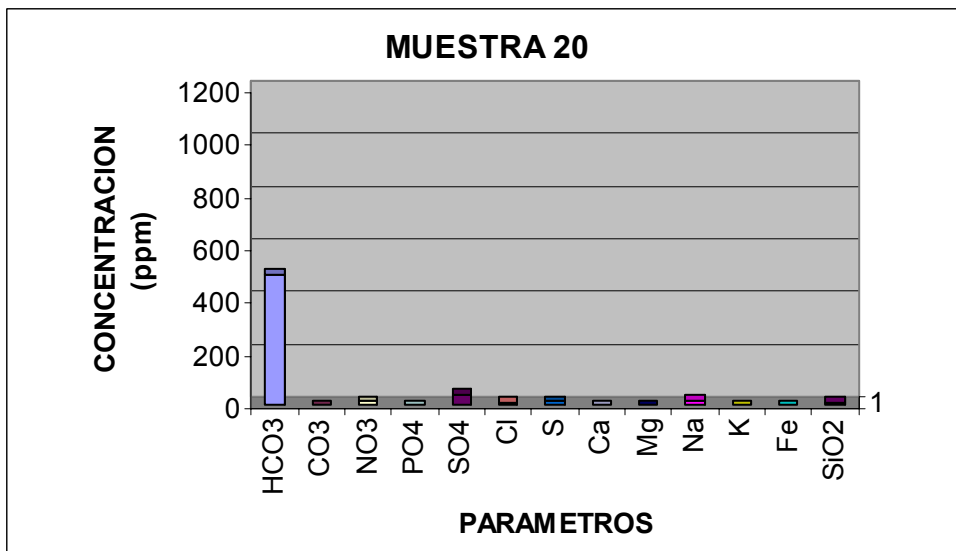
Tanque, Manto 7 y Quebrada Colminas.



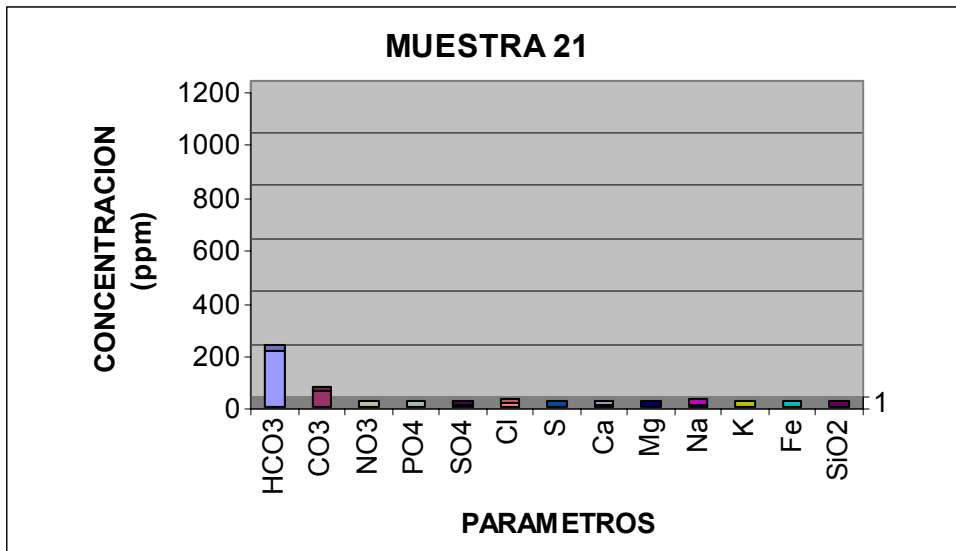
Quebrada Pueblo Viejo.



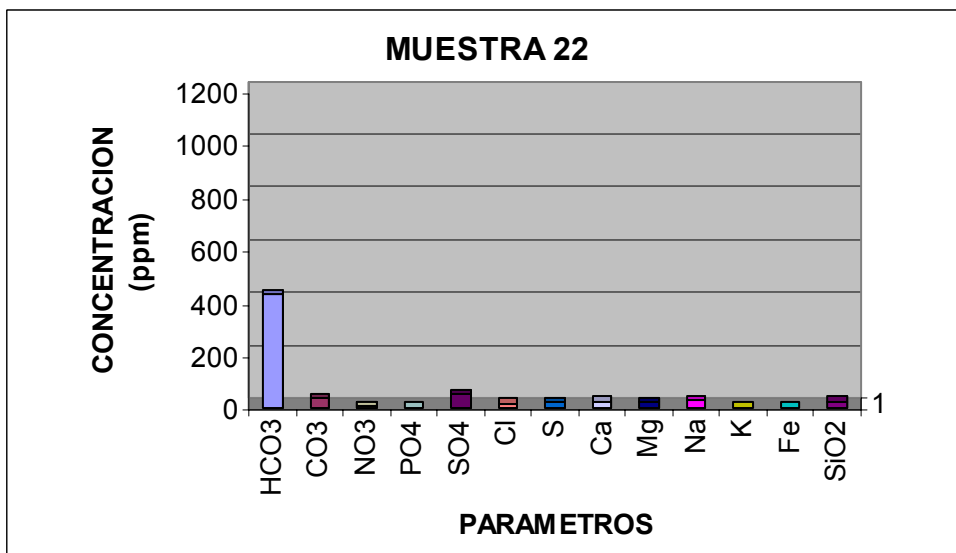
Quebrada Palacios.



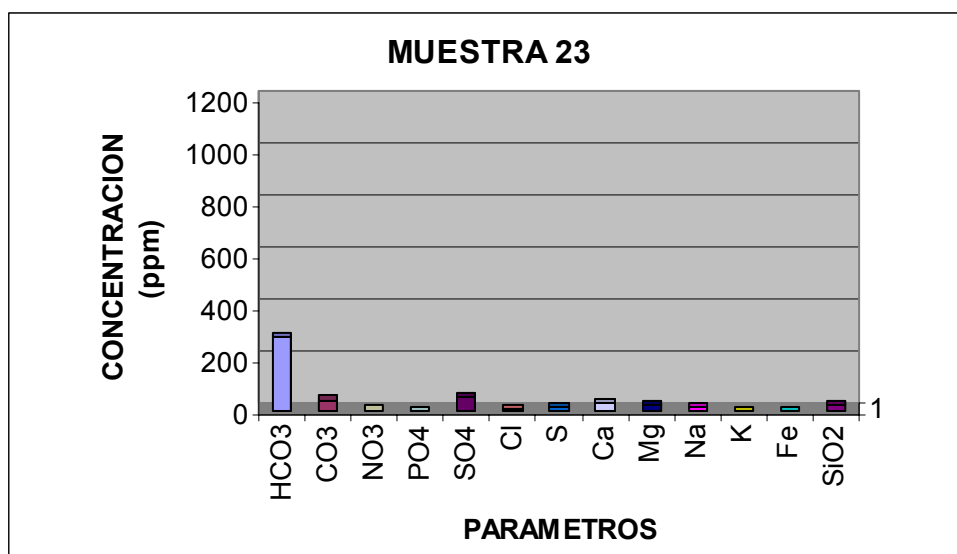
Mina La Golondrina, Manto 2.



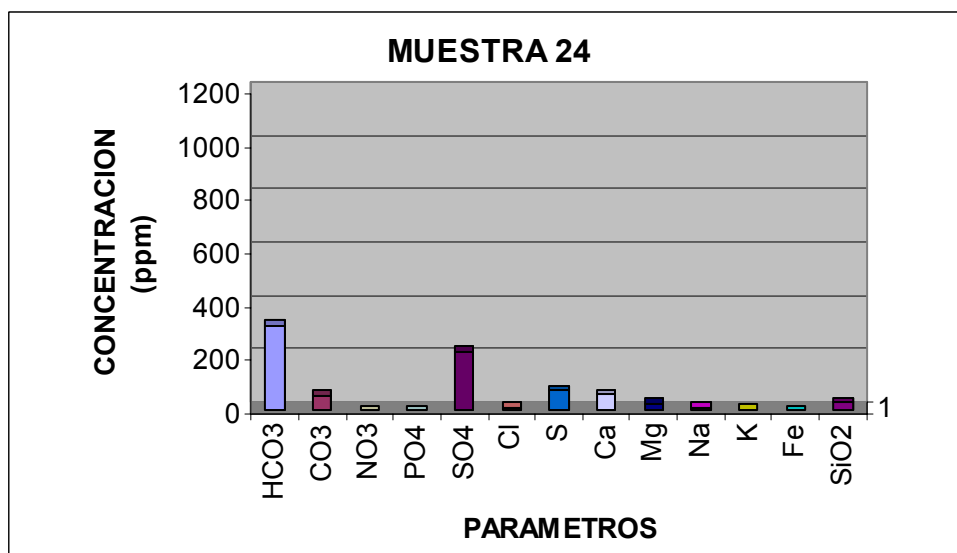
Agua Lluvia Ubate, Noche Nov 9/2006.



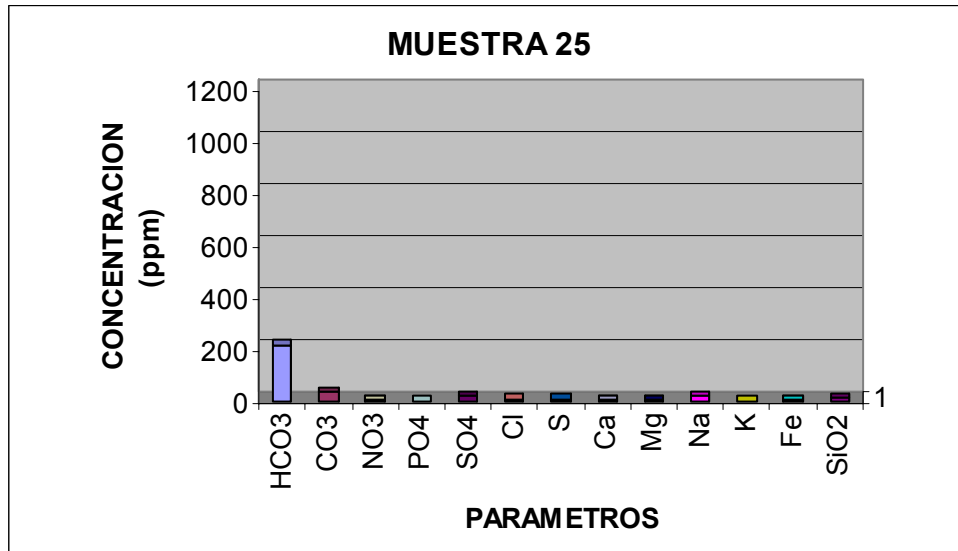
Mina Cajón 2, Manto 7, Lenguazaque.



Mina Cajón 1, Manto 1 y manto 3.



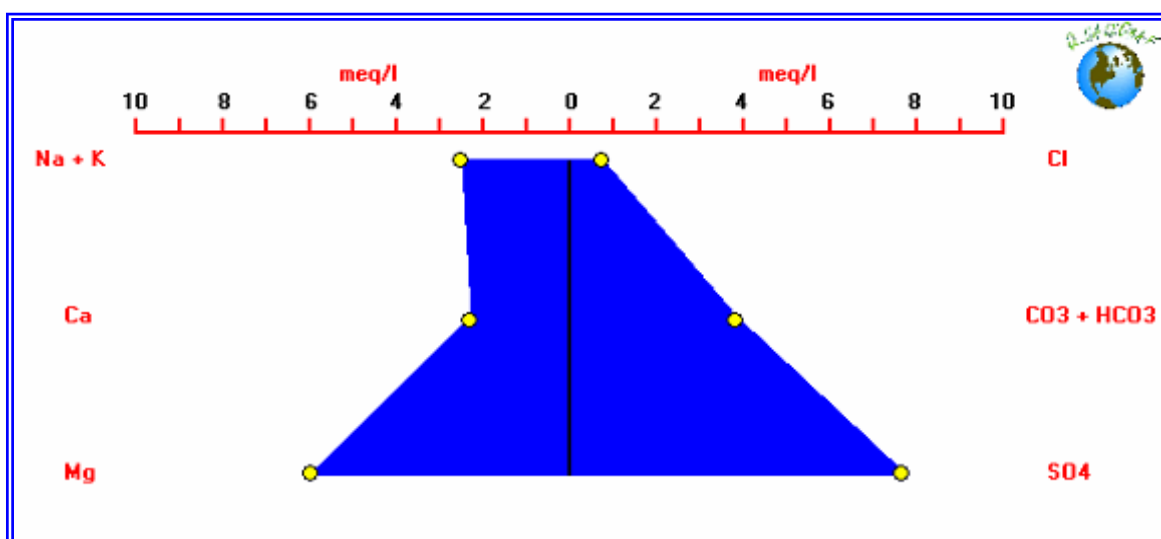
Compañía Minera Los Pinos, Mina Veta Grande, manto 13.



Manto 13, Lenguazaque.

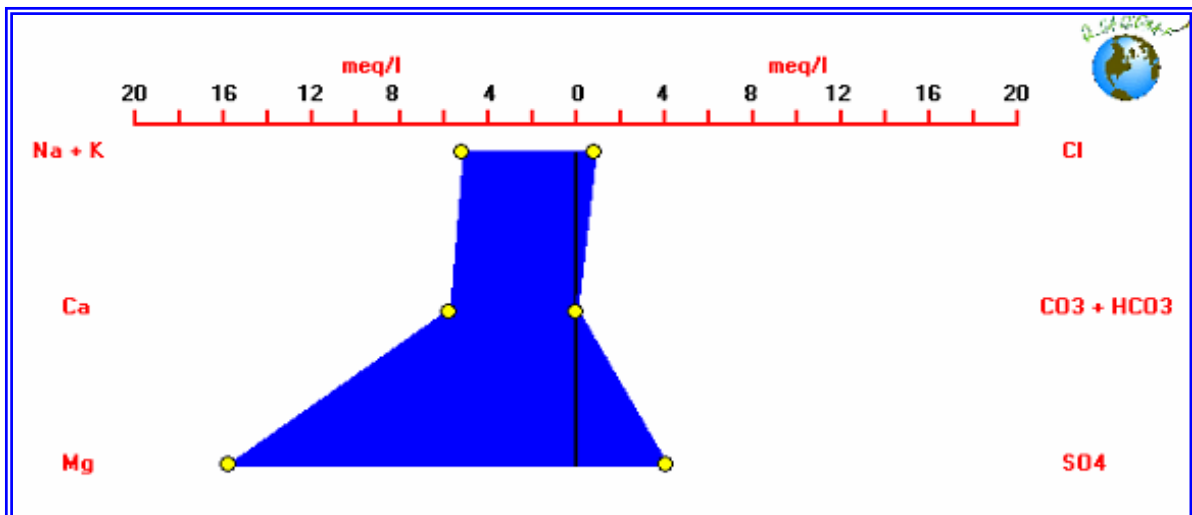
ANEXO 2: DIAGRAMAS DE STIFF.

MUESTRA N° 2									
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2	
HCO ₃	233,7	61	3,8311475	1	3,831147541		3,83115	3,8311475	
CO ₃	0	60	0	2	0		0	0	
NO ₃	8,8	62	0,1419355	1	0,141935484		0,14194	0,1419355	
PO ₄	0,036	94,9738	0,0003791	3	0,001137156		0,00114	0,0034115	
SO ₄	369	96	3,84375	2	7,6875		7,6875	15,375	
Cl	26,64	35,45	0,751481	1	0,751480959		0,75148	0,751481	
S	92,3	32	2,884375	2	5,76875		5,76875	11,5375	
Ca	45,3	40	1,1325	2	2,265	2,265		4,53	
Mg	71,4	24	2,975	2	5,95	5,95		11,9	
Na	54,5	23	2,3695652	1	2,369565217	2,369565		2,3695652	
K	4,1	39	0,1051282	1	0,105128205	0,105128		0,1051282	
Fe	N.D	55,8	0	3	0	0		0	
SiO ₂	N.D	60	0	0	0	0		0	
TOTAL							10,68969	18,182	50,545169



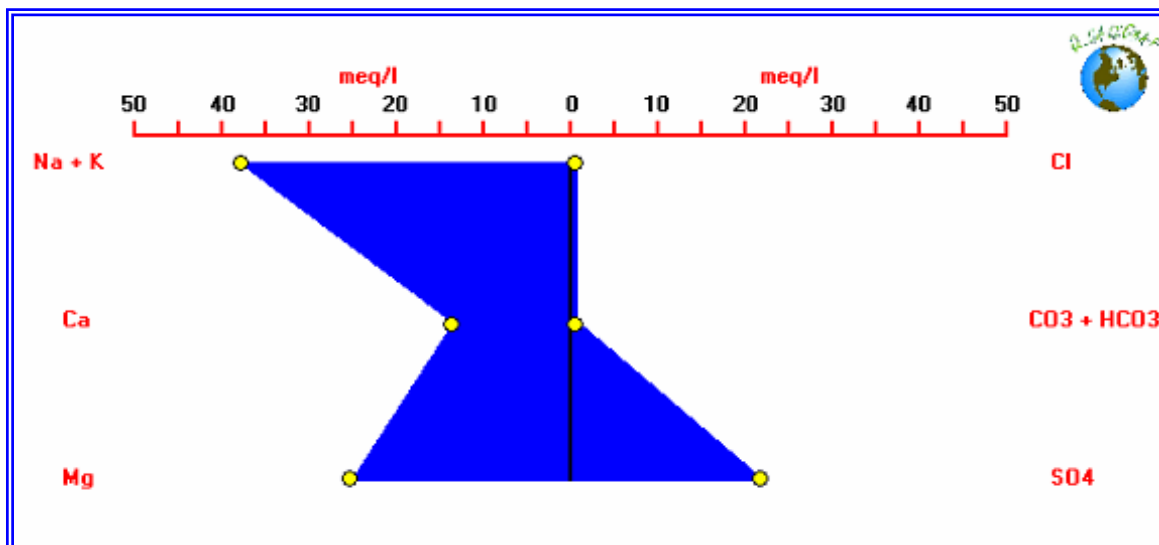
Inclinado el Rincón, Manto 2. El Triunfo
 Agua Meteórica, Tipo Sulfato de Magnesio.

MUESTRA N° 3								
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2
HCO ₃	0	61	0	1	0		0	0
CO ₃	0	60	0	2	0		0	0
NO ₃	1,2	62	0,0193548	1	0,019354839		0,01935	0,0193548
PO ₄	0,065	94,9738	0,0006844	3	0,002053198		0,00205	0,0061596
SO ₄	197,2	96	2,0541667	2	4,108333333		4,10833	8,2166667
Cl	29,97	35,45	0,8454161	1	0,845416079		0,08455	0,8454161
S	370	32	11,5625	2	23,125		23,125	46,25
Ca	114,1	40	2,8525	2	5,705	5,705		11,41
Mg	189,1	24	7,8791667	2	15,75833333	15,75833		31,516667
Na	113,4	23	4,9304348	1	4,930434783	4,930435		4,9304348
K	6,6	39	0,1692308	1	0,169230769	0,169231		0,1692308
Fe	29,5	55,8	0,5286738	3	1,586021505	1,586022		4,7580645
SiO ₂	N.D	60	0	0	0	0		0
TOTAL						28,14902	27,3393	108,12199



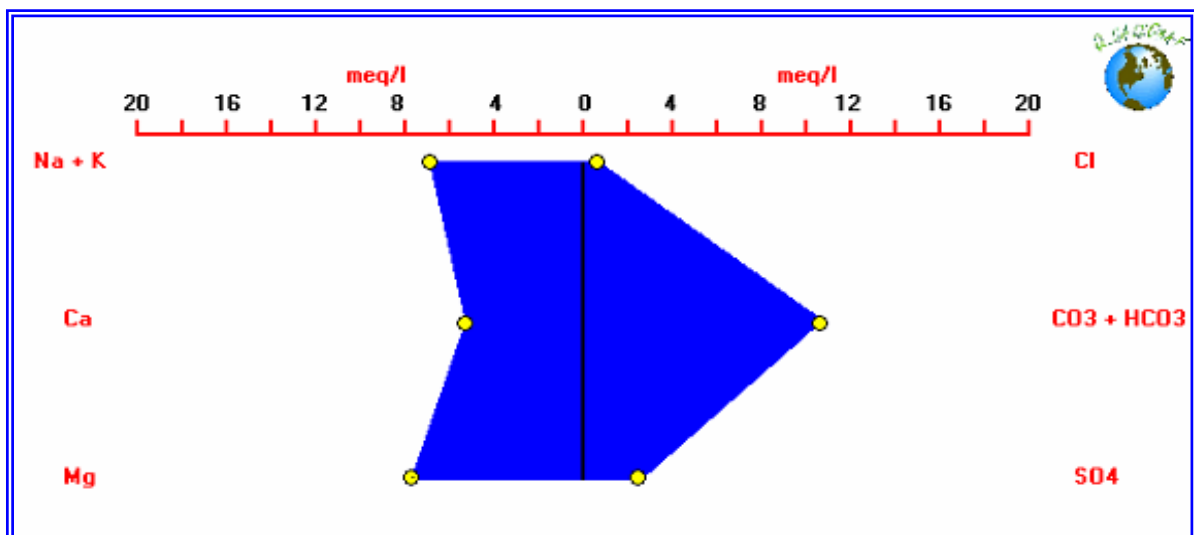
Quebrada Chugas. El Triunfo
 Agua Meteórica
 Tipo Sulfato de Magnesio.

MUESTRA N° 4								
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2
HCO ₃	40,6	61	0,6655738	1	0,66557377		0,66557	0,6655738
CO ₃	0	60	0	2	0		0	0
NO ₃	0,7	62	0,0112903	1	0,011290323		0,01129	0,0112903
PO ₄	0,098	94,9738	0,0010319	3	0,003095591		0,0031	0,0092868
SO ₄	1053	96	10,96875	2	21,9375		21,9375	43,875
Cl	23,31	35,45	0,6575458	1	0,657545839		0,65755	0,6575458
S	128,9	32	4,028125	2	8,05625		8,05625	16,1125
Ca	270,3	40	6,7575	2	13,515	13,515		27,03
Mg	301,2	24	12,55	2	25,1	25,1		50,2
Na	851,4	23	37,017391	1	37,0173913	37,01739		37,017391
K	22,8	39	0,5846154	1	0,584615385	0,584615		0,5846154
Fe	1,4	55,8	0,0250896	3	0,075268817	0,075269		0,2258065
SiO ₂	N.D	60	0	0	0	0		0
TOTAL						76,29228	31,3313	176,38901



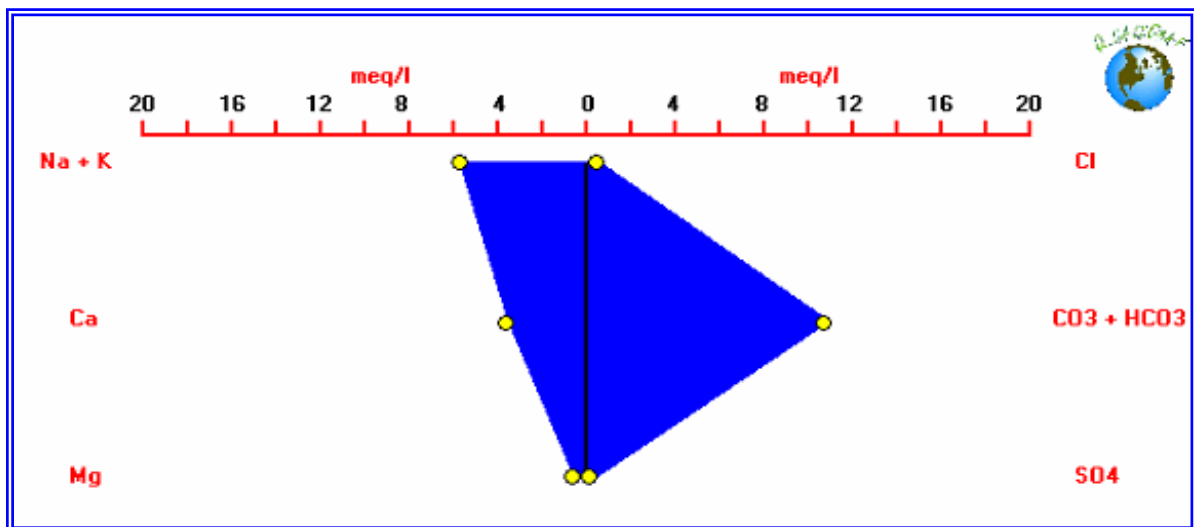
Manto10 (Ciscuda). Montecristo
 Agua Meteórica
 Tipo Sulfato de Sodio.

MUESTRA N° 5									
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2	
HCO ₃	508,1	61	8,3295082	1	8,329508197		8,32951	8,3295082	
CO ₃	69,7	60	1,1616667	2	2,323333333		2,32333	4,6466667	
NO ₃	2,3	62	0,0370968	1	0,037096774		0,0371	0,0370968	
PO ₄	0,088	94,9738	0,0009266	3	0,002779714		0,00278	0,0083391	
SO ₄	121,6	96	1,2666667	2	2,533333333		2,53333	5,0666667	
Cl	23,31	35,45	0,6575458	1	0,657545839		0,65755	0,6575458	
S	138,8	32	4,3375	2	8,675		8,675	17,35	
Ca	104,7	40	2,6175	2	5,235	5,235		10,47	
Mg	91,8	24	3,825	2	7,65	7,65		15,3	
Na	151,2	23	6,573913	1	6,573913043	6,573913		6,573913	
K	9,6	39	0,2461538	1	0,246153846	0,246154		0,2461538	
Fe	0,4	55,8	0,0071685	3	0,021505376	0,021505		0,0645161	
SiO ₂	N.D	60	0	0	0	0		0	
TOTAL							19,72657	22,5586	68,750406



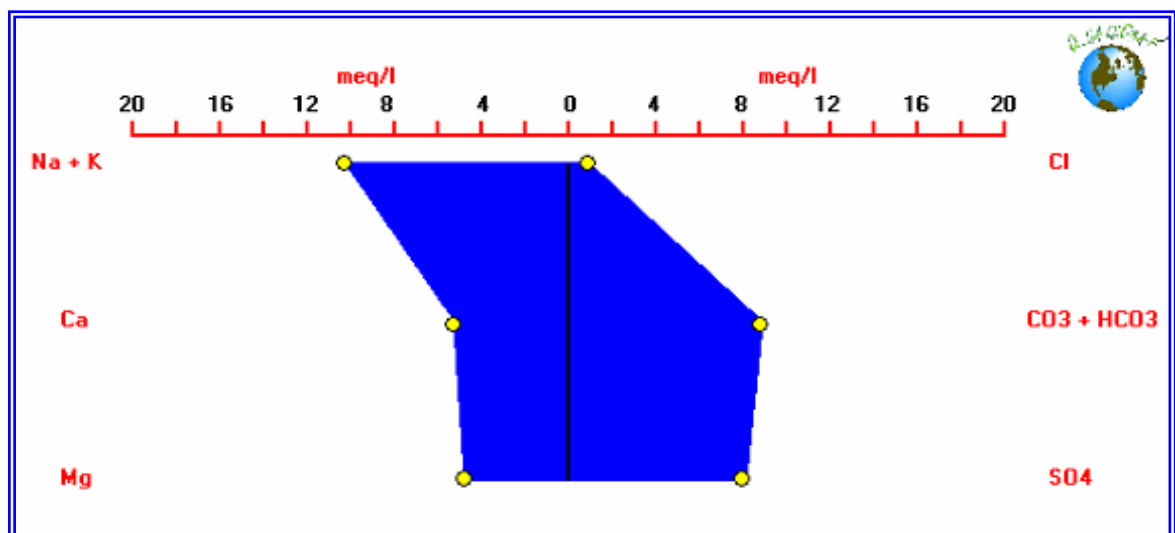
Reunión de Aguas Quebrada Arriba, Colminas. Montecristo
 Agua Meteórica
 Tipo Bicarbonato de Magnesio

MUESTRA N° 6								
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2
HCO ₃	376	61	6,1639344	1	6,163934426		6,16393	6,1639344
CO ₃	139,32	60	2,322	2	4,644		4,644	9,288
NO ₃	1,8	62	0,0290323	1	0,029032258		0,02903	0,0290323
PO ₄	0,471	94,9738	0,0049593	3	0,014877787		0,01488	0,0446334
SO ₄	10,4	96	0,1083333	2	0,216666667		0,21667	0,4333333
Cl	19,98	35,45	0,5636107	1	0,563610719		0,56361	0,5636107
S	8,11	32	0,2534375	2	0,506875		0,50688	1,01375
Ca	70,3	40	1,7575	2	3,515	3,515		7,03
Mg	6,2	24	0,2583333	2	0,516666667	0,516667		1,0333333
Na	127,8	23	5,5565217	1	5,556521739	5,556522		5,5565217
K	3,4	39	0,0871795	1	0,087179487	0,087179		0,0871795
Fe	N.D	55,8	0	3	0	0		0
SiO ₂	N.D	60	0	0	0	0		0
TOTAL						9,675368	12,139	31,243329



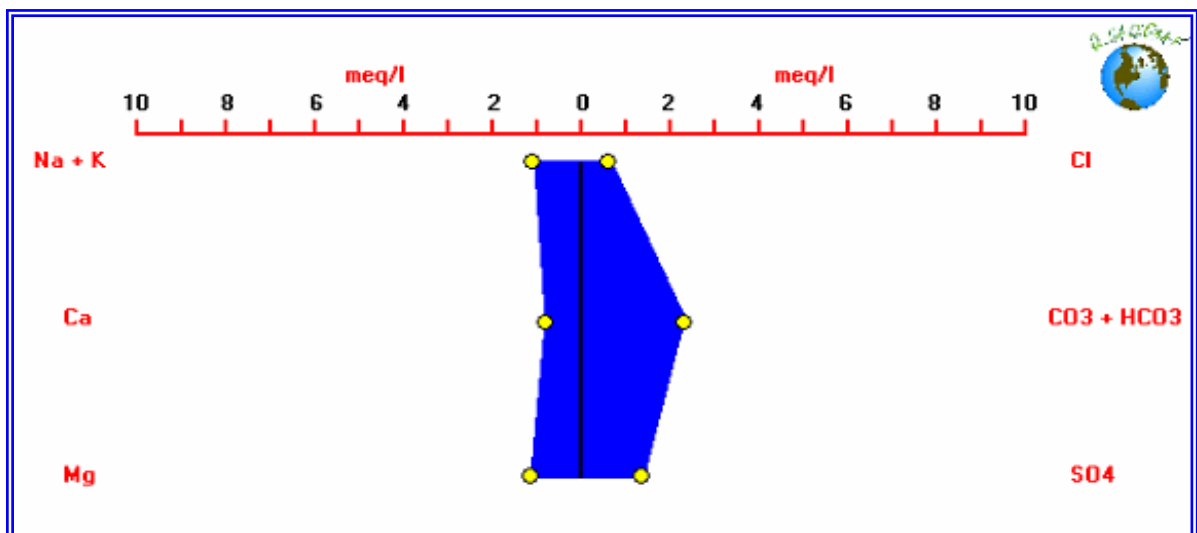
Manto 2, Colminas. Montecristo
 Agua Mezcla
 Tipo Bicarbonato de Sodio

MUESTRA N° 7								
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2
HCO ₃	396,3	61	6,4967213	1	6,496721311		6,49672	6,4967213
CO ₃	69,7	60	1,1616667	2	2,323333333		2,32333	4,6466667
NO ₃	4,1	62	0,066129	1	0,066129032		0,06613	0,066129
PO ₄	0,09	94,9738	0,0009476	3	0,002842889		0,00284	0,0085287
SO ₄	386,9	96	4,0302083	2	8,060416667		8,06042	16,120833
Cl	33,3	35,45	0,9393512	1	0,939351199		0,93935	0,9393512
S	137,5	32	4,296875	2	8,59375		8,59375	17,1875
Ca	104,7	40	2,6175	2	5,235	5,235		10,47
Mg	57,1	24	2,3791667	2	4,758333333	4,758333		9,5166667
Na	231,5	23	10,065217	1	10,06521739	10,06522		10,065217
K	5,3	39	0,1358974	1	0,135897436	0,135897		0,1358974
Fe	N.D	55,8	0	3	0	0		0
SiO ₂	N.D	60	0	0	0	0		0
TOTAL						20,19445	26,4825	75,653512



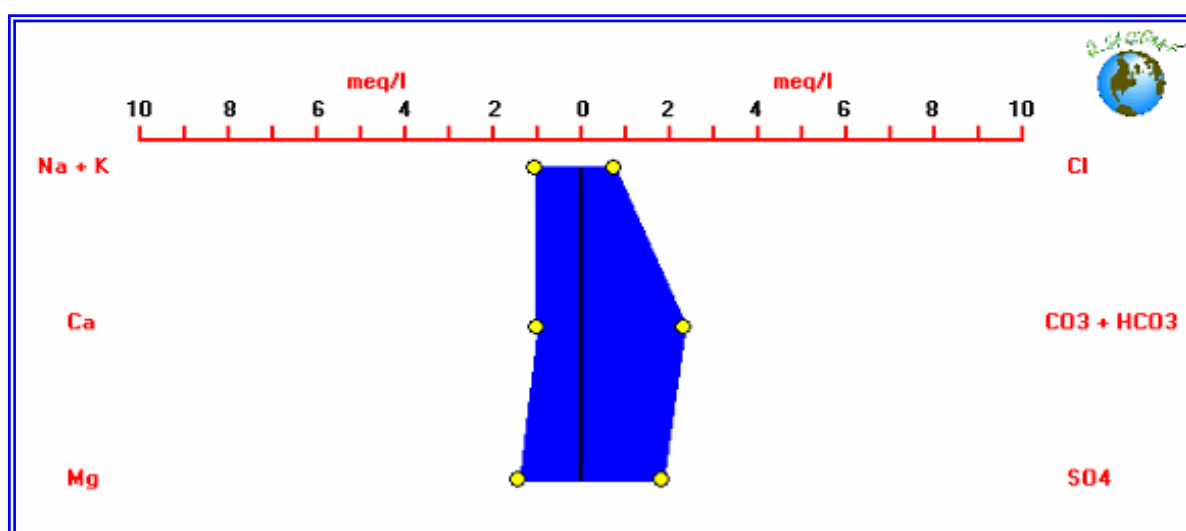
Manto 10, Colminas. Montecristo
 Agua Meteórica
 Tipo Bicarbonato de Sodio

MUESTRA N° 8								
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2
HCO ₃	142	61	2,3278689	1	2,327868852		2,32787	2,3278689
CO ₃	0	60	0	2	0		0	0
NO ₃	1,65	62	0,0266129	1	0,026612903		0,02661	0,0266129
PO ₄	0,079	94,9738	0,0008318	3	0,002495425		0,0025	0,0074863
SO ₄	67	96	0,6979167	2	1,395833333		1,39583	2,7916667
Cl	23,3	35,45	0,6572638	1	0,657263752		0,65726	0,6572638
S	22,333	32	0,6979167	2	1,395833333		1,39583	2,7916667
Ca	15,8	40	0,395	2	0,79	0,79		1,58
Mg	13,3	24	0,5541667	2	1,108333333	1,108333		2,2166667
Na	23,1	23	1,0043478	1	1,004347826	1,004348		1,0043478
K	2,12	39	0,054359	1	0,054358974	0,054359		0,054359
Fe	2,4	55,8	0,0430108	3	0,129032258	0,129032		0,3870968
SiO ₂	12	60	0,2	0	0	0		0
TOTAL						3,086072	5,80591	13,845035



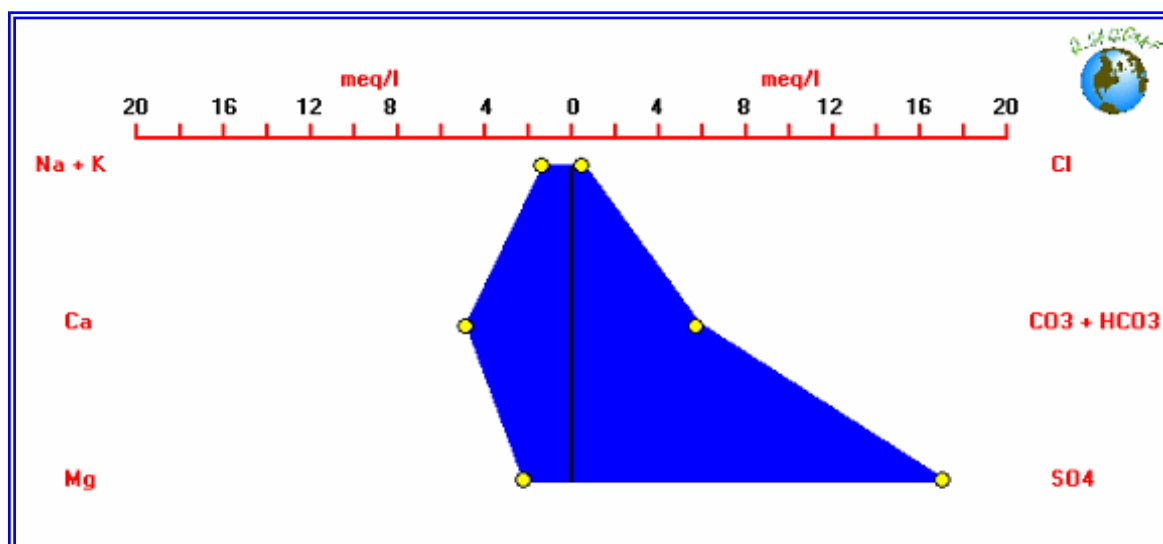
Quebrada el Rosal. El Triunfo
 Agua Meteórica
 Tipo Bicarbonato de Sodio.

MUESTRA N° 9								
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2
HCO ₃	142	61	2,3278689	1	2,327868852		2,32787	2,3278689
CO ₃	0	60	0	2	0		0	0
NO ₃	2,11	62	0,0340323	1	0,034032258		0,03403	0,0340323
PO ₄	0,008	94,9738	8,423E-05	3	0,000252701		0,00025	0,0007581
SO ₄	88	96	0,9166667	2	1,833333333		1,83333	3,6666667
Cl	26,6	35,45	0,7503526	1	0,750352609		0,75035	0,7503526
S	29,333	32	0,9166667	2	1,833333333		1,83333	3,6666667
Ca	19,7	40	0,4925	2	0,985	0,985		1,97
Mg	16,6	24	0,6916667	2	1,383333333	1,383333		2,7666667
Na	22,4	23	0,973913	1	0,973913043	0,973913		0,973913
K	2,19	39	0,0561538	1	0,056153846	0,056154		0,0561538
Fe	1,46	55,8	0,0261649	3	0,078494624	0,078495		0,2354839
SiO ₂	13	60	0,2166667	0	0	0		0
TOTAL						3,476895	6,77917	16,448563



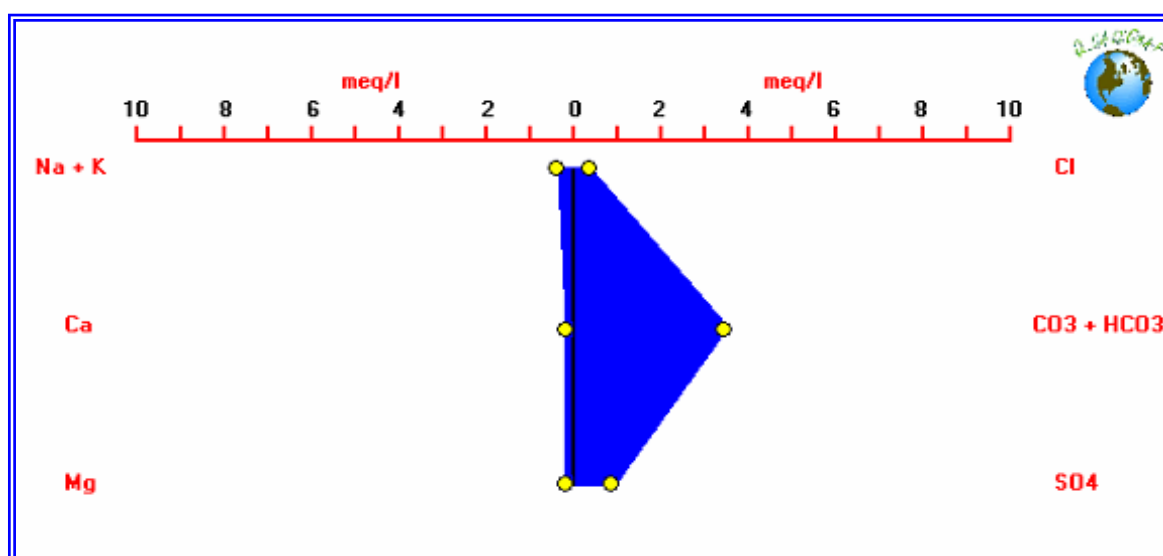
Cruce de Quebradas El Rosal y Chugas. El Triunfo
 Agua Meteórica
 Tipo Bicarbonato de Magnesio.

MUESTRA N° 10								
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2
HCO ₃	283	61	4,6393443	1	4,639344262		4,63934	4,6393443
CO ₃	34,8	60	0,58	2	1,16		1,16	2,32
NO ₃	90,6	62	1,4612903	1	1,461290323		1,46129	1,4612903
PO ₄	0,002	94,9738	2,106E-05	3	6,31753E-05		6,3E-05	0,0001895
SO ₄	822	96	8,5625	2	17,125		17,125	34,25
Cl	20	35,45	0,5641749	1	0,564174894		0,56417	0,5641749
S	274	32	8,5625	2	17,125	17,125		34,25
Ca	96,2	40	2,405	2	4,81	4,81		9,62
Mg	26	24	1,0833333	2	2,166666667	2,16667		4,3333333
Na	28,5	23	1,2391304	1	1,239130435	1,23913		1,2391304
K	2,86	39	0,0733333	1	0,073333333	0,073333		0,0733333
Fe	0,46	55,8	0,0082437	3	0,024731183	0,024731		0,0741935
SiO ₂	10	60	0,1666667	0	0	0		0
TOTAL						25,43886	24,9499	92,82499



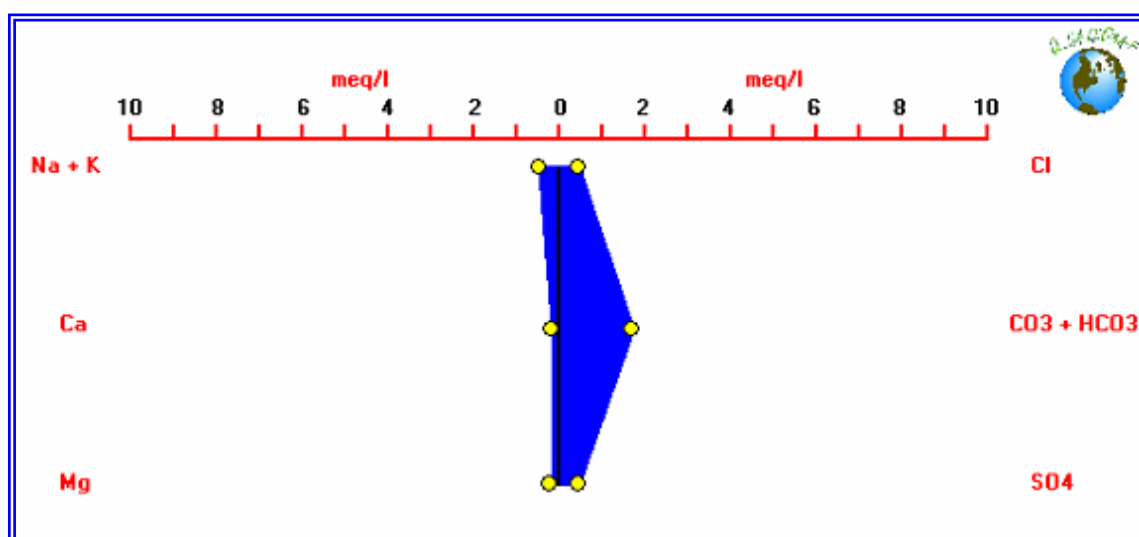
Inclinado la Quinta, Manto 7. El Triunfo
 Agua Meteórica
 Tipo Sulfato de Calcio

MUESTRA N° 11								
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2
HCO ₃	213	61	3,4918033	1	3,491803279		3,4918	3,4918033
CO ₃	0	60	0	2	0		0	0
NO ₃	1,33	62	0,0214516	1	0,021451613		0,02145	0,0214516
PO ₄	0,065	94,9738	0,0006844	3	0,002053198		0,00205	0,0061596
SO ₄	43,2	96	0,45	2	0,9		0,9	1,8
Cl	13,3	35,45	0,3751763	1	0,375176305		0,37518	0,3751763
S	14,4	32	0,45	2	0,9	0,9		1,8
Ca	3,16	40	0,079	2	0,158	0,158		0,316
Mg	2,08	24	0,0866667	2	0,173333333	0,173333		0,3466667
Na	6,82	23	0,2965217	1	0,296521739	0,296522		0,2965217
K	1,88	39	0,0482051	1	0,048205128	0,048205		0,0482051
Fe	7,4	55,8	0,1326165	3	0,397849462	0,397849		1,1935484
SiO ₂	0,4	60	0,0066667	0	0	0		0
TOTAL						1,97391	4,79048	9,6955327



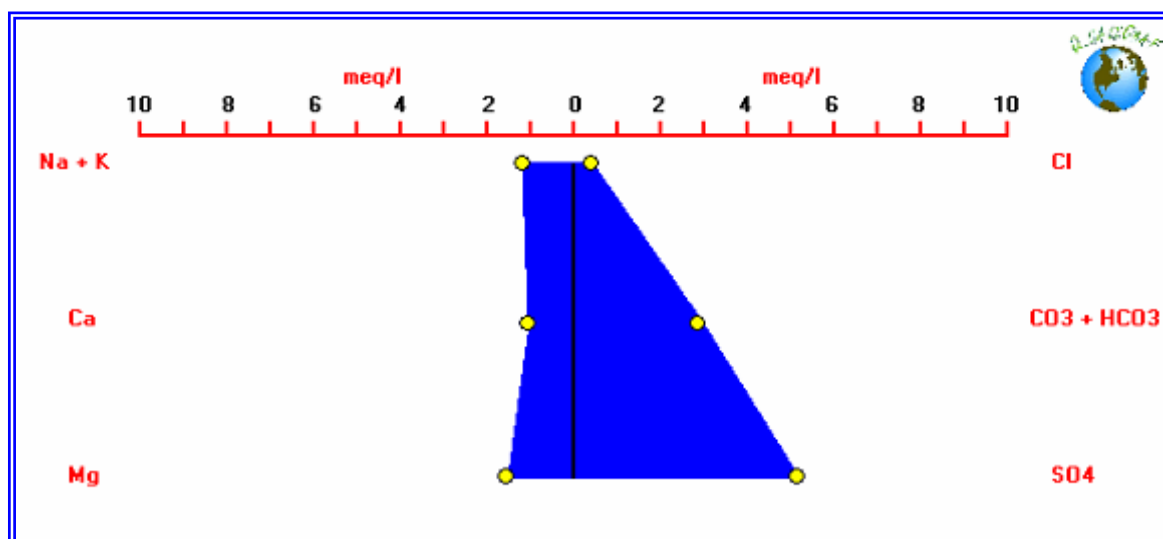
Quebrada Honduras. El Triunfo
 Agua Meteórica
 Tipo Bicarbonato de Sodio.

MUESTRA N° 12								
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2
HCO ₃	106	61	1,73770492	1	1,7377049		1,737705	1,7377049
CO ₃	0	60	0	2	0		0	0
NO ₃	0,88	62	0,01419355	1	0,0141935		0,014194	0,0141935
PO ₄	0,06	94,9738	0,00063175	3	0,0018953		0,001895	0,0056858
SO ₄	21,7	96	0,22604167	2	0,4520833		0,452083	0,9041667
Cl	16,7	35,45	0,47108604	1	0,471086		0,471086	0,471086
S	7,233	32	0,22604167	2	0,4520833	0,452083		0,9041667
Ca	2,81	40	0,07025	2	0,1405	0,1405		0,281
Mg	2,24	24	0,09333333	2	0,1866667	0,186667		0,3733333
Na	9,7	23	0,42173913	1	0,4217391	0,421739		0,4217391
K	0,91	39	0,02333333	1	0,0233333	0,023333		0,0233333
Fe	2,34	55,8	0,04193548	3	0,1258065	0,125806		0,3774194
SiO ₂	9	60	0,15	0	0	0		0
TOTAL						1,350129	2,676963	5,5138288



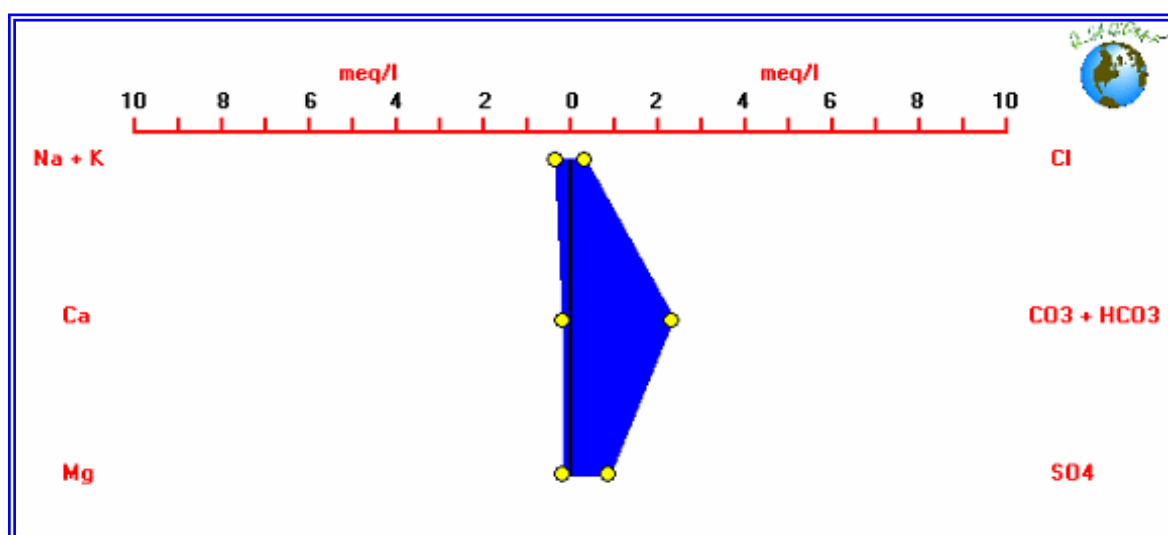
Quebrada Peñas. El Triunfo
 Agua Mezcla
 Tipo Bicarbonato de Sodio

MUESTRA N° 13								
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2
HCO ₃	177	61	2,90163934	1	2,9016393		2,901639	2,9016393
CO ₃	0	60	0	2	0		0	0
NO ₃	4,37	62	0,07048387	1	0,0704839		0,070484	0,0704839
PO ₄	0,074	94,9738	0,00077916	3	0,0023375		0,002337	0,0070125
SO ₄	248	96	2,58333333	2	5,1666667		5,166667	10,333333
Cl	15	35,45	0,42313117	1	0,4231312		0,423131	0,4231312
S	82,67	32	2,58333333	2	5,1666667	5,166667		10,333333
Ca	20,4	40	0,51	2	1,02	1,02		2,04
Mg	18,2	24	0,75833333	2	1,5166667	1,516667		3,033333
Na	25,4	23	1,10434783	1	1,1043478	1,104348		1,1043478
K	1,96	39	0,05025641	1	0,0502564	0,050256		0,0502564
Fe	3,64	55,8	0,06523297	3	0,1956989	0,195699		0,5870968
SiO ₂	11	60	0,18333333	0	0	0		0
TOTAL						9,053636	8,564259	30,883968



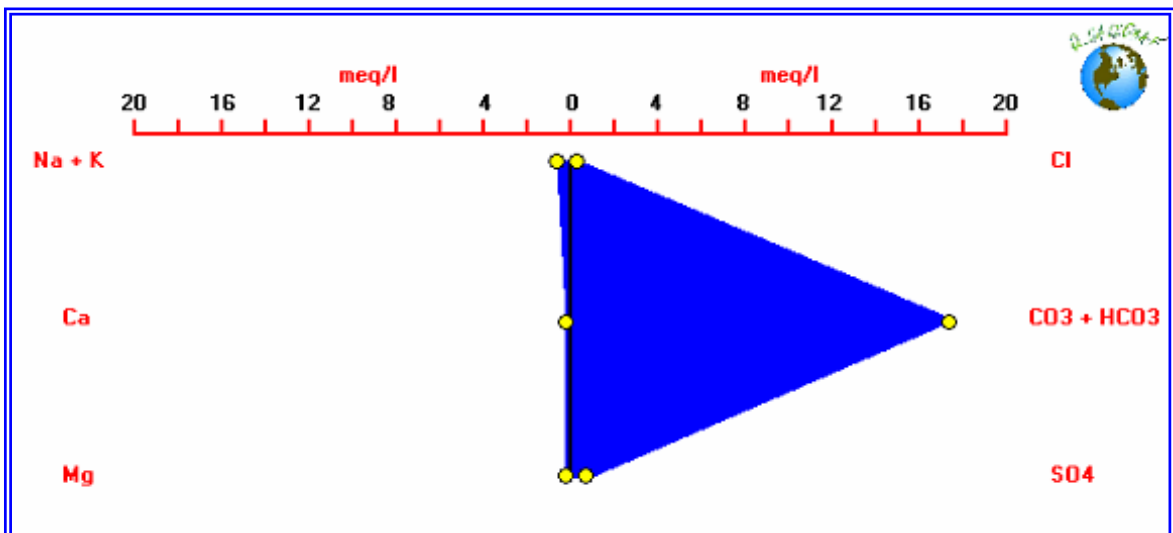
Quebrada Chorrera. El Triunfo
 Agua Meteórica
 Tipo Sulfato de Magnesio.

MUESTRA N° 14								
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2
HCO ₃	142	61	2,32786885	1	2,3278689		2,327869	2,3278689
CO ₃	0	60	0	2	0		0	0
NO ₃	1,25	62	0,02016129	1	0,0201613		0,020161	0,0201613
PO ₄	0,098	94,9738	0,00103186	3	0,0030956		0,003096	0,0092868
SO ₄	42,2	96	0,43958333	2	0,8791667		0,879167	1,7583333
Cl	11,7	35,45	0,33004231	1	0,3300423		0,330042	0,3300423
S	14,07	32	0,43958333	2	0,8791667	0,879167		1,7583333
Ca	2,81	40	0,07025	2	0,1405	0,1405		0,281
Mg	1,97	24	0,08208333	2	0,1641667	0,164167		0,3283333
Na	6,27	23	0,2726087	1	0,2726087	0,272609		0,2726087
K	1,99	39	0,05102564	1	0,0510256	0,051026		0,0510256
Fe	4,93	55,8	0,08835125	3	0,2650538	0,265054		0,7951613
SiO ₂	6	60	0,1	0	0	0		0
TOTAL						1,772521	3,560335	7,9321549



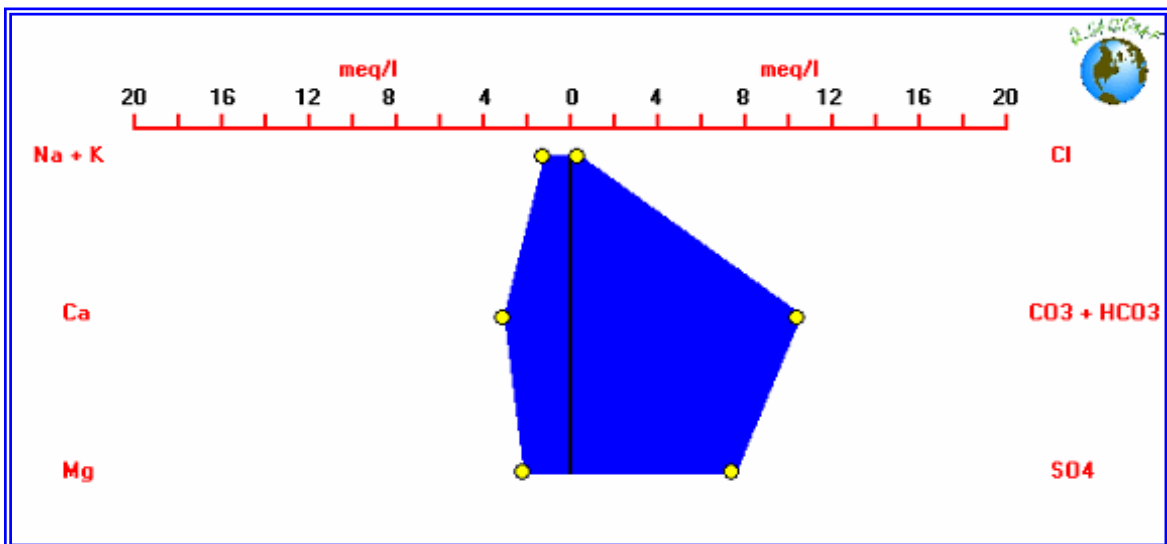
Quebrada El Mortiño. El Triunfo
 Agua Meteórica
 Tipo Bicarbonato de Sodio.

MUESTRA N° 15								
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2
HCO ₃	1062	61	17,4098361	1	17,409836		17,40984	17,409836
CO ₃	0	60	0	2	0		0	0
NO ₃	1,35	62	0,02177419	1	0,0217742		0,021774	0,0217742
PO ₄	0,081	94,9738	0,00085287	3	0,0025586		0,002559	0,0076758
SO ₄	35,6	96	0,37083333	2	0,7416667		0,741667	1,4833333
Cl	13,3	35,45	0,3751763	1	0,3751763		0,375176	0,3751763
S	11,87	32	0,37083333	2	0,7416667	0,741667		1,4833333
Ca	3,16	40	0,079	2	0,158	0,158		0,316
Mg	2,16	24	0,09	2	0,18	0,18		0,36
Na	11,5	23	0,5	1	0,5	0,5		0,5
K	1,87	39	0,04794872	1	0,0479487	0,047949		0,0479487
Fe	6,22	55,8	0,11146953	3	0,3344086	0,334409		1,0032258
SiO ₂	15	60	0,25	0	0	0		0
TOTAL						1,962024	18,55101	23,008304



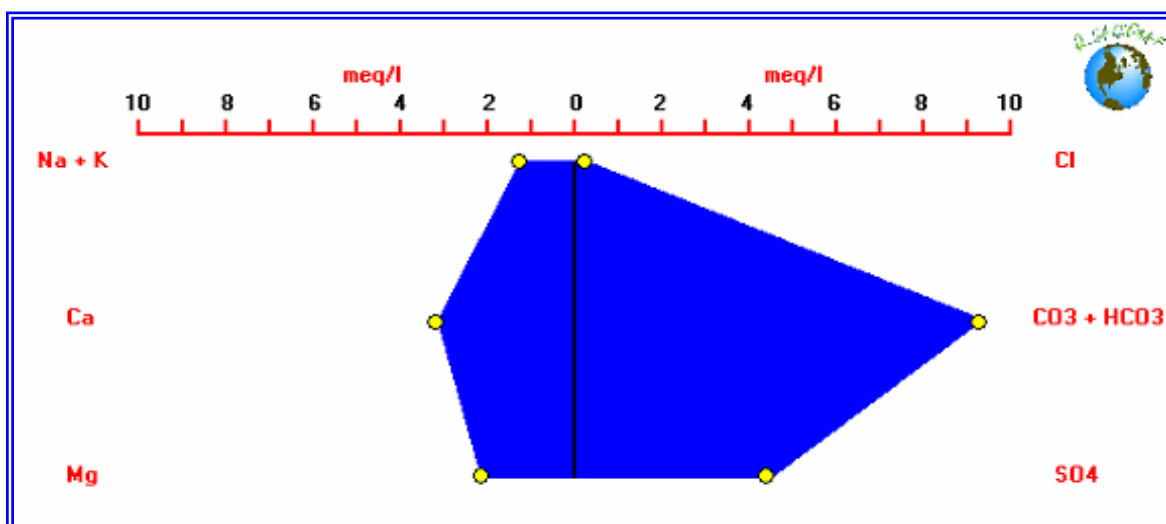
Quebrada Pilitas. El Triunfo
 Agua Mezcla
 Tipo Bicarbonato de Sodio.

MUESTRA N° 16								
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2
HCO ₃	213	61	3,49180328	1	3,4918033		3,491803	3,4918033
CO ₃	209	60	3,48333333	2	6,9666667		6,966667	13,9333333
NO ₃	18	62	0,29032258	1	0,2903226		0,290323	0,2903226
PO ₄	0,281	94,9738	0,00295871	3	0,0088761		0,008876	0,0266284
SO ₄	359	96	3,73958333	2	7,4791667		7,479167	14,9583333
Cl	13,3	35,45	0,3751763	1	0,3751763		0,375176	0,3751763
S	119,7	32	3,73958333	2	7,4791667	7,479167		14,9583333
Ca	60,4	40	1,51	2	3,02	3,02		6,04
Mg	25,7	24	1,07083333	2	2,1416667	2,141667		4,2833333
Na	26,2	23	1,13913043	1	1,1391304	1,13913		1,1391304
K	2,87	39	0,07358974	1	0,0735897	0,07359		0,0735897
Fe	0,16	55,8	0,00286738	3	0,0086022	0,008602		0,0258065
SiO ₂	9	60	0,15	0	0	0		0
TOTAL						13,86216	18,61201	59,595791



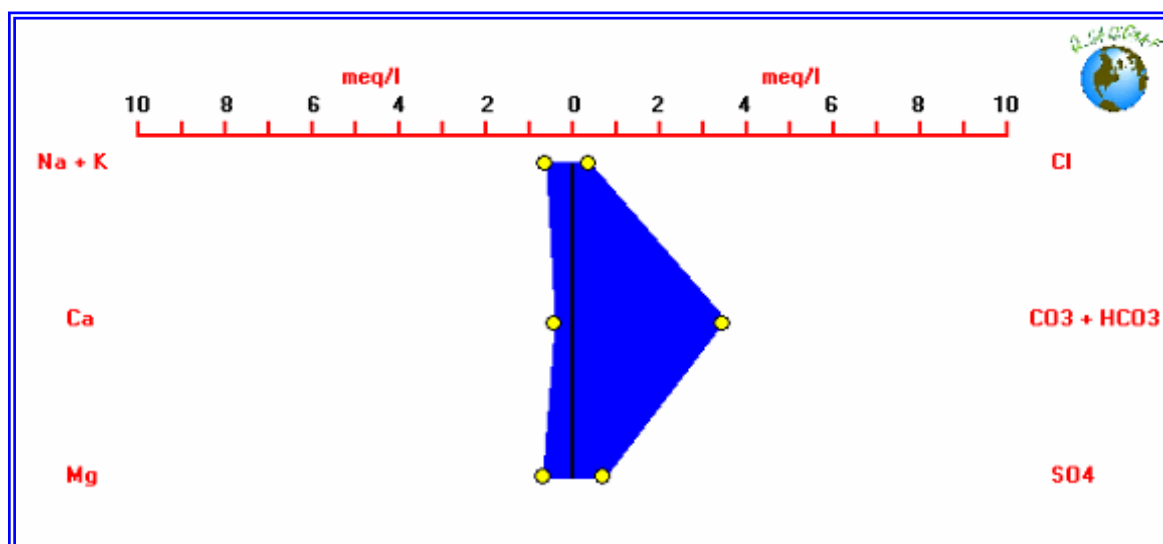
Mina La Esperanza, Manto 7. El Triunfo
 Agua Meteórica
 Tipo Bicarbonato de Calcio.

MUESTRA N° 17								
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2
HCO ₃	425	61	6,96721311	1	6,9672131		6,967213	6,9672131
CO ₃	69,7	60	1,16166667	2	2,3233333		2,323333	4,6466667
NO ₃	2,92	62	0,04709677	1	0,0470968		0,047097	0,0470968
PO ₄	0,084	94,9738	0,00088445	3	0,0026534		0,002653	0,0079601
SO ₄	213	96	2,21875	2	4,4375		4,4375	8,875
Cl	10	35,45	0,28208745	1	0,2820874		0,282087	0,2820874
S	71	32	2,21875	2	4,4375	4,4375		8,875
Ca	62,8	40	1,57	2	3,14	3,14		6,28
Mg	25,5	24	1,0625	2	2,125	2,125		4,25
Na	27,3	23	1,18695652	1	1,1869565	1,186957		1,1869565
K	2,28	39	0,05846154	1	0,0584615	0,058462		0,0584615
Fe	N.D	55,8	0	3	0	0		0
SiO ₂	11	60	0,18333333	0	0	0		0
TOTAL						10,94792	14,05988	41,476442



Reservorio y Manto 7, Colminas. Montecristo
 Agua Meteórica
 Tipo Bicarbonato de Calcio.

MUESTRA N° 18									
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2	
HCO ₃	213	61	3,49180328	1	3,4918033		3,491803	3,4918033	
CO ₃	0	60	0	2	0		0	0	
NO ₃	0,33	62	0,00532258	1	0,0053226		0,005323	0,0053226	
PO ₄	0,169	94,9738	0,00177944	3	0,0053383		0,005338	0,0160149	
SO ₄	34,8	96	0,3625	2	0,725		0,725	1,45	
Cl	13,3	35,45	0,3751763	1	0,3751763		0,375176	0,3751763	
S	11,6	32	0,3625	2	0,725	0,725		1,45	
Ca	7,72	40	0,193	2	0,386	0,386		0,772	
Mg	7,94	24	0,33083333	2	0,6616667	0,661667		1,3233333	
Na	12,4	23	0,53913043	1	0,5391304	0,53913		0,5391304	
K	2,3	39	0,05897436	1	0,0589744	0,058974		0,0589744	
Fe	5,87	55,8	0,10519713	3	0,3155914	0,315591		0,9467742	
SiO ₂	12	60	0,2	0	0	0		0	
TOTAL							2,686363	4,60264	10,428529

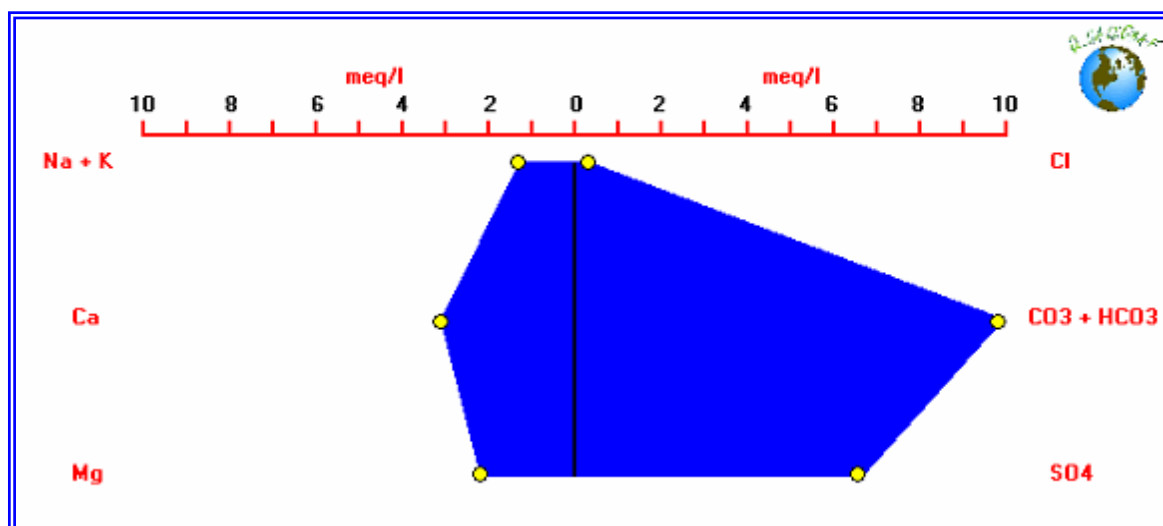


Quebrada Pueblo Viejo. Montecristo

Agua Mezcla

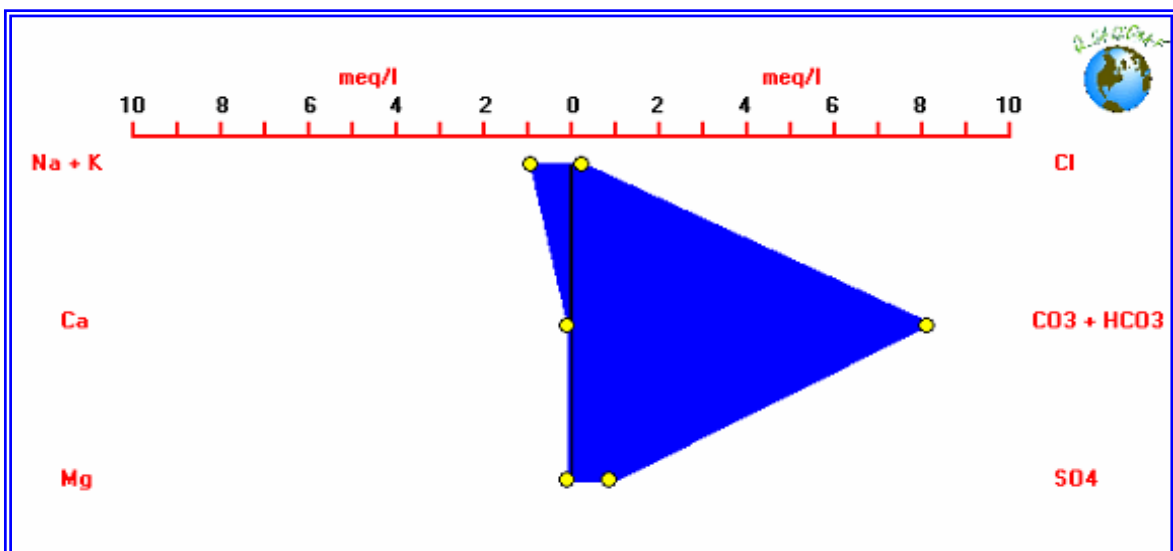
Tipo Bicarbonato de Sodio.

MUESTRA N° 19								
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2
HCO ₃	460	61	7,54098361	1	7,5409836		7,540984	7,5409836
CO ₃	69,7	60	1,16166667	2	2,3233333		2,323333	4,6466667
NO ₃	3,57	62	0,05758065	1	0,0575806		0,057581	0,0575806
PO ₄	0,023	94,9738	0,00024217	3	0,0007265		0,000727	0,0021795
SO ₄	317	96	3,30208333	2	6,6041667		6,604167	13,208333
Cl	11,7	35,45	0,33004231	1	0,3300423		0,330042	0,3300423
S	105,7	32	3,30208333	2	6,6041667	6,604167		13,208333
Ca	61,4	40	1,535	2	3,07	3,07		6,14
Mg	25,6	24	1,06666667	2	2,1333333	2,133333		4,2666667
Na	27,6	23	1,2	1	1,2	1,2		1,2
K	2,59	39	0,06641026	1	0,0664103	0,06641		0,0664103
Fe	N.D	55,8	0	3	0	0		0
SiO ₂	10	60	0,16666667	0	0	0		0
TOTAL						13,07391	16,85683	50,667196



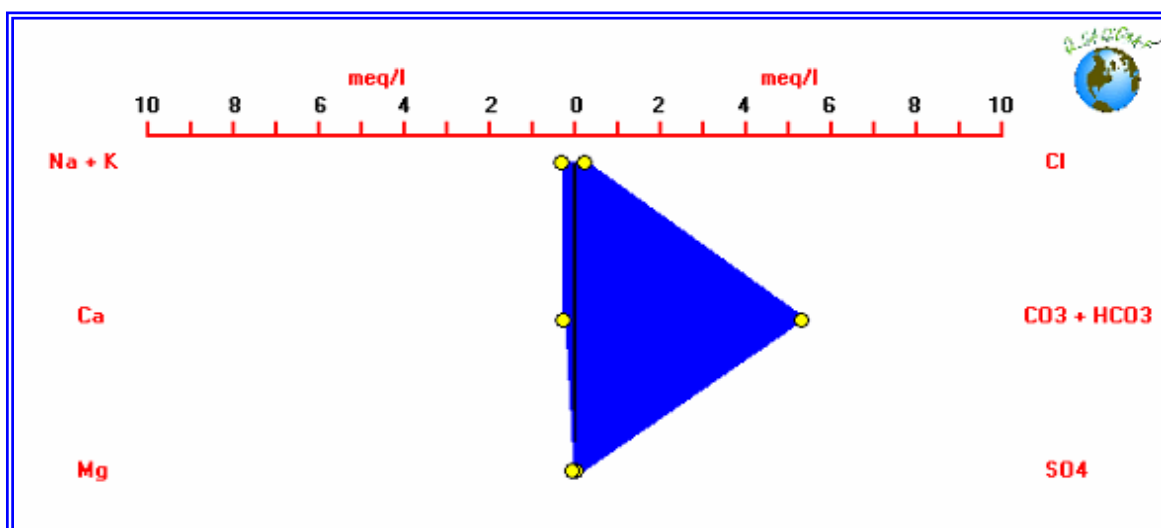
Quebrada Palacios. Montecristo
 Agua Meteórica
 Tipo Bicarbonato de Calcio.

MUESTRA N° 20								
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2
HCO ₃	496	61	8,13114754	1	8,1311475		8,131148	8,1311475
CO ₃	0	60	0	2	0		0	0
NO ₃	15,3	62	0,24677419	1	0,2467742		0,246774	0,2467742
PO ₄	0,089	94,9738	0,0009371	3	0,0028113		0,002811	0,0084339
SO ₄	43,1	96	0,44895833	2	0,8979167		0,897917	1,7958333
Cl	10	35,45	0,28208745	1	0,2820874		0,282087	0,2820874
S	14,37	32	0,44895833	2	0,8979167	0,897917		1,7958333
Ca	1,76	40	0,044	2	0,088	0,088		0,176
Mg	0,71	24	0,02958333	2	0,0591667	0,059167		0,1183333
Na	20,4	23	0,88695652	1	0,8869565	0,886957		0,8869565
K	0,86	39	0,02205128	1	0,0220513	0,022051		0,0220513
Fe	0,22	55,8	0,00394265	3	0,011828	0,011828		0,0354839
SiO ₂	11	60	0,18333333	0	0	0		0
TOTAL						1,965919	9,560737	13,498935



Mina La Golondrina, Manto 2. El Triunfo
 Agua Mezcla
 Tipo Bicarbonato de Sodio.

MUESTRA N° 21								
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2
HCO ₃	212	61	3,47540984	1	3,4754098		3,47541	3,4754098
CO ₃	55,7	60	0,92833333	2	1,8566667		1,856667	3,7133333
NO ₃	0,75	62	0,01209677	1	0,0120968		0,012097	0,0120968
PO ₄	0,033	94,9738	0,00034746	3	0,0010424		0,001042	0,0031272
SO ₄	3,3	96	0,034375	2	0,06875		0,06875	0,1375
Cl	10	35,45	0,28208745	1	0,2820874		0,282087	0,2820874
S	1,1	32	0,034375	2	0,06875	0,06875		0,1375
Ca	4,56	40	0,114	2	0,228	0,228		0,456
Mg	0,1	24	0,00416667	2	0,00833333	0,0083333		0,0166667
Na	5,62	23	0,24434783	1	0,2443478	0,244348		0,2443478
K	1,33	39	0,03410256	1	0,0341026	0,034103		0,0341026
Fe	N.D	55,8	0	3	0	0		0
SiO ₂	1	60	0,01666667	0	0	0		0
TOTAL						0,583534	5,696053	8,5121716

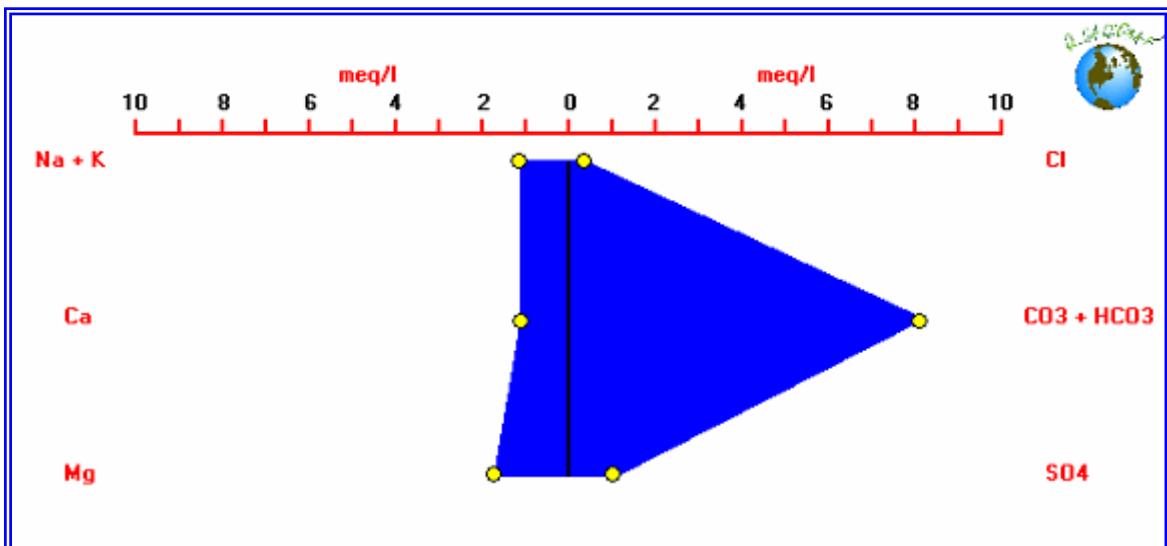


Agua Lluvia, Noche 9 Noviembre de 2006. Ubaté

Agua Meteórica

Tipo Bicarbonato de Sodio.

MUESTRA N° 22								
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2
HCO ₃	425	61	6,96721311	1	6,9672131		6,967213	6,9672131
CO ₃	34,8	60	0,58	2	1,16		1,16	2,32
NO ₃	3,76	62	0,06064516	1	0,0606452		0,060645	0,0606452
PO ₄	0,019	94,9738	0,00020006	3	0,0006002		0,0006	0,0018005
SO ₄	50,5	96	0,52604167	2	1,0520833		1,052083	2,1041667
Cl	13,3	35,45	0,3751763	1	0,3751763		0,375176	0,3751763
S	16,83	32	0,52604167	2	1,0520833	1,052083		2,1041667
Ca	21,4	40	0,535	2	1,07	1,07		2,14
Mg	20,3	24	0,84583333	2	1,6916667	1,691667		3,3833333
Na	24,9	23	1,0826087	1	1,0826087	1,082609		1,0826087
K	1,09	39	0,02794872	1	0,0279487	0,027949		0,0279487
Fe	0,05	55,8	0,00089606	3	0,0026882	0,002688		0,0080645
SiO ₂	22	60	0,36666667	0	0	0		0
TOTAL						4,926996	9,615718	20,575124

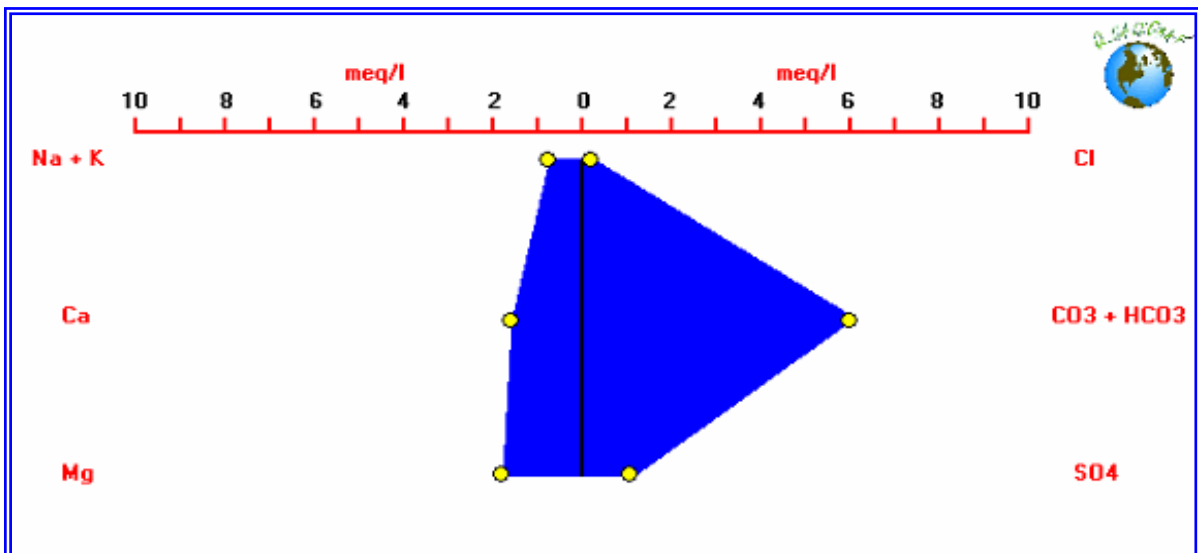


Mina Cajón 2, Manto 7. Lenguazaque

Agua Meteórica

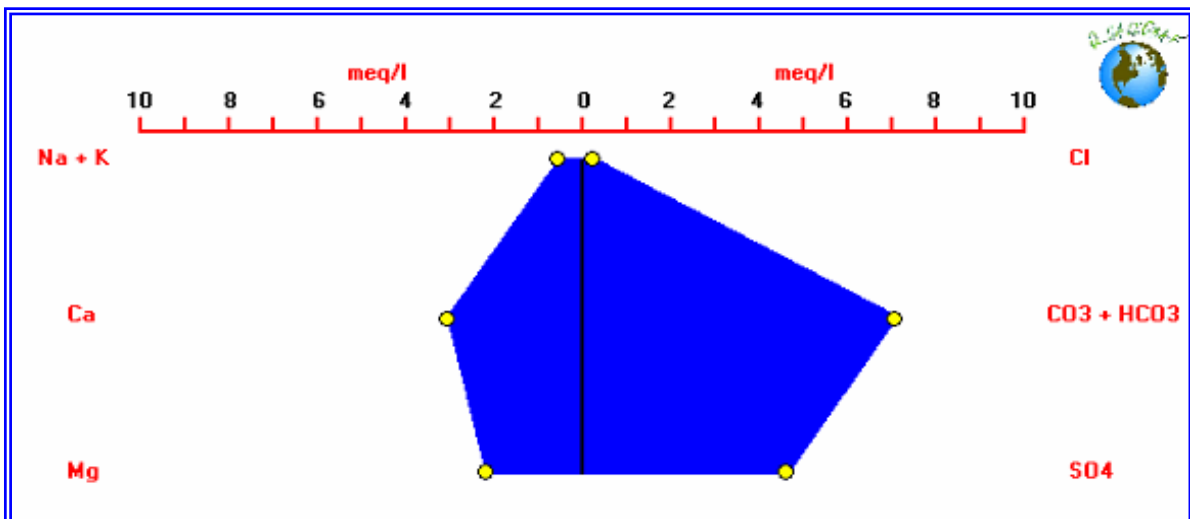
Tipo Bicarbonato de Magnesio.

MUESTRA N° 23								
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2
HCO ₃	283	61	4,6393443	1	4,639344262		4,639344	4,6393443
CO ₃	41,8	60	0,6966667	2	1,393333333		1,393333	2,7866667
NO ₃	4,94	62	0,0796774	1	0,079677419		0,079677	0,0796774
PO ₄	0,038	94,9738	0,0004001	3	0,001200331		0,0012	0,003601
SO ₄	53,2	96	0,5541667	2	1,108333333		1,108333	2,2166667
Cl	8,3	35,45	0,2341326	1	0,234132581		0,234133	0,2341326
S	17,733	32	0,5541667	2	1,108333333	1,108333		2,2166667
Ca	31,2	40	0,78	2	1,56	1,56		3,12
Mg	21,1	24	0,8791667	2	1,758333333	1,758333		3,5166667
Na	15,9	23	0,6913043	1	0,691304348	0,691304		0,6913043
K	1,68	39	0,0430769	1	0,043076923	0,043077		0,0430769
Fe	0,69	55,8	0,0123656	3	0,037096774	0,037097		0,1112903
SiO ₂	24	60	0,4	0	0	0		0
TOTAL						5,198145	7,456021	19,659094



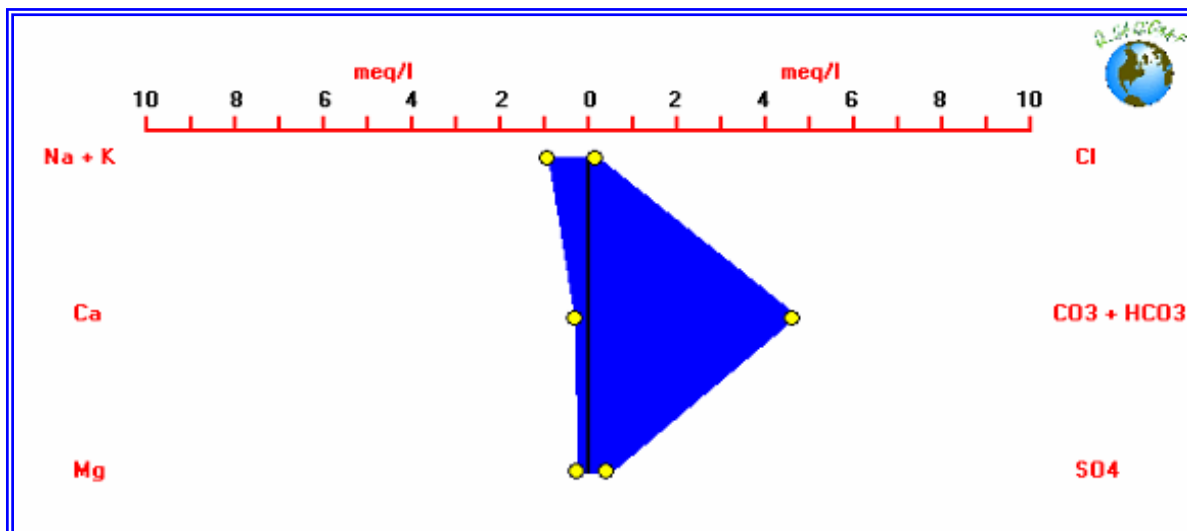
Mina Cajón 1, Manto 1 y Manto 3. Lenguazaque
 Agua Meteórica
 Tipo Bicarbonato de Magnesio.

MUESTRA N° 24									
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2	
HCO ₃	319	61	5,2295082	1	5,229508197		5,229508	5,2295082	
CO ₃	55,7	60	0,9283333	2	1,856666667		1,856667	3,7133333	
NO ₃	0,66	62	0,0106452	1	0,010645161		0,010645	0,0106452	
PO ₄	0,044	94,9738	0,0004633	3	0,001389857		0,00139	0,0041696	
SO ₄	222	96	2,3125	2	4,625		4,625	9,25	
Cl	10	35,45	0,2820874	1	0,282087447		0,282087	0,2820874	
S	74	32	2,3125	2	4,625	4,625		9,25	
Ca	60,7	40	1,5175	2	3,035	3,035		6,07	
Mg	25,7	24	1,0708333	2	2,141666667	2,141667		4,2833333	
Na	11,4	23	0,4956522	1	0,495652174	0,495652		0,4956522	
K	1,99	39	0,0510256	1	0,051025641	0,051026		0,0510256	
Fe	N.D	55,8	0	3	0	0		0	
SiO ₂	30	60	0,5	0	0	0		0	
TOTAL							10,34834	12,0053	38,639755



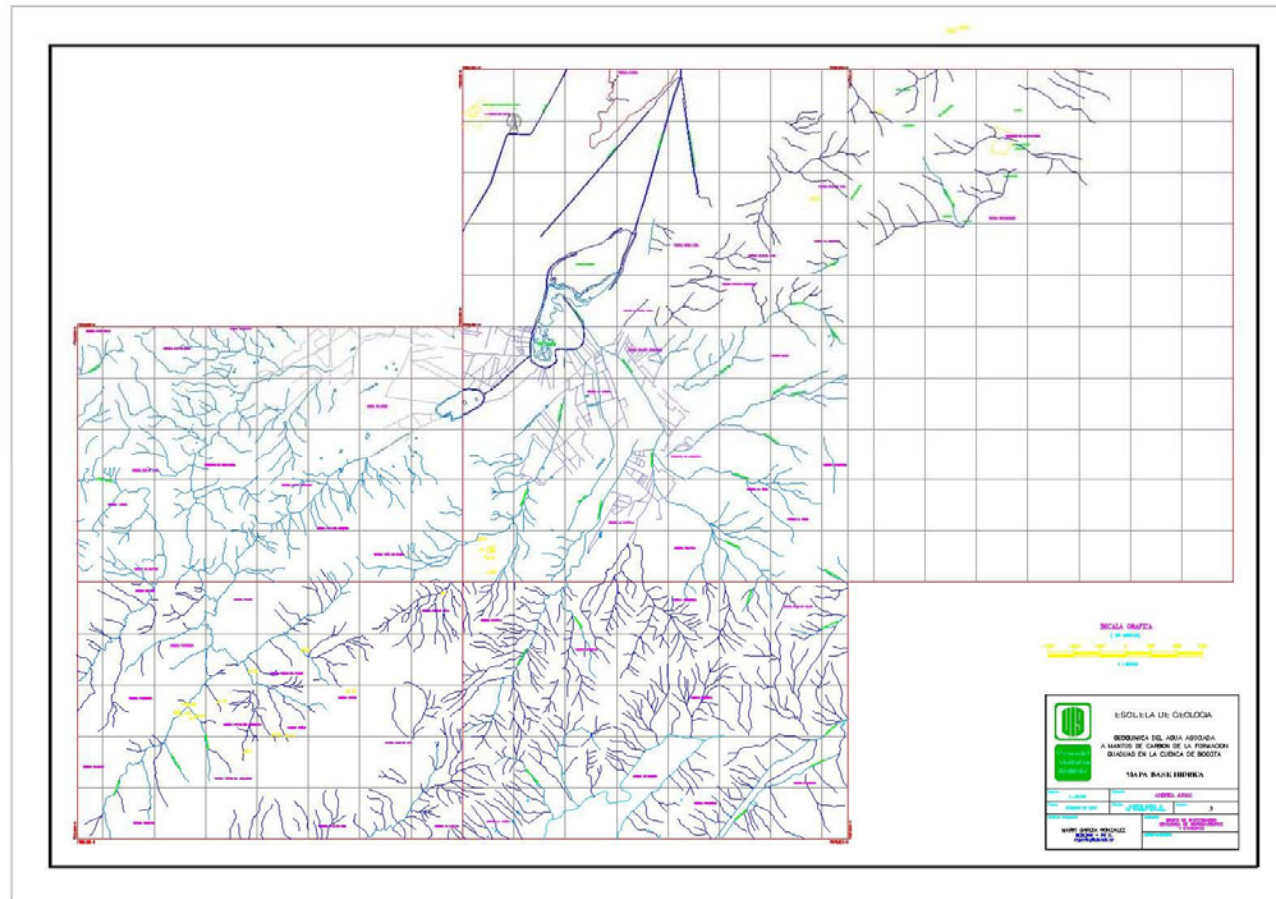
Compañía Minera Los Pinos, Mina Veta Grande Manto 13. Lenguazaque
 Agua Meteórica
 Tipo Bicarbonato de Calcio.

MUESTRA N° 25								
ELEMENTO	PPM	PESO ATOMICO	MILIMOLES	(Z)	MEQ	CATIONES	ANIONES	M*Z2
HCO ₃	213	61	3,4918033	1	3,491803279		3,491803	3,4918033
CO ₃	34,8	60	0,58	2	1,16		1,16	2,32
NO ₃	2,79	62	0,045	1	0,045		0,045	0,045
PO ₄	0,347	94,9738	0,0036536	3	0,010960918		0,010961	0,0328828
SO ₄	21,2	96	0,2208333	2	0,441666667		0,441667	0,8833333
Cl	6,7	35,45	0,1889986	1	0,18899859		0,188999	0,1889986
S	7,0667	32	0,2208333	2	0,441666667	0,441667		0,8833333
Ca	5,97	40	0,14925	2	0,2985	0,2985		0,597
Mg	2,71	24	0,1129167	2	0,225833333	0,225833		0,4516667
Na	19,6	23	0,8521739	1	0,852173913	0,852174		0,8521739
K	1,17	39	0,03	1	0,03	0,03		0,03
Fe	2,11	55,8	0,0378136	3	0,11344086	0,113441		0,3403226
SiO ₂	10	60	0,1666667	0	0	0		0
TOTAL						1,961615	5,338429	10,116514

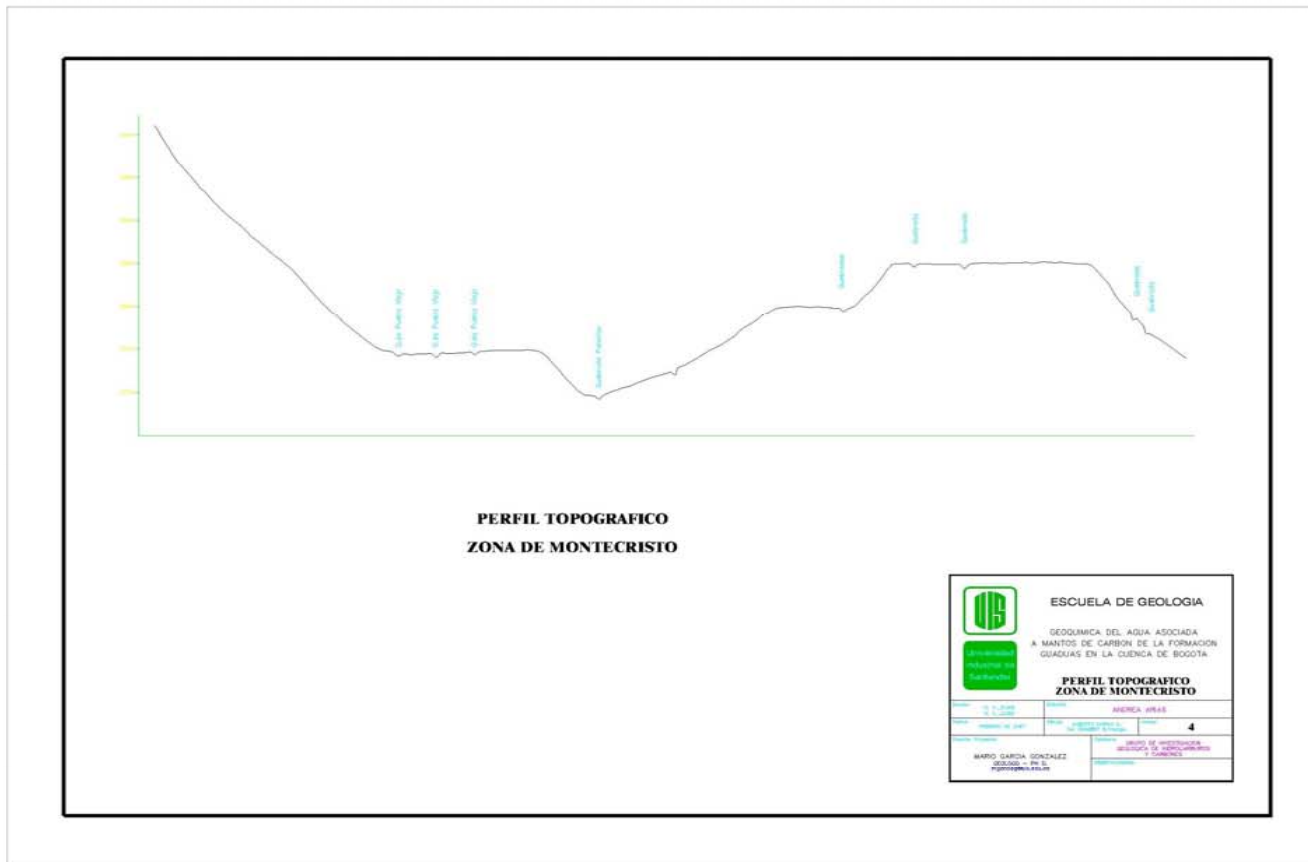


Manto 13 (Depósito). Lenguaque
 Agua Mezcla
 Tipo Bicarbonato de Sodio.

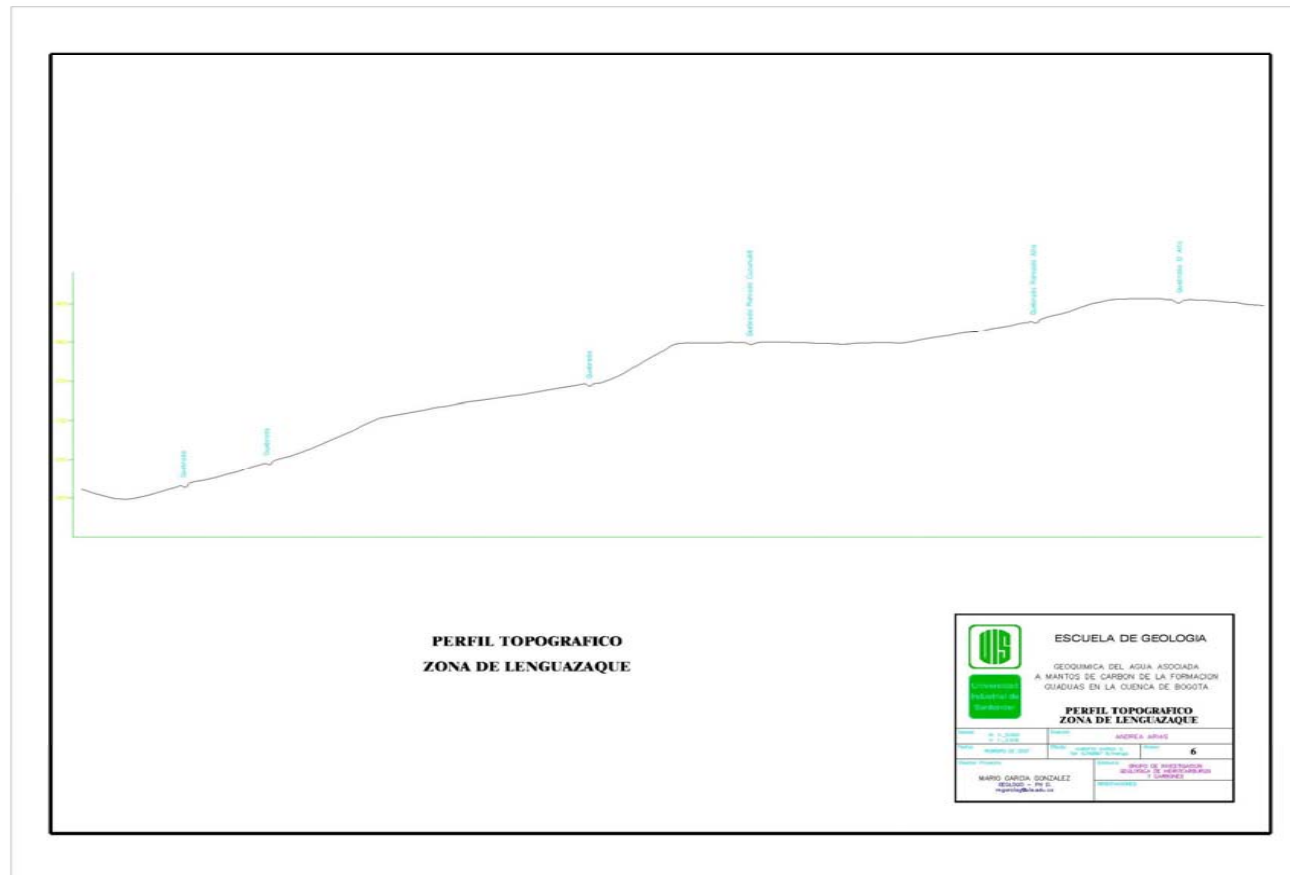
ANEXO 3. BASE HIDRICA ZONA DE ESTUDIO



ANEXO 4. PERFIL TOPOGRAFICO ZONA DE MONTECRISTO



ANEXO 6. PERFIL TOPOGRAFICO ZONA DE LENGUAZAQUE



ANEXO 7. PERFIL TOPOGRAFICO GENERAL ZONA DE ESTUDIO



