

**INVENTARIO DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y MUESTREO
HIDROQUIMICO EN LA CUENCA EXPERIMENTAL DEL RÍO SUCIO, TONA
SANTANDER**

**LARY YAJAIRA MENDOZA ACEVEDO
FABIÁN ANDRÉS OROZCO ALBAÑIL**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2005**

**INVENTARIO DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y MUESTREO
HIDROQUIMICO EN LA CUENCA EXPERIMENTAL DEL RÍO SUCIO, TONA
SANTANDER**

**LARY YAJAIRA MENDOZA ACEVEDO
FABIÁN ANDRÉS OROZCO ALBAÑIL**

**Trabajo de Grado realizado en la modalidad de investigación como requisito
para optar por el título de Ingeniero Civil**

**Director
JORGE GUZMAN JAIMES
Ingeniero Civil MSc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2005**

A mi Familia

Lary Yajaira Mendoza Acevedo

A Dios,

A mis Padres,

A mis hermanos.

Fabián Andrés Orozco Albañil

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Escuela de Ingeniería Civil, por la formación recibida como profesional

Ingeniero. MSc Jorge Alberto Guzmán, director del proyecto, por su apoyo respaldo y confianza.

Los Ingenieros Ángel Anaya y Edward Niño, que siempre estuvieron dispuestos a colaborar de manera oportuna y desinteresada.

Nuestros compañeros de travesía (Alexandra Ulloa, Nadia R. Rojas, Carlos Buenahora y Henry Osorio), por su amistad y colaboración durante la etapa de campo.

Los habitantes de la Vereda el Tembladal, por su hospitalidad.

Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, por apoyar la investigación.

Laboratorio de Limnología de la UIS, por la colaboración prestada.

CONTENIDO

	pag.
INTRODUCCIÓN.....	1
1 CUENCA EXPERIMENTAL DE RÍO SUCIO.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.1.1 OBJETIVO GENERAL:.....	2
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	2
1.2 MARCO GEOGRÁFICO:.....	3
1.3 MARCO GEOLÓGICO.....	4
1.3.1 LITOLOGIA.....	5
1.4 VIAS DE ACCESO.....	8
1.5 VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO.....	9
1.6 CLIMA Y PRECIPITACIÓN.....	10
1.7 ESTUDIOS ANTERIORES.....	12
2 INVENTARIO DE CORRIENTES TRIBUTARIAS.....	15
2.1 NOMENCLATURA DE LOS AFLUENTES.....	15
2.2 METODOLOGÍA.....	17
2.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS AFLUENTES.....	20
2.3.1 CHORRERON.....	21
2.3.2 COLMENA.....	22
2.3.3 LÓPEZ.....	23
2.3.4 FIGUEROS.....	26
2.3.5 RELUMBRANTE.....	27
2.3.6 CASA BALCÓN.....	28
2.3.7 QUEBRADA RÍO SUCIO.....	29
2.4 AFORO DE LA RED HÍDRICA DE LA CERS ORIENTADO A EL ESTUDIO DEL CAUDAL BASE.....	38
3 MARCO DE REFERENCIA HIDROQUÍMICO.....	43
3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LAS AGUAS.....	43
3.1.1 Temperatura.....	44
3.1.2 Oxígeno Disuelto (mg/L, %).....	44
3.1.3 Salinidad (mg/l).....	44

3.1.4	Electro Conductividad (EC)	45
3.1.5	Potencial de Hidrogeno (pH)	45
3.1.6	Redox (mV)	46
3.2	REGIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	47
3.2.1	Inverso de la potencia de una distancia	48
3.2.2	Mínima Curvatura	48
3.2.3	Vecino más Cercano	48
3.2.4	Metrica de Datos	49
3.3	TÉCNICAS DE ANÁLISIS MULTIVARIANTES	49
3.3.1	Calculo de la distancia	51
3.4	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS	54
3.4.1	DUREZA TOTAL	54
3.4.2	CALCIO (Ca ⁺⁺)	55
3.4.3	HIERRO TOTAL (Fe)	55
3.4.4	MAGNESIO (Mg ⁺⁺)	55
3.4.5	POTASIO (K ⁺)	56
3.4.6	SODIO (Na ⁺)	56
3.4.7	SULFATOS (SO ₄ ⁻²)	57
3.4.8	ALCALINIDAD	57
3.4.9	CLORUROS (Cl ⁻)	57
3.4.10	NITRITOS Y NITRATOS	58
3.4.11	MANGANESO	58
3.4.12	IONES BICARBONATO (CO ₃ H ⁻²) Y CARBONATO (CO ₃ ⁻²)	59
3.4.13	EVOLUCIÓN QUÍMICA DEL AGUA	59
3.5	CARACTERIZACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	61
3.5.1	DIAGRAMA DE PIPER	61
3.5.2	DIAGRAMA LOGARITMICO (diagrama de Schoeller-Berkaloff)	64
4	ANALISIS DE DATOS	66
4.1	MUESTREO DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	66
4.1.1	VALIDACIÓN DE MEDICIONES DE LA SONDA MULTIPARÁMETRO	67
4.1.2	SCREENING DE LOS DATOS	68

4.1.3	ESPACIALIZACIÓN DE LOS DATOS.....	72
4.1.4	ANÁLISIS DE CLUSTER.....	79
4.1.5	AMBIENTES REDUCTORES DETECTADOS EN LA C.E.R.S.....	84
4.2	ANÁLISIS DE IONES MAYORES EN LAS ZONAS HOMOGÉNEAS.....	86
4.2.1	DETERMINACIONES QUÍMICAS DE LABORATORIO	86
4.2.2	SEGUIMIENTO DEL PERIODO DE LLUVIAS	87
4.2.3	SEGUIMIENTO DEL PERIODO DE ESTIAJE	93
4.2.4	BALANCE QUÍMICO	95
4.2.5	CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS.....	96
4.2.6	COMPARACIÓN ENTRE ANÁLISIS QUÍMICO EN EPOCAS DE LLUVIA Y ESTIAJE	101
5	CONCLUSIONES	106
	BIBLIOGRAFÍA.....	108

LISTA DE TABLAS

pag.

Tabla 1. : Resumen de Compuestos principales.....	8
Tabla 2. : Clases de vegetación y cobertura (Tomado del POT del municipio de Tona y modificado por las observaciones hechas en campo).	9
Tabla 3: Codificación utilizada para las corrientes en la nomenclatura.....	16
Tabla 4: Características generales de las subcuencas en la CERS.	41
Tabla 5: Uso de las relaciones Iónicas.	63
Tabla 6: Análisis univariante de pH.....	80
Tabla 7: Análisis de enjambres por varios métodos.....	82
Tabla 8: Análisis multivariante de la C.E.R.S, empleando la metodología de K-medios.	84
Tabla 9: Nacimientos con condiciones reductoras.....	85
Tabla 10: Técnicas de Determinación de Parámetros en laboratorio.	86
Tabla 11: Error calculado en las determinaciones de laboratorio	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. : Localización de la cuenca experimental de Río Sucio CERS.....	4
Figura 2: Mapa de cobertura vegetal de la CERS (Tomado del POT de Tona y modificado por observaciones hechas en campo).....	10
Figura 3 : Precipitación mensual multianual (GPH, 2005).	11
Figura 4 : Precipitación Oculta en la CERS (GPH, 2005).	11
Figura 5 : Nomenclatura utilizada.	15
Figura 6 : Zonas de exfiltración, cercanas al nacimiento del Río Sucio.	30
Figura 7 : Red hídrica antes del estudio temático.	35
Figura 8 : Red hídrica después del estudio temático.	36
Figura 9 : Tipos de corrientes en la CERS.....	37
Figura 10 : Caudal base en la CERS.....	38
Figura 11: Balance de Caudales aforados en la CERS.	39
Figura 12 : Caudal de aporte de los afluentes principales.	42
Figura 13: Cuadro de tendencia a ambientes reductores (Referenciado por Gómez y Santana, 1995).....	47
Figura 14 : Cuadro de tendencia a ambientes reductores (Referenciado por Gomez y Santana, 1995).....	51
Figura 15 : Proceso de agrupación por el vecino mas cercano.	52
Figura 16 : Proceso de agrupación por el vecino mas lejano.	52
Figura 17: Proceso de agrupación por K- medios (Tomado de ESMA 6835/ Minería de datos).....	53
Figura 18: Evolución química del agua Subterránea (Serie de Chevoltageb, Tomado de Sánchez, 1997).....	60
Figura 19 : Diagrama de Piper (Tomado de Custodio y Llamas 1996).	61
Figura 20 : Construcción del Diagrama de Piper (Tomado de Custodio y Llamas 1996)	62
Figura 21 : Diagrama logarítmico.....	64

Figura 22 : Seguimiento de la variación de los parámetros Fisicoquímicos.....	67
Figura 23 : Variación de Redox en la C.E.R.S.	68
Figura 24 : Variación de PH en la C.E.R.S.	69
Figura 25 : Variación de Oxígeno disuelto en la C.E.R.S.....	70
Figura 26 : Variación de salinidad en la C.E.R.S.	71
Figura 27 : Variación de Electro Conductividad en la C.E.R.S.	72
Figura 28: Error Medio Cuadrático para PH.....	73
Figura 29 : Espacialización del parámetro pH en la C.E.R.S (mg/l).....	74
Figura 30 : Error Medio Cuadrático para PH.....	75
Figura 31 : Espacialización del parámetro salinidad en la C.E.R.S (mg/l).	76
Figura 32 : Error Medio Cuadrático para Redox.	77
Figura 33 : Espacialización del parámetro Redox en la C.E.R.S.	78
Figura 34: Zonificación de pH en la C.E.R.S (mg/l).	80
Figura 35 : Zonificación de parámetros Físico-Químicos en la C.E.R.S.	83
Figura 36 : Cuadro de tendencia a ambientes reductores.	85
Figura 37 : Puntos de muestreo en época de lluvia.....	87
Figura 38 : Diagrama logarítmico de iones mayores en la CERS (época de lluvia)	91
Figura 39 : Puntos datados en el seguimiento de la época seca.....	93
Figura 40: Diagrama de Piper de iones Mayores en la CERS (época de estiaje).97	
Figura 41 : Diagrama logarítmico de iones mayores de la CERS (época seca) ..	100
Figura 42 : Comparación Diagrama logarítmico de iones principales en la Quebrada la Colmena.....	103
Figura 43 : Comparación Diagrama logarítmico de iones principales en la Quebrada la López.	104
Figura 44 : Comparación Diagrama logarítmico de iones principales en la Meseta.	104
Figura 45 : Comparación Diagrama logarítmico de iones principales en la Falla.	105

LISTA DE FOTOS

Foto 1: Zonas de escorrentía en la parte baja de Bellavista.	18
Foto 2: Aspecto de nacimiento, en el sector de la casita.	19
Foto 3: Zona de Nacimiento Chorreron.....	21
Foto 4: Nacimiento de la colmena (N.COL.I.03.00.).	22
Foto 5 : Cauce de López.....	24
Foto 6 : Recarga por precipitación orográfica en la parte alta de López.....	24
Foto 7 : Reptación en el depósito de nacimiento de López.	25
Foto 8 : Cauce de Figueros.	27
Foto 9 : Exfiltración en zona de raíces en N.REL.	28
Foto 10 : Planicie del Rosedal.	29
Foto 11 : Nacimiento producido por el contraste de litología (N.SUC.I.03.00).....	31
Foto 12: Cambio de coloración en el sector la Casita (Río Sucio).....	32
Foto 13 : Formación de precipitado de calcio en la casita.	33
Foto 14 : Panorámica general del sector de Barro Negro y la Casita.	34

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: MUESTREO DE PARÁMETROS FISICOQUIMICOS EN LA CERS.	110
ANEXO B: MUESTREO DE IONES PRINCIPALES (ÉPOCA SECA)	115
ANEXO C: MUESTREO DE IONES PRINCIPALES (ÉPOCA HÚMEDA)	116
ANEXO D: PROTOCOLO DE MUESTREO PARA IONES PRINCIPALES	117
ANEXO E: RESULTADOS DE IONES PRINCIPALES (ÉPOCA HÚMEDA)	120
ANEXO F: RESULTADOS DE IONES PRINCIPALES (ÉPOCA SECA)	136
ANEXO G: ANÁLISIS DE ÍNDICES	152
ANEXO H: MUESTREO DE ISÓTOPOS	157
ANEXO I: PUNTOS MUESTREADOS EN LA CERS	161
ANEXO J: MAPA GEOLÓGICO	162
ANEXO K: LIMNOLOGÍA	163
ANEXO L: COMPONENTE PORCENTUAL DE IONES (PIPER)	164

RESUMEN

Título:

INVENTARIO DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL Y MUESTREO HIDROQUÍMICO EN LA CUENCA EXPERIMENTAL DEL RIO SUCIO TONA SANTANDER *

Autores:

Lary Yajaira Mendoza Acevedo

Fabian Andres Orozco Albañil.**

Palabras Claves: Inventario, Hidroquímica, Iones, Caracterización, Diagramas.

RESUMEN

El presente proyecto esta encaminado a la actualización y descripción de la red hídrica superficial así como a la realización de un estudio hidroquímico , que permite conocer la dinámica seguida por el agua en el subsuelo, en los procesos de infiltración, almacenamiento y exfiltración por medio de relaciones con la litología.

Para evidenciar estos procesos o relaciones, se planteó una metodología que incluía observaciones de campo, análisis de laboratorio y procesamiento de información en oficina.

La etapa de campo estuvo orientada a reconocimiento y el inventario de los diferentes tipos de corrientes de agua (permanente, intermitentes y efímeras), simultáneo a este reconocimiento se realizó una campaña de aforos de caudal para la estimación del flujo base y una caracterización hidroquímica básica (Redox, Ph, Salinidad, Oxígeno Disuelto y Electro Conductividad), permitiendo de esta forma identificar sectores de comportamiento homogéneo, los cuales fueron necesarios para plantear los siguientes muestreos de iones principales (Calcio, Hierro, Magnesio, Sodio, Sulfatos, Cloruros, Nitratos, Bicarbonatos, Carbonatos y Potasio), estos muestreos fueron realizados en dos temporadas, húmeda y seca, para además de permitir un contraste entre el comportamiento de los iones en ambas temporadas, relacionar el flujo con la litología. Como resultado se logró relacionar la procedencia de las aguas de la cuenca a la mesa de Berlín, por las rutas preferenciales demarcadas por las diferentes fallas regionales.

* Proyecto de Grado

** Faculta de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director: Jorge Guzman.

SUMMARY

Title:

THE RESOURCE SUPERFICIAL'S INVENTORY HÍDRICO AND HIDROCHEMISTRY SAMPLING IN THE EXPERIMENTAL BASIN OF THE RIO SUCIO TONA, SANTANDER *

Authors:

Lary Yajaira Mendoza Acevedo

Fabian Andrés Orozco Albañil.**

Key words: Inventory, Hydrochemistry, Ions, Characterization and Diagrams.

The present project its guided to the upgrade and description of the superficial hydric net as well as to the realization of a hydrochemistry study that allows to know the dynamics continued by the water in the underground, in the infiltration processes, storage and exfiltration by means of relationships with the litology.

To evidence these processes or relationships, it was thought about a methodology that included field observations, laboratory analysis and prosecution of information in office.

The field stage was guided to recognition and the inventory of the different types of currents of water (permanent, intermittent and ephemeral), simultaneous to this recognition it was carried out a campaign of flow seating capacity for the estimate of the base flow and a basic hydrochemistry characterization (Redox, Ph, Salinity, Oxygenate Dissolved and Electro Conductivity), allowing this way to identify sectors of homogeneous behavior, which were necessary to outline the following samplings of main ions (Calcium, Iron, Magnesium, Sodium, Sulfates, Chlorides, Nitrates, Bicarbonates, Carbonates and Potassium), these samplings were carried out in two seasons, humid and dry, it stops besides allowing a contrast among the behavior of the ions in both seasons, to relate the flow with the litology.

As a result it was possible to relate the origin of the waters from the basin to the mesa of Berlin, for the preferential routes demarcated by the different regional faults.

*Project of Grade

**Ability of Physical-mechanical Engineerings, School of Civil Engineering, Director: Jorge Guzman.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene como principal finalidad, contribuir al desarrollo del modelo hidrológico conceptual de la cuenca experimental de Río Sucio (CERS), mediante el inventario de la red hídrica superficial y un estudio de hidroquímica que busca describir la dinámica que sigue el agua en el subsuelo por medio de las reacciones que se da entre el flujo y la litología.

El inventario de la red hídrica superficial, consiste en la localización y descripción de las características de los afluentes de la quebrada Río Sucio, junto con un estudio de caudales encaminado a realizar una primera aproximación al flujo base de la CERS.

La parte de hidroquímica esta enfocada primero a detectar en las corrientes las zonas que siguen un comportamiento homogéneo, para luego formular un plan estratégico de muestreo de iones principales que ayude a descubrir la dinámica del flujo en el subsuelo , todo esto a partir de los datos recolectados durante las diferentes etapas de campo, que son procesados mediante herramientas estadísticas (técnicas de agrupamiento) y gráficas (Diagramas de Piper y logarítmico), aptas para el manejo de parámetros fisicoquímicos e iones mayoritarios.

En la primera parte del proyecto se presenta las generalidades de la zona de estudio, para abordar a continuación todo lo referente al inventario de la red hídrica y la estimación del caudal base; en el tercer capítulo se realiza una descripción de la metodología y las herramientas utilizadas en el trabajo de hidroquímica desarrollado en el último capítulo.

1 CUENCA EXPERIMENTAL DE RÍO SUCIO

El Grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático, GPH de la Universidad Industrial de Santander, como comunidad interesada en el desarrollo científico regional, llevó a cabo un convenio Interadministrativo con el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (AMB), con el objeto de convertir la cuenca del Río Sucio en una cuenca experimental en donde se lleven a cabo trabajos de investigación a nivel de pregrado y postgrado que nos permitan un mejor entendimiento de la respuesta hidrológica y el estudio del recurso hídrico en la zona alta de la cuenca superior del Río Lebrija. La cuenca hidrográfica del Río Sucio está situada en la cabecera del Río Tona, en la vereda Tembladal, Limitada por el Norte por la quebrada los Arcos, al sur por el Caimito y Quebrada la Lúcura, al Este por borde del altiplano de Berlín y al Oeste por la loma el Guayabal, cuenta con una extensión total de 10 Km².

El objeto de la cuenca experimental es al convertirla en una cuenca altamente instrumentada, es obtener el comportamiento de las variables de entrada y salida en una excelente resolución temporal. Lo anterior sumado a la caracterización temática (geología, hidroquímica, topografía, geomorfología etc.), permitirá identificar los procesos hídricos en nuestras cuencas de alta montaña además de validar metodologías e instrumentación que mas adelante se podrán extrapolar a cuencas con condiciones similares.

Para conseguir las metas anteriores el GPH en conjunto con el Acueducto Metropolitano, después de estudiar las cuencas que surten de agua a Bucaramanga, decidieron adoptar a la cuenca de la Quebrada Río Sucio en la parte alta del Río Tona, por tratarse de una cuenca, con características muy particulares, como el tamaño, su caudal de aporte, geología, litología y características geomorfológicas diversas; además de lo problemática que resulta la cuenca, en lo concerniente a el tratamiento (altos costos) de sus aguas debido a la elevada concentración de sedimentos y turbiedad en la planta la flora, por

estas razones se hace necesario realizar un estudio previo que permita caracterizar el recurso hídrico (inventario de afloramiento, aforo en cauces y caracterización de parámetros fisicoquímicos) lo cual proporcionará indicios sobre la dinámica del fluido en el subsuelo, y sus relaciones con la litología.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL:

Realizar un inventario de afloramientos de agua, y un muestreo hidroquímico, con el fin de obtener pautas que permitan plantear el modelo conceptual hidrogeológico del flujo en el subsuelo, en la cuenca experimental de Río Sucio, Municipio de Tona, Santander.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- 1). Realizar un inventario de afloramientos de agua .

- 2). Georeferenciar los afloramientos de agua presentes en la cuenca experimental.
- 3). Definir una nomenclatura para la ubicación de afloramientos de agua, basados en la red de drenaje superficial.

- 4).Aforar los afloramientos anteriormente ubicados en época de verano, con el fin de realizar una estimación aproximada del flujo base.

- 5). Realizar muestreos de parámetros fisicoquímicos como PH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura, salinidad y presentar una zonificación del comportamiento de dichos parámetros.

6). Realizar el muestreo de iones principales (Calcio, Hierro, Magnesio, Sulfatos, Cloruros, Nitritos, Nitratos, potasio, Magnesio, Manganeso, Bicarbonatos y Carbonatos).

7). Identificar posibles relaciones entre litología y composición de las aguas subterráneas, que permitan evidenciar los procesos hidroquímicos, utilizando diagramas.

8). Proponer y ubicar un plan de muestreo de isótopos estables para futura identificación de recarga.

1.2 MARCO GEOGRÁFICO:

El área en estudio está situada sobre la Cordillera Oriental colombiana, en el departamento de Santander, al Nororiente de su capital Bucaramanga y hace parte del Municipio vecino de Tona. (Ver Figura 1).

La cuenca hidrográfica de la Quebrada Río Sucio, está situada en la cabecera del Río Tona, en la vereda Tembladal, Limitada por el Norte por la quebrada los Arcos, al sur por el Caimito y Quebrada la Lúcura, al Este por borde del altiplano de Berlín y al Oeste por la loma el Guayabal, cuenta con una extensión total de 10 Km², y hace parte de las planchas 110-III-C-12 a escala 1:10000 de 1981 del IGAC, cuyas coordenadas con origen en Santa Fe de Bogotá son :

X= 1286000

X= 1290000

Y= 1124000

Y= 1129000

Esta zona forma parte de aéreo fotografías del vuelo C-2175 fotos 114 y 115 y sus cotas absolutas varían entre 2000 y 3400 m sobre el nivel del mar.

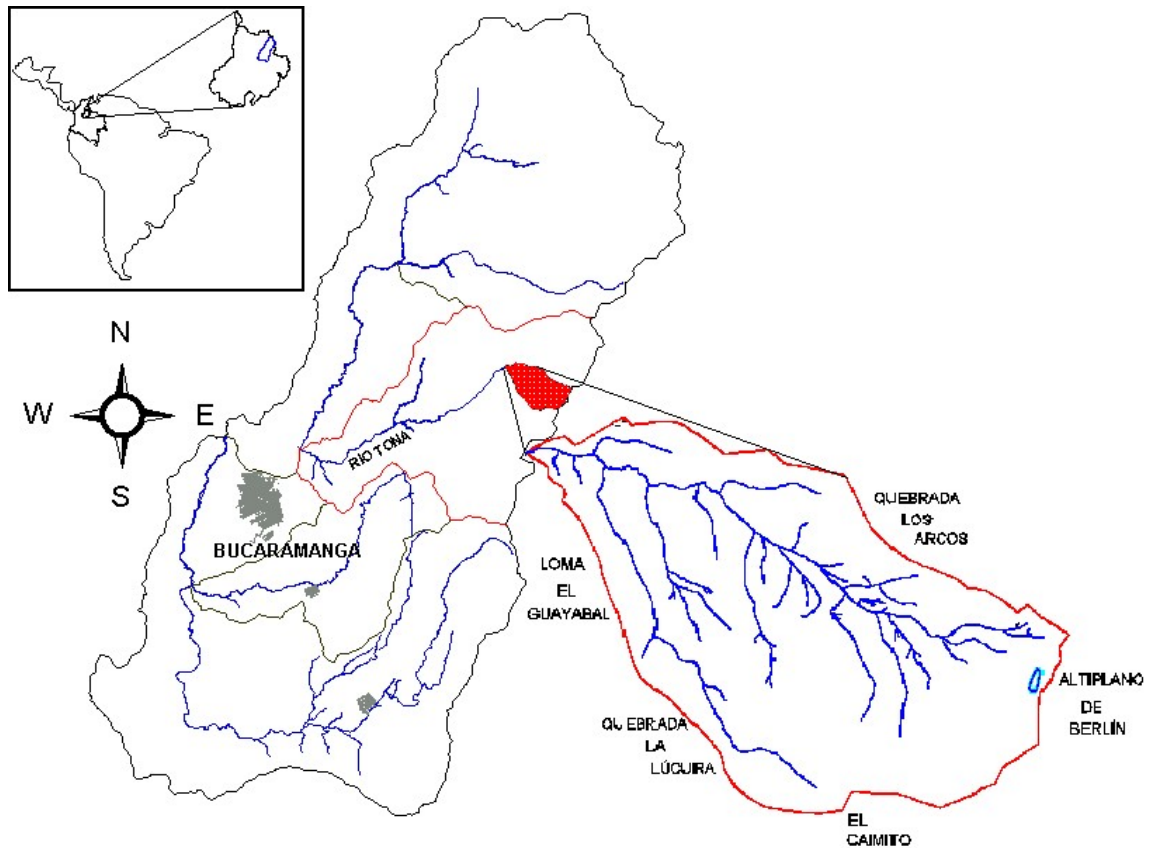


Figura 1. : Localización de la cuenca experimental de Río Sucio CERS.

1.3 MARCO GEOLÓGICO

Geológicamente la Cuenca Experimental del Río Sucio (CERS), está conformada por el denominado Macizo de Santander, donde se hayan conservados algunos pequeños retazos del cretáceo dispuestos en dovelas; con la particularidad de que en él se encuentra la mayoría de la sucesión estratigráfica, compuesta por las formaciones Girón, Tambor, Rosablanca, Paja y Tablazo, dispuestas en este mismo orden según su época de depositación (Julivert, 1959), adicionalmente se pueden encontrar el cuerpo intrusivo de Cuarzomonzonita de Santa Bárbara en la parte noreste de la cuenca y algunos depósitos glaciales en la parte sur, todas estas formaciones se disponen estructuralmente de forma compleja descansando sobre un basamento cristalino, constituido por el Ortoneis (Rojas y Ulloa, 2005).

1.3.1 LITOLOGIA

Para tener una relación lógica del comportamiento hidroquímico del recurso hídrico en estudio es necesario hacer una descripción detallada de los componentes mineralógicos de las diferentes formaciones que se supone atraviesa el flujo, además de su potencial de intercambio de elementos con el agua. A continuación se presentará los componentes fundamentales de la geología de la zona.

❖ **Rocas Metamórficas:**

En la CERS se encuentra el Ortoneis de Berlín, caracterizado por su color blanco a rosado, constituido esencialmente por Plagioclasa, Cuarzo y Feldespato potásico; Además, hay presencia de Cuarzo, Biotita, Hornblenda, Feldespato y Estaurolita.

La composición porcentual se encuentra así:

*60% Plagioclasa y Cuarzo; mayor contenido de Sodio.

*25% - 30% Biotita, Hornblenda

*8% - 10% Granates, Feldespato potásico, sódico y Estaurolita.

❖ **Rocas Ígneas:**

Cuarzomonzonita de Santa Bárbara

Definición: Roca ígnea cuarzo feldespática de grano grueso, biotítica e inequigranular

Contiene Cuarzo, Ortoclasa, Plagioclasa. Predominan minerales máficos como la Augita, Biotita y Hornblenda.

❖ **Rocas Sedimentarias:**

Existen diversos grupos de rocas sedimentarias, entre ellos: las terrígenas, de precipitación química y bioquímicas, siendo esta caracterización un aspecto condicionante de factores como el pH en cuerpos de agua, y regulando entonces la precipitación química de una u otra especie mineral.

En las rocas sedimentarias detríticas es común que las partículas constituyentes se encuentren cementadas por sustancias silíceas, óxidos y calcáreas. Dichos cementos llenan los vacíos que existen entre las partículas eliminando parcial o totalmente la porosidad inicial.

Formación Girón

Definición: Intercalación de arenisca conglomerática de amarillo a pardo rojizo con lutita masiva y lenticular pardo rojiza,

Además se presentan niveles con aporte de tipo volcánico que induce a la presencia de Mg, areniscas rojizas o verdosas conglomerática (alto contenido Fe) y lutitas pardo violáceas.

Formación Tambor

Definición: En la parte superior, arenisca cuarzosa grano medio a fino con capas conglomeráticas. Parte inferior, lutitas y areniscas parduzcas.

Posee Shales (Alto contenido de C), areniscas blancas y areniscas arcosas de color rojizo (alto contenido Fe).

Formación Rosablanca

Definición: Intercalación de estratos calcáreos gris oscuro, fosilíferas y no fosilíferas con shales gris oscuro, arenoso, limolítico.

Constituidas básicamente de Caliza (iones carbonatos y calcio), además presenta niveles arenosos y lumaquelicos. Las capas de finos de esta formación se caracterizan por la presencia de materia orgánica (C).

Formación Paja

Definición: Shales negros blandas, arenosa a micácea no calcárea, lutitas en capas delgadas.

Esta formación está constituida en un 90% de lutita (silicatos y carbono (C)), 10% de Pirita (sulfuros); además de fósiles de edad Barremiana y Aptiana como Amonitas y Bivalvos. Presenta sucesión de shales ligeramente calcáreos y micáceos. En general, Paja presenta altas proporciones de materia orgánica definiendo el color oscuro característico de la formación.

Formación Tablazo

Definición: Caliza lumaquélica gris con intercalación de areniscas de grano fino y shales gris calcáreo.

Compuesta básicamente por Calizas duras, oscuras, con disolución, fosilíferas y margas. Se compone de Areniscas, Shales y Calizas. Debido a la composición química de las calizas (CaCO_3) se pueden encontrar iones carbonatos y calcio; la precipitación de carbonatos en algunos niveles se relacionan directamente con la presencia de sulfatos como yeso.

Depósitos Recientes. Se distribuyen por toda la CERS y se diferencian según su origen en depósitos glaciares, aluviales y de vertiente.

Tabla 1. : Resumen de Compuestos principales

FORMACIÓN	COMPUESTOS PRINCIPALES	COMPOSICION QUÍMICA
Ortoneis	Plagioclasa, Cuarzo, feldespatos sodicos y potasicos	Na K
Cuarzomonzonita	Cuarzo, Feldespato Potásico, Plagioclasa blancas, biotita y hHornblenda	K Na Fe y Mg.
		Siilicatos(SiO ₂)
Girón	Cuarzo, óxidos, feldespatos	Ca y Carbonatos Sulfuros Hierro (Fe)
Tambor	Cuarzo, óxidos, feldespatos, micas, minerales arcillosos, materia orgánica.	Carbono Hierro (Fe)
Rosablanca	Carbonatos, materia orgánica, cuarzo, sulfatos.	Ca y Carbonatos Sulfuros Magnesio
Tablazo	Cuarzo, carbonatos, minerales arcillosos, óxidos, materia orgánica	Ca y Carbonatos Hierro (Fe) Sulfuros(SO ₄ =)
Paja	Minerales arcillosos, cuarzo, materia orgánica, sulfuros, carbonatos	Ca, carbonatos y C Sulfuros(SO ₄ =) Siilicatos(SiO ₂)

1.4 VIAS DE ACCESO

A la CERS se puede acceder utilizando dos vías, una de ellas es la que conduce al municipio de Tona, tomando el desvío en el Kilómetro 18 y después de 2 Km de la cabecera municipal se llega al caserío del Gramal ubicado en cercanías del parte aguas de la CERS, la vía alterna es la que parte de Berlín en el Km 66, hacia la vereda Cadillal, para luego bordear el parte aguas de la cuenca; el tránsito dentro de la cuenca se debe hacer por caminos de herradura.

1.5 VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO

En cuanto a vegetación, la CERS se encuentra altamente influenciada por la actividad antrópica, gran parte del área se encuentra compuesta por zonas de cultivos agrícolas, potreros, y zonas silvopastoril o silvoagrícola, el resto de la cuenca está cubierta por matorrales, herbáceas, afloramientos rocosos, y en pequeña proporción por bosques natural y bosques plantados, en la tabla 2 se encuentran resumidas las áreas de las capas de cobertura, tomada del POT de Tona y modificado con las observaciones hechas en campo.

Tabla 2. : Clases de vegetación y cobertura (Tomado del POT del municipio de Tona y modificado por las observaciones hechas en campo).

GRAN GRUPO	GRUPO	SUBGRUPO	AREA (m2)
Nivel Exploratorio	Nivel Reconocimiento	Nivel semidetadllado	
TIERRAS AGROPECUARIAS	POTREROS ABIERTOS	Pastos Naturales (p)	4.762.826,665
	TIERRAS MIXTAS O	Cultivos y Pastos (CP)	275.271,357
BOSQUES	BOSQUE NATURAL	Secundario (bs)	807.468,229
		Rastrojos (R)	954.425,116
	BOSQUE PLANTADO	(bp)	667.960,135
FORMAS ESPECIALES DE VEGETACION	MATORRAL	Paramuno (mp)	1.211.530,919
	HERBACEAS	Pajonales (hP)	550.045,155

El uso del suelo resulta importante para el estudio hidroquímico, porque puede llegar a incluir cierto margen de incertidumbre, por la existencia predominante de compuestos con alto contenido de potasio, en algunos fertilizantes utilizados en las zonas de cultivo por los habitantes, por esta razón deben ser tenidas en cuenta las zonas de cultivo cercanas a cada corriente. (Ver Figura 2.).

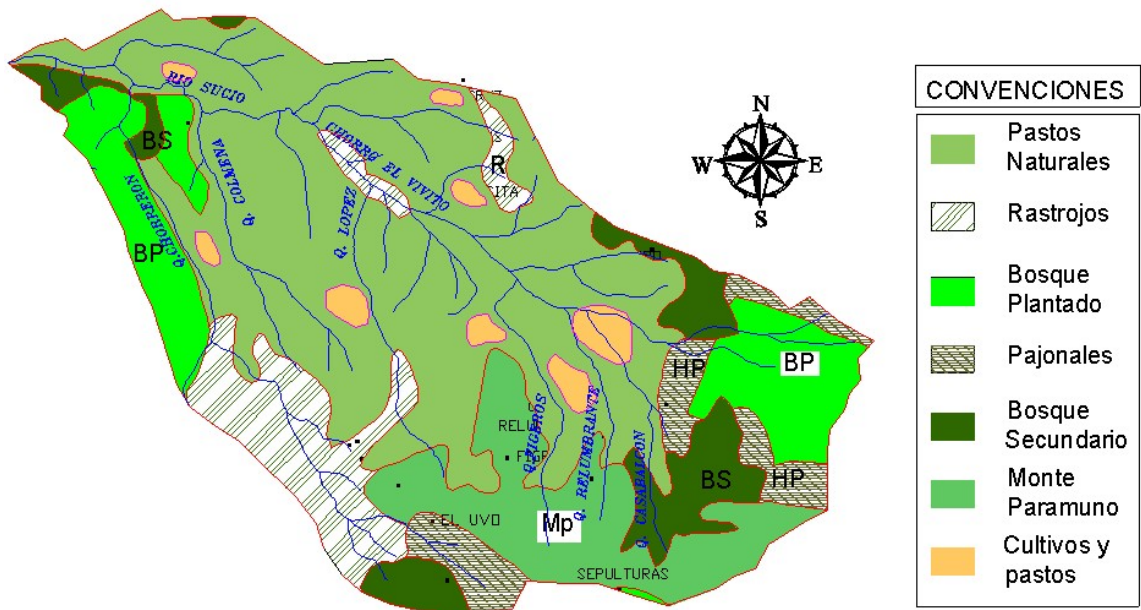


Figura 2: Mapa de cobertura vegetal de la CERS (Tomado del POT de Tona y modificado por observaciones hechas en campo).

1.6 CLIMA Y PRECIPITACIÓN

El factor clima en la CERS es muy variable, por abarcar un rango amplio de altitudes (2000 a 3400), se da lugar a los climas: templado, frío y subpáramo bajo (Gómez y Santana, 1995), manteniendo un nivel alto de humedad en el ambiente que facilita la meteorización de las rocas presentes en la cuenca.

En cuanto a precipitación en la cuenca se puede presentar de dos formas, una meteórica y otra oculta; la precipitación meteórica en la cuenca tiene sus periodos de verano en los meses de Diciembre, Enero, Febrero y Marzo, y los periodos de invierno en los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre, la Figura 3. muestra este comportamiento con el promedio mensual multianual de la precipitación en el periodo (1986-2000), estos promedios fueron calculados según las mediciones de las estaciones mas cercanas del IDEAM (Berlín, Tona, Picacho, La Galvicia), siendo en total la precipitación media anual de 1205.43 mm (GPH, 2005).

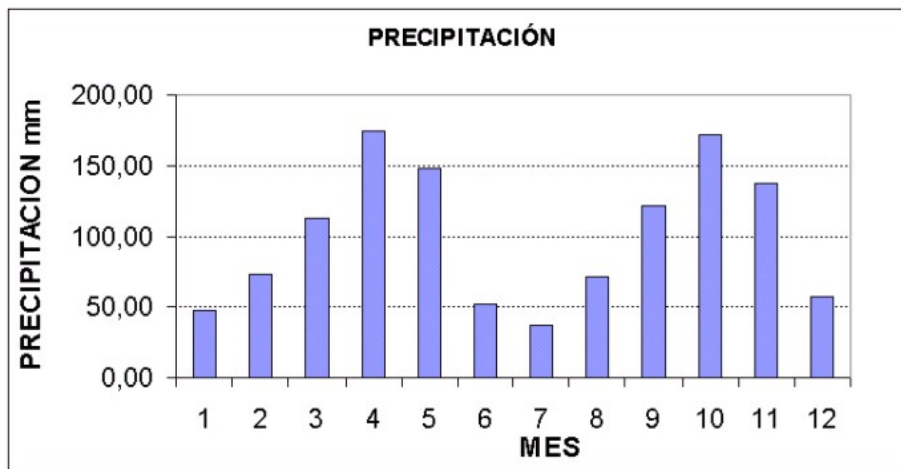


Figura 3 : Precipitación mensual multianual (GPH, 2005).

El otro tipo de precipitación que se presentan (oculta), tiene un carácter mas sectorial, y consiste en el ascenso primero de los frentes húmedos, para luego “chocar”, en las partes altas de la cuenca, estas masas alcanzan allí el punto de rocío, y se produce la condensación, las zonas de choque de los frentes húmedos se encuentran bien definidos en la CERS, porque se caracterizan por tener una vegetación muy boscosa, y los meses de mayor influencia son Abril, Mayo y Junio (Ver Figura 4).

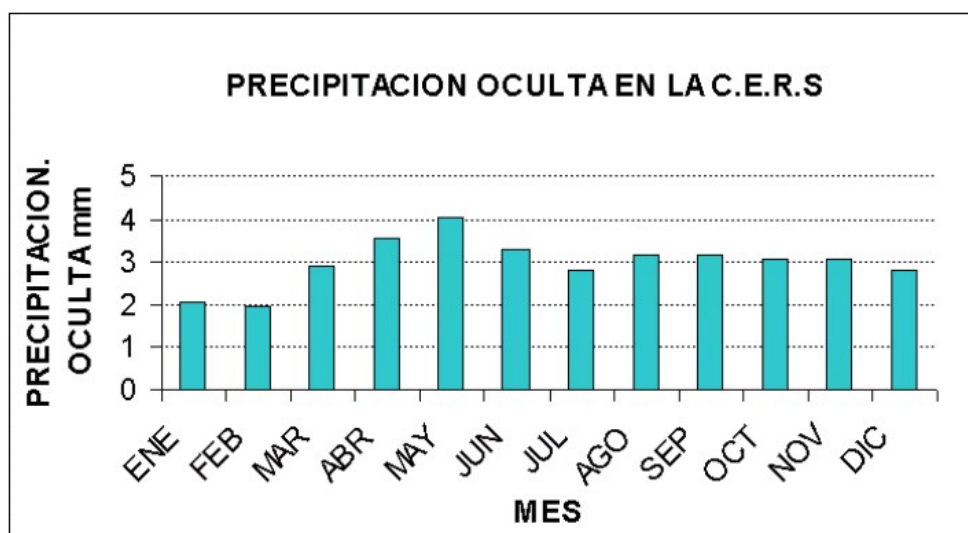


Figura 4 : Precipitación Oculta en la CERS (GPH, 2005).

1.7 ESTUDIOS ANTERIORES

El área de la cuenca de la quebrada de Río Sucio ha sido el marco de algunos estudios realizados con anterioridad, por tratarse de una de las principales fuentes de abastecimiento de agua de Bucaramanga, algunos de estos estudios se reseñan a continuación:

En el año 1959, se cubrió el área correspondiente a la Cuenca Alta del río Tona, dentro del estudio del Macizo de Santander en su vertiente Occidental, por Julivert M. es el primer registro que existe a la Geología, Tectónica y Geomorfología de esta zona.

En el año de 1987, se efectuó un estudio de control de sedimentos en la cuenca Alta del Río Tona, realizado por Gómez y Mendoza como trabajo de grado de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, en el que se concluyó que la micro cuenca de la Quebrada Río Sucio transporta una cantidad de sedimentos excesivamente alta para el volumen reducido de sus aguas, ello como consecuencia de poseer zonas inestables tanto en las laderas como en las orillas de su cauce, por lo cual recomendaron trabajos de carácter mecánico encaminados a disminuir el volumen de sedimentos a lo largo de la Quebrada Río Sucio y del Río Tona.

En el año 1.995, se realizó el Trabajo de grado de la Escuela de Geología de la UIS en colaboración con la AMB: “Geología, Geomorfología y Química de los procesos de inestabilidad de la zona del Tembladal”, elaborado por Laura Gómez Ríos y Hernando Santana Acosta, en el cual se definió una gran complejidad estructural. Se localizaron geoformas estructurales y las debidas a procesos de orden climático, conceptuándose las dominancias de origen estructural relacionadas con la dinámica de la cordillera oriental. También se realizaron muestreos de agua para evaluar algunos metales como (Fe, Cu, Zn, Cd, Pb y Hg), con los respectivos datos de PH, y temperaturas en 7 puntos, ubicados dentro y

fuera de la cuenca del Río Sucio, con el fin de encontrar el origen de los sedimentos, concluyendo que los mayores aportes de sedimentos ocurren en los períodos de altas precipitaciones y que las rocas que aportan mayor cantidad de sedimentos corresponden a las calizas meteorizadas, shales y materiales inconsolidados compuestos principalmente por shales.

En 1.997 con el fin de evaluar el potencial de inestabilidad del sector de La Casita se llevó a cabo el trabajo de maestría de la Universidad Industrial de Santander “Aspectos Geotécnicos de los sectores inestables de la microcuenca de Río Sucio parte alta de la cuenca del río Tona en el departamento de Santander”, elaborado por Wilfredo Del Toro, ingeniero civil, en el que se identificaron 3 sectores inestables denominados La Casita, Bélgica y López. Se efectuaron sondeos geoelectrónicos, realizados por los geólogos Carlos M. Wandurraga Barón y Pablo Mora González.

Complementariamente a los dos estudios anteriores, se adelantó otro estudio titulado “Análisis de las influencias de los factores geomorfológicos en los procesos erosivos de la microcuenca de la quebrada Río Sucio parte alta de la río Tona”, elaborado por William Hernández Gutiérrez, Ingeniero Civil, como trabajo de maestría de la Universidad Industrial de Santander. Según este estudio, el origen de los fenómenos ligados a los materiales no consolidados del sector de La Casita es muy complejo y tienen relación directa con la tectónica, otro factor que tiene incidencia en la inestabilidad del depósito, es la continuada presencia de afloramientos de aguas subterráneas las cuales brotan en la superficie de forma incontrolada saturando la masa del suelo, haciéndola inestable.

Para finalizar en 2003, la compañía del acueducto metropolitano de Bucaramanga contrató la Mapeingeniería Cia. Ltda. para efectuar el trabajo “Estudio De Sedimentos Para La Cuenca Superior Del Río Tona (Carrizal)” en el cual a partir de las observaciones se pudo evaluar el potencial erosivo a futuro de la Quebrada Río Sucio, que parece ser mucho menos intenso que en el pasado reciente. De

todos modos, hay depósitos menores comparativamente con los del pasado reciente, los cuales merecen cierta atención, pues por épocas podrán suministrar cargas de muy difícil tratamiento en caso de tomarse la decisión de construirse un embalse en el sitio de Carrizal.

2 INVENTARIO DE CORRIENTES TRIBUTARIAS

Este capítulo desarrolla uno de los productos principales del presente proyecto, el inventario actualizado y la georeferenciación de la red hídrica de la CERS; de vital importancia en la descripción de los procesos hidrogeológicos y modelamiento hidrológico, además de brindar pautas de zonificación, con miras a la elaboración de un plan de muestreo de iones principales.

2.1 NOMENCLATURA DE LOS AFLUENTES

Con el objetivo de poder organizar la información (red hídrica y puntos de muestreo) de forma espacial sencilla para su posterior uso, se deben fijar códigos que no dé lugar a varias interpretaciones y que además sean claros, por esta razón los puntos son referenciados a partir de su ubicación en la red hídrica, con la siguiente codificación.



Figura 5 : Nomenclatura utilizada.

K: Consiste en una letra y hace referencia al tipo de punto a identificar, **N** en el caso de los Nacimientos o **C**, para un punto cualquiera que es datado sobre la corriente.

COD: El código está compuesto por tres letras y denota la corriente a la cual pertenece el punto censado, las corrientes principales de la C.E.R.S, y los códigos utilizados son resumidos en la Tabla 3.

Tabla 3: Codificación utilizada para las corrientes en la nomenclatura.

CODIGO	CORRIENTE	CODIGO	CORRIENTE
BNE	Q. Barro Negro	COL	Q. Colmena
CBA	Q. Casa Balcón	FIG	Q. FIGUEROS
CHO	Q. Chorreron	LOP	Q. Lopez
SUC	Q. Río Sucio	REL	Q. Relumbrante

Las corrientes relacionadas en la Tabla 3 fueron tomadas como las corrientes principales, y sus nombres fueron asumidos de esta forma para el manejo de la información en adelante, por tratarse de las mas conocidas por los habitantes de la región, con el objetivo de facilitar la ubicación de futuras investigaciones, ya que en el caso de la colmena o de la Quebrada Río Sucio existen varias denominaciones; La Colmena también es conocida como Pitones y la parte superior de Río Sucio, hasta el sector de la casita se conoce como Chorro el Vivito.

L: Indica la orientación del punto con respecto a la corriente principal , considerando el frente, siempre aguas abajo y denotando con **I** los puntos a Izquierda, **D** los puntos a derecha y **O** los puntos sobre el cauce principal.

X: Se compone por dos números arábigos, que indican el orden de llegada de los afluentes a la respectiva corriente principal, esta numeración se realiza en el sentido de las manecillas del reloj para los puntos localizados a Izquierda, y en sentido contrario para los puntos a la derecha, entendiéndose con un ID = 00, los nacimientos principales.

Y: Este identificador consta de dos números y muestra el orden que ocupa el punto en cuestión dentro de los demás puntos de muestreo, la numeración empieza siempre desde cero (nacimientos), y aumenta aguas abajo en el cauce.

2.2 METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el inventario descrito anteriormente, fue necesario realizar un periodo de campo de un mes aproximadamente (14 de Agosto al 20 de Septiembre de 2004), que coincide con la segunda época seca del año en la CERS, de esta forma los caudales inventariados y aforados corresponden al flujo base, lo anterior es importante pues los caudales en épocas de estiaje permiten una mejor comprensión de los fenómenos y relaciones entre la litología y el agua infiltrada, reflejando de forma mas fiable los procesos en el subsuelo.

El recorrido de la cuenca se realizó ordenado por corrientes tributarias principales, Chorrerón, Colmena, López, Figueros, Relumbrante, Casa Balcón, Barro Negro y Río sucio.

La revisión de la red hídrica se inició con la ubicación de cada corriente principal, donde el primer indicio de la existencia de una corriente de agua es la topografía y la vegetación, aunque como ya se dijo anteriormente con la topografía no es suficiente, la vegetación puede ser clave como indicador complementario, especialmente en época de estiaje, donde la tonalidad de los verdes de la vegetación varían a un verde intenso en las zonas donde existe algún tipo de escorrentía, diferenciando estas, de las zonas secas (ver Foto 1).



Foto 1: Zonas de escorrentía en la parte baja de Bellavista.

Una vez se ha ubicado el cauce principal, verificando que el origen de la escorrentía no sea producto de la actividad antrópica como puede ser, mangueras rotas, vertimientos de aguas servidas o fugas en bebederos de animales; se recorre el mismo en búsqueda del Nacimiento, este presenta las siguientes características particulares:

- **Bajo caudal:** Los caudales en los nacimientos, si no se tratan de un afloramiento de agua producto del cambio de litología abrupto, resultan ser muy bajos, inferiores a 0.5 lt/seg, llegando a ser incluso en algunas zonas imposibles de medir.
- **Cambio de litología:** Una de las posibles razones causantes de los afloramientos de agua, es el cambio de conductividad hidráulica provocado por la variación de litología, esta condición se ve reflejada en la aparición

súbita de un caudal considerable; en la CERS, el nacimiento que presenta estas condiciones es N.SUC.I.03.00, que está ubicado al este de la cuenca, corresponde a el nacimiento de la segunda corriente que irriga el camino de el Espino a la Cruz, y es originado en el contacto de la formación Girón (parte superior), y areniscas (parte inferior) (Rojas y Ulloa, 2005), su caudal es de 0.8 lt/seg.

- **Color ocre-Terracota:** La coloración de las zonas de nacimiento, pueden tomar estas tonalidades por la oxidación de minerales presentes con alto contenido de Fe principalmente, (Ver Foto 2).

Película viscosa: Algunos nacimientos pueden llegar a presentar películas viscosas tipo tornasol, sobre el agua que exfiltra, producto de actividad biótica, como es caso de algunas familias de algas, que por efectos bio fílmicos, dan a las aguas de los nacimientos caracterizados por bajas velocidades, estos colores, esta información se corroboró con el análisis de limnología (Anexo K), ver Foto 2.



Foto 2: Aspecto de nacimiento, en el sector de la casita.

- **Bajo contenido de Oxígeno:** Este es un aspecto importante, porque de conocerse un valor de Oxígeno contenido en el agua, por medio de una prueba inalterada in situ, se pueden validar con certeza los verdaderos nacimientos, los valores son bajos casi nulos, debido a que el oxígeno es consumido en las reacciones de oxidación que se dan en el subsuelo. (Custodio y Llamas, 1996), para medir los valores de oxígeno disuelto in situ, se utilizó una sonda eléctrica, los valores medidos, se relacionan en el Anexo 1.
- **Bajo potencial de Redox (Eh) :** El potencial redox es utilizado como indicador en la identificación de los nacimientos, al depender de la cantidad de gas disuelto en el agua, especialmente al oxígeno disuelto, (escaso en aguas de reciente exfiltración), el Eh tiene tendencia a tener valores por bajo de los 100 mV e incluso, hasta negativos.

Luego de identificar el nacimiento principal y de validarlo como tal, se debe ubicar en la cartografía, para esto se trabajó con un altímetro con una precisión de 5m, sobre cartografía IGAC a escala 1:25.000, existente en el momento.

Una vez se realizó este trabajo en la corriente de agua principal; se recorrió su cauce en búsqueda de los posibles ramales afluentes, para luego continuar con el mismo procedimiento de validación y ubicación, que se siguió con la corriente principal.

2.3 CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS AFLUENTES

Durante la campaña del inventario, se observaron algunas particularidades de los diferentes afluentes, que pueden llegar a influir en el comportamiento hidroquímico, estas observaciones generales se presentan a continuación y se encuentran organizadas por corrientes.

2.3.1 CHORRERON

El Chorrerón se encuentra localizado en la parte sur-occidental de la cuenca, siendo su Nacimiento el mas alto de la CERS (3255 msnm). Por su altura la zona del nacimiento principal del Chorrerón (N.CHO.O.00.00) está cubierto por vegetación de tipo páramo, siendo destinada al pastoreo (Aspecto importante para el análisis químico).

Geológicamente el nacimiento se encuentra ubicado en una serie de depósitos morrenicos que tienen como zócalo el Neis (ver Foto 3).



Foto 3: Zona de Nacimiento Chorreron.

En su recorrido hacia el Río Sucio, el Chorrerón se encuentra encausado por la falla Pitones, que pone en contacto el Neis en la margen Izquierda, y en el margen derecha las formaciones Tambor, Rosablanca y algunos Derrubios, responsables de aumentar los minerales en solución.(Ver ANEXO:J).

Además del nacimiento principal, CHO cuenta con dos nacimientos adicionales, el primero en el sector de la cueva (N.CHO.D.01.00), sobre la formación Tambor y el segundo en el Neis (N.CHO.I.01.00).

Morfológicamente, CHO se caracteriza por ser la microcuenca que tiene en varios sectores la mayor pendiente de la CERS, convirtiéndola en la subcuenca que reacciona más rápido ante cualquier estímulo; además de tener dos caídas, una a la altura de la finca el Alto y otra justo en la entrega a Río Sucio (de 8 y 10 m aproximadamente); aumentando la disponibilidad de oxígeno en el agua.

2.3.2 COLMENA



Foto 4: Nacimiento de la colmena (N.COL.I.03.00.).

La Colmena se encuentra en los predios de la finca el Alto, y es alimentada por seis nacimientos, Geológicamente está conformada por las formaciones Tambor, Rosablanca y algunos derrubios, en los nacimientos N.COLO.00.00 y N.COL.I.02.00, es común encontrar shales y areniscas de la formación tambor

(Rojas y Ulloa, 2005), con la coloración rojiza del óxido de Fe, presente principalmente en las areniscas (Custodio y Llamas, 1996).

Sobre la parte media alta de la quebrada, sobre la zona de depósitos se hace visible el fenómeno de reptación, que consiste en el desplazamiento gradual de masas de material por la saturación del agua, lo cual constituye un claro indicio de transporte de agua.

En el último tramo del cauce de la colmena presenta incrustaciones, formadas del precipitado del carbonato de calcio también conocido en la zona como caliche, por otra parte en las zonas aledañas al cauce existen deslizamientos en áreas de shales, con coloraciones que van de negro a morado, con trazas verdes de Magnesio que supone un grado considerable de meteorización.

2.3.3 LÓPEZ

La quebrada López se encuentra ubicada en la finca, que lleva este mismo nombre, desde su nacimiento, a una altura de 2990 msnm, hasta su unión con el Río Sucio, López es afectada por varios agentes externos, que pueden llegar a alterar el comportamiento y composición de sus aguas, estos factores se relacionan a continuación:

- El cauce se encuentra ubicado en un área destinada al pastoreo, por lo cual es posible que se vean aumentados algunos iones como Potasio, Nitritos y Nitratos.
- Por la disposición estructural geológica de López, en la parte alta, esta corriente se convierte en una de las más complejas e interesantes, en cuanto al tema de la recarga dentro de la CERS, su cabecera se encuentra formada por fallas ínter estratificadas que ponen en contacto la formación Rosablanca y la formación Tambor.



Foto 5 : Cauce de López.



Foto 6 : Recarga por precipitación orográfica en la parte alta de López.

En la Foto 6, se representa la precipitación, por condensación de frentes húmedos en la parte superior de López.

- El Nacimiento de López corresponde a una extensa zona de depósitos, que actúa como vaso amortiguador y almacenador del agua captada en la parte

superior, esta característica hace que se altere el paisaje geomorfológico y se presente reptación (Ver Foto 7).



Foto 7 : Reptación en el depósito de nacimiento de López.

- A una altura de 2.970 msnm, al lado izquierdo del cauce principal, se encontró una conducción artificial de agua, proveniente del chorrerón que le aporta a la Q. López un importante caudal (0.3 lt/seg), mezclando de esta forma las propiedades de estas dos corrientes al ponerlas en contacto, (ver cauce en rojo en la Foto 5).
- inferior existe un afloramiento geológico de formación paja, compuesto principalmente de shales negros, para luego terminar, de nuevo en la formación Rosablanca (Rojas y Ulloa, 2005).

- La parte inferior de López esta compuesta, por las Formaciones Paja y nuevamente Rosablanca, puestas en contacto por un gran número de fallas (Ver Anexo J).
- Los parámetros Fisicoquímicos y los Iones pueden verse afectados por la marcada influencia antrópica de esta cuenca, existen cultivos vecinos los cuales pueden aumentar el contenido de potasio, sodio y sales en general por los fertilizantes empleados.

2.3.4 FIGUEROS

Figueros está ubicado en un valle colgado, constituido por la formación Tambor, su nacimiento se encuentra muy cercano a la casa que lleva este mismo nombre; en el margen izquierdo existe un afloramiento geológico de la formación Rosablanca a una altura de 3200 msnm; Figueros hace su recorrido en el valle colgado sobre la formación Tambor, y tiene la particularidad de ser una corriente que desaparece el tramo intermedio de su propio cauce, justo en zonas de depósitos; reapareciendo en la exfiltración final en la parte trasera de la casa del Carbón, donde continua su recorrido hacia Río sucio (Véase, Foto 8).



Foto 8 : Cauce de Figueros.

2.3.5 RELUMBRANTE

La corriente llamada relumbrante nace a una altura 3140 msnm, en la parte Norte de la CERS en algunos depósitos ubicados sobre la formación Tambor, su exfiltración se produce en una zona de raíces, (Ver Foto 9), el caudal de aporte es aproximadamente 0.6 l/seg, sus aguas son utilizadas para el riego y su cauce transcurre en zonas de pastoreo hasta la meseta de depósitos de rosedal (Foto 10).



Foto 9 : Exfiltración en zona de raíces en N.REL.

2.3.6 CASA BALCÓN.

El cauce conocido como Casa Balcón, tiene su nacimiento a una altura de 3010 msnm, sobre depósitos y se encuentra muy cercano a la casa de este nombre, en cuanto a caudal, muy cerca de su nacimiento a una altura de 2990 se aforaron 0.125 l/seg, este caudal es incrementado al transcurrir el cauce por dos nacimientos N.CBA.D.01.00.00 y N.CBA.D.02.00.00, que continúan y son los responsables de las zona saturada en la primera meseta (Rosedal), ubicada en la parte media de la cuenca, (ver Foto 10).



Foto 10 : Planicie del Rosedal.

Esta planicie esta compuesta por material de depósito muy suelto y una capa de suelo orgánico bastante gruesa que facilitan el almacenamiento de una cantidad apreciable de agua, ésta agua es encausada por surcos en forma de espina de pescado que sirven de bebederos al ganado al mismo tiempo que la recoge y la conduce junto con la corriente principal del río sucio hacia una cárcava a la segunda meseta.

2.3.7 QUEBRADA RÍO SUCIO

Río sucio se encuentra atravesando la CERS en el sentido Este a Oeste hacia la parte Norte de la misma, el nacimiento principal se encuentra a una altura de 3360 msnm, acompañado por cinco nacimientos cercanos; es el sector de la CERS con mayor densidad de puntos de exfiltración, aspecto que se hace visible también en las zonas vecinas afuera de la cuenca, (Figura 6).

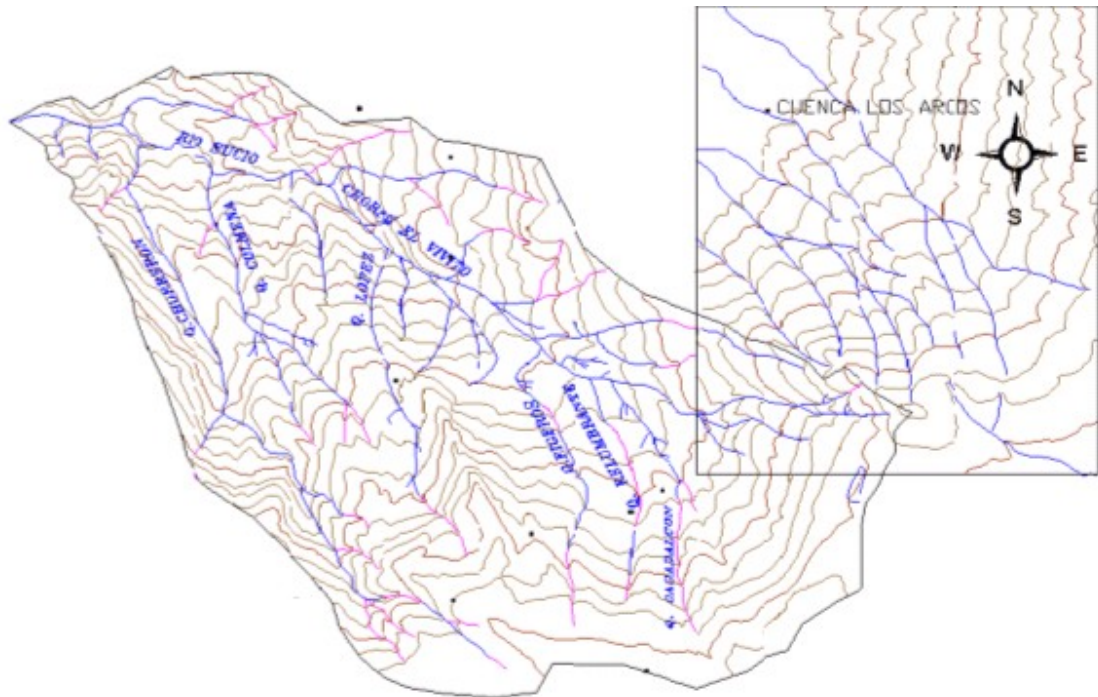


Figura 6 : Zonas de exfiltración, cercanas al nacimiento del Río Sucio.

La Figura 6, presenta los nacimientos ubicados en la parte alta de la CERS, pertenecientes a la cuenca del Río Sucio y la Quebrada vecina los Arcos, nótese el gran número de puntos de exfiltración, que asocian baja permeabilidad por porosidad primaria, Custodio y Llamas (1996), este aspecto fue corroborado en campo, donde se observó una capa vegetativa bastante abundante en el sector , que muestra una dinámica del agua bastante intensa, y que favorecida por el gradiente hidráulico, asocia su origen a la zona adyacente en la mesa de Berlín.

En los alrededores del Nacimiento principal de Río Sucio, se puede encontrar tapetes de pequeñas plantas hidrófilas almacenadoras de agua como la *SpHagnum* sp, planta capaz de retener hasta siete veces su peso en agua, Vélez Ma. Victoria (2005), el N.SUC.O.00.00 se encuentra ubicado sobre Neis, durante el descenso del SUC hacia la meseta de Rosedal, es interceptado por dos nacimientos N.SUC.I.02.00 y N.SUC.I.03.00, el primero llega al Río Sucio por la parte trasera de la casa del Espino; el segundo es el que inunda en dos puntos el

camino que conduce del espino a la Laguna y presenta unas características muy particulares, como ya se dijo en la sección 2.2, el nacimiento se debe a un cambio en la conductividad hidráulica, causado por el cambio de litología que pone en contacto la formación Girón y algunos depósitos, su cauce no presenta ninguna turbiedad, el fondo es de material limoso de color pardo oscuro, posiblemente por la precipitación del potasio y el hierro producido por la formación Girón (ver Foto 11).



Foto 11 : Nacimiento producido por el contraste de litología (N.SUC.I.03.00).

La Quebrada Río Sucio a partir del sector del Espino, se encuentra influenciada por factores antrópicos, debidos a la utilización y vertido de sus aguas al mismo cauce, en usos domiciliarios, de pastoreo y en cultivos.

Luego del Espino, el cauce de Río Sucio continúa por la primera meseta (Rosedal), de forma paralela al cauce de Casa Balcón, hasta el punto de encuentro en una cárcava, producida por la erosión en una zona de depósito, que

conduce el flujo a la segunda meseta (el Carbón), compuesta también por material heterogéneo de depósito.

En el sector de la Casita, se considera como un punto neurálgico, en Río Sucio porque muestra alta actividad química reflejada en dos patologías diferentes, el cambio a una coloración oscura y la precipitación de carbonato de calcio.

El cambio de coloración se debe a la solución de material carbonáceo originado de el componente orgánico de la formación paja procedentes de los procesos de inestabilidad de esta zona (Rojas y Ulloa, 2005), que hace que el Chorro el Vivito tome una tonalidad oscura, y a partir de ese sitio sea conocido como Río Sucio (Ver Foto 12).



Foto 12: Cambio de coloración en el sector la Casita (Río Sucio).

Este problema se encuentra localizado en una pequeña zona, sin embargo, se expande a las corrientes que le llegan a Río Sucio aguas abajo, alterando el contenido de sales disueltas en adelante.

La segunda patología esta asociada la precipitación de carbonato de calcio. (Ver foto 13)



Foto 13 : Formación de precipitado de calcio en la casita.

En la foto 13, se puede observar la acción impermeabilizante que deja el carbonato cálcico, en su asentamiento continuo, ayudada por la velocidad pequeña de la lámina de agua, este efecto incrustante constituye un problema para los habitantes de la zona por el sucesivo taponamiento de tuberías.

La foto 14 muestra las corrientes que convergen al punto de la casita, y que se ven afectadas por la gran actividad iónica de este lugar.



Foto 14 : Panorámica general del sector de Barro Negro y la Casita.

Las Figuras 7, 8 y 9, muestran los productos del inventario de la CERS, haciendo una comparación entre las redes hídricas existentes y las nuevas inventariadas.



Figura 7 : Red hídrica antes del estudio temático.

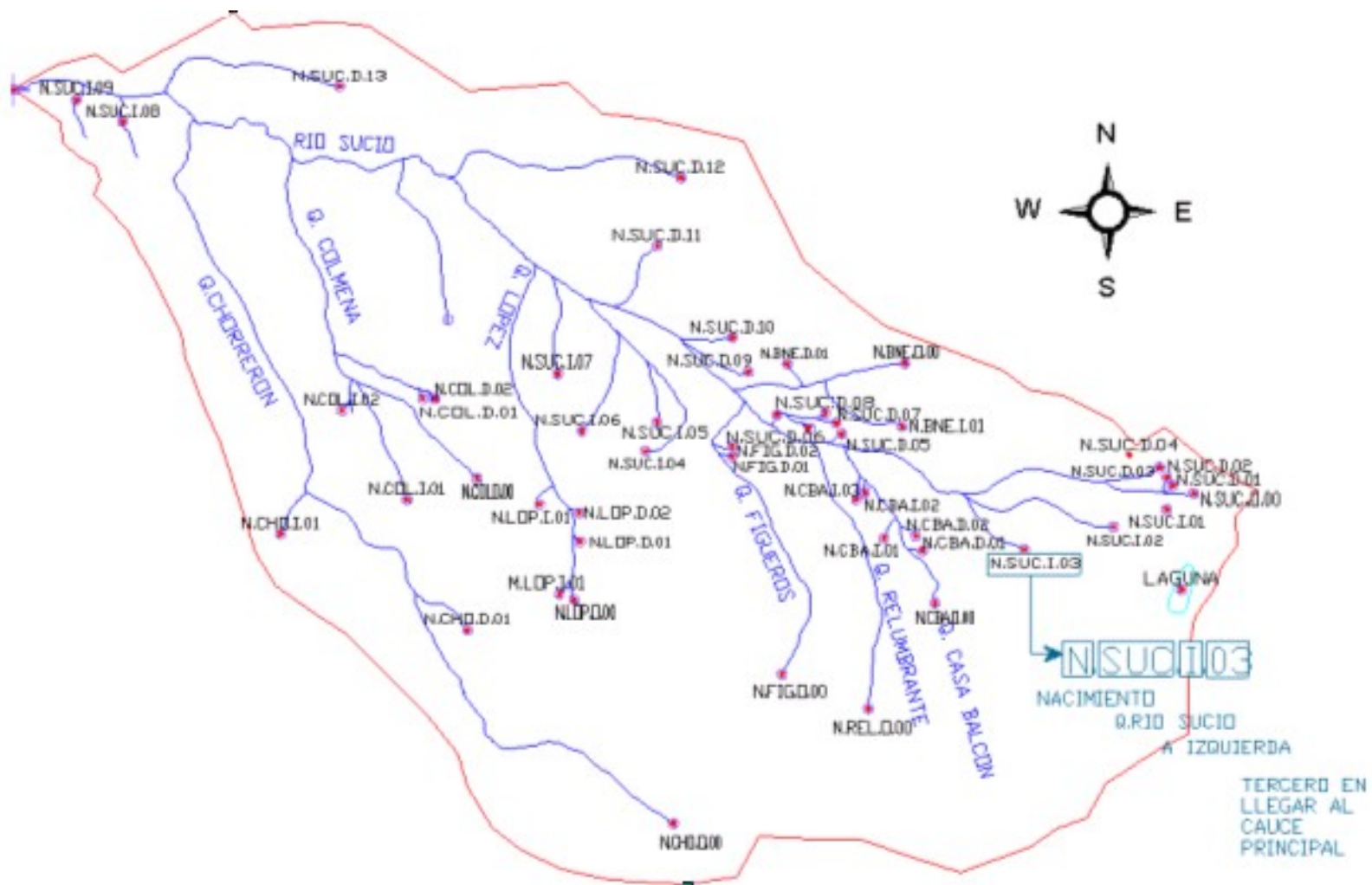


Figura 8 : Red hídrica después del estudio temático.

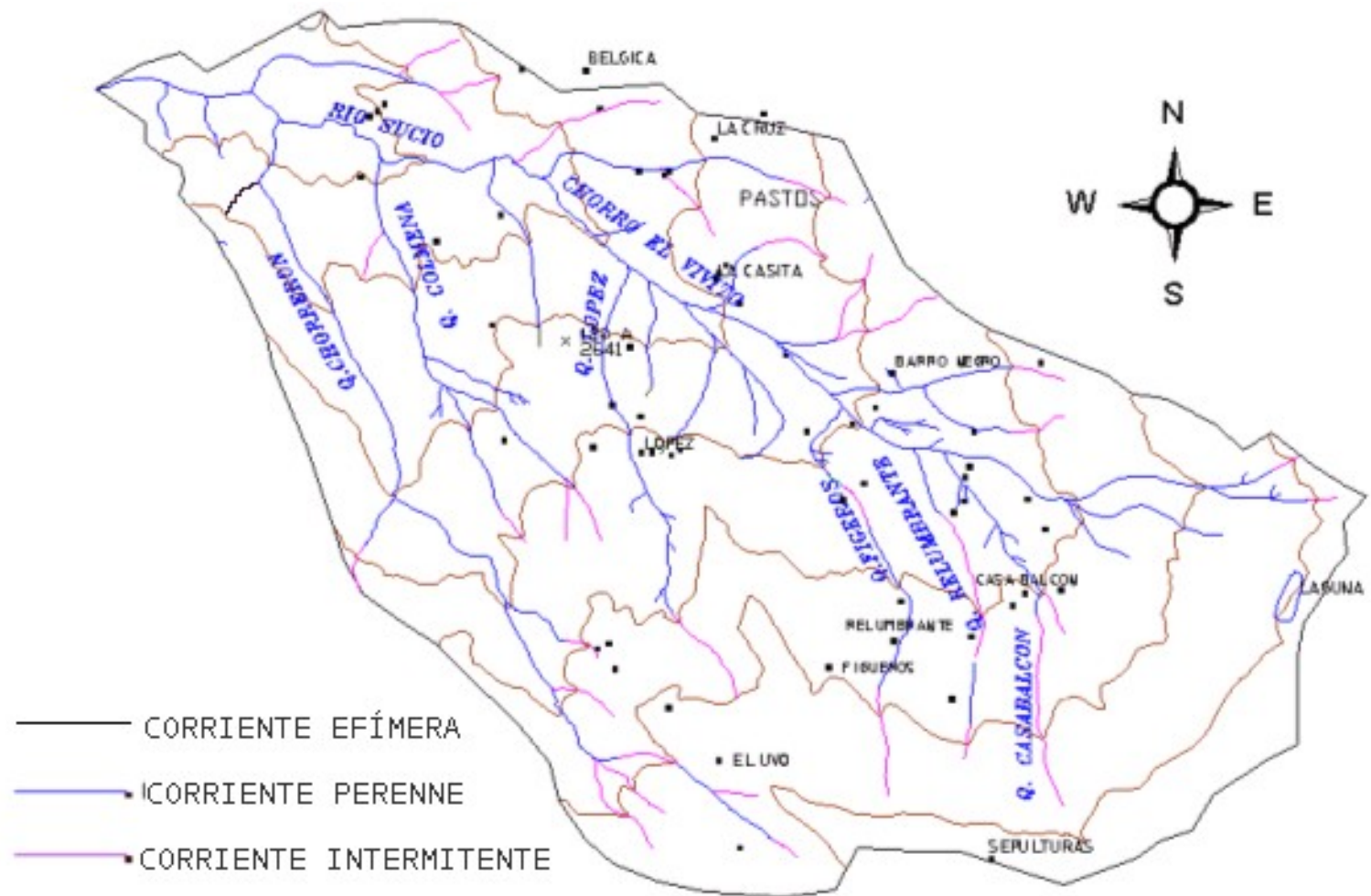


Figura 9 : Tipos de corrientes en la CERS.

En la Figura 9, se presentan los diversos tipos de corrientes que se identificaron durante el recorrido realizado en el inventario; predominando las partes superiores de los nacimientos y algunas zonas de depósito como intermitentes (influentes-efluentes), y los cauces en azul y algunas nuevas exfiltraciones que aparecieron por la escala, como perenne (efluente); finalmente solo se detectó un cauce en el margen izquierdo del Chorrerón como efímero (influyente), debido quizá a un cambio en la capa vegetativa original de la zona.

2.4 AFORO DE LA RED HÍDRICA DE LA CERS ORIENTADO A EL ESTUDIO DEL CAUDAL BASE.

El caudal base corresponde al aporte hecho por la escorrentía subterránea a el caudal total; en la CERS este caudal fue estimado de manera aproximada, en 9.22 lps mediante mediciones volumétricas hechas en época de estiaje en los nacimientos. Ver Figura 10.

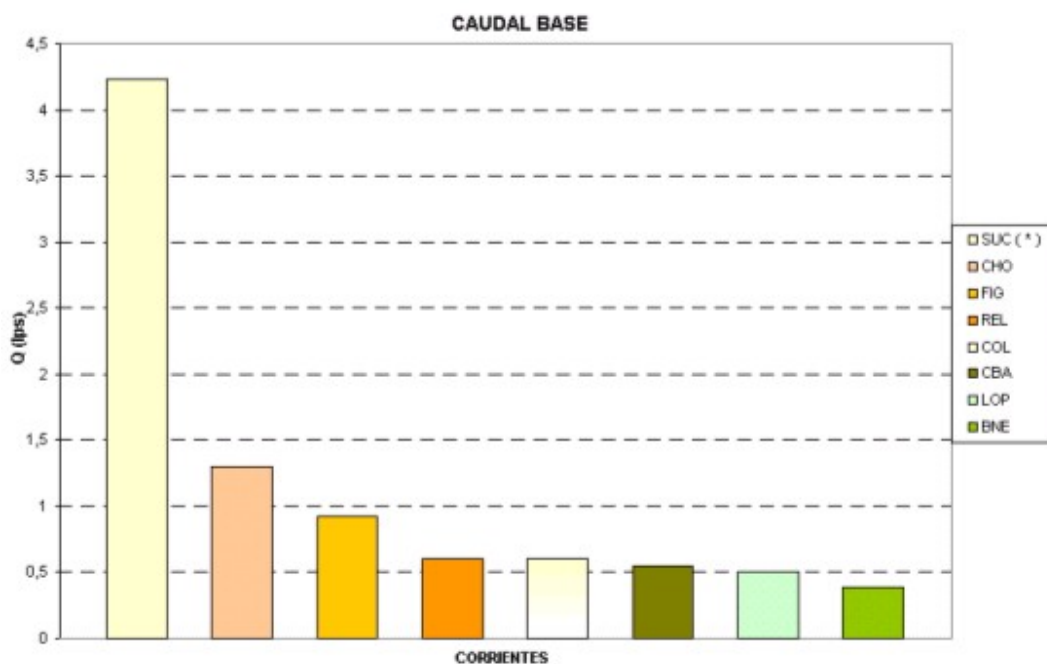


Figura 10 : Caudal base en la CERS.

(*) = Caudal medido en los nacimientos de R.sucio, sin el aporte de las otras corrientes tributarias.

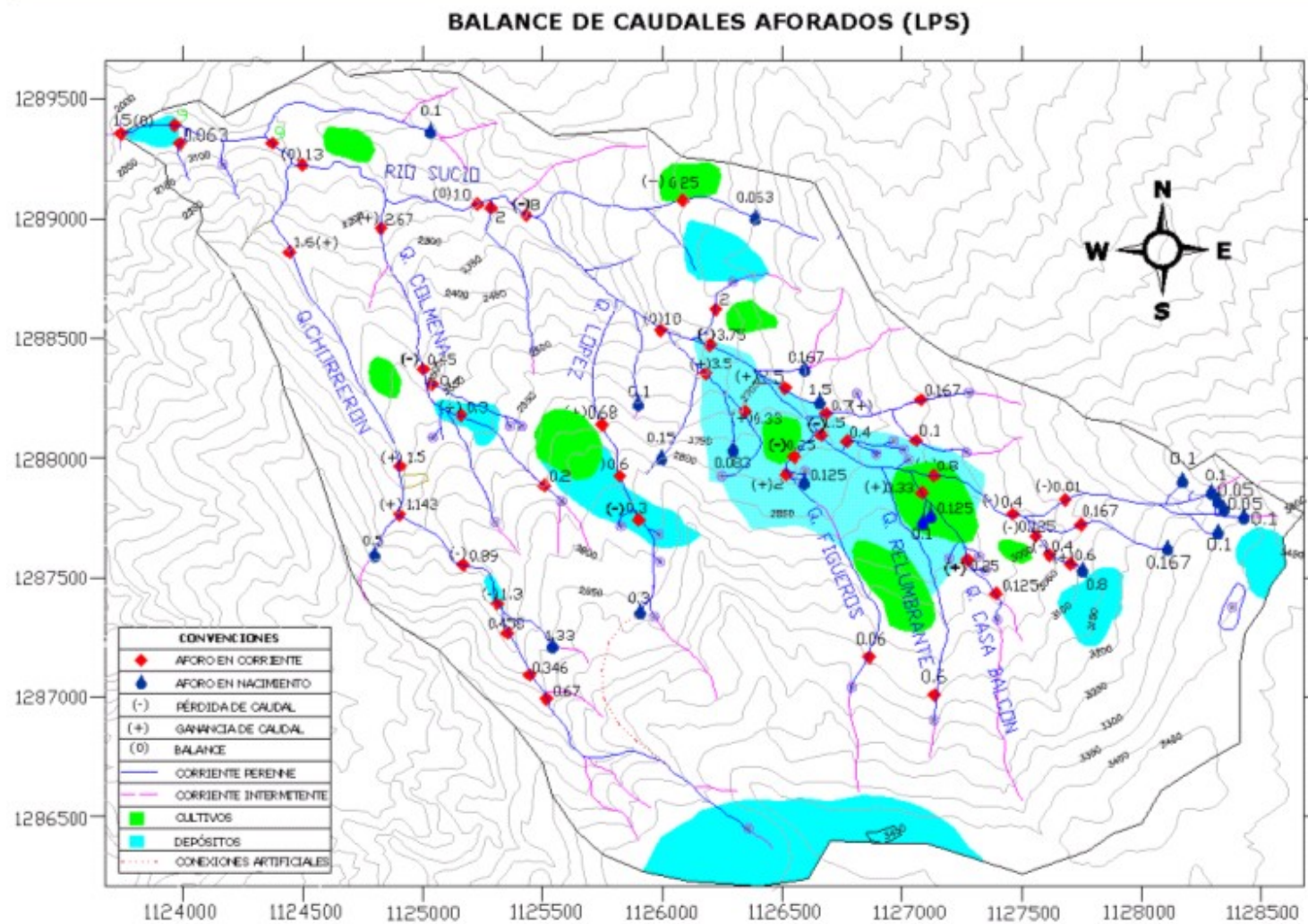


Figura 11: Balance de Caudales aforados en la CERS.

La Figura 11 muestra los diferentes caudales aforados en la CERS y asocia variables como gradiente hidráulico, cultivos y zonas de depósito a la ganancia o pérdida del caudal, con el fin de relacionar estos caudales con el tema de la recarga.

Como se puede ver en la Figura 10 y 11, los mayores caudales de flujo base, se presentan en los cauces con nacimientos en material no consolidado, principalmente el Río Sucio con 4.23 lps, que se encuentra atravesando los depósitos mas importantes de la CERS.

La corriente del Chorrerón en sus nacimientos capta 1.3 lt/seg, un caudal importante que es suministrado principalmente por los depósitos fluvio glaciales localizados en el altiplano de Berlín e influenciados por la ruta preferencial hacia la C.E.R.S trazada por la falla regional la cristalina, responsable junto con los aportes puntuales del sistema de diaclasas en el Ortoneis de las disminuciones puntuales en los caudales del Chorreron; lo anterior fue corroborado por las campañas de geofísica (Rojas y Ulloa, 2005) e hidroquímica en la CERS en general, se ha observado que los principales aportes a la red hídrica de la quebrada Río Sucio, como son el Chorro el Vivito y La quebrada Chorrerón, están alineados, con sistemas de fallas regionales. (Rojas y Ulloa, 2005).

El siguiente cauce en aporte es Figueros, que es alineado por la falla del mismo nombre, su nacimiento ocurre sobre la formación Rosablanca que se caracteriza por el alto contenido de calizas, principales responsables de fenómenos karsticos que aumentan la capacidad de transporte y almacenamiento; este cauce se infiltra a una altura de 2950 msnm, en un depósito y exfiltra en cercanías de la casa del Carbón.

Relumbrante y Casa Balcón son corrientes muy similares en cuanto a comportamiento tanto fisicoquímico como hidráulico, porque son corrientes que comparten la misma formación de afloramiento (Tambor).

En cuanto a los nacimientos de Colmena, López y Barronegro, se caracterizan por manejar bajos caudales, pero que en su transcurso debido a zonas de alta capacidad hidráulica como los depósitos, aumentan su caudal considerablemente.

Adicionalmente a los aforos hechos en los nacimientos, se realizaron aforos en los mismos puntos dados para parámetros fisicoquímicos; esta información junto con otra de carácter más general sobre las subcuencas (Tabla 4), dan una primera aproximación del tipo de comportamiento que siguen los caudales a través de todo el cauce.

Tabla 4: Características generales de las subcuencas en la CERS.

CORRIENTE	AREA (Km2)	HORTON	CORRIENTES PERMANENTES	TOTAL CORRIENTES	Ds	CAUDAL (lps)
CHO**	1,7064	2	3	8	4,69	4
COL**	0,7614	3	5	9	11,82	0,6
LOP**	0,5373	2	4	4	7,44	0.5
REL**	0,6318	1	1	1	1,58	0,6
FIG**	0,9207	1	3	3	3,26	0.93
CBA**	1,2492	2	6	7	5,60	0,55
BNE**	0,279	2	3	3	10,75	0.39
SUC***	9,67	3	47	64	6,89	7.43

*** Caudal de R. Sucio en la batea, sin el aporte de las otras corrientes.

** Caudales finales por corriente.

En la tabla 4, se muestran las áreas de aporte clasificadas por subcuencas, el número de corrientes permanentes, y parámetros como el grado de bifurcación de Horton y la densidad de corrientes, que pueden servir en la comparación del tipo de respuesta de las subcuencas, un ejemplo de esto es la quebrada del Chorrerón, que comparado con las otras corrientes de la CERS, tiene una densidad de corrientes de las mas bajas para su caudal de aporte, lo cual denota un aporte muy importante de uno de sus afluentes, para este caso el cauce principal sobre la falla la cristalina.

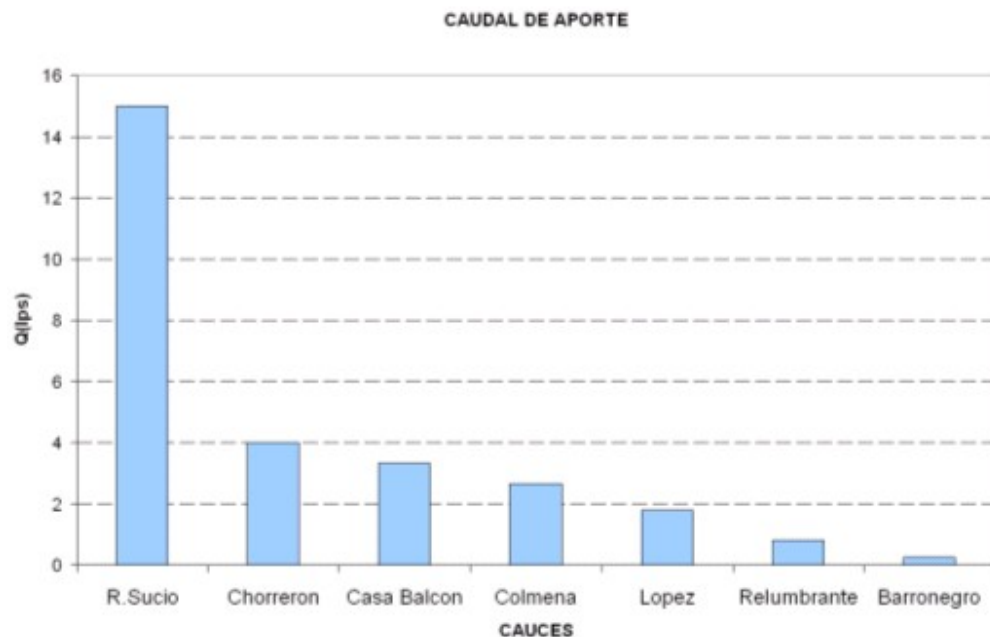


Figura 12 : Caudal de aporte de los afluentes principales.

En la Figura 12, se hace notoria la diferencia de aportes entre corrientes, distinguiéndose entre los cauces tributarios, el del Chorrerón, a pesar de contar con una red hídrica poco desarrollada (2do. Orden de Horton), sirve de abastecimiento para el sector sur-occidental de la CERS, la quebrada Casa Balcón por tratarse de una corriente que se desarrolla en su último tramo en los depósitos que conforman la meseta de Rosedal, formando un humedal extenso y la Colmena, una de las subcuencas con mas bifurcación (3er. Orden de Horton), que cuenta con muchos nacimientos debido a la alta conductividad de la formación Tambor y de los depósitos en los que se localizan sus afloramientos.

La corriente de López, está favorecida por una zona que le sirve de captación, por su extensa área, topografía y altura permite que se presenten fenómenos de condensación de cierta importancia, descritos anteriormente.

Las corrientes menores de Barro Negro y Relumbrante, aportan poco caudal, debido al recorrido pequeño de sus cauces que sirven por la topografía y la alta porosidad primaria, como aporte a otros depósitos.

3 MARCO DE REFERENCIA HIDROQUÍMICO

La construcción de un modelo hidrogeológico conceptual, demanda informaciones temáticas de diversos campos, el presente proyecto tiene como objeto brindar la herramienta hidroquímica para la consecución de dicho modelo, este capítulo desarrolla la metodología y las técnicas que se siguieron, para realizar los análisis hidroquímicos.

La elaboración de dichas pautas comprende varias etapas de análisis, la primera etapa abarca el análisis de parámetros fisicoquímicos, también llamados trazadores naturales por su facilidad, precisión y economía, el conocimiento de estos parámetros proporciona bases de las reacciones que se pueden presentar en el agua por su interacción con la litología.

Este comportamiento se distribuyó, con el fin de llegar a la formación de grupos de zonas con igual comportamiento hidroquímico, para ser datados en la próxima etapa.

La segunda etapa comprende el análisis de iones mayores, los cuales permiten además de clasificar el agua evidenciar datos importantes como tiempos de residencia, edad de las aguas y tiempos de circulación, lo anterior claro está de forma cualitativa.

3.1 Características Fisicoquímicas de las aguas

El agua es el solvente por excelencia en la naturaleza, cuyas propiedades pueden variar según parámetros fácilmente alterables en el medio natural, el estudio de estos parámetros puede conducir al conocimiento de las capacidades del agua como solvente, a continuación se presentan los parámetros evaluados en la CERS, para tal fin:

3.1.1 Temperatura

La importancia de la temperatura radica en que puede regular otros parámetros importantes como la cantidad de oxígeno que puede estar en solución, y con ello aspectos de carácter biológico, que inciden directamente en la absorción de gases como el CO₂, y el mismo O₂, en el agua; otro parámetro que es afectado por este parámetro es el pH.

En las aguas subterráneas, la variación del parámetro temperatura se produce con la profundidad de procedencia de estas aguas, en una proporción de 3°C cada 100 m de descenso.

3.1.2 Oxígeno Disuelto (mg/L, %)

El oxígeno disuelto es indispensable en las aguas naturales para los organismos acuáticos, responsables de la auto purificación del agua; su concentración puede ser afectada por agentes como la temperatura, la cantidad de sales disueltas, la turbulencia y la presión atmosférica, provocando que se produzcan variaciones importantes en la concentración, dependiendo de la hora del día.

Factores como malos olores (fermentaciones anaerobias) y mal gusto, indican poca cantidad de Oxígeno en solución.

La medición de Oxígeno disuelto es importante en la campaña de muestreo de parámetros fisicoquímicos, porque además de regular los procesos Redox, demuestra el grado de aireación del agua datada; presentando valores pequeños cercanos a cero en las zonas de nacimiento, como producto del consumo rápido por oxidación de minerales como el Fe, y el K, Custodio y Llamas (1996).

Al igual que el pH, el Oxígeno disuelto debe ser medido in situ por su fácil alteración, para este caso la medición de Oxígeno disuelto se realizó con la ayuda de un electrodo de membrana, que ofrece lecturas rápidas y confiables.

3.1.3 Salinidad (mg/l)

El parámetro salinidad, muestra la saturación de iones en el agua, su análisis resulta interesante porque, controla otros parámetros como la cantidad de oxígeno

disuelto, y la electro conductividad que depende de la actividad de estos iones, el parámetro salinidad debe ser medido in situ para evitar lecturas erróneas, causada por la precipitación de sales.

3.1.4 Electro Conductividad (EC)

Este parámetro Físico, muestra la capacidad del agua de conducir corriente, el EC depende de la cantidad de iones cargados positiva y negativamente puestos en solución, y su dinámica dentro del agua, por lo que se relaciona directamente con la salinidad (Parámetro químico), mediante la relación (Ecuación 3.1.):

$$\text{Sumatoria de sales disueltas (mg/L)} \approx \text{Conductividad (}\mu\text{S/cm)} * 0,75 \quad (3.1)$$

El aumento del parámetro EC llega, hasta un punto con la saturación de sales, en el cual está tan saturado de iones que se empieza a restringir el movimiento de los mismos, y se produce un descenso de EC, en vez se el aumento; en la CERS la concentración de sales no llega a ser tan alto por lo que no se produce este tipo de condiciones.

Otro de los factores con el cual puede mostrar variación el EC, manteniendo el mismo contenido de iones, es la temperatura, con su aumento aumenta también el grado de excitación de los iones y por lo tanto la conductividad, se dice que varía aproximadamente de 1 a 4 % en 1°C.

3.1.5 Potencial de Hidrogeno (pH)

El pH, se define como la concentración efectiva del Ion-hidrogeno, o más específicamente de la actividad de este, que es expresado matemáticamente como el logaritmo negativo base diez de los iones H+.

Dentro de los parámetros químicos del agua el pH ocupa un lugar importante por que es el responsable de reflejar las reacciones tanto biológicas (fotosíntesis de algas) como químicas, producidas por la alteración del equilibrio de disociación del agua, Custodio y Llamas (1996).

La escala de variación del pH, se encuentra entre 0 y 14, considerándose valores inferiores a 7 como ácidos, y superiores como básicos, el valor límite es considerado como pH neutro.

Los valores de pH en aguas subterráneas, varían en un intervalo comprendido entre 5 y 8, por el contenido de dióxido de carbono que forma un sistema de amortiguamiento con el ácido carbónico.

En cuanto a la medición del parámetro, debido a su variabilidad, se considera conveniente su medida in situ, para evitar su alteración por agentes externos.

3.1.6 Redox (mV)

El potencial Redox (Eh), refleja el estado de oxidación-reducción de las aguas naturales; Iones del mismo elemento pero en diferentes estados de oxidación constituyen un sistema redox el cual se caracteriza por tener un cierto valor, Luego para entender el redox es necesario observar el comportamiento seguido por las especies que son reducidas como el magnesio, hierro y los sulfatos.

Los componentes de Eh mas sensitivos son (O₂, NO₃, N₂, NH₄ y SO₄), cambiando su toxicidad o reactividad según su estado de Redox, Schuring.J et al (2000).

En aguas naturales, los valores del Redox están dentro del rango de -500 mV a +700 mV, las aguas subterráneas y superficiales tienen un Eh que varia entre +100 mV y +500 mV, pudiendo llegar a valores muy inferiores de -500 mV, en aguas subterráneas que están en contacto con depósitos de aceite.

El valor del redox junto con el valor del pH, muestran si un agua es o no un medio agresivo o reductor, aspecto característico de las aguas subterráneas, lo cual influye en el ataque a rocas compuestas por silicatos, y calizas.

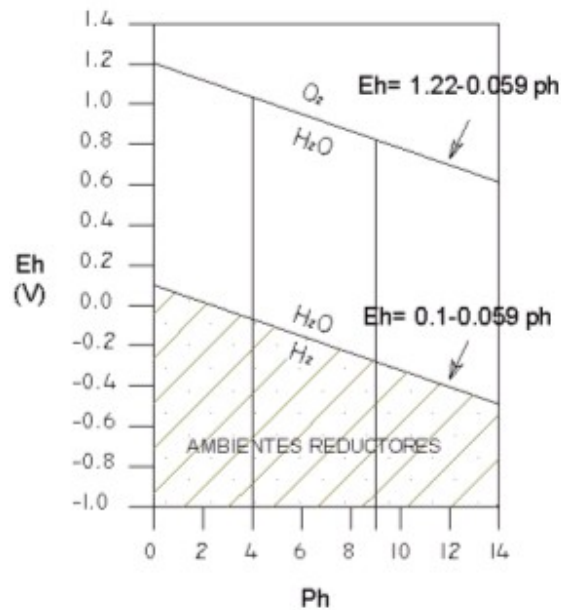


Figura 13: Cuadro de tendencia a ambientes reductores (Referenciado por Gómez y Santana, 1995).

La Figura 13 muestra la relación del Redox y el PH en ambientes reductores. En general, la mayoría de parámetros anteriormente descritos son muy susceptibles al cambio por factores externos, por lo cual su medición se realizó in situ con la ayuda de una sonda multiparamétrica.

El resultado de este primer muestreo son puntos datados con varios parámetros a lo largo de los diferentes cuerpos de agua, haciéndose necesario distribuir cada una de las variables por los diferentes cauces, para poder visualizar un comportamiento de las anteriores variables.

3.2 Regionalización de las variables

La espacialización de los datos se realiza para cada variable; para ello hay que definir en la cuenca unos corredores (búfer) para cada cauce poniéndolo a este como eje. Los valores que posee cada cauce son sometidos a una interpolación por cada corredor sin necesidad de mezclar datos de varios cauces, en caso de

que hubiera la necesidad de interpolar entre dos corredores se pueden comunicar entre sí permitiendo la interacción de datos de las dos regiones.

El método de interpolación se escoge dependiendo del ajuste de la superficie a buscar con los datos reales; generalmente se puede determinar observando el error. La superficie de cada corredor puede ser obtenida con algunas metodologías de interpolación. A continuación se muestran las técnicas que se pueden utilizar.

3.2.1 Inverso de la potencia de una distancia

Método que interpola pesos promedios; y puede interpolar superficies planas. Con la inversa de la potencia de una distancia los datos son recolectados durante la interpolación tanto que la influencia de un punto con relación a otros pierde valor con la distancia desde el nodo de la grilla. A medida que se van cargando los datos se asignan a un cargador de potencia que controla como los factores de peso desaparecen al incrementar la distancia a un nodo de grilla.

3.2.2 Mínima Curvatura

Es usado generalmente en las ciencias de la tierra. La interpolación generada por este método es análogo a un placa lineal fina elástica parando a través de cada uno de los datos; con una cantidad mínima de vueltas, a la vez también superficies más lisas. No es un interpolador exacto; esto quiere decir que sus datos no son analizados exactamente. La paso de grilla es contado como una iteración. El valor de grilla es calculado hasta que los cambios sucesivos de valor sean menores que el valor residual mínimo o el numero máxima de iteraciones sea alcanzado.

3.2.3 Vecino más Cercano

Asigna el valor de los puntos más secanos a cada nodo de grilla. Este método es muy usado cuando los datos están eventualmente espaciados, Alternativamente en caso donde los datos están cercanamente sobre una grilla con solo unos pocos valores es método es efectivo para rellenar agujeros en los datos.

3.2.4 Métrica de Datos

Crea superficies de información de los datos, estas pueden ser totalmente horizontales o inclinadas, y toma un nodo como base. En general no es un interpolador de promedio de datos, a pesar de trabajar con planos se puede obtener información con la inclusión de líneas de falla, permitiendo ignorar los nodos por fuera de estas líneas, el valor final calculado para cada grilla es colocado en el centro de la misma.

La selección de el método de mejor ajuste se debe llevar a cabo utilizando como indicador el error medio cuadrático (EMC), Ecuación 2. :

$$EMC = \sqrt{\frac{1}{n}(\sum R^2)} \quad (2)$$

Donde:

n = Numero total de datos.

R = Diferencia entre dato estimado y dato real.

Una vez se tiene la variable especializada se realiza la clasificación de todos los puntos hallados, en base a las variables especializadas.

3.3 Técnicas de análisis multivariantes

La zonificación de la cuenca permitirá determinar regiones en la cuenca con características similares. La metodología empleada es la de tomar las variables fisicoquímicas y mediante algunas técnicas de espacialización y análisis multivariantes, se espera obtener algunas zonas homogéneas que serán utilizadas para seleccionar puntos representativos para un análisis de iones principales.

La técnica empleada para la formación de tipologías, es conocida como “clustering” (conglomerados), y se basa en la evaluación de una distancia entre los datos, llamada medida de disimilaridad.

Los datos deben estar organizados de tal forma que los puntos o individuos, tengan características propias (parámetros fisicoquímicos), el parecido entre los individuos será evaluado según la diferencia que exista entre dichas características, cuando se tiene en cuenta para el análisis una sola característica, el análisis recibe el nombre de univariante, si las características o variables a evaluar es mas de una, el análisis se denomina multivariante.

La formación de los cluster's, puede realizarse de dos formas :

- ❖ **Método jerárquico:** Tiene como característica principal, la generación de sucesiones ordenadas (jerarquías), y tiene la particularidad que un dato que es ubicado dentro de determinado cluster es removible en adelante; el número de clusters es fijado por el investigador de acuerdo a los resultados dados que son visualizados por medio de diagramas de árboles o dendogramas Fig. 14.

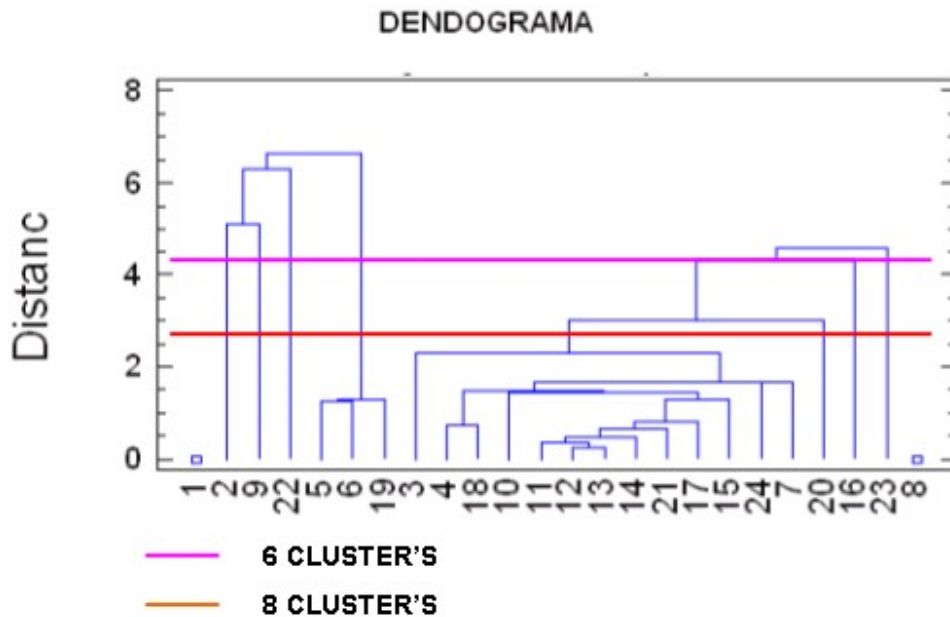


Figura 14 : Cuadro de tendencia a ambientes reductores (Referenciado por Gomez y Santana, 1995).

En la Figura 14, se puede ver dos opciones de conglomerados, con 6 y 8 cluster, el número de particiones, es decidido según la distancia de disimilaridad máxima permisible.

- ❖ **Metodo Aglomerativo:** El método aglomerativo consiste en la partición de los datos, de forma iterativa hasta que los clusters formados cumplan con el requisito de la distancia de disimilaridad, tiene la particularidad de presenta la movilidad de datos entre cluster's.

3.3.1 Calculo de la distancia

Como los datos son representados como una especie de coordenadas (X_i, X_k), la evaluación de la distancia entre datos, se puede llaver a cabo, utilizando diferentes criterios estadísticos:

- ❖ **Vecino mas Cercano (Nearest Neighbor):** Elige como distancia de comparación entre el conglomerado $\{O_i, O_j\}$ y el conglomerado $\{O_k\}$, la más pequeña de las distancias de sus individuos (Ecuación 3):

$$d(\{O_i, O_k\}, \{O_k\}) = \min \{d(\{O_i\}, \{O_k\}), d(\{O_j\}, \{O_k\})\} \quad (3)$$

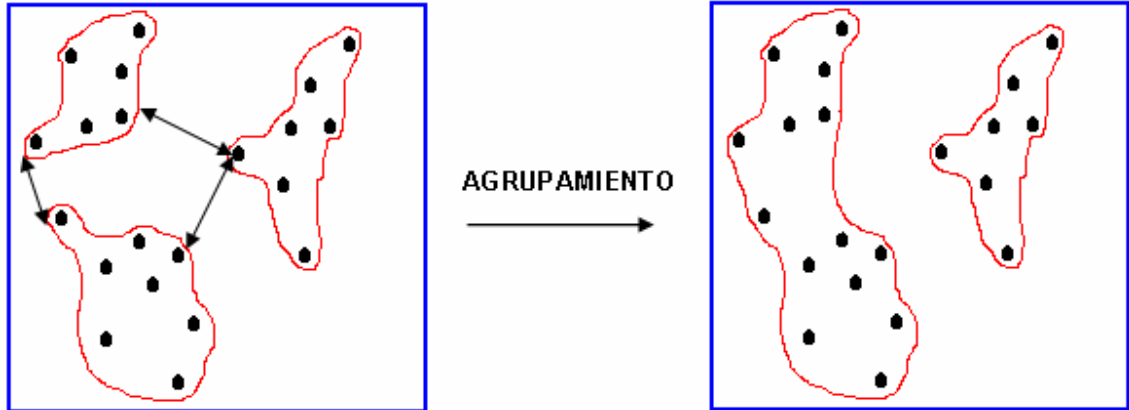


Figura 15 : Proceso de agrupación por el vecino mas cercano.

- ❖ **Vecino mas Lejano (Earest Neighbor):** Este método, al contrario al anterior, toma como distancia la mas grande calculada entre los datos de diferentes cluster's, (Ecuación 4), Figura 16.

$$d(\{O_i, O_k\}, \{O_k\}) = \max \{d(\{O_i\}, \{O_k\}), d(\{O_j\}, \{O_k\})\} \quad (4)$$

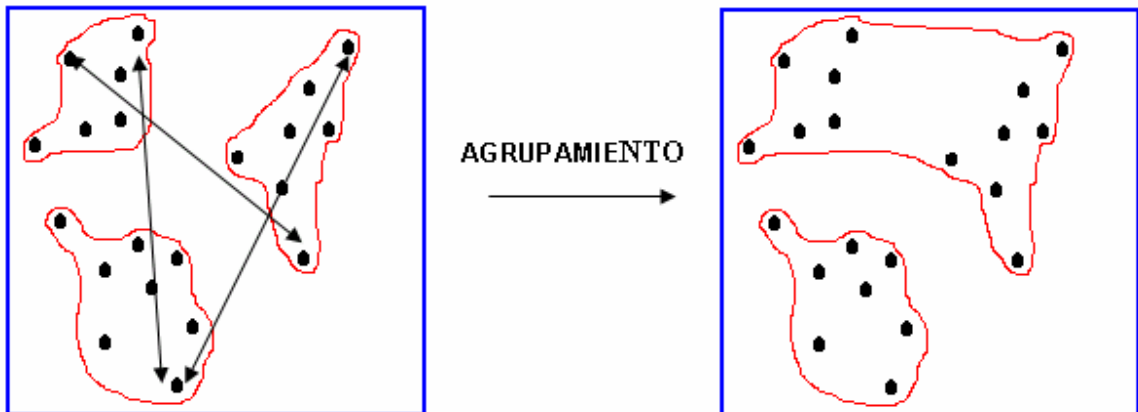


Figura 16 : Proceso de agrupación por el vecino mas lejano.

- ❖ **K medios:** Este método, consiste en un proceso de partición, de acuerdo a un número de semillas predeterminadas, se usa como distancia medida de un grupo a otro como la media entre los dos grupos. Este método tiende a combinar grupos que tiene variación pequeña y puede producir grupos que tienen la misma variación (Ver Figura 17).

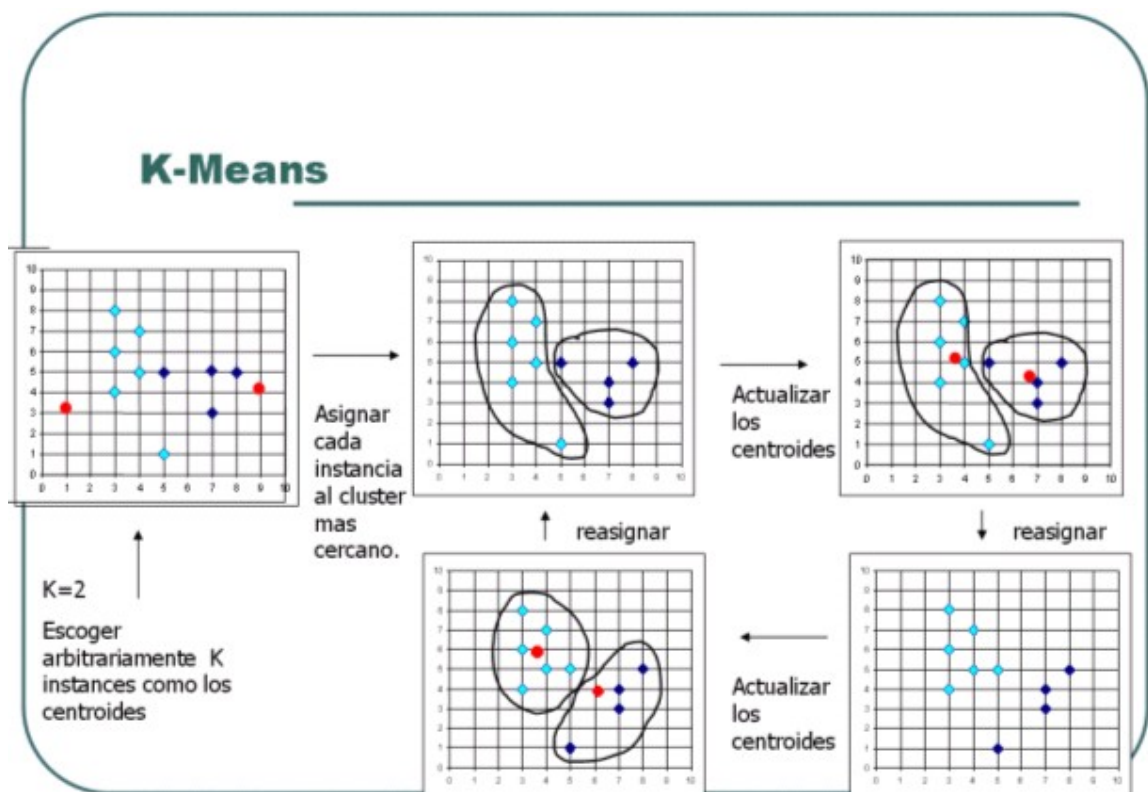


Figura 17: Proceso de agrupación por K- medios (Tomado de ESMA 6835/ Minería de datos).

- ❖ **Centroide :** Es el uso de la distancia media entre algunos puntos de dos grupos. Cuando se agrupan, se pueden formar nuevos centroides. Los centroides del grupo se mueven todo el tiempo dependiendo si están cambiado los grupos. El método del centroide exige usar datos métricos; otros métodos no lo hacen.

- ❖ **Media** : Se usa la distancia medio de un grupo en otro como la media entre los dos grupos. Este método tiende a combinar grupos que tiene variación pequeña y puede producir grupos que tienen la misma variación.

3.4 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS

Si con la sectorización se pueden plantear puntos representativos a los cuales se le realizan análisis mas detallados que evidencien la posible relación de la formación que atraviesa el flujo, vale la pena conocer los factores que causan la presencia de cada uno estos parámetros químicos en los cuerpos de agua.

3.4.1 DUREZA TOTAL

La dureza de las aguas naturales depende principalmente de la presencia de sales disueltas de calcio y magnesio. Las sales que determinan la dureza se dividen en dos: dureza al carbonato (determinada a través de la evaluación de las concentraciones de los hidrogenocarbonatos de calcio y magnesio), y la dureza no carbonácea (se determina a través de las sales de calcio y magnesio provenientes de ácidos fuertes).

La dureza debida al calcio es la que prevalece (por encima del 70%), aunque en algunos casos la dureza del magnesio puede alcanzar valores comprendidos entre 50-60%.

La dureza se refleja en el alto consumo de jabón y detergente cuando el agua es utilizada en actividades cotidianas como el lavado domestico. No se ha encontrado ninguna correlación entre las agua con alto contenidos de dureza y daños al organismo. Por otra parte esta ligada a parámetros como el pH y la alcalinidad y dependiendo de ellos puede formar depósitos en las tuberías obstruyéndolas.

3.4.2 CALCIO (Ca⁺⁺)

El calcio se disuelve fácilmente a partir de las rocas que lo contienen especialmente en las calizas y yeso. Los efectos que producen estas concentraciones de calcio sobre la salud del hombre y de los animales son absolutamente insignificantes.

Las concentraciones de calcio en las aguas naturales son típicamente <15 mg/L. Para aguas asociadas con rocas ricas en carbonato las concentraciones pueden ser de 30 a 100 mg/L. Las aguas salobres tienen concentraciones de varios cientos de miligramos por litro o más.

3.4.3 HIERRO TOTAL (Fe)

Debido a su propiedad de ser rápidamente precipitado como hidróxido, las aguas superficiales y subterráneas movilizan en solución pequeñas cantidades de hierro, no obstante, una movilización considerablemente mayor suele tener lugar a través de la erosión y el transporte de partículas sólidas (incluidos aquí los coloides y las sustancias orgánicas) arrastradas por las aguas superficiales.

Se encuentra en los silicatos de color oscuro de las rocas ígneas y también se encuentra en las arcillas. (Custodio y Llamas,1996).

El hierro en concentraciones mayores de 0.2 mg/lit es inconveniente en aguas para uso público, no por su toxicidad sino por su presentación y sabor. Mas de 5 mg/lit pueden ser tóxicas para las plantas (Custodio Y Llamas 1996)

3.4.4 MAGNESIO (Mg⁺⁺)

El magnesio procede principalmente de las rocas sedimentarias que contienen minerales ferromagnesianos y carbonatos, aunque también pueden venir de las rocas ígneas por el olivino, la Hornblenda, y la augita y por la serpentina, el talco, el dióxido y la tremolita de las rocas metamórficas; además la mayor parte de las

calcitas tienen algo de magnesio, de tal manera que una disolución de roca caliza puede proporcionar al mismo tiempo grandes cantidades de calcio y magnesio.

Se encuentran concentraciones de 1 a 100 mg/lit en aguas dulces, este valor se incrementa en aguas salinas o salmueras.

3.4.5 POTASIO (K⁺)

El potasio se encuentra en bajas concentraciones en aguas naturales puesto que las rocas que lo contienen son muy resistentes a la meteorización. Sin embargo las sales de potasio se utilizan ampliamente en la agricultura, entrando a las aguas superficiales a través de las escorrentías en zonas agrícolas.

Las concentraciones en las aguas naturales son menores de 10 mg/L, mientras que concentraciones tan altas como 100 y 25000 mg/L son comunes en aguas termales.

A pesar de ser relativamente mayor su presencia en rocas que el sodio en las aguas naturales su concentración es menor.

3.4.6 SODIO (Na⁺)

El Sodio es uno de los elementos más abundantes en la naturaleza, se encuentra como componente en varios tejidos animales y vegetales en forma casi equivalente con el ión minoritario Flúor, debido a su alto grado de solubilidad, es difícilmente precipitable; el incremento abrupto de Sodio en aguas superficiales puede provenir de algún tipo de influencia antrópica como el vertido de aguas domésticas o industriales; en la naturaleza es componente de algunos silicatos.

3.4.7 SULFATOS (SO_4^{-2})

Los sulfatos se encuentran presentes en el agua a causa de la disolución de la mayoría de las rocas sedimentarias; pueden derivarse en grandes cantidades de lechos de sulfatos, depósitos de sodio y de algunos tipos de arcillolitas.

La concentración de sulfatos en aguas naturales está comprendida entre 2 y 80 mg/L, aunque puede excederse hasta 1000 mg/L muy próximamente a las descargas industriales o en regiones áridas en donde existen minerales de sulfato tales como yeso. Concentraciones elevadas (>400 mg/L) pueden hacer inservible el agua para su consumo humano.

3.4.8 ALCALINIDAD

La alcalinidad tiene mucha relación con el PH, está basada en la capacidad de neutralización de ácidos. En aguas subterráneas se mide el efecto principalmente de los iones CO_3H^- y CO_3^{-2} (Carbonatos y bicarbonatos).

Las aguas de baja alcalinidad (menores de 24 mg/L como carbonato de calcio) tienen una baja capacidad reguladora y por consiguiente son susceptibles de alterar el pH, por ejemplo por la deposición ácida de la atmósfera.

3.4.9 CLORUROS (Cl^-)

Son sales en general muy solubles, muy estables en disolución y difícilmente precipitables, no se oxida ni se reduce en aguas naturales en general son asociados a la meteorización de las rocas sedimentarias (la mayor parte de ellas son depósitos de sal), los efluentes industriales y aguas domésticas y la escorrentía de las zonas agrícolas. en especial en aguas salinas.

En las aguas superficiales su concentración es inferior a 10 mg/L y en algunas ocasiones menor de 2 mg/L. Concentraciones más elevadas pueden encontrarse a la salida de las aguas domésticas, en las zonas de drenaje y en las áreas

costeras. Como los cloruros están frecuentemente asociados con las aguas domésticas, su incorporación es un indicador de posible contaminación fecal.

3.4.10 NITRITOS Y NITRATOS

Los nitratos son sales muy solubles y por lo tanto son difícilmente precipitables, aunque las rocas ígneas contienen pequeñas cantidades de nitrato soluble o de amoníaco, la mayor parte del ion nitrato presente en las aguas naturales tiene un origen orgánico o procede de elementos químicos de origen agrícola o industrial.

Las concentraciones más frecuentes de ion nitrato pueden alcanzar hasta un máximo de 600 mg/lit en el caso de aguas subterráneas que han atravesado zonas donde se utilizan en abundancia los abonos nitrogenados o zona donde existen acumulaciones de estiércol y demás desechos orgánicos de animales. Las aguas subterráneas normales contienen una cantidad del ion nitrato que suele oscilar entre 0.1 y 10 mg/lit el decreto 475 de 1998 regula su valor en el agua potable a valores menores de 10 mg/lit de NO_3 .

Es muy importante conocer la cantidad de nitratos en el agua porque si excede de 10 mg/lit, su consumo puede producir cianosis en los niños y comunica corrosividad (oxidaciones) al agua, además produce interferencias en fermentaciones.

3.4.11 MANGANESO

El manganeso es menos frecuente en las aguas que el hierro, encontrándose en aguas ácidas en presencia de ácido carbónico, de compuestos orgánicos o en aguas contaminadas. Según el decreto 475 de 1998 el valor admisible es de 0.1 Mg/lit. Cantidades mayor a la anterior le confieren un sabor desagradable. Al oxidarse forma manchas negruzcas y favorece el crecimiento de ciertas bacterias.

3.4.12 IONES BICARBONATO (CO_3H^{-2}) Y CARBONATO (CO_3^{-2})

Estos iones comunican alcalinidad al agua, la meteorización de las rocas contribuye con el aporte de carbonatos y bicarbonatos. En áreas exentas de rocas carbonatadas, los anteriores compuestos proceden exclusivamente de la atmósfera y la degradación de los suelos.

Las cantidades relativas de carbonatos y bicarbonatos en las aguas naturales están relacionadas con el pH. El ión predominante es el bicarbonato como resultado de los procesos de meteorización de las rocas y el pH normal de las aguas superficiales (6 - 8.2). El carbonato es poco común en las aguas superficiales debido a que el pH nunca es superior a 9, mientras que las aguas subterráneas pueden ser más alcalinas y tener una concentración de carbonato superior a 10 mg/L. La concentración de bicarbonatos en las aguas superficiales es <500 mg/L y más generalmente <25 mg/L.

La concentración de carbonatos y bicarbonatos puede ser calculada a partir de la alcalinidad libre y total. Sin embargo, la validez de los cálculos es solo para agua pura ya que la alcalinidad se asume que se deriva de los carbonatos y bicarbonatos.

3.4.13 EVOLUCIÓN QUÍMICA DEL AGUA

Los parámetros químicos anteriormente relacionados, se tuvieron en cuenta para el presente estudio, porque son los directos afectados durante el ciclo hidrológico, esta alteración es reflejada por la variación en la cantidad de cada ión.

El ciclo del agua se inicia con la precipitación, en la cual las cantidades de los diversos iones son pequeñas (0.2 a 0.4 mg/l), sin embargo existe un predominio del ión Cloruro (Cl^-) en zonas continentales y del ión Na^{++} , en zonas costeras.

Durante la etapa de infiltración el parámetro que se ve afectado por la evolución del agua es el pH, caracterizado generalmente por los valores pequeños, inferiores a 7, que muestra el predominio del carácter ácido (producto de la

reacción con el CO_2 de la atmósfera); esta característica le confiere a el agua el poder agresivo contra los silicatos y carbonatos, donde los cationes H^+ que intervienen en esta interacción hace que la acidez disminuya.

Si el agua se mantiene en la capa de suelo superficial, mantiene su carácter ácido y por lo tanto agresivo, mediante la misma reacción anterior con el CO_2 , de lo contrario, es decir encontrar un acuífero o un medio saturado, pierde esta agresividad que lo caracterizaba al principio y la capacidad de ataque a los silicatos y carbonatos.

Cuando el agua alcanza la el nivel freático hasta que sale a la superficie de un cuerpo de agua, puede transcurrir varios días o muchos años; por lo tanto la evolución química del agua depende de los minerales con que entra en contacto y del tiempo. Los procesos químicos que se desarrollan son varios, pero en general las aguas con menor tiempo de permanencia en el subsuelo son bicarbonatadas, después vienen las sulfatadas y finalmente las aguas mas salinas son cloruradas; la representación de lo dicho se puede observar en la Figura 18.

	-----Recorrido y tiempo de permanencia en el acuífero ----->>>>>				
Anión predominante:	$\text{CO}_3\text{H}^- \rightarrow$	$\text{CO}_3\text{H}^- \rightarrow$ $\text{SO}_4^{=}$	$\text{SO}_4^{=} \rightarrow$	$\text{SO}_4^{=} \rightarrow$ Cl^-	Cl^-
	----- Aumento de la salinidad ----->>>>>>>				

Figura 18: Evolución química del agua Subterránea (Serie de Chevoltageb, Tomado de Sánchez, 1997).

Para el caso de los cationes la secuencia sería $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+$; pero no es tan claro y hay mas excepciones.

3.5 CARACTERIZACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Junto con el reconocimiento de la mineralogía de la zona y la composición química de las aguas se pueden correlacionar y estimar que tipos de agua se encuentran en la zona, y que problemas pueden llegar a presentar si se pretende utilizar.

3.5.1 DIAGRAMA DE PIPER

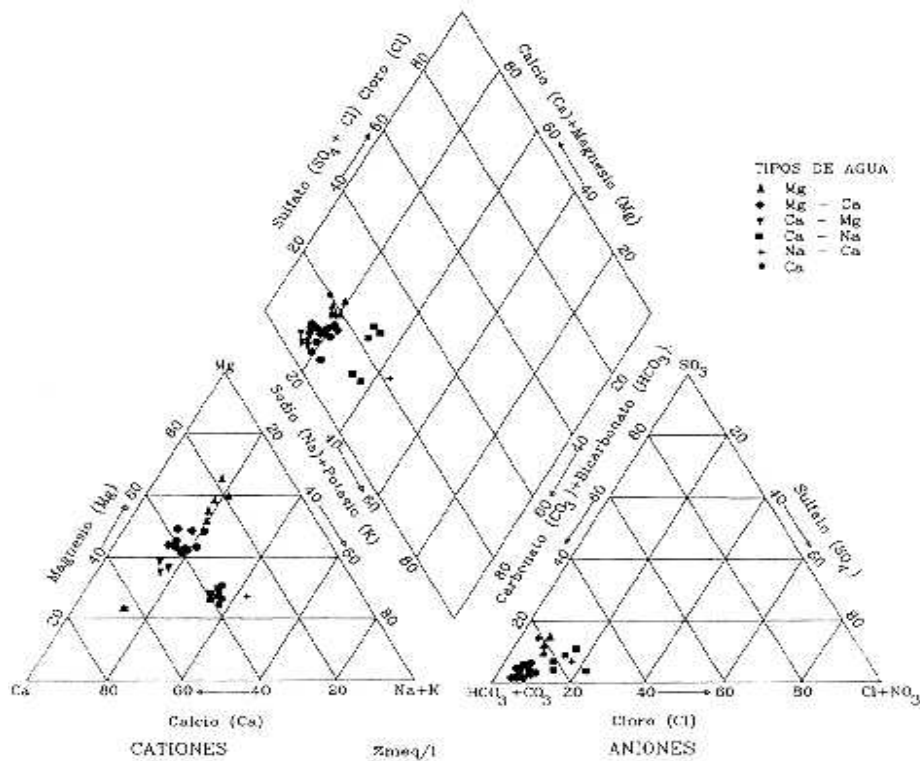


Figura 19 : Diagrama de Piper (Tomado de Custodio y Llamas 1996).

Es la representación unificada del comportamiento de los aniones y los cationes.

PROPIEDADES: Las aguas geoquímicamente similares quedan agrupadas en áreas bien definidas. Las mezclas de aguas, precipitaciones, disoluciones, modificaciones, etc. Quedan fácilmente reflejadas en el diagrama de Piper. Y a su vez estos fenómenos evidencian los procesos que ocurren en los estratos donde

se presenta el flujo subterráneo. En estos gráficos se puede representar todo esto de una manera muy clara y concisa, siendo esta es una de sus mayores ventajas.

Las construcción de los diagramas es sencilla, y consiste en construir un conjunto de triángulos equiláteros y un rombo (Fig.20), donde el triangulo izquierdo representara los cationes y el derecho los aniones, cada uno de los vértices de los triángulos equiláteros representa uno de los componentes puros a una concentración del 100%; a cada semirrecta se le asocia un anión ó un catión y se representa a partir de un origen segmentos proporcionales a las concentraciones en meq/l, ppm o en % y se unen los puntos. El rombo de la parte superior, es la zona donde interceptamos las muestras de un mismo punto proveniente de los cationes y aniones, para así determinar el comportamiento químico de una muestra.

Los componentes considerados para la clasificación son:

- para los cationes: K, Ca y Mg.
- para los aniones: Cl+NO₃, SO₄ y HCO₃ + CO₃

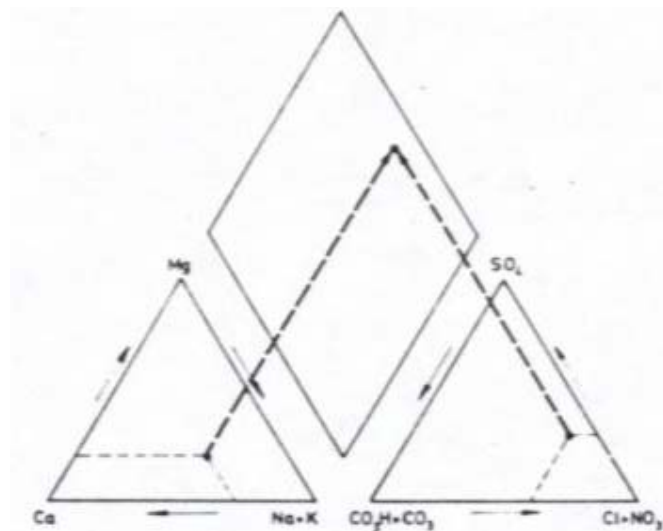


Figura 20 : Construcción del Diagrama de Piper (Tomado de Custodio y Llamas 1996)

Índices Hidrogeoquímicos

Como se ha dicho anteriormente la actividad que muestran los iones, se encuentra asociada a la interacción de las aguas con la litología, esta dinámica puede llegar a ser explicada, utilizando relaciones entre los diversos iones; estas relaciones varían según la relación que se quiera detectar, Custodio y Llamas (1996), ver Tabla 5.

Tabla 5: Uso de las relaciones Iónicas.

Relación	Rango	Utilidad o Interpretación
rMg/rCa		
	0,3 - 1,5	Aguas continentales
	cercano a 1	Terrenos ricos en silicatos magnésicos
rK/rNa		
	0,004 - 0,3	Aguas Dulces
	0,02 - 0,025	Aguas Marinas
	0,05	TDS cercano a 1000 ppm.
rNa/rCa		util en la comparación con la roca
rNa/r(Ca + Mg)		util en la comparación con la roca
rCl/rCO₃H		Caracterización de intrusión marina
	0,1 - 5	Aguas de tipo continental
	20 - 50	Aguas marinas
rSO₄/ rCl		
	aguas salinas	Caracterización de intrusión marina
	poco salinas	Similar a composición de la Roca
icb	Aumento	Cambio de bases de endurecimiento
Kr	< 0	Reducción de sulfatos
(SO₄*rCa)^{1/2}		disolución o precipitación de yeso

La letra r, que precede al ión, indica que la concentración del mismo se debe expresar en meq/l, además de las relaciones mostradas en la tabla 5 existen otras que son usadas con menos frecuencia, pero que dependiendo de la litología

pueden llegar a ser útiles, en general para el caso de iones en la CERS, se utilizó las relacionadas en la Tabla 5.

3.5.2 DIAGRAMA LOGARITMICO (diagrama de Schoeller-Berkaloff).

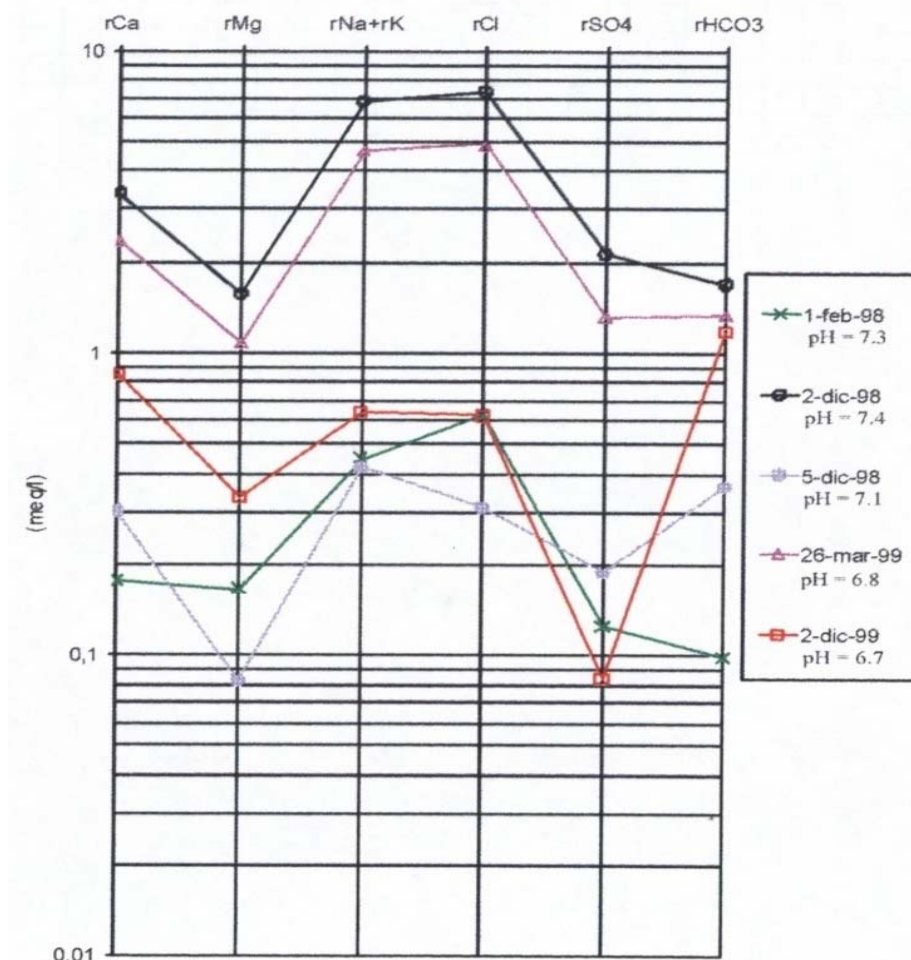


Figura 21 : Diagrama logarítmico.

(CUSTODIO Y LLAMAS, 1996)

Las columnas son escalas logarítmicas todas de un mismo Anión o Cation. Se emplean concentraciones absolutas (no se representan los problemas de reducción a %) en meq/l y todas las columnas tienen las potencias de 10 en la misma horizontal, pero para facilitar la representación se aísla una columna con esta gradación y las otras se expresan en ppm para lo cual basta tener otra escala

logarítmica del mismo módulo pero colocada de modo que la división que valga el peso equivalente del ion quede en la misma horizontal que el primero de la escala de meq/l.

Se pueden representar tanto aguas diluidas como concentraciones en un mismo diagrama.

El orden normal de las columnas de iones es de izquierda a derecha: Ca, Mg, K, $\text{CO}_3\text{H}+\text{CO}_3$, SO_4 , $\text{Cl}+\text{NO}_3$.

La inclinación de la recta que une los puntos representativos de dos iones mide su relación que puede determinarse gráficamente con un papel transparente en que se tengan los valores de la relación para cada inclinación, similarmente se puede calcular índices de cambio de base.

4 ANALISIS DE DATOS

El presente capítulo, se dedica a la manipulación de los datos recolectados en campo, Inicia con la zonificación de la CERS, utilizando para ello técnicas de análisis multivariante, con el fin de definir los puntos de muestreo de iones principales, que corresponde a la temática tratada en la segunda parte; para su manejo, se recurrió a procedimientos de clasificación gráficos y relaciones directas con la geología , que ayudan a entender la Dinámica del flujo en el subsuelo.

4.1 MUESTREO DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Los parámetros fisicoquímicos son trazadores naturales que permiten conocer sobre los procesos físico-químicos del agua, mediante lecturas fáciles, rápidas y precisas que permiten definir puntos claves para una estrategia de muestreo de iones principales.

Este muestreo se realizó simultáneamente con la etapa de inventariado, en la C.E.R.S. y consistió en la medición de parámetros fisicoquímicos (PH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura, salinidad) que deben ser tomados in situ para evitar la alteración de la muestra, y por lo tanto las lecturas erróneas de los mismos. Además estos parámetros, permiten validar la calidad de los análisis de los iones principales posteriores a esta fase.

Inicialmente los puntos a ser datados fueron escogidos teniendo en cuenta, que pudieran reflejar todos los cambios que surgen en las características del agua, en su interacción con la litología, por lo cual los puntos principales fueron los nacimientos, puntos de infiltración, exfiltración, puntos de afluencia de diferentes corrientes (para evidenciar el comportamiento de los parámetros en la mezcla), y otros puntos secundarios que puedan ser alterados por actividades antrópicas, en total 128 puntos datados en la CERS.

4.1.1 VALIDACIÓN DE MEDICIONES DE LA SONDA MULTIPARÁMETRO

Con el fin de tener un control en las mediciones hechas con la sonda multiparamétrica, y chequear variabilidad en el tiempo de los parámetros tomados en campo, se muestreo un punto específico en diferentes días y a diferente hora, mostrando poca variabilidad de las mediciones, (ver Figura 22):

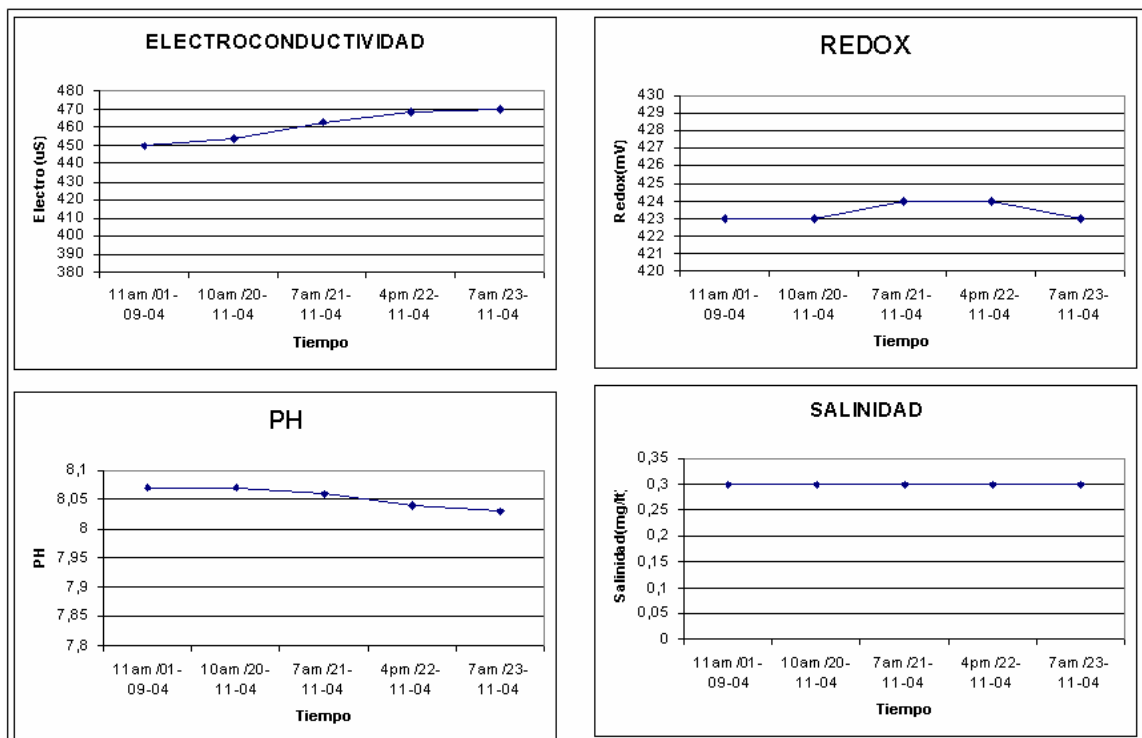


Figura 22 : Seguimiento de la variación de los parámetros Fisicoquímicos.

Los porcentajes de variación que se obtuvieron fueron muy pequeños, inferiores al 1% en la mayoría de los casos exceptuando la Electroconductividad, la cual presenta un error del 4.3%. Lo anterior refleja la poca variabilidad temporal de las muestras para una estación determinada.

Para el seguimiento de la variabilidad de los parámetros Fisicoquímicos, no se tuvo en cuenta parámetros como Oxígeno disuelto, o temperatura, por que varían con las condiciones climáticas, dependiendo la hora del día.

Los puntos dados y sus respectivos parámetros se relacionan en el anexo A.

En las zonas de depósitos la distribución de los parámetros no llega a ser muy clara por las heterogeneidades que en estas se presentan, (parte baja de LOP, REL, FIG y COL).

El comportamiento del parámetro PH, (Figura 24), es similar al que sigue el redox, nótese los valores bajos en los nacimientos, y gran variabilidad en las zonas de depósito.

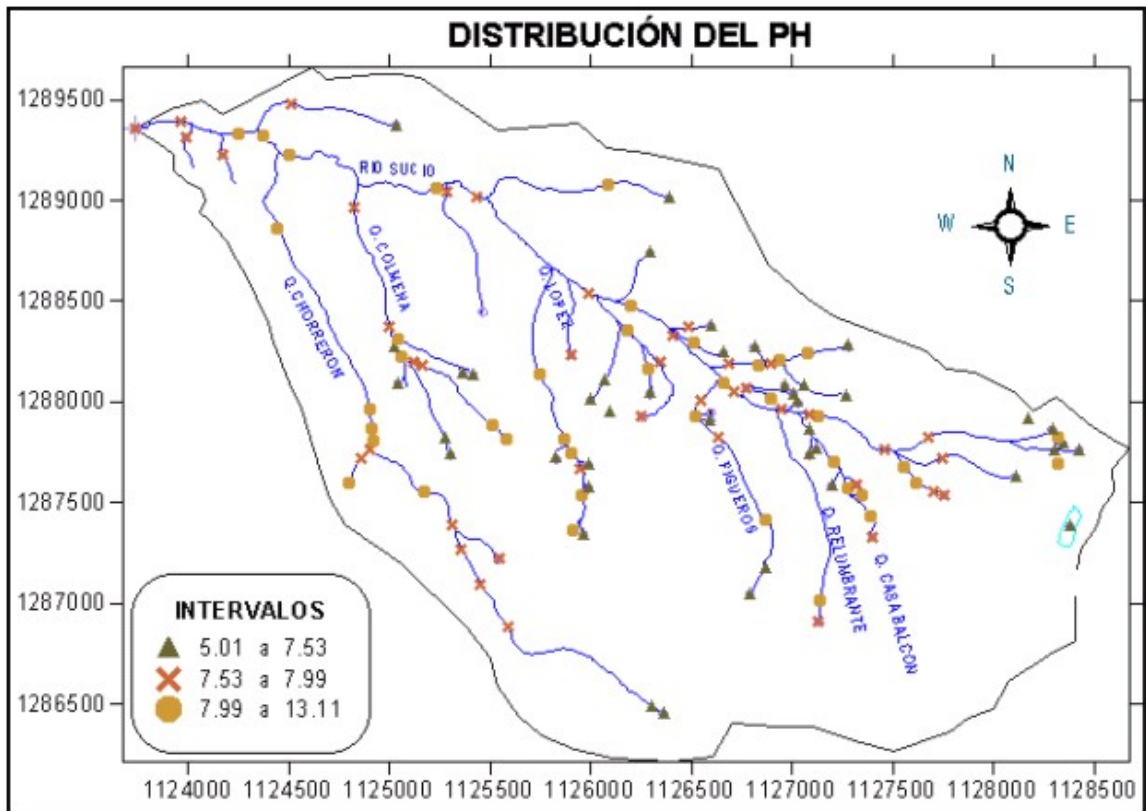


Figura 24 : Variación de PH en la C.E.R.S.

En general se puede decir que predominan las aguas de carácter básico, factor importante ya que en aguas ácidas predomina el carácter agresivo, que pone en solución mayor cantidad de minerales de las rocas, en especial los carbonatos de la formación Rosablanca.

La cantidad de oxígeno disuelto, se considera un factor decisivo en el agua por que actúa como un regulador de las reacciones químicas, especialmente cuando existen sustancias oxidables disueltas, por acción biológica. El comportamiento de esta variable en la CERS, se observa en la Figura 25.

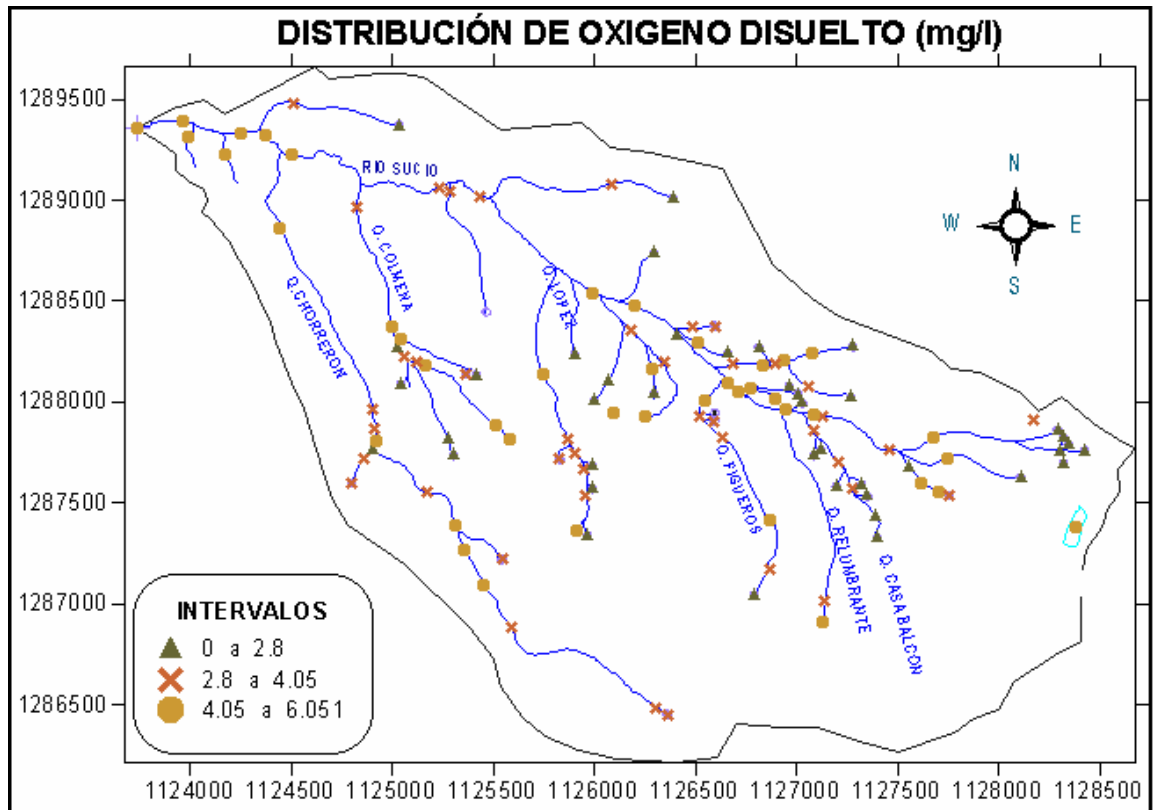


Figura 25 : Variación de Oxígeno disuelto en la C.E.R.S.

En la C.E.R.S. por tratarse de una cuenca de alta montaña, la topografía ayuda a la inclusión de oxígeno, encontrándose de la parte media a la parte baja, arcillas y demás productos de la precipitación por oxidación del hierro y el potasio (ver Figura 25).

Los valores especialmente bajos de oxígeno en algunos nacimientos, son producto del previo consumo del mismo en la oxidación de los metales antes de la exfiltración, demostrando un recorrido subsuperficial del agua, de trayecto considerable.

La variación en el contenido de las sales inertes en el Chorrerón y los nacimientos de la parte alta, tienen comportamiento muy similar, caracterizado por los valores bajos; en las corrientes de la colmena, López y la zona de la meseta que ofrecen evidencias sobre todas las actividades antrópicas de estos lugares, la Figura 26, muestra el comportamiento de las sales en la C.E.R.S.

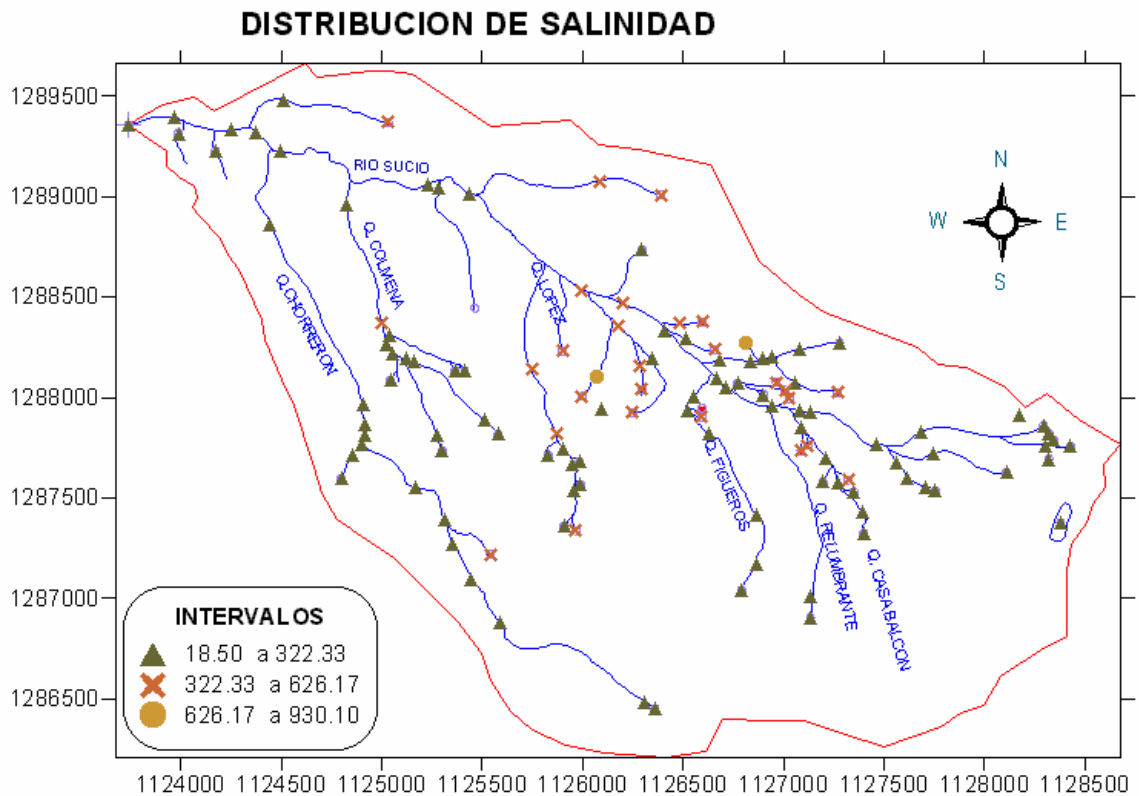


Figura 26 : Variación de salinidad en la C.E.R.S.

Los nacimientos N.SUC.I.07 y N.SUC.I.08, y el sector de la casita, muestran una actividad iónica importante, por la precipitación del ión bicarbonato, y material carbonáceo producto de la materia orgánica de la formación paja, liberados por los procesos de inestabilidad de la zona (Ver Foto 12).

La Electro conductividad eléctrica (EC) o conductancia específica, es la habilidad del agua para conducir corriente eléctrica, y está directamente asociada a las sales minerales, por un factor de proporcionalidad de aproximadamente 0.75, sin embargo el parámetro EC, se ve afectado por el aumento de temperatura, que al

amentar en un grado puede provocar variaciones de EC de hasta un 4%, por la excitación de los iones.

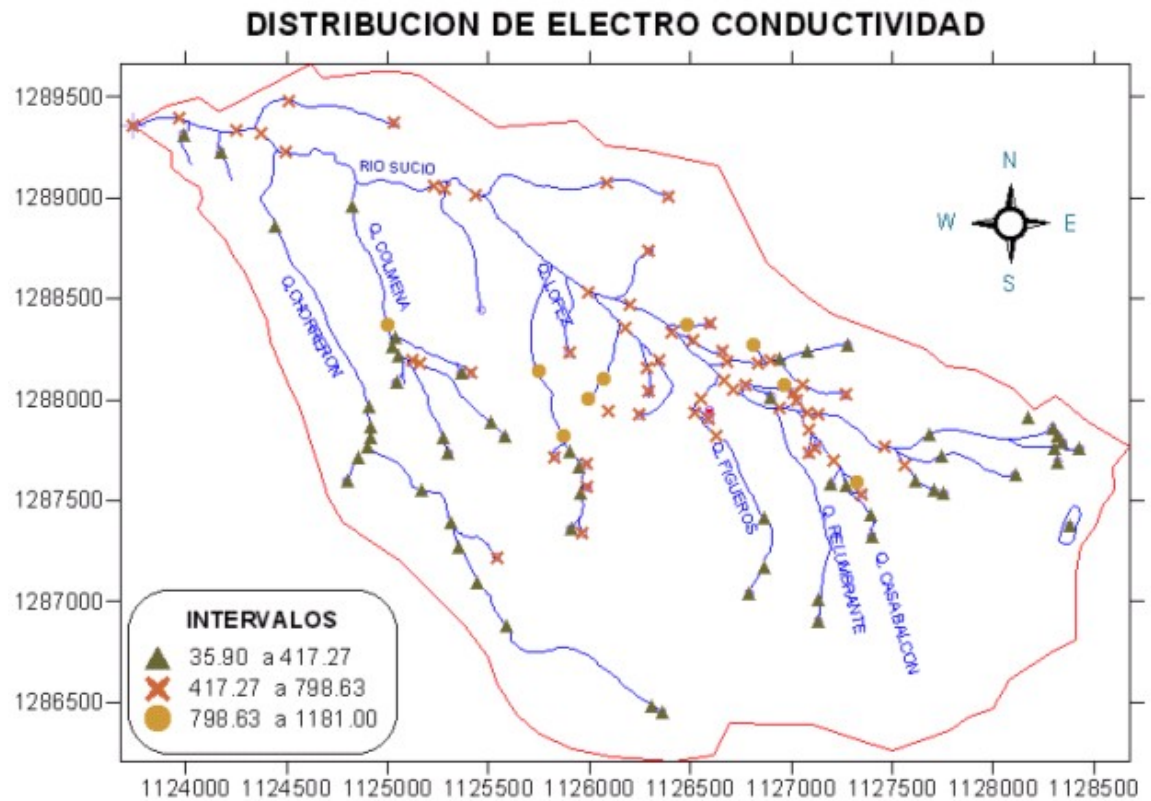


Figura 27 : Variación de Electro Conductividad en la C.E.R.S.

La equivalencia entre estos dos parámetros se puede apreciar en las Figuras 26 y 27, identificándose prácticamente las mismas zonas de variación de los parámetros Chorrerón-Nacimientos (Parte alta), zona media. La medición de este parámetro, junto con información de geofísica en las principales unidades almacenadoras, como son los depósitos torrenciales y deslizamientos tipo colada de barro, en la zona de estudio, permitió conocer parámetros hidráulicos como la porosidad y volúmenes de almacenamiento. (Rojas y Ulloa 2005).

4.1.3 ESPACIALIZACIÓN DE LOS DATOS

Los datos puntuales obtenidos en la etapa de muestreo son espacializados por parámetro en la C.E.R.S, para poder plantear las zonas de comportamiento

homogéneo, por ello se realizó una interpolación, empleando los diferentes metodologías explicadas en el capítulo 3 y utilizando como indicador el error medio cuadrático para lograr el mejor ajuste.

La especialización de los datos se realizó en un buffer de 200m aproximadamente, alrededor de los cauces, y celdas de 30 X 30 metros, para garantizar la integridad de los resultados, es decir eliminar todo tipo de influencia que se pueda dar entre corrientes.

❖ Espacialización /pH

Para realizar la espacialización se emplearon celdas de 30 x 30 metros, utilizando para el caso específico del pH, el método de interpolación del vecino mas cercano, con un error medio cuadrático de 0.411 (ver Figura 28).

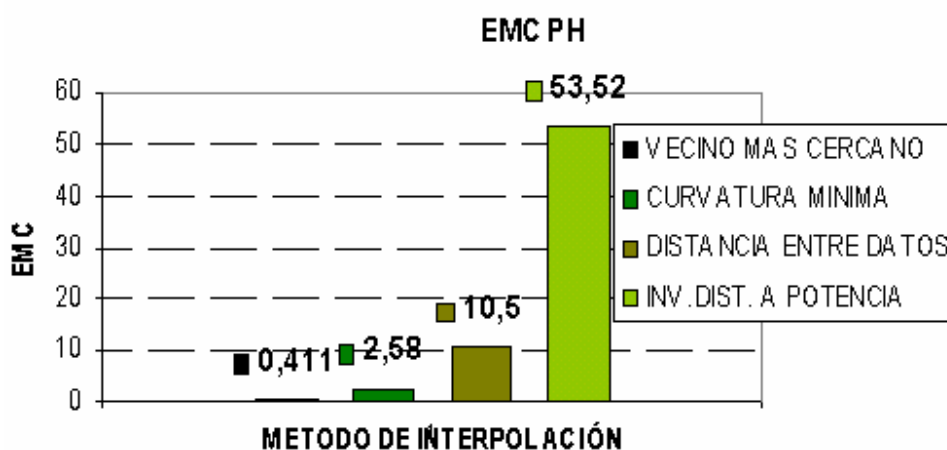


Figura 28: Error Medio Cuadrático para PH.

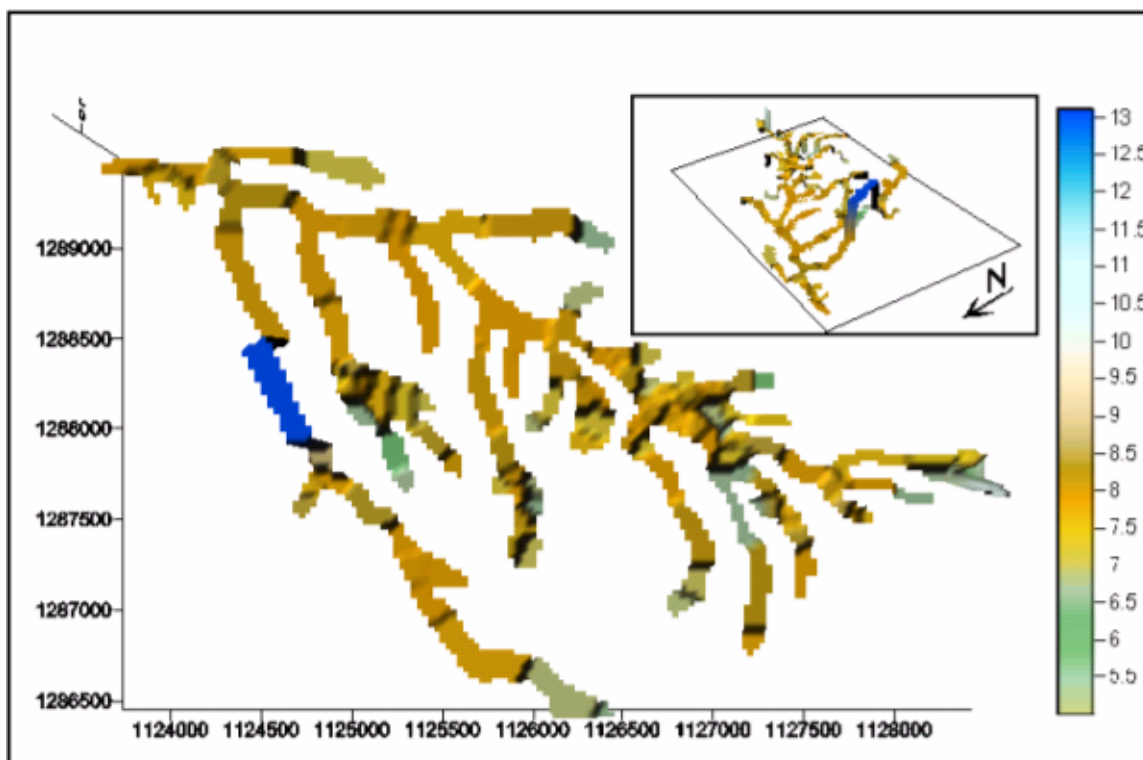


Figura 29 : Espacialización del parámetro pH en la C.E.R.S (mg/l).

En general los nacimientos de la C.E.R.S, muestran un comportamiento predominantemente ácido, donde predomina el dióxido de carbono producido durante el consumo de oxígeno antes de el afloramiento del agua, sobre los carbonatos y bicarbonatos componentes principales de las formaciones Tambor, Rosablanca y Tablazo; el pH tiene esta tendencia debido a la producción de ácidos fúlvico y húmico, en las zonas de pastoreo y cultivo.

El punto más básico se encuentra localizado sobre el cauce del Chorrerón donde existe un deslizamiento en el margen izquierdo, que altera el pH natural del agua.

❖ Espacialización/SALINIDAD (mg/l)

El método empleado para la espacialización de Salinidad en mg/l, fue el vecino mas cercano, los errores medios calculados son mostrados en la Figura 30.

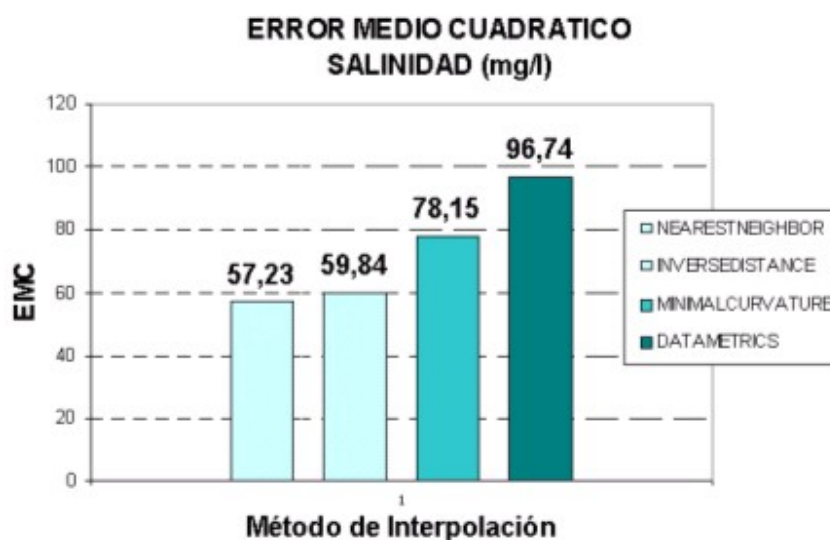


Figura 30 : Error Medio Cuadrático para PH.

Para el parámetro de salinidad es claro el comportamiento homogéneo seguido en el cauce de la Quebrada el Chorrerón, esto puede deberse a la poca respuesta que tiene el Ortoneis a aguas agresivas donde, siendo metamórfico prevalece el carácter ígneo, que frena el proceso de solución de iones por el encapsulamiento de los mismos en su interior (Llamas y Custodio, 1996).

Además Chorreron es el cauce de la C.E.R.S, que esta asociado a una litología predominante (Ortoneis) y no tiene actividad antrópica apreciable, (Figura 31).

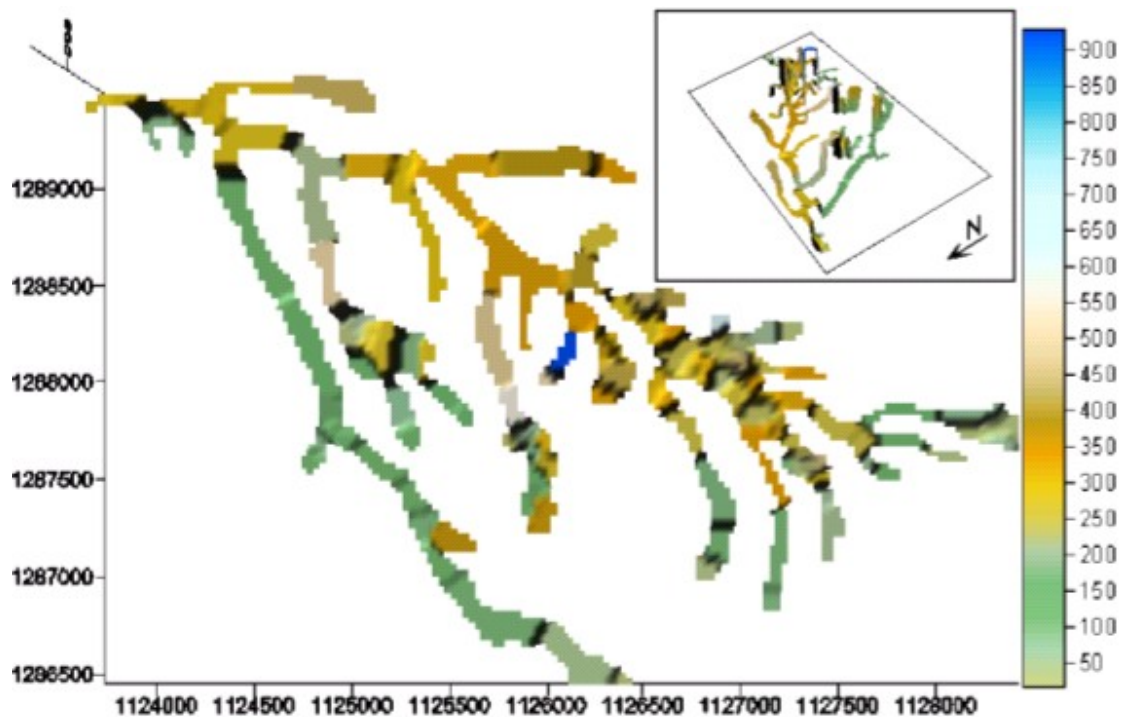


Figura 31 : Espacialización del parámetro salinidad en la C.E.R.S (mg/l).

Las partes altas donde se producen los nacimientos importantes, también tienen bajo contenido de sales, por la estructura cristalina compuesta de minerales poco solubles, que dificultan el intercambio iónico.

Los valores más altos de salinidad, se presentan en las zonas de depósitos (Carbón-Rosedal, López y Colmena parte baja), que por su relieve suave disminuye la velocidad del flujo, aumentando la precipitación de sales, y por lo tanto la concentración de las mismas, este factor es agudizado por el incremento de iones originados de los insumos y materia orgánica utilizados en las actividades de cultivo y pastoreo propios de estas zonas.

❖ ESPACIALIZACIÓN/REDOX

El método escogido para crear la grilla correspondiente de Redox, fue el inverso de la distancia a una potencia, por realizar el ajuste el mas preciso para estos datos, con un E.M.C. de 53.52, siendo el rango total de los datos de 532, y el número de datos 124, se consideró bastante aproximado (Figura 32).

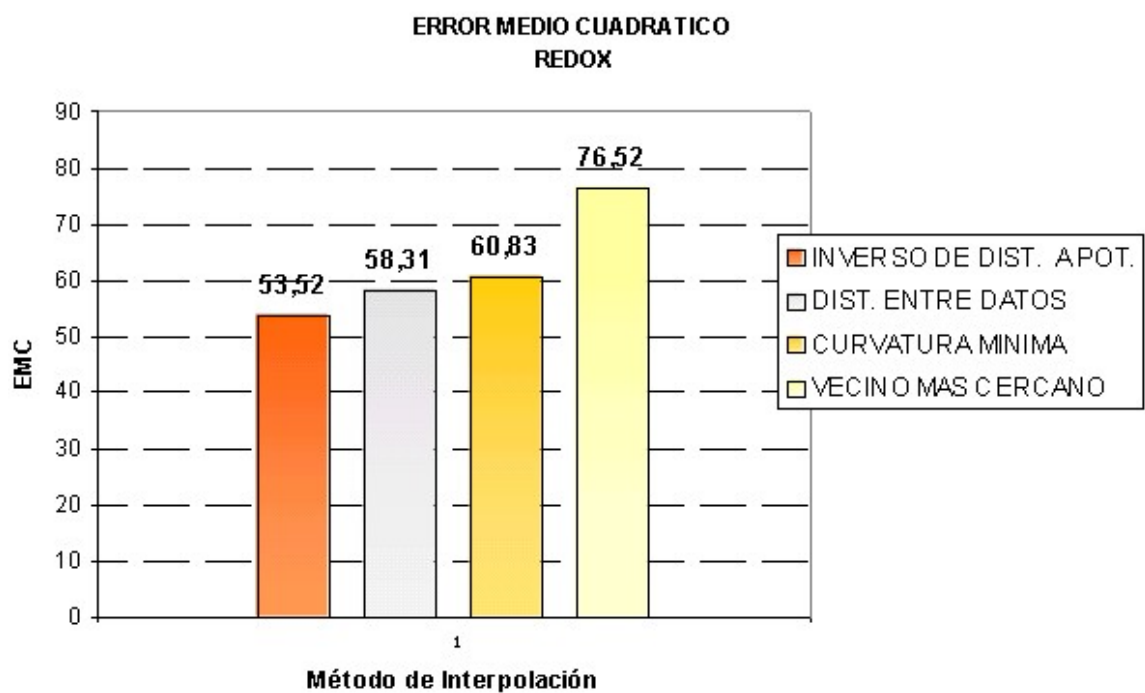


Figura 32 : Error Medio Cuadrático para Redox.

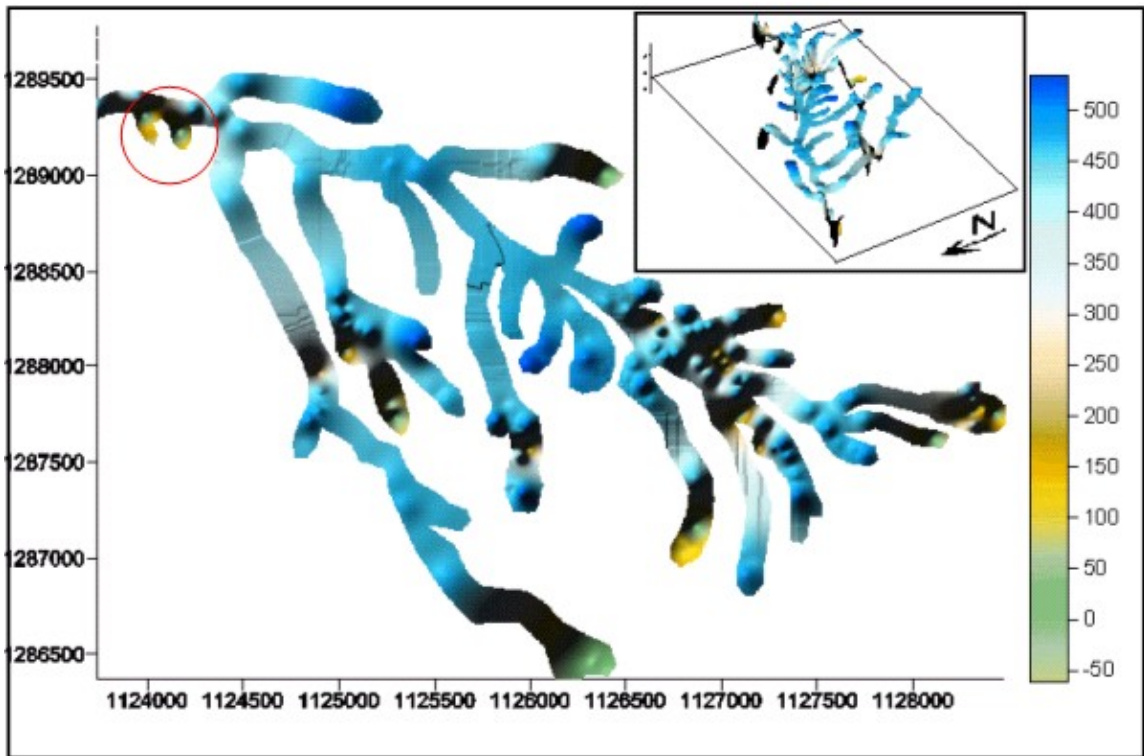


Figura 33 : Espacialización del parámetro Redox en la C.E.R.S.

En cuanto al comportamiento de los datos (Véase Figura 33), se puede observar una clasificación casi general de los mismos en el rango de 400 a 500 mV aproximadamente.

En total los puntos que se encuentran fuera de este rango son 25 de 124 puntos censados, de los cuales 22 de ellos corresponden a nacimientos en su mayoría y a puntos aledaños, de estos puntos dos puntos (N.SUC.I.7.01, N.SUC.I.6.1), llegan a tener valores negativos (-42 y -62), siendo producto de una exfiltración en una pared vertical de Neis bastante fracturado cercana al cierre de cuenca, y el último punto C.CHO.O.00.11 se encuentra a continuación de un deslizamiento en el costado derecho que obstruye su cauce y está compuesto por material arcilloso y orgánico que cubre la roca sana de la formación Rosablanca.

Los valores bajos en los nacimientos pueden deberse a la poca disponibilidad de oxígeno en el agua, por que se ha consumido en las reacciones de oxidación antes de emerger, de tal forma que una vez se ha consumido todo el oxígeno prevalezca un comportamiento potencialmente reductor, sin embargo es necesario, tener en cuenta el pH de estas muestras para confirmar estas zonas como reductoras o agresivas, que corresponde al comportamiento seguido por las aguas subterráneas.

4.1.4 ANALISIS DE CLUSTER

El análisis de Cluster, busca agrupar una población de datos de acuerdo a las diferencias que existen entre las características de sus individuos, siguiendo las diferentes técnicas expuestas en el capítulo 3.

❖ *Analisis Univariante*

El analisis Univariante hace referencia a la formación de Cluster's utilizando como atributo una sola característica, para el caso del presente proyecto solo se realizó el análisis univariante para el parámetro pH, dada la relevancia que tiene sobre los demás parámetros, los resultados se presentan en la Figura 34.

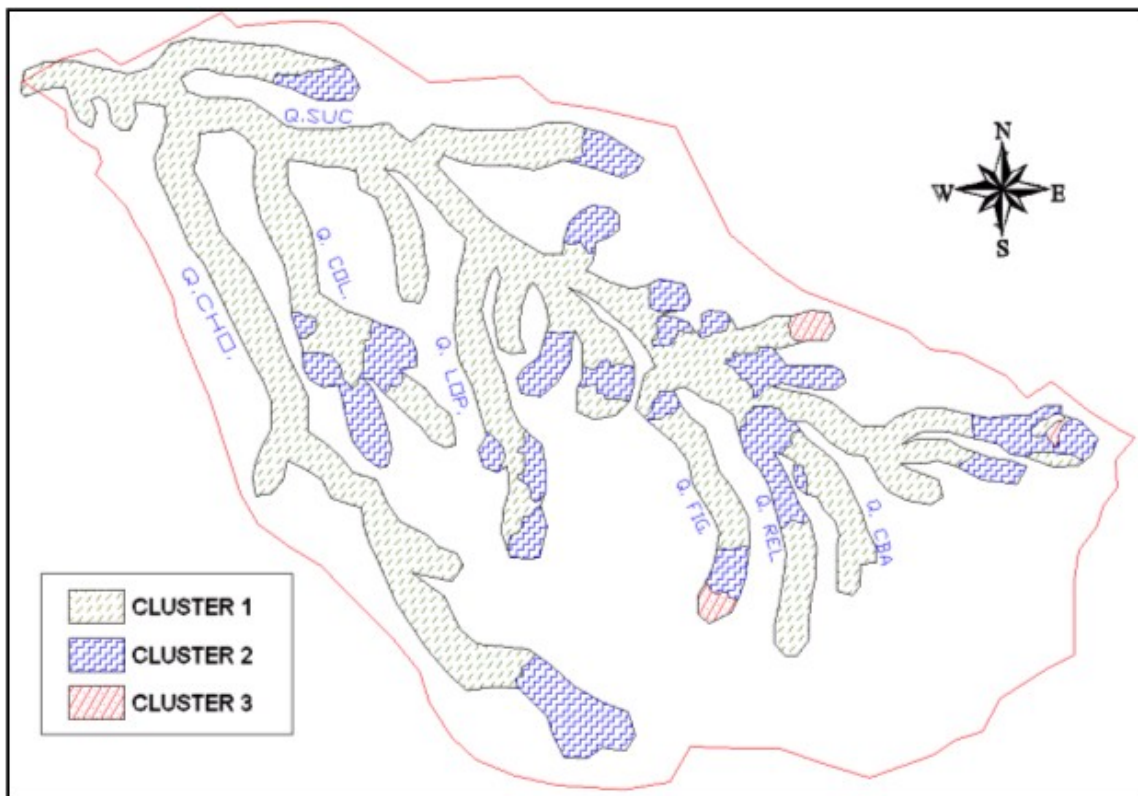


Figura 34: Zonificación de pH en la C.E.R.S (mg/l).

Según el análisis univariante del pH, las zonas homogéneas están dadas en su mayoría por valores cercanos a un pH neutro (ver tabla 6), dejando los valores mas básicos clasificados en los cluster's 2 y 3, correspondientes a los colores verde y rojo en la Figura 34, nótese la clasificación de algunos nacimientos en el cluster de pH mas ácido.

Tabla 6: Análisis univariante de pH.

Cluster	Color	Miembros	Porcentaje	Centroide de pH
1	Verde	2544	73.97	8.17
2	Azul	47	1.37	5.49
3	Rojo	848	24.66	6.89

La diferencia entre el número de miembros pertenecientes a los diferentes cluster es considerable, en el cluster 1 se encuentran agrupados la mayoría de puntos censados, dando un carácter predominantemente básico a la C.E.R.S (Tabla 6).

❖ **Analisis Multivariante**

En el caso de la CERS, cada punto espacializado (en total 3439), poseen varios atributos o variables, que la identifican como la temperatura, pH, redox, salinidad, oxígeno disuelto y electro conductividad.

Cabe resaltar que en el análisis multivariante las variables utilizadas, deben reunir características específicas como la independencia total entre los atributos, naturaleza cuantitativa de los mismos y representatividad del fenómeno en estudio, por esta razón para la selección de variable se descartaron parámetros como la temperatura y oxígeno disuelto por la gran variabilidad temporal, así como la ubicación espacial de cada punto como atributo, porque no se relacionan con la hidrogeología.

En el caso de la salinidad y la conductividad, solo se tuvo en cuenta la salinidad por ser las dos mutuamente dependientes (Ver capítulo 1).

Para la escogencia del método de cluster, así como el número de cluster's, se realizó iteraciones por los diferentes métodos, de evaluación de distancia: K-medios, Vecino mas cercano, Vecino mas Lejano, Centroide, Mediana, Grupo promedio y Ward's, para cada una de estas metodologías se varió el número de semillas, hasta obtener el menor número de individuos agrupados en un cluster, de esta forma se llega por lo general a grupos de un solo individuo, el cual inicialmente se descartó, por que podría tratarse de un dato anómalo, pero en la siguiente iteración se encontraba un nuevo cluster de un solo individuo, según lo anterior se escogió la metodología (K-medios) y se adoptó como número límite de grupos 3, la Tabla 7, resume los resultados obtenidos de las diferentes iteraciones.

Tabla 7: Análisis de enjambres por varios métodos

	Numero de Cluster	K-means	Nearest Neighbor	Furthest Neighbor	Centroid	Median	Grupo Average	Ward's
PER	2	44	1	2	1	2	2	25
PH	3	25	1	2	2(1)	2	2(1)	25
Electro	4	7	2(1)	2	2(1)	2(1)	2(1)	2
Redox	5	7	2(1)	2	2(1)	2(1)	2(1)	2
PSR	2	44	1	2	1	2	2	25
PH	3	25	1	2	2(1)	2	2(1)	25
Salini	4	3	2(1)	2	2(1)	2(1)	2(1)	2
Redox	5	3	2(1)	2	2(1)	2(1)	2(1)	2

La metodología de agrupación utilizada fue K-medios, técnica no jerárquica que toma como punto de partida semillas de las cuales parte la agrupación representada en adelante por un centroide; estas agrupaciones van cambiando mediante iteraciones hasta que las distancias entre los centroides y los datos sean las menores ver tabla 7, fundamento del análisis de cluster por la técnica de K-medios.

Como resultado las variables que se analizaron para la zonificación fueron: pH, redox y salinidad (mg/l), el producto de esta zonificación, se presenta en la Figura 35, de donde se pueden inferir algunas relaciones presentes entre los parámetros fisicoquímicos y la geología de la zona, la más notoria es la que se presenta en el cauce del chorrerón y parte alta de la cuenca donde la litología dominante es el Ortoneis, esta zona es clasificada dentro del grupo de comportamiento más básico (igual que en análisis univariante); con menos contenido de sal, por los minerales constituyentes de los cristales (plagioclasa, cuarzo y feldespatos), salvo el N.CHO.D.01.00, que tiene un cambio de litología (Tambor).

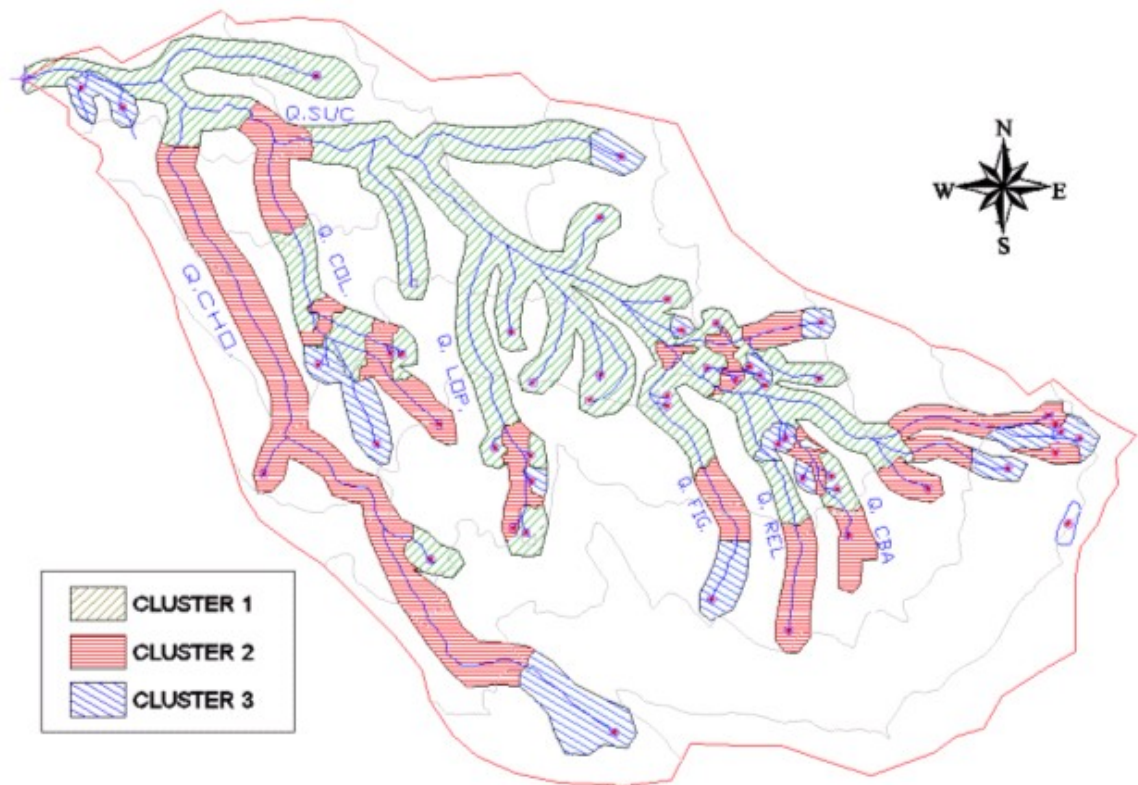


Figura 35 : Zonificación de parámetros Físico-Químicos en la C.E.R.S.

En la quebrada la colmena, se presenta variación entre los dos nacimientos (N.COL.O.00.00 Y N.COL.I.02.00), por el cambio local en la formación (Tambor-Derrubios), hacia la parte baja se presenta varios cambios de .cluster por tratarse de zona de depósito, además de la presencia de cultivos en la finca el Alto.

En la corriente López existe una variación en distancias pequeñas, que es marcada por los depósitos, un sistema caótico de fallas y además se ve influenciada por el trasbalse de cuenca, proveniente del chorrerón que es clasificado en el mismo cluster.

La parte media-alta de la cuenca correspondiente a las mesetas, al igual que las partes bajas de Figueros, relumbrante y Casa Balcón, siguen conservando el carácter heterogéneo de los depósitos.

Tabla 8: Análisis multivariante de la C.E.R.S, empleando la metodología de K-medios.

Cluster	Color	Miembros	Porcentaje	Centroide PH	Centroide Redox	Centroide Salinidad
1	Verde	1746	50.77	7.71394	446.003	8.17
2	Rojo	1236	35.94	8.40006	429.979	5.49
3	Azul	457	13.29	6.62186	142.309	6.89

La Tabla 8, muestra las características que siguen las zonas homogéneas, la zona 1, se caracteriza por tener un pH básico, un Redox elevado, debido al aumento de Oxígeno disponible así como una mayor cantidad de sales disueltas que facilitan en general el intercambio iónico.

La zona 2, se caracteriza por un pH más básico y una saturación de sales mas baja que la anterior.

La zona 3 corresponde al grupo minoritario de nacimientos donde priman como característica general valores bajos de pH y Eh, que constituyen los potenciales ambientes reductores; para un análisis mas puntual y detallado, estas zonas se relacionan en el siguiente numeral.

4.1.5 AMBIENTES REDUCTORES DETECTADOS EN LA C.E.R.S.

Las condiciones reductoras son comunes en aguas subterráneas, que acaban de exfiltrar y están dadas principalmente por los bajos valores de redox (Eh), y valores bajos de pH (Figura 36), una de las particularidades de estos tipos de ambientes, es la facilidad para “lavar” diferentes sales que se encuentran formando las diferentes litologías.

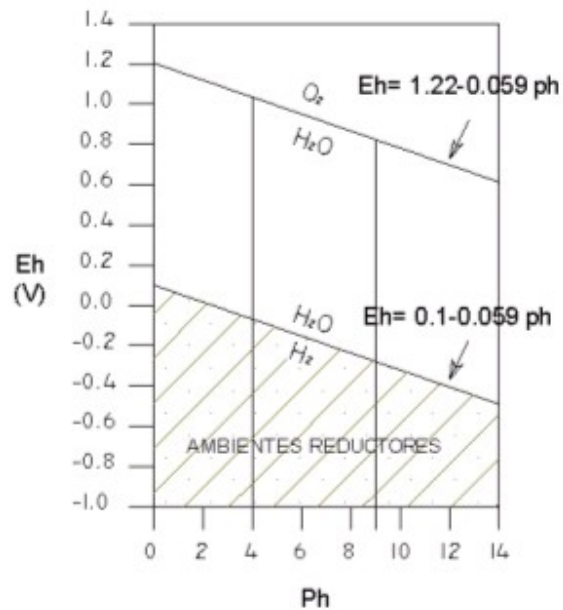


Figura 36 : Cuadro de tendencia a ambientes reductores.

En la C.E.R.S, los valores de Eh mas bajos son alcanzados en algunos nacimientos, especialmente N.SUC.I.09.00 y N.SUC.I.10.00, con valores llegan a negativos de -42 y -65, respectivamente, por lo cual se afirma la hipótesis de una posible recarga desde el chorrerón, a través de la estructura diaclasada del Neis, prevista en el estudio geológico, (Véase Tabla 9).

Tabla 9: Nacimientos con condiciones reductoras.

NACIMIENTO	REDOX	PH	NACIMIENTO	REDOX	PH
N.CHO.O.00.00	12	6,51	N.SUC.I.00.02	24	6,65
N.COL.I.00.03	15	6,59	N.BNE.O.00.00	68	6,48
N.COL.I.00.02	25	6,22	N.CBA.I.00.01	47	6,94
N.LOP.D.00.01	15	6,52	N.CBA.I.00.01	22	6,58
N.SUC.O.00.00	15	6,78	N.CBA.I.00.02	19	6,51
NSUC.D.00.00	53	6,81	N.SUC.I.00.01	-42	6.64
			N.SUC.I.00.09	-65	6.53

4.2 ANALISIS DE IONES MAYORES EN LAS ZONAS HOMOGÉNEAS

Con la zonificación obtenida se seleccionaron 15 puntos de muestreo abarcando todas las zonas homogéneas, a los cuales les fueron datados los parámetros físico-químicos y se tomaron muestras para análisis de laboratorio, siguiendo los protocolos de muestreo descritos en el Anexo 4 en dos épocas con condiciones diferentes (lluvias–estiaje); los puntos seleccionados y los resultados de estos análisis se muestran en los anexos E y F.

4.2.1 DETERMINACIONES QUÍMICAS DE LABORATORIO

Además del análisis de Iones Mayores (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, SO₄⁻⁻, NO₂⁻, NO₃⁻⁻, Mn⁻⁻, Cl⁻, NO₂ y Fe) se analizaron muestras para dureza y alcalinidad. La mayoría de estos análisis fueron realizados en el laboratorio de control de calidad del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (amb) y otros en el laboratorio del centro de estudios e investigaciones ambientales de la UIS (CEIAM). Las técnicas analíticas utilizadas para los análisis de laboratorio, se muestran en la Tabla 10:

Tabla 10: Técnicas de Determinación de Parámetros en laboratorio.

PARAMETRO	TECNICA DE DETERMINACIÓN	LABORATORIO
Fe	Absorción Atómica	amb
Mg	Potenciometría	amb
Ca	Potenciometría	amb
Mn	Colorimétrico	amb
Cl	Potenciometría	amb
SO ₄	Turbidimetría	amb
NO ₂	Colorimétrico	amb
NO ₃	Ion Selectivo	amb
Alcalinidad	Potenciometría	amb
Dureza Total	Potenciometría	amb
K	Absorción Atómica	CEIAM
Na	Absorción Atómica	CEIAM

4.2.2 SEGUIMIENTO DEL PERIODO DE LLUVIAS

El primer muestreo de iones principales se realizó en las fechas 19 al 21 de Noviembre del 2004, que coincidió con el periodo de lluvias, los iones muestreados, en los 15 puntos fueron (Ca^{++} , Mg^{++} , SO_4^{--} , NO_2^- , NO_3^- , Mn^{--} y Cl^-), y adicionalmente K^+ , en los puntos: C.SUC.O.00.08, N.LOP.0.00.00, N.CHO.O.00.00, N.SUC.I.03.00, C.COL.O.00.01 y N.SUC.O.00.00.

Con los resultados de este primer análisis se busca plantear las relaciones del agua con la Litología siguiendo los cauces, primero mediante comparación del contenido de iones, para luego corroborar la información gráficamente por medio de el diagrama Schoeller-Berkaloff o logarítmico.

La Figura 37 muestra la localización de los puntos censados para la época de lluvias.

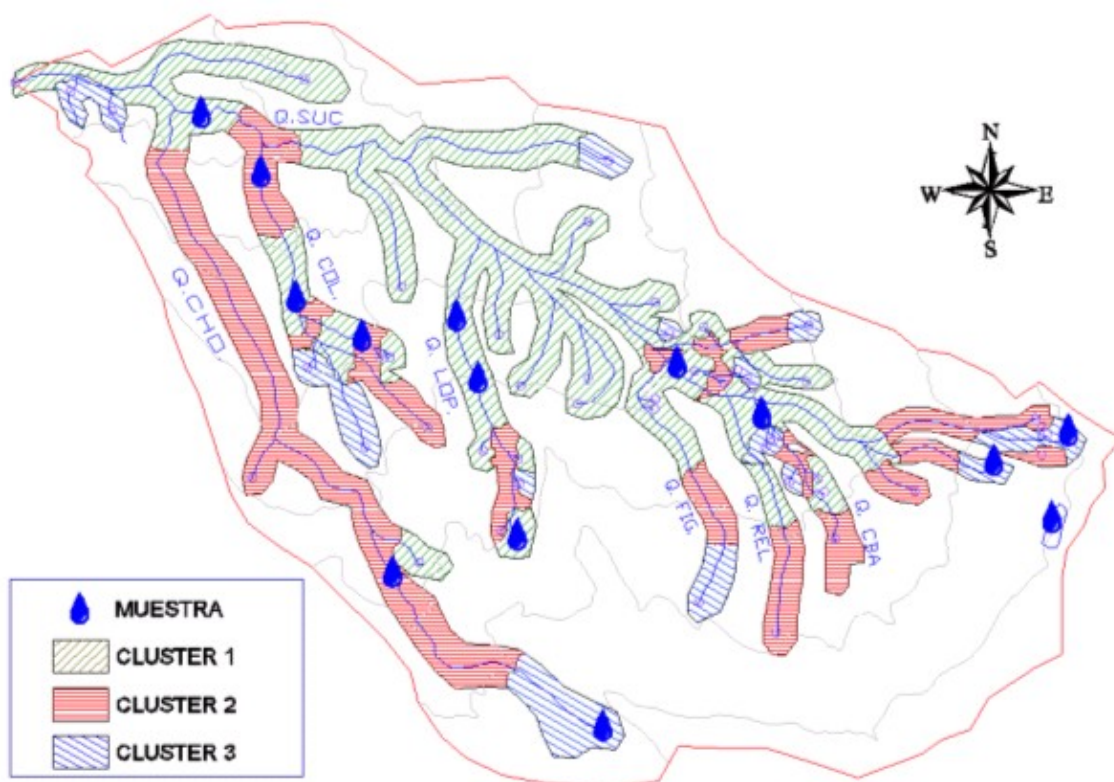


Figura 37 : Puntos de muestreo en época de lluvia

❖ CHORRERON

Las condiciones reflejadas por los parámetros fisicoquímicos, muestran a Chorreron como el cauce con menos cantidad de sales disueltas dentro de la CERS, esto se hace evidente en las concentraciones bajas de los iones analizados, comparados con los de otras corrientes.

En general Chorreron muestra un nivel medio de nitratos y de cloruros en el Nacimiento, que principalmente son producidos por la materia orgánica en descomposición, resultado de las labores pastoriles de esta zona, estos contenidos pasan a ser casi nulos, aguas abajo, debido a la poca actividad antrópica en el resto del cauce.

La cantidad disuelta de Fe, es mayor en el Nacimiento, pero no se considera determinante esta disminución, pues puede deberse a una mayor oxidación, por el aumento del Oxígeno disponible en el agua por fenómenos de aireación.

El ión manganeso, considerado como ión minoritario, por no encontrarse en cantidades apreciables en la naturaleza, presentó una pequeña cantidad disuelta en el nacimiento, causadas por minerales como el Granate presente en el Neis con grado de metamorfismo de silimanita.

Los iones mayoritarios no fueron analizados, para el Chorreron, debido a que no se obtuvieron análisis de laboratorio.

❖ COLMENA

En la quebrada la Colmena se muestrearon tres puntos (C.COL.O.00.01, C.COL.O.00.03 y C.COL.O.00.07), Ver Figura 37, el comportamiento general está caracterizado por la disminución de iones como Ca^{++} , que concuerda con las observaciones hechas en el capítulo 2, sobre el hallazgo de precipitado de Carbonato cálcico (CaCO_3); este cauce también muestra la fijación del hierro, proveniente de la formación Tambor, a las arcillas.

La dureza en la Colmena es diferente para los puntos C.COL.O.00.03 y C.COL.O.00.07, por que están influenciadas por dos formaciones geológicas diferentes Rosablanca y Tambor; hacia el final de la corriente presenta valores altos por la formación Tablazo, que cuenta con un importante componente Magnèsico , asociado a la Calcita presente.

Los valores de Nitrito y Nitratos, en la Colmena se encuentran en rangos altos debida a la influencia de zonas de pastoreo y cultivos, aledaños al cauce.

❖ LOPEZ

La corriente López, como ya se dijo antes se trata de la subcuenca mas intervenida de la CERS, por tal motivo se establecieron puntos de forma estratégica, para poder tener el comportamiento general, los puntos seleccionados fueron: N.LOP.O.00.00, C.LOP.O.00.06 y un punto adicional localizado sobre la formación paja.

El comportamiento de la Dureza en este cauce, está relacionado por el ion Ca que es dominante sobre el Ion Mg, alcanzando valores altos en puntos como el nacimiento, causados por la influencia de la formación Rosablanca en la parte superior del cauce, esto confirma la hipótesis de la facilidad de la zona superior para la recarga del depósito ubicado aguas a bajo de dicha formación, que conforman el punto inicial de exfiltración de la corriente López.

Los valores de Nitritos altos que registra López comparados con los valores del Chorrerón, demuestran una intensa actividad antrópica, (Abonos, Ganadería, vertido de aguas jabonosas etc.), este factor es importante en el momento de escoger los puntos para el muestreo de época seca, pues debe representar de manera fiel la relación con la litología.

En cuanto a las relaciones Iónicas, esta corriente muestra concentración de sulfatos a medida que avanza en el cauce, como lo indican los índices (r_{Cl}/r_{HCO_3} y SO_4/CL), ver Anexo G, por la actividad antrópica descrita anteriormente.

❖ RIO SUCIO

En la corriente principal de Río sucio se ubicaron seis puntos de muestreo de iones mayores (ver Figura 37), Del índice SO_4/CL se puede concluir que existe una salinización constante, a medida que se desciende por el cauce de Río Sucio, esto concuerda con lo visto en la Figura 33, el crecimiento de este índice está muy relacionado con el aumento del SO_4 , producido por la oxidación de sulfuros, pues el ión Cl no tiene un crecimiento significativo, el aporte que puede existir se atribuye al agua lluvia y su posterior concentración en el terreno.

Los iones como el Fe , Mg , Mn , Ca , sufren un aumento elevado en sus concentraciones entre los puntos C.SUC.O.00.08 y SUCMIRA, por los aportes importantes de iones, en el sector de inestabilidad de la casita, que pone en solución componentes de las formaciones: Paja, Tablazo y Girón.

Diagrama logaritmico o Schoeller-Berkaloff

Este método se puede emplear para comparar los análisis obtenidos en los diagramas de Piper; la representación gráfica de los datos obtenidos se presenta en la Figura que se muestra a continuación.

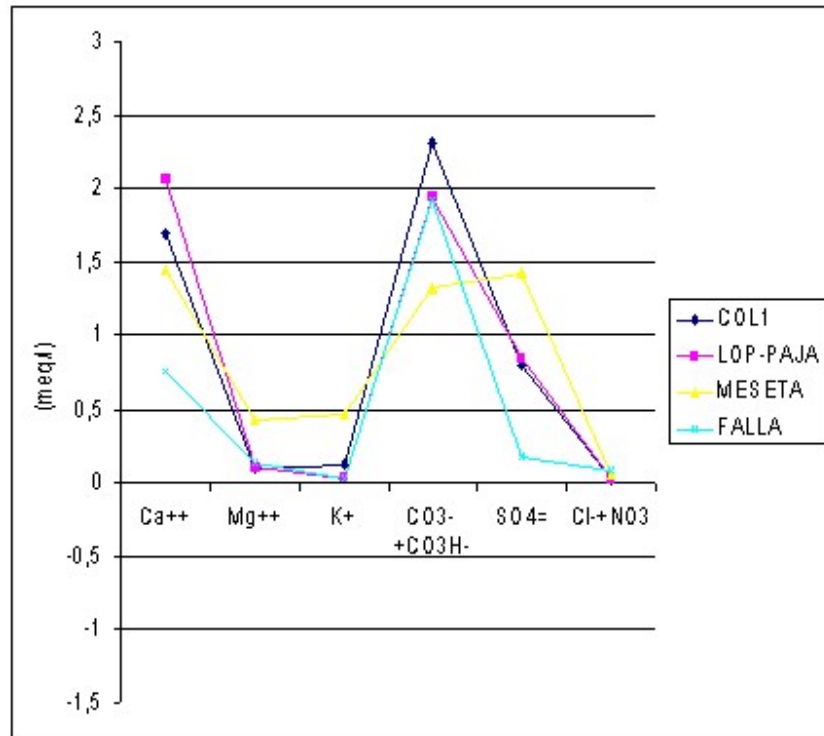


Figura 38 : Diagrama logarítmico de iones mayores en la CERS (época de lluvia)

El análisis que se hace al diagrama logarítmico básicamente se empleará para compararlo con los resultados de los diagramas de Piper.

La Figura de los diagramas logarítmico se observa los elevados valores de los iones carbonatos y calcio sobre los demás datos esto en el caso de los puntos COL1(C.COL.O.00.01), LOPEZ-PAJA y FALLA. Para la MESETA el alto contenido de los iones calcio, sulfatos y su poca diferencia con los carbonatos; corroborando los análisis de los diagramas de Piper,

❖ **Col 1(C.COL.O.00.01):**

En las aguas superficiales de la quebrada Colmena se observa una gran presencia de iones Calcio esto como consecuencia de la Calizas proveniente de los niveles calcareos propios de las formaciones Tablazo y Rosablanca. Los carbonatos con una tendencia básica por la presencia de rocas con cantidades

considerables de silicio, donde predominan las Lutitas carbonatadas; brindándole un comportamiento de agua bicarbonatada Calcica de acuerdo a la clasificación de los triángulos de Piper.

❖ **Lopez-Paja:**

La composición hidroquímica del punto López-Paja es una mezcla de las propiedades químicas aportadas de la formación Tambor-Rosablanca, debido a que el nacimiento de la quebrada López se encuentra en el contacto de dichas formaciones, además de las características que le brinda la formación Paja sobre la cual la quebrada hace su recorrido. Este punto tiene una composición química de silicatos con presencia de Calizas de las formación Rosablanca, lo cual proporciona un alto contenido de iones Calcio y Carbonatos; permitiendo considerar el agua de la quebrada La López como Bicarbonatada Calcica.

❖ **La Meseta:**

Este punto presenta una característica especial debido a que se encuentra en una zona de depósitos con presencia de todas las formaciones identificadas excepto el ortoneis. A esta zona de recarga se le atribuye una proporción considerable de carbonatos y calcio por las Calizas presentes en todas las formaciones sedimentarias exceptuando Paja y Giron, el potasio (ortosa rosada) y Magnesio (Hornblenda) aportados por la Cuarzomonzonita Santa Bárbara. La presencia de sulfatos es considerable debido a los bordes volcánicos de Girón y la precipitación de los carbonatos; los cloruros y nitratos no tienen mayor influencia en el agua de esta zona, por lo tanto se le considera como Sulfatadas Cálcidas y Bicarbonatadas Cálcidas ya que se cuenta con una mínima diferencia porcentual entre sulfatos y bicarbonatos.

❖ **Falla (N.SUC.I.03.00):**

La composición hidroquímica del punto la Falla se encuentra afectada por la formación de Girón y depósitos. La clasificación este punto es de Bicarbonatada

Cálcica; pero cabe anotar que las formaciones que afectan este punto no poseen concentraciones de carbonatos elevados lo que demostraría recargas lejanas, que confirman la hipótesis de fallas alineadas con el punto que pone en contacto el cuaternario de la mesa de Berlín con la CERS.

Una característica importante de las aguas bicarbonatadas Cálcicas como es el caso de la quebrada la colmena y fuentes cercanas a la casita es la dureza alta ,que se ve reflejada en problemas domésticos como impedir la que el jabón forme espuma, y la obstrucción constante de tuberías.

4.2.3 SEGUIMIENTO DEL PERIODO DE ESTIAJE

La campaña de seguimiento para la época de estiaje se realizó, en Abril 13-14 del 2005, de acuerdo a lo dispuesto en el anexo D.

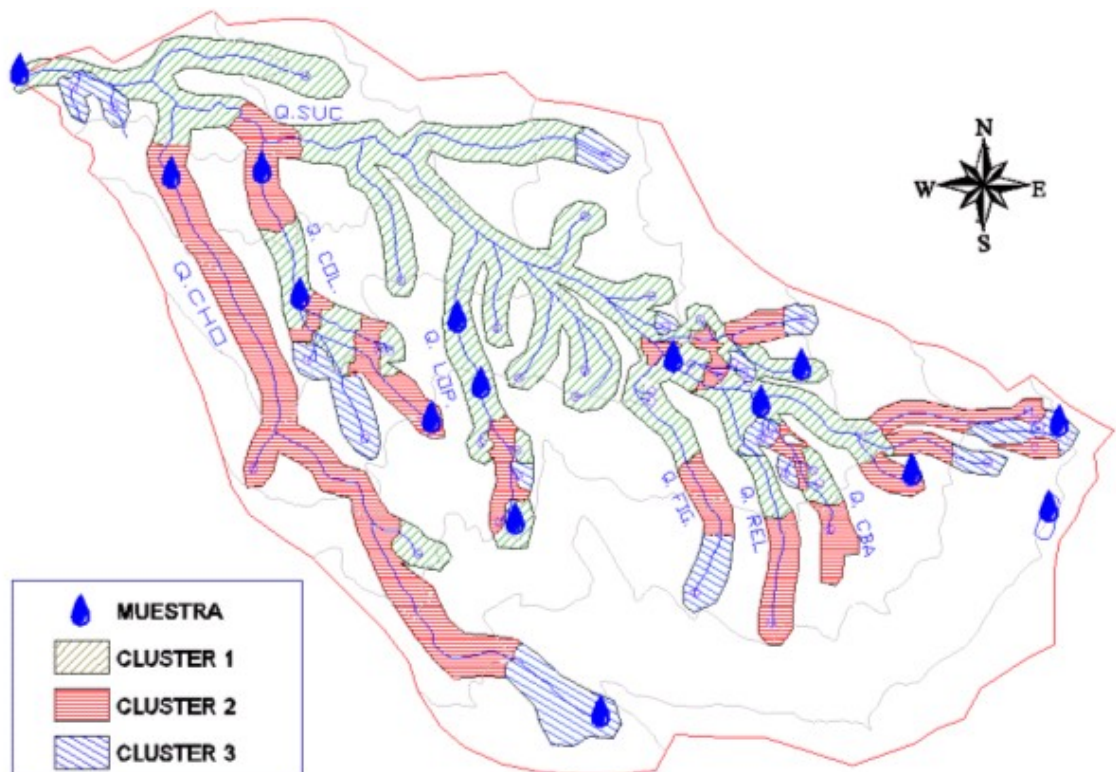


Figura 39 : Puntos datados en el seguimiento de la época seca

Para comparar el análisis hecho para una época de lluvias se seleccionaron nuevamente 15 puntos de muestreo Figura 39.

Conservando la mayoría de los anteriores puntos datados, a los cuales se le midieron los parámetros físico-químicos y se analizaron muestras de iones mayores; los puntos seleccionados y los análisis de laboratorio se muestran en el anexo F. De los 15 puntos escogidos a 5 puntos se les realizaron análisis de iones principales completos; los puntos datados en esta campaña de muestreo fueron ; (NCHO (N.CHO.O.00.00), NSUC (N.SUC.O.00.00), FALLA, MESETA, BNEI1 (C.BNE.I.01.01), NLOP (N.LOP.O.00.00), NCOL (N.COL.O.00.00) y CHO 11 (C.CHO.O.00.11)). Ver Anexo I.

En cuanto al comportamiento reflejado por los análisis de la época de verano, entre los puntos pertenecientes a el Chorrerón (N.CHO.O.00.00 Y N.CHO.O.00.11) se incrementaron todos los iones, menos Mn, Cl⁻ y NO₃⁻ que son asociados a fenómenos externos como intervenciones antrópicas y aguas lluvias; comparados con los análisis de la época de lluvias, se mostró una mayor concentración de todos los iones, excepto NO₃ que proviene en su mayoría de procesos de descomposición y K que se precipita fácil.

En la Quebrada la Colmena entre los puntos censados (N.COL.O.00.00 Y C.COL.O.00.07), se aumentaron los niveles de Ca⁺⁺ Mg⁺⁺ por lo tanto la dureza), que es provocado principalmente por las calizas en contacto de la formación Rosablanca, en el tramo siguiente los valores de iones bajan a rangos muy similares a el nacimiento principal, observándose en este último tramo precipitación de sales que forman caliche.

El punto datado en la laguna muestra valores de Bicarbonatos, sulfatos, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺⁺, muy bajos en ambas campañas, comparados con otros nacimientos, lo cual hace suponer que se trata de las aguas mas jóvenes de la CERS, por lo tanto que posiblemente se deba a aguas recientemente depositadas .

Sobre el cauce de López, llama la atención los valores mas altos de Ca⁺⁺ de la CERS, que pueden llegar a asociar un mayor tiempo de residencia de esta agua, por lo cual no se descarta una posible recarga desde un punto externo a la cuenca.

4.2.4 BALANCE QUÍMICO

El balance químico se hace con el objeto de evaluar la calidad de los análisis que se realizan en el laboratorio; para ello es necesario contar con todos los iones mayores (Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, HCO₃⁻, NO₃⁻, SO₄⁻², CL⁻ y CO₃⁻²) en este caso se cuenta con la información completa de 5 puntos de control y los valores de Electroconductividad para definir los errores admisibles (Tabla 11), el resto de puntos fueron utilizados en la comparación de las diferentes épocas, y la evolución de los iones con la litología.

Tabla 11: Error calculado en las determinaciones de laboratorio

Puntos	EC (mS/cm)	EC (Adm)	Error (Adm)	Error(%)	Cumple	R(seco)	R(seco)
						Calculad	Balance
N.CHO.O.00.00	48	50	30	6.58	si	59.79	54.128
N.SUC.O.00.00	37	50	30	26.94	si	13.98	12.54
FALLA	49	50	30	63,21	no	137.08	66.7
MESETA	148	200	10	3.82	si	356	344
C.CHO.O.00.11	320	500	8	1.00	si	65.23	54.99

Para el calculo del error se debe evaluar la diferencia que existe entre la suma de los mili equivalentes de aniones y de cationes por separado, es normal que existan pequeñas diferencias entre estos resultados, dado el error acumulado que se puede presentar en las determinaciones individuales, sin embargo estos deben cumplir con un error admisible que esta dado en parte por la concentración y por el tipo de agua (Custodio y Llamas, 1996).

En el caso de los análisis presentados en la Tabla 11 el punto muestreado que no cumple con el error admisible es el punto de la falla (N.SUC.I.03.00); siendo el error muy grande, este puede deberse a un error grave en el análisis o a la existencia de cantidades anormales de iones menores que no se tienen en cuenta en el balance, pero que sin embargo pueden estar mostrando un largo tiempo de reacción del agua con la roca, lo cual reforzaría la hipótesis de una recarga en un punto fuera de la CERS.

Otra comparación que se puede obtener del balance iónico es por medio del residuo seco, donde uno es calculado a partir de las mediciones hechas de Electroconductividad y el segundo del balance Iónico, las diferencias que se tuvieron por este método no son muy significativas con la misma excepción de la Falla.

4.2.5 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS

La caracterización de las aguas busca, mediante una clasificación, resumir las propiedades químicas obtenidas durante su interacción con la litología, para tal efecto se utilizaron los puntos de iones mayoritarios completos, muestreados en la campaña de hidroquímica en la época de seca, la cual refleja de forma mas clara el comportamiento del flujo base.

Para llevar a cabo la caracterización de las aguas se utilizó el triangulo de Piper; la metodología de construcción, y la interpretación de este diagrama se presenta en el capítulo 3.

El triangulo de Piper, utilizado se presenta en la Figura 40.



Figura 40: Diagrama de Piper de iones Mayores en la CERS (época de estiaje)

Según la composición iónica mostrada en la Figura 40, se puede ver una precipitación de $Mg(OH)_2$ (Brucita), Custodio y Llamas (1996), indicada por la línea a trazos (reacciones químicas), entre el nacimiento de la falla (N.SUC.I.03.00) y el punto ubicado en la meseta, presentándose por esta razón, el ablandamiento de las aguas, que se almacenan en la zona de depósito, este proceso es favorecido en parte por las velocidades pequeñas del flujo, y el escape de CO_2 , vital para mantener en equilibrio la fase sólida del Carbonato Magnésico.

Entre los puntos de la corriente el Chorrerón se observó, una cesión de iones $K+Na$ a Mg , por el efecto de cambio de bases, para que se lleve a cabo este proceso es necesario que el agua este en contacto con el Neis, por un tiempo

considerable, debido a que el Ion magnesio, que no es un Ion predominante en esta litología, pueda prevalecer sobre los otros Iones.

La clasificación de los puntos así como otras observaciones hechas sobre el triangulo de Piper, se discute a continuación:

❖ **NCHO(N.CHO.O.00.00)**

La composición hidroquímica del punto se encuentra afectada por la formación Ortoneis y algunos Derrubios, aportándole al agua atributos químicos propios de las aguas Bicarbonatadas Cálcidas, que provienen de los ataques a los feldespatos del Neis; las concentraciones de Bicarbonatos se pueden haber producido en este lugar, por la disolución de CO₂ causado por el ácido humico.

Cabe anotar la cercanía de esta agua a las Bicarbonatadas sódicas por la presencia de Na en un gran porcentaje, lo cual podría afirmar mas la hipótesis de la recarga desde afuera de la CERS, por la conservación del ión durante un tiempo de viaje, según la serie de Chevoltareb (Figura 18).

Por ser estas aguas poco salinas (alrededor de 20 mg/l, anexo C se puede afirmar que la relación rSO_4/rCl en la roca de la cual proviene, es muy similar a 4.58 (anexo 7), relación encontrada en el agua de este lugar (Custodio y Llamas, 1996), esto coincide con la formación del Chorrerón, ya que los sulfatos pueden provenir de la oxidación de sulfuros de esta formación metamórfica.

❖ **NSUC (N.SUC.O.00.00)**

El nacimiento del Río Sucio, comparte condiciones y formación geológica con el nacimiento del Chorreron, dando como resultado, el comportamiento muy similar y la clasificación dentro del mismo grupo, Bicarbonatada Cálcida.

❖ FALLA (N.SUC.I.03.00)

La composición hidroquímica del punto la Falla se encuentra afectada por la formación de Girón y depósitos. La clasificación este punto es de Bicarbonatada Calcica y magnesica; pero cabe anotar que las formaciones que afectan este punto no poseen concentraciones de carbonatos o de feldespatos elevados lo que demostraría recargas lejanas, esta hipótesis es confirmada por la poca diferencia que existe entre las relaciones r_{SO4}/r_{Cl} de la falla y el punto final del Chorrerón, siendo estas las concentraciones aproximadas a las del Neis, corroborando la acción de las fallas alineadas con el punto que pone en contacto el cuaternario de la mesa de Berlín con la CERS.

❖ MESETA (C.CBA.O.00.04)

Este punto se encuentra en una zona de depósito constituido por varias formaciones (Tablazo, Tambor, Rosablanca y Cuarzomonzonita). A esta zona de recarga se le atribuye una proporción considerable de carbonatos y calcio por las Calizas presentes en todas las formaciones sedimentarias exceptuando Paja y Girón, el potasio (ortosa rosada) y Magnesio (Hornblenda) aportados por la Cuarzomonzonita Santa Bárbara y las calizas de la formación Rosablanca. La presencia de sulfatos es considerable debido a la precipitación de los carbonatos; los cloruros y nitratos no tienen mayor influencia en el agua de esta zona, por lo tanto se le considera como Bicarbonatada Cálctica y Magnésica.

❖ CHO 13 (C.CHO.O.00.13)

En el segmento final de la corriente del Chorrerón, donde fue muestreado este punto se clasificó el agua como del tipo Bicarbonatada Magnesico-Cálctica, mostrando a el ión Magnesio dominante sobre el ión calcio, que refleja líneas de flujo profundas en el Ortoneis y que lo relacionan directamente con la falla regional la Cristalina; lo anterior confirma la hipótesis planteada al inicio de este trabajo,

cuando se evidenció un aumento importante en el caudal de la Quebrada el Chorreron.

En general los índices rMg/rCa y rK/rNa , mostraron el origen de las aguas, como de aguas dulces de tipo continental.

Análisis de Diagrama logaritmico o schoeller-berkaloff

Este método se puede emplear para comparar los análisis obtenidos en los diagramas de Piper; la representación gráfica de de los datos se presenta en la Figura 41.

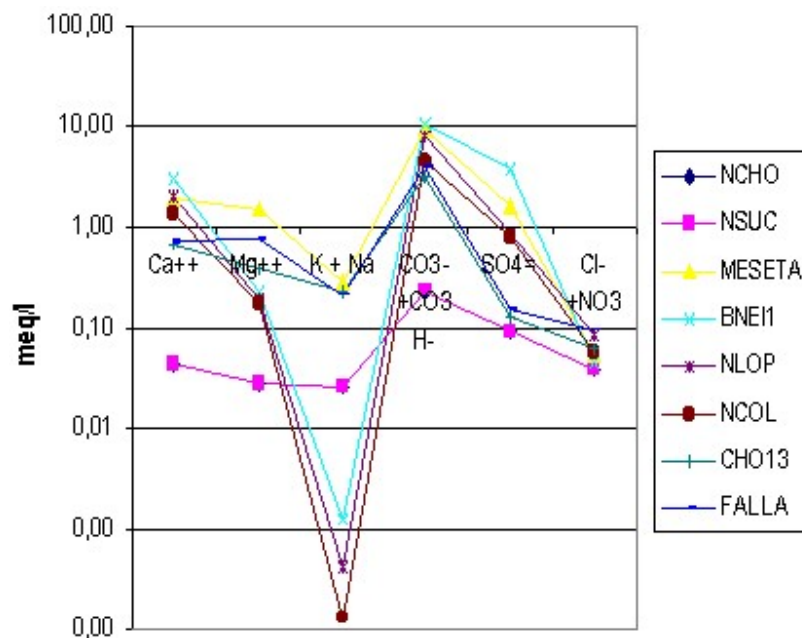


Figura 41 : Diagrama logarítmico de iones mayores de la CERS (época seca)

En el gráfico se observan la gran predominancia de los Carbonatos, Bicarbonatos y de Calcio excepto en NSUC. En algunos puntos como NSUC, la FALLA y la MESETA la diferencia del Mg y El Na + K no es muy grande lo cual se podría afirmar que las aguas de esas zonas se caracterizan con los dos minerales como componentes principales.

El alto contenido de sulfatos en la mayoría de puntos (exceptuando Chorrerón) puede provenir de la precipitación de carbonatos o de la exfiltración de líneas de flujo medianamente profundas.

4.2.6 COMPARACIÓN ENTRE ANALISIS QUIMICO EN EPOCAS DE LLUVIA Y ESTIAJE

Con la información recopilada del análisis de iones principales en las dos épocas se plantea una comparación para corroborar o desvirtuar las afirmaciones contempladas en cada análisis; con esto se obtiene posibles recorridos de flujo y la Geología que atraviesa.

Las comparaciones se plantean en los puntos donde se cuenta con información de las dos épocas.

❖ Comparación de Análisis de diagramas de Piper

Punto COL1(C.COL.O.00.01) – NCOL(N.COL.O.00.00)

Posee comportamiento de agua bicarbonatada Calcica de acuerdo a la clasificación de los triángulos de Piper. Este análisis fue obtenido en ambas épocas lo cual corrobora la gran influencia de la Caliza provenientes de Rosablanca en la composición química del agua de esta zona.

Punto LOPEZ-PAJA Y NLOP(N.LOP.O.00.00)

La composición hidroquímica del punto López-Paja es una mezcla de AGUAS BicarbonatadaS CalcicaS al igual que EL NLOP; el nacimiento de la quebrada López se encuentra en el contacto de Tambor-Rosablanca. Este punto tiene una composición química de silicatos con presencia de Calizas de las formación Rosablanca, junto con el gran contenido de materia orgánica proveniente de

Tambor; lo cual proporciona un alto contenido de iones Calcio y Carbonatos; permitiendo considerar el agua de esta forma en épocas diferentes.

Punto LA MESETA

A esta zona de recarga se le atribuye una proporción considerable de carbonatos y calcio por las Calizas presentes en Algunas de las formaciones sedimentarias, el potasio (ortosa rosada) y Magnesio (Hornblenda) aportados por la cuarzomonzonita Santa Bárbara. La presencia de sulfatos es considerable debido a los bordes volcánicos de Girón y la precipitación de los carbonatos en épocas húmedas considera las aguas como Sulfatadas Calcicas y bicarbonatadas calcicas por la poca diferencia entre sulfatos y bicarbonatos, pero en épocas secas la caracterización de Piper arroja Bicarbonatadas Calcicas y Magnésicas. Se podría decir que la tendencia de las aguas es a comportarse como Bicarbonatadas Calcicas sin sostener las grandes concentraciones de sulfatos.

Punto LA FALLA

La composición hidroquímica del punto la Falla se encuentra afectada por calizas de la formación Girón y materia Orgánica propia de un derrubio, encontrándose un gran porcentaje de iones carbonatos y calcio. Lo que clasifica al agua de este punto como Bicarbonatada Calcica en época de lluvia sin tener mucha relevancia las concentraciones de magnesio; a diferencia del análisis en época seca que produjo un resultado de Bicarbonatadas Calcicas y Magnésicas. La comparación corrobora una tendencia del agua a ser Bicarbonatada Calcica; La presencia de Mg no se sostiene en las épocas diferentes.

❖ **Comparación de Análisis de diagramas logaritmico o schoeller-berkaloff**

La comparación de estos diagramas arroja una variación muy detallada en cada ion analizado; para esto se realiza una comparación en cada punto donde se cuenta con información en ambas épocas.

Punto COL1(C.COL.O.00.01) – NCOL(N.COL.O.00.00)

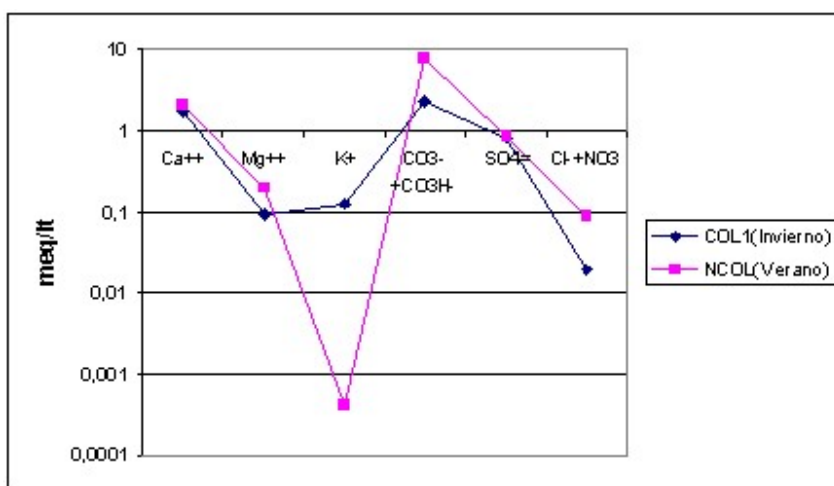


Figura 42 : Comparación Diagrama logarítmico de iones principales en la Quebrada la Colmena.

Es interesante observar que la única variación relevante en las concentraciones de los iones es en el potasio. Los demás puntos no varían temporalmente en grandes proporciones los valores de iones. El potasio no se encuentra en grandes concentraciones en aguas naturales; la presencia puede ser a causa de las sales de potasio utilizadas en la agricultura.

Punto LOPEZ-PAJA – NLOP(N.LOP.O.00.00)

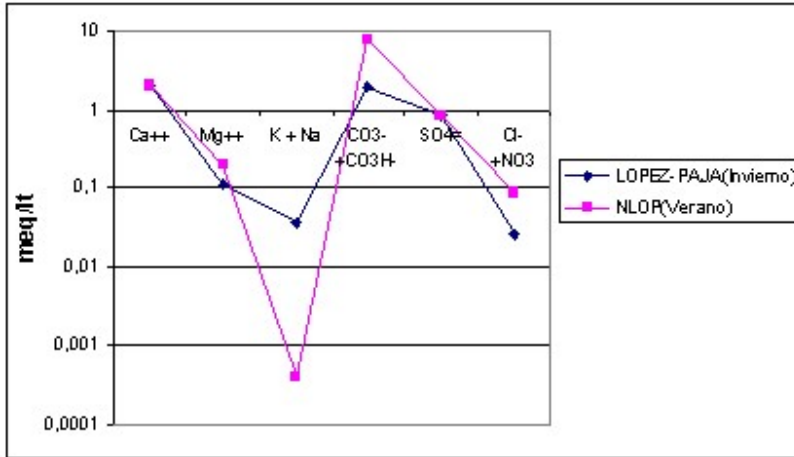


Figura 43 : Comparación Diagrama logarítmico de iones principales en la Quebrada la López.

Al igual que la quebrada anterior la mayor diferencia se encuentra en el potasio; posiblemente por el aumento de la agricultura en época seca cuando el pastoreo no es intenso a causa de la disminución del agua.

Punto MESETA

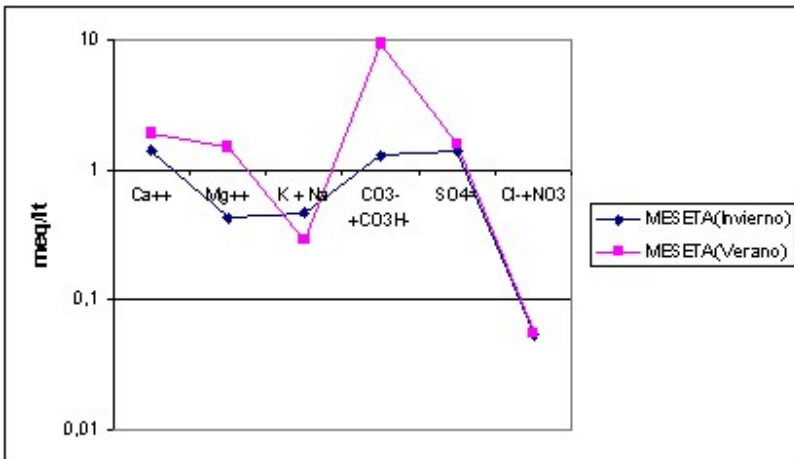


Figura 44 : Comparación Diagrama logarítmico de iones principales en la Meseta. La variación temporal de este punto se observa en los carbonatos y bicarbonatos; aumentando las concentraciones en época seca. Generalmente estos iones provienen de las formaciones que contiene calizas entonces esta variación no es

extraña. Los sulfatos se mantienen constantes lo cual corrobora lo afirmado en la comparación de diagramas de Piper que la clasificación de sulfatadas no es tan representativa; el magnesio si aumento posiblemente por las rocas sedimentarias con minerales ferromagnesianos.

Punto LA FALLA

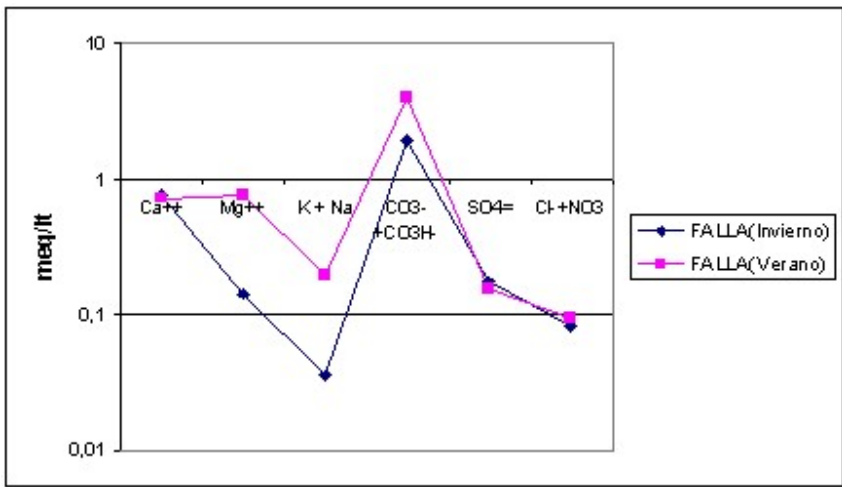


Figura 45 : Comparación Diagrama logarítmico de iones principales en la Falla.

Como ya se mencionó el aumento del potasio a causa de la actividad agrícola; el magnesio aumentó debido a su concentración en las rocas sedimentarias en los minerales ferromagnesianos. Los demás iones no tienen una variación temporal muy relevante.

5 CONCLUSIONES

- Se llevó a cabo la actualización de la red hídrica de la CERS mediante el inventario de afloramientos y corrientes de agua, a una escala 1:10.000, definiendo para ello una nomenclatura.
- Desde el muestreo hidroquímico en época de estiaje, las aguas de la CERS fueron clasificadas como bicarbonatadas (aguas jóvenes), sin embargo se presentaron valores importantes de Mg y Na que asocian tiempos de residencia mayores, adicionalmente en el punto N.SUC.I.03.00, se presentó un des balance entre aniones y cationes debidos presuntamente a la existencia en cantidades anormales de iones minoritarios lo cual estaría reforzando la hipótesis de una posible recarga desde la mesa de Berlín.
- Por medio del diagrama logarítmico se comparó el contenido de iones para las épocas de lluvias y estiaje, dando como resultado el aumento de iones Na y K, durante las lluvias provenientes del lavado de fertilizantes, materia orgánica y plaguicidas.
- Se encontró afinidad entre las litologías de procedencia del Chorrerón y el punto N.SUC.I.03.00 (Fractura), por medio de la relación Sulfatos-Cloruros, asociando de esta forma la recarga por el Neis.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda adelantar muestreo de isótopos Tritio, Deuterio y O18, en los cuerpos de agua localizados en la mesa de Berlín y dentro de la CERS, de acuerdo con lo establecido en el anexo H, encaminado a corroborar la procedencia de las aguas de la CERS.
- Realizar seguimientos de iones mayores en épocas de verano en puntos ubicados en la mesa de Berlín y los nacimientos dentro de la CERS, para el análisis de la evolución de estos iones.
- Debido a la diferencia de aniones y cationes presentada, en el balance químico, del punto N.SUC.I.03.00, es necesario realizar un muestreo de iones mayoritarios y minoritarios, que aclare si el error se debe a la presencia de cantidades inusuales de iones minoritarios, lo cual reforzaría la idea de una recarga lejana o a fallas en la determinación de los iones.
- Implementar normas que estén dirigidas al control sobre las descargas de las aguas residuales en la CERS, para evitar que parámetros de las aguas como los organolépticos o químicos sean afectados.

BIBLIOGRAFÍA

AMB. 2003. Estudios de sedimentos para cuenca superior del río Tona.AMB.

AMB.2003. Estudios de Hidrológica-Clima y Sedimentos para la regulación en las cuencas de los ríos Tona y Frío. AMB.

GOMEZ, S. 2003.Caracterización Hidrogeoquímica para el estudio de la recarga y propuesta de utilización de las aguas drenadas en los acuíferos de la meseta y sus zonas aledañas. COLCIENCIAS.

GPH, Manual paso a paso para los equipos de sondeo referencias 18.21, 18.26, 18.28.5 de septiembre del 2004. UIS.

LLAMAS, C. 1996. Hidrología Subterránea. OMEGA.

DUARTE, C., LOPEZ, C. 1989. Agua Subterranea como Posibilidad de Consumo en la Meseta de Bucaramanga. Tesis de grado. UIS Colombia.

DEL TORO, W. 1997. Aspectos geotécnicos de los sectores inestables de la microcuenca de Río Sucio, parte alta de la cuenca del río Tona, en el departamento de Santander. Especialización. UIS Colombia.

GOMEZ, L., SANTANA, H. 1995. Geología, Geomorfología y Geoquímica de los procesos de inestabilidad de la zona del Tembladal, del Municipio de Tona, Santander. Tesis de grado. UIS Colombia.

HERNANDEZ, W. 1997. Análisis de la influencia de los factores Geomorfológicos en los procesos erosivos del a microcuenca de la quebrada Río Sucio, parte alta del río Tona. Tesis de Grado. UIS Colombia.

SCHURING, J., SCHULZ, H., ET AL. 2000. REDOX, Fundamentals, Processes and applications. SPRINGER.

Disponible en Internet:

www.tdx.cesca.es/TESIS_UPC.

www.aguas.igme.es

www.aguas.uji.es

ANEXOS

ANEXO A. PARAMETROS FISICOQUIMICOS MEDIDOS EN LA CERS

Tabla A1. Parámetros Físicoquímicos medidos en la CERS.

NOMBRE	ESTE	NORTE	Altura	PH	Redox	Electro	Salini(mg/l)	Salini(ppm)	OD(mg/l)	OD(%)
N.CHO.O.00.00	1126359	1286451,2	3255	6,51	12	35,9	18,5	0	2,8	35,5
C.CHO.O.00.01	1126305	1286480,5	3260	6,81	5	88	46,6	0	4	49,5
C.CHO.O.00.03	1125445	1287093,5	2895	7,86	469	214	114	0,1	4,55	52,5
C.CHO.O.00.02	1125585	1286881,8	2990	7,7	483	196	105	0,1	2,85	37
N.CHO.D.01.00	1125541	1287218,2	2940	7,92	469	701	372	0,2	3,5	36
C.CHO.O.00.05	1125311	1287390,9	2770	7,88	474	208	110	0,1	5,35	65
C.CHO.O.00.04	1125352	1287267,2	2825	7,93	481	188	99	0,1	5,5	66
C.CHO.O.00.06	1125168	1287552,9	2660	8,36	458	230	122	0,1	3,15	44
C.CHO.I.01.01	1124854	1287715,1	2635	7,59	501	154	81	0,1	2,8	38
N.CHO.I.01.00	1124798	1287598,3	2660	8,43	459	205	109	0,1	3,45	42,5
C.CHO.O.00.07	1124902	1287764,4	2600	7,78	488	262	138	0,2	2,65	34
C.CHO.O.00.08	1124915	1287809,9	2590	8,81	465	239	126	0,1	4,1	50
C.CHO.O.00.09	1124912	1287867,6	2510	8,86	461	258	133	0,2	3,65	46
C.CHO.O.00.10	1124904	1287965,9	2530	13,1	218	277	139	0,2	2,85	38
C.CHO.O.00.11	1124443	1288862,3	2350	8	463	238	124	0,1	4,4	59,5
N.COL.I.03.00	1125042	1288086,3	2600	6,54	15	262	130	0,1	0	0
N.COL.I.02.00	1125301	1287733,2	2730	6,59	25	234	123	0,1	0,6	7
C.COL.I.02.01	1125273	1287812,5	2700	6,22	45	140	75	0,1	0	0
N.COL.O.00.00	1125579	1287818,2	2780	8,05	474	295	157	0,2	5	61
C.COL.O.01.00	1125508	1287886,2	2750	8,32	459	285	151	0,2	5,6	70
N.COL.D.01.00	1125412	1288131,9	2700	7,07	534	517	275	0,3	0,8	7
N.COL.D.01.01	1125364	1288134,2	2680	7,3	519	334	177	0,2	4	50
C.COL.O.02.00	1125160	1288180,7	2540	7,61	495	511	272	0,3	4,5	57
C.COL.O.03.00	1125122	1288196,5	2530	7,96	475	497	263	0,3	3,4	45,5
C.COL.O.04.00	1125054	1288220,5	2520	8,13	466	410	216	0,2	2,95	47
C.COL.O.05.00	1125022	1288267,3	2525	7,44	505	406	215	0,2	0,3	4
C.COL.D.01.01	1125038	1288309,5	2500	8,41	451	377	201	0,2	4,05	54

NOMBRE	ESTE	NORTE	Altura	PH	Redox	Electro	Salini(mg/l)	Salini(ppm)	OD(mg/l)	OD(%)
C.COL.O.00.06	1125001	1288371,8	2480	7,75	489	930	500	0,6	4,3	53,5
C.COL.O.00.07	1124826	1288960,3	2230	7,96	474	397	210	0,2	3,05	47
N.LOP.O.00.00	1125965	1287337,5	2990	6,98	526	682	365	0,4	0,8	10
M.LOP.I.01.00	1125907	1287360,1	2970	8,23	454	229	122	0,1	5,25	69
C.LOP.O.00.01	1125957	1287538,8	2920	8,14	459	245	130	0,1	3,6	47
N.LOP.D.01.00	1125989	1287567	2920	6,52	15	525	277	0,3	0,35	4
C.LOP.O.00.02	1125946	1287668,6	2880	7,94	471	336	178	0,2	3,9	52
N.LOP.D.02	1125985	1287681,1	2900	6,78	535	571	304	0,3	0,85	11
C.LOP.O.00.03	1125901	1287742	2870	8,03	466	367	194	0,2	3,5	45
N.LOP.I.01.00	1125827	1287714,9	2870	7,15	514	430	228	0,3	3,6	47
C.LOP.O.00.04	1125868	1287818,5	2850	8,21	454	1050	560	0,6	4	52
C.LOP.O.00.05	1125749	1288138,6	2730	8,01	465	870	465	0,5	4,45	57
N.SUC.I.06.00	1125996	1288004,6	2760	6,81	535	960	510	0,6	1,65	22
C.SUC.I.06.01	1126067	1288104,6	2705	7,15	516	1180	930	0,7	2,4	30
N.SUC.I.07.00	1125899	1288231,6	2650	7,83	478	663	351	0,4	1,5	20
C.SUC.I.04.02	1126180	1288354,7	2600	8,11	460	635	339	0,4	3,7	47
C.SUC.O.00.10	1126199	1288472,8	2600	8,02	465	735	392	0,4	4,15	59
C.SUC.O.00.11	1125992	1288534	2530	7,86	473	662	352	0,4	4,6	61,5
C.SUC.I.05.01	1126282	1288159,3	2730	8,02	468	706	376	0,4	4,6	56,5
N.SUC.I.05.00	1126295	1288039,6	2765	7,22	512	768	409	0,5	0,8	10
LAGUNA	1128378	1287377	3380	7,23	520	46,7	26,1	0	4,5	55
N.SUC.O.00.00	1128426	1287757,8	3360	6,62	15	53,1	28,2	0	1,05	15
N.SUC.D.01.00	1128344	1287789,5	3350	5,95	53	52	27,9	0	0	0
N.SUC.D.02.00	1128320	1287822,9	3350	8,34	438	81,1	42,3	0	0,3	4,5
C.SUC.O.00.01	1128303	1287756,2	3330	6,65	19	45,6	24,3	0	1,6	22
N.SUC.I.01.00	1128320	1287694,2	3340	10,23	340	106	57	0,1	0	0
N.SUC.D.02.00	1128291	1287861	3330	7,39	501	136	73	0,1	2,55	34,5
N.SUC.D.03.00	1128171	1287909,3	3320	7,46	501	176	93	0,1	2,95	39,5
N.SUC.I.02.00	1128108	1287626	3290	6,48	24	64,1	33,9	0	0,9	11,5
C.SUC.I.03.01	1127747	1287722,1	3080	7,9	474	237	125	0,2	4,1	50

NOMBRE	ESTE	NORTE	Altura	PH	Redox	Electro	Salini(mg/l)	Salini(ppm)	OD(mg/l)	OD(%)
C.SUC.O.00.02	1127681	1287825,8	3070	7,54	497	286	152	0,2	4,6	56,5
C.SUC.O.00.03	1127462	1287766,2	2980	7,96	473	477	254	0,3	3,2	41
N.BNE.O.00.00	1127278	1288272,6	2990	5,85	68	43,9	23,3	0	1,6	22
N.BNE.I.01.00	1127268	1288023,5	2950	7,48	506	629	335	0,4	1,7	24
C.BNE.O.00.01	1127079	1288243,4	2890	8,34	472	371	197	0,2	4,6	64
C.BNE.O.00.02	1126940	1288205,2	2860	8	472	412	219	0,2	4,35	58,5
C.BNE.I.01.01	1127058	1288073,8	2885	7,33	514	472	251	0,3	3,05	44,5
C.BNE.O.00.04	1126836	1288178,4	2820	8,16	468	458	244	0,3	5,5	74
C.BNE.O.00.03	1126897	1288191,7	2855	7,9	481	456	242	0,3	2,8	39
SUC.I.2.1.1	1127703	1287556,1	3100	7,96	483	209	111	0,1	4,4	49,5
N.SUC.I.03.00	1127754	1287535,3	3110	7,58	506	205	110	0,1	3,2	37,5
N.REL.O.00.00	1127133	1286905,9	3140	7,75	496	172	91	0,1	4,4	51
C.REL.O.00.01	1127135	1287009,4	3100	8,24	466	198	105	0,1	3,45	44
N.FIG.O.00.00	1126790	1287041,8	3200	5,01	109	62,3	33,5	0	1,75	21,5
C.FIG.O.00.01	1126864	1287167,5	3140	6,94	7	204	108	0,1	3,2	41,5
C.FIG.O.00.02	1126864	1287413,7	3000	8,15	466	319	170	0,2	4,05	52,5
C.SUC.O.00.04	1127133	1287926,5	2900	8,4	480	599	321	0,4	3,95	45,5
C.SUC.I.03.02	1127615	1287595,7	3040	8,46	476	361	192	0,2	4,05	49,5
C.SUC.I.03.03	1127558	1287673	3000	8,12	497	470	250	0,3	1,8	26,5
C.CBA.O.00.01	1127391	1287433	2990	8,37	481	366	196	0,2	2,05	24
N.CBA.O.00.00	1127398	1287324,6	3010	7,93	509	382	204	0,2	2,5	32
N.CBA.I.01.00	1127195	1287579,9	3010	6,58	47	185	98	0,1	2,4	30,5
N.CBA.D.01.00	1127350	1287531,8	2970	8,08	497	517	275	0,3	2,35	30
C.CBA.O.00.02	1127274	1287574,9	2940	8,4	480	407	218	0,2	4	54,5
N.CBA.D.02.00	1127322	1287590	2930	7,59	525	854	456	0,5	2,65	36
C.CBA.O.00.03	1127210	1287701,4	2920	8,17	494	473	252	0,3	3,15	40,5
C.SUC.O.00.05	1127082	1287934,6	2880	7,55	497	537	286	0,3	4,25	52
N.CBA.I.01.00	1127120	1287760,6	2900	6,51	22	707	376	0,4	2,65	36

N.CBA.I.02.00	1127086	1287733	2890	6,55	19	630	336	0,4	2,6	35
C.CBA.O.00.04	1127083	1287854,5	2880	7,26	514	438	233	0,3	3,8	46

NOMBRE	ESTE	NORTE	Altura	PH	Redox	Electro	Salini(mg/lt)	Salini(ppm)	OD(mg/lt)	OD(%)
C.SUC.O.00.06	1126945	1287958,8	2870	7,86	480	483	261	0,3	4,1	50
N.SUC.D.06.00	1127007	1288036,8	2890	6,78	6	650	347	0,4	0,2	2,5
N.SUC.D.04.00	1127028	1287993,7	2885	6,65	14	645	341	0,4	0,65	8,5
N.SUC.D.07.00	1126963	1288076,4	2870	6,77	9	816	436	0,5	0,9	11
N.SUC.D.05.00	1126893	1288014,8	2860	8,04	470	412	218	0,3	4,5	54
C.SUC.O.00.07	1126715	1288048,7	2790	7,65	488	505	269	0,3	4,25	51,5
C.SUC.D.06.01	1126771	1288069,8	2810	7,77	483	580	309	0,4	4,55	55,5
C.FIG.O.00.03	1126631	1287822,8	2810	7,92	476	478	254	0,3	3,35	40,5
N.FIG.D.02.00	1126094	1287945,8	2805	7,24	515	601	320	0,4	4,55	54,5
N.FIG.D.01.00	1126593	1287902,6	2800	7,23	520	610	324	0,4	3,2	39
N.SUC.I.04.00	1126248	1287924,9	2790	7,58	495	622	331	0,4	4,35	53
C.FIG.O.00.04	1126518	1287931,6	2790	8,02	473	577	307	0,4	3,8	46
C.FIG.O.00.05	1126550	1288006,3	2780	7,82	480	566	301	0,4	5,1	62,5
C.SUC.O.00.08	1126662	1288095,6	2770	8,03	469	460	245	0,3	5,15	62
C.BNE.O.00.05	1126683	1288187	2750	7,62	484	468	249	0,3	3,2	38,5
C.SUC.O.00.09	1126404	1288329,9	2680	7,82	472	539	284	0,3	2,2	29
C.SUC.I.04.01	1126344	1288196	2700	7,88	469	567	302	0,3	3,75	50
C.SUC.D.09.01	1126486	1288371,3	2710	7,96	464	799	426	0,5	3,6	49
N.SUC.D.09.00	1126594	1288375,3	2750	7,09	514	772	411	0,4	3,2	38
N.SUC.D.11.00	1126388	1289007,8	2680	6,53	11	640	340	0,4	1,3	18
C.SUC.D.11.01	1126085	1289078	2590	8,1	460	723	387	0,4	2,96	37
N.SUC.D.10.00	1126294	1288737,3	2670	6,77	534	506	267	0,3	0,25	4
N.SUC.D.08.00	1126657	1288238,8	2740	6,85	3	648	345	0,4	1,65	24,5
C.SUC.D.08.01	1126511	1288292,6	2720	8,21	468	533	284	0,3	4,3	60,5
C.SUC.O.00.12	1125432	1289015,9	2300	7,65	490	603	321	0,3	3,15	45
C.SUC.I.08.01	1125284	1289046,9	2300	7,85	484	549	293	0,3	3,2	42,5

C.SUC.O.00.13	1125228	1289062,8	2260	8	475	594	314	0,3	3,3	47,5
BATEA	1123739	1289356,7	2000	7,86	460	528	281	0,3	4,7	64,5
C.SUC.O.00.14	1124497	1289226,8	2035	8,22	466	524	284	0,3	4,65	63
C.SUC.I.10.01	1123987	1289315	2050	7,64	-42	164	87	0,1	6,05	76

NOMBRE	ESTE	NORTE	Altura	PH	Redox	Electro	Salini(mg/lit)	Salini(ppm)	OD(mg/lit)	OD(%)
C.SUC.I.09.01	1124171	1289229,3	2060	7,53	-62	68	89	0,1	6	75
C.SUC.O.00.15	1124372	1289317,5	2090	8,31	460	554	295	0,3	5,05	65,5
C.SUC.O.00.16	1124247	1289332,2	2080	7,99	478	565	301	0,3	5,1	64
C.SUC.O.00.17	1123965	1289393,5	2060	7,86	485	545	290	0,3	5,15	66,5
N.SUC.D.12.00	1125032	1289369,3	2240	7,09	525	794	423	0,5	2,6	33
C.SUC.D.12.01	1124507	1289479,3	2120	7,69	490	558	299	0,3	3,55	44

ANEXO B. Parámetros Fisicoquímicos/ Muestreo de Iones mayores Época Húmeda.

Tabla B1. Parámetros Fisicoquímicos muestreados en la campaña de iones mayores, en época húmeda en la CERS.

Nombre	PH	Redox	Electro	Salini(mg/lt)	Salini(ppm)	OD(mg/lt)	OD(%)
C.SUC.O.00.08	8,21	1000	457	530	0,6	5	57
C.LOP.O.00.08	7,98	459	469	245	0,3	3,4	37
Lop-Paja	8,22	568	455	304	0,3	3,2	35,5
N.LOP.O.00.00	7,78	1200	479	500	0,6	5	56
MESETA	7,66	619	482	331	0,5	4,1	42
N.SUC.I.01.00	7,45	514	497	275	0,4	4,45	48
LAGUNA	7,67	479	488	249	0,4	4,2	42
N.SUC.O.00.00	7,3	139	514	90	0,1	4,5	49
N.CHO.O.00.00	6,38	636	17	34,8	0	0,85	25
C.CHO.O.00.08	8,07	242	460	127	0,2	2,4	27
C.COL.O.00.03	7,88	376	469	201	0,2	4,65	55
C.COL.O.00.01	7,48	373	400	198	0,3	3,2	35,5
SUC-MIRA	8,44	741	443	394	0,5	3,5	44
C.COL.O.00.07	8,52	599	440	315	0,4	4,45	53
N.BNE.I.01.00	8,31	837	454	443	0,7	4,9	48

ANEXO C. Parámetros Fisicoquímicos/ Muestreo de Iones mayores Época Seca.

Tabla C1. Parámetros Fisicoquímicos muestreados en la campaña de iones mayores, en época seca en la CERS.

Nombre	PH	Redox	Electro	Salini(mg/lit)	Salini(ppm)	OD(mg/lit)	OD(%)
C.SUC.O.00.08	8,01	455	250	352	0,4	5,5	57
C.LOP.O.00.08	7,56	320	253	222	0,3	3,2	37
Lop-Paja	8,2	251	120	380	0,3	3,1	35,5
N.LOP.O.00.00	7,9	456	180	400	0,5	4,8	56
MESETA	7,7	523	148	398	0,5	4	42
N.SUC.I.01,00(FALLA)	7,6	453	49	215	0,3	4,3	48
LAGUNA	7,8	390	89	189	0,2	4	42
N.SUC.O.00.00	7,4	250	320	95	0,1	4,3	49
N.CHO.O.00.00	6,5	400	48	56	0,1	0,7	25
C.CHO.O.00.11	8,1	520	320	120	0,2	2,1	27
C.COL.O.00.03	7,5	365	350	153	0,2	4,3	55
C.COL.O.00.01	7,6	452	400	185	0,3	3,1	35,5
BATEA	8,5	578	400	256	0,3	3,4	44
C.COL.O.00.07	8,6	500	350	245	0,3	4,2	53
N.BNE.I.01.00	8,4	850	49	356	0,4	4,5	48

ANEXO D.

PROTOCOLO DE MUESTREO PARA IONES PRINCIPALES

Se definen como iones principales, los iones que predominan en la composición de la mayoría de aguas naturales, y que por lo tanto se encuentran disueltos en cantidades importantes, estos son:

Cationes (+): Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺.

Aniones (-): (HCO₃⁻ + CO₃⁼), SO₄⁼, Cl⁻, NO₃⁻.

Estos iones representan casi la totalidad (alrededor del 95%) de la salinidad total natural del agua, y son obtenidos de la interacción de la misma con minerales componentes de las rocas en contacto.

Para su muestreo se deben tener en cuenta las siguientes precauciones:

- ❖ Tipo de Envase: Según la clase de Ion a muestrear y el tiempo que se demore en ser estudiada esta muestra, se recomienda envase plástico para iones metálicos y no metálicos, con tiempo de transporte y almacenamiento corto (1-2 días); en el caso de iones metálicos con tiempo de transporte y almacenamiento largo se recomienda frascos de vidrio color ámbar, con ácido nítrico como conservante, hasta bajar el pH a menos de 2, para evitar que los iones no sean fijados a las paredes del recipiente.
- ❖ Transporte y Almacenamiento de las muestras: Para el transporte y almacenamiento de las muestras, se recomienda sellar herméticamente el recipiente, evitar la exposición directa de los mismos a la luz solar por tiempos prologados y en lo posible refrigerar la muestra para conservar los componentes en solución.

A continuación se discriminará cada uno cuidados generales que se deben tener en cuenta para la toma de muestra dependiendo del parámetro o ion ha analizar. Hay que recalcar que dependiendo del laboratorio donde se vayan ha analizar las muestras, algunos de estos procedimientos puede cambiar ostensiblemente.

- ❖ **Iones Metálicos:** Son hierro, magnesio, sodio, calcio y potasio. Las muestras se deben tomar en recipientes plásticos de colores opacos para evitar el efecto de la luz, La cantidad de muestra depende del laboratorio, pero en general se recomienda tomar 1 litro, los envases se deben llenar a ras, agregándole a cada recipiente H_2NO_3 (ácido Nitrico) esto con el fin de preservar la muestra hasta por 6 meses, para su transporte y almacenamiento se debe refrigerar.

- ❖ **Iones No Metálicos:** Estos son los sulfatos, nitratos, cloruros, carbonatos y bicarbonatos. Las muestras se deben tomar en recipientes plásticos de colores opacos para evitar el efecto de la luz, debe evitarse el escape de gases y la formación de precipitados. La cantidad de muestra depende del laboratorio, pero en general se recomienda tomar 1 litro, para su transporte y almacenamiento se debe refrigerar. A diferencia de los metálicos los análisis de laboratorio se deben realizar a la mayor brevedad en lo posible no exceder las 24 horas después de tomada la muestra.

Es importante que al momento de realizar la toma de la muestra los frascos tengan el tratamiento previo de purgado, es decir se deben enjuagar con el agua a muestrear por lo menos 4 veces antes de tomar la muestra final.

NOTA: Se debe evitar el contacto de la piel con los ácidos preservantes, pues pueden producir lesiones graves, como quemaduras, se recomienda utilizar guantes de látex para su manipulación.

Identificación De Las Muestras

Como ya se había expresado, en cada envase de muestra debe ir claramente etiquetado:

1. Identificación del punto (tipo y numero si lo tiene)
2. Localización
3. Nombre
4. Fecha y hora de la toma
5. Aspecto del Agua
6. Temperatura
7. Determinaciones In-Situ
8. Nombre de quien toma la muestra

Figura D1. Formato de Etiquetas

Muestras de Iones (_____).			
Identificación:		Temperatura:	
Localización:		pH:	
Nombre:		Conductividad:	
Fecha y Hora:		Redox:	
Conservante:		Salinidad:	
Aspecto del Agua		O2 Disuelto:	
Color:		Nombre de quien toma la muestra:	

**ANEXO E.
Resultados de iones metálicos (Época húmeda)**



DEPARTAMENTO DE CONTROL CALIDAD AGUAS

SOLICITUD No: 04-22-1F
FECHA: Enero 5 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PROYECTOS
NOMBRE DE LA MUESTRA: COL3 2530
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: Microcuenca Rio Sucio
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Noviembre 21 de 2004
FECHA DE RECEPCION: Noviembre 23 de 2004



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	NORMA ACREDITADA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	168,00	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500-Ca A, D, Ed. 19	63,73	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500-Mg E, Ed. 19	2,11	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	114,94	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500 SO ₄ ²⁻ A,E Ed.19	59,75	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500-NO ₂ A,B Ed. 19	0,006	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500-Fe A, B, Ed. 19	0,21	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500-NO ₃ A, D, Ed. 19	0,63	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500-Mn A, D, Ed. 19	ND	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500-Cl- A, C, D, Ed. 19	0,64	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Cualquier reproducción parcial requiere de la aprobación del Departamento de Control Calidad Aguas."

OBSERVACIONES: N.D: No Detectable, Límite de detección NO₂ = 0,003 mg/L, Mn=0,011 mg/L. La norma de magnesio no está acreditada.

Revisó y Aprobó:

URIEL SALOMON BARRAGAN CARDOZO
 Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas (e)

**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 04-22-2F
FECHA: Enero 5 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PROYECTOS
NOMBRE DE LA MUESTRA: CH08
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: Microcuenca Rio Sucio
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Noviembre 21 de 2004
FECHA DE RECEPCION: Noviembre 23 de 2004



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

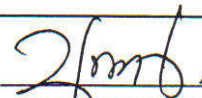
PARAMETRO	NORMA ACREDITADA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	70,91	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500-Ca A, D, Ed. 19	23,85	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500-Mg E, Ed. 19	2,74	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	58,18	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500 SO ₄ ²⁻ A,F Ed.19	4,66	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500-NO ₂ A,B Ed. 19	0,008	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500-Fe A, B, Ed. 19	0,04	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500-NO ₃ A, D, Ed. 19	1,30	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500-Mn A, D, Ed. 19	ND	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500-Cl- A, C, D, Ed. 19	0,36	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Cualquier reproducción parcial requiere de la aprobación del Departamento de Control Calidad Aguas. "

OBSERVACIONES: N.D: No Detectable, Límite de detección NO₂=0,003 mg/L, Mn=0,011 mg/L. La norma de magnesio no está acreditada.

Revisó y Aprobó:



URIEL SALOMON BARRAGAN CARDOZO
Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas (e)



amb
ACUEDUCTO METROPOLITANO
DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.

**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 04-22-3F
FECHA: Enero 5 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PROYECTOS
NOMBRE DE LA MUESTRA: LAGUNA
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: Microcuenca Rio Sucio
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Noviembre 21 de 2004
FECHA DE RECEPCION: Noviembre 23 de 2004



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	NORMA ACREDITADA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	22,00	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500-Ca A, D, Ed. 19	5	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500-Mg E, Ed. 19	2,31	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	8,48	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500-SO ₄ ²⁻ A,E Ed. 19	4,63	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500-NO ₂ A,B Ed. 19	0,009	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500-Fe A, B, Ed. 19	0,13	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500-NO ₃ A, D, Ed. 19	0,54	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500-Mn A, D, Ed. 19	0,09	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500-Cl- A, C, D, Ed. 19	0,36	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Cualquier reproducción parcial requiere de la aprobación del Departamento de Control Calidad Aguas. "

OBSERVACIONES: N.D. No Detectable, Límite de detección NO₂= 0,003 mg/L. La norma de magnesio no está acreditada.

Revisó y Aprobó:

URIEL SALOMON BARRAGAN CARDOZO
Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas (e)

**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 04-22-4F
FECHA: Enero 5 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PROYECTOS
NOMBRE DE LA MUESTRA: NLOP
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: Microcuenca Rio Sucio
MUESTRA TOMADA POR: GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE RECEPCION: Noviembre 23 de 2004



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

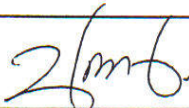
PARAMETRO	NORMA ACREDITADA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	235,91	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500-Ca A, D, Ed. 19	91,24	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500-Mg E, Ed. 19	1,92	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	98,37	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500 SO ₄ ²⁻ A,F Ed.19	30,65	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500-NO ₂ A,B Ed. 19	ND	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500-Fe A, B, Ed. 19	0,73	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500-NO ₃ A, D, Ed. 19	0,78	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500-Mn A, D, Ed. 19	0,06	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500-Cl- A, C, D, Ed. 19	0,47	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Cualquier reproducción parcial requiere de la aprobación del Departamento de Control Calidad Aguas."

OBSERVACIONES: N.D. No Detectable, Límite de detección NO₂= 0,003 mg/L. La norma de magnesio no está acreditada.

Revisó y Aprobó:



URIEL SALOMON BARRAGAN CARDOZO
Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas (e)

**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 04-22-5F
FECHA: Enero 5 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PROYECTOS
NOMBRE DE LA MUESTRA: COLI 2750
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: Microcuenca Rio Sucio
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Noviembre 21 de 2004
FECHA DE RECEPCION: Noviembre 23 de 2004



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	NORMA ACREDITADA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	174,00	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500-Ca A, D, Ed. 19	67,76	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500-Mg E, Ed. 19	1,12	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	141,2	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500-SO ₄ ²⁻ A,E Ed.19	38,15	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500-NO ₂ A,B Ed. 19	ND	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500-Fe A, B, Ed. 19	3,43	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500-NO ₃ A, D, Ed. 19	0,54	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500-Mn A, D, Ed. 19	0,06	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500-Cl- A, C, D, Ed. 19	0,39	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Cualquier reproducción parcial requiere de la aprobación del Departamento de Control Calidad Aguas. "

OBSERVACIONES: N.D. No Detectable, Límite de detección NO₂= 0,003 mg/L. La norma de magnesio no está acreditada.

Revisó y Aprobó:


URIEL SALOMON BARRAGAN CARDOZO
 Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas (e)

**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 04-22-6F
FECHA: Enero 5 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PROYECTOS
NOMBRE DE LA MUESTRA: SUC-MIRA
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: Microcuenca Rio Sucio
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Noviembre 22 de 2004
FECHA DE RECEPCION: Noviembre 23 de 2004



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

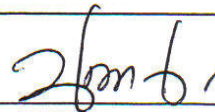
PARAMETRO	NORMA ACREDITADA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	245	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500-Ca A, D, Ed. 19	74,71	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500-Mg E, Ed. 19	14,15	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	155,4	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500-SO ₄ ²⁻ A,E Ed.19	255	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500-NO ₂ A,B Ed. 19	0,01	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500-Fe A, B, Ed. 19	4,33	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500-NO ₃ A, D, Ed. 19	0,82	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500-Mn A, D, Ed. 19	0,54	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500-Cl- A, C, D, Ed. 19	0,35	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Cualquier reproducción parcial requiere de la aprobación del Departamento de Control Calidad Aguas. "

OBSERVACIONES: La norma de magnesio no está acreditada.

Revisó y Aprobó:



URIEL SALOMON BARRAGAN CARDOZO
Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas (e)

**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 04-22-7F
FECHA: Enero 5 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PROYECTOS
NOMBRE DE LA MUESTRA: SUC-8
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: Microcuenca Rio Sucio
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Noviembre 20 de 2004
FECHA DE RECEPCION: Noviembre 23 de 2004



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

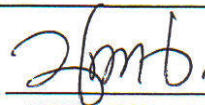
PARAMETRO	NORMA ACREDITADA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	200	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500 Ca A, D, Ed. 19	67,46	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500 Mg E, Ed. 19	7,70	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A, B Ed. 19	173,8	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500 SO ₄ ²⁻ A, F, Ed. 19	79,85	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500 NO ₂ A, B Ed. 19	ND	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500 Fe A, B, Ed. 19	0,71	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500 NO ₃ A, D, Ed. 19	1,23	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500 Mn A, D, Ed. 19	0,20	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500 Cl- A, C, D, Ed. 19	0,35	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Cualquier reproducción parcial requiere de la aprobación del Departamento de Control Calidad Aguas."

OBSERVACIONES: N.D. No Detectable, Límite de detección NO₂= 0,003 mg/L. La norma de magnesio no está acreditada.

Revisó y Aprobó:



URIEL SALOMON BARRAGAN CARDOZO
Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas (e)

**DEPARTAMENTO DE
 CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 04-22-8F
FECHA: Enero 5 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PROYECTOS
NOMBRE DE LA MUESTRA: LOPEZ-PAJA
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: Microcuenca Rio Sucio
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Noviembre 20 de 2004
FECHA DE RECEPCION: Noviembre 23 de 2004


REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

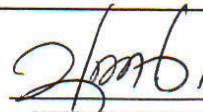
PARAMETRO	NORMA ACREDITADA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	212,2	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500-Ca A, D, Ed. 19	82,7	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500-Mg E, Ed. 19	1,33	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	118,2	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500-SO ₄ ²⁻ A,E Ed.19	40,85	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500-NO ₂ A,B Ed. 19	ND	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500-Fe A, B, Ed. 19	1,80	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500-NO ₃ A, D, Ed. 19	0,90	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500-Mn A, D, Ed. 19	0,14	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500-Cl- A, C, D, Ed. 19	0,39	250	Potenciométrica	mg/L Cl

FO16 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Cualquier reproducción parcial requiere de la aprobación del Departamento de Control Calidad Aguas. "

OBSERVACIONES: N.D. No Detectable, Límite de detección NO₂= 0,003 mg/L. La norma de magnesio no está acreditada.

Revisó y Aprobó:



URIEL SALOMON BARRAGAN CARDOZO
 Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas (e)

**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 04-22-9F
FECHA: Enero 5 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PROYECTOS
NOMBRE DE LA MUESTRA: NSUC
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: Microcuenca Rio Sucio
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Noviembre 21 de 2004
FECHA DE RECEPCION: Noviembre 23 de 2004



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	NORMA ACREDITADA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	*	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500-Ca A, D, Ed. 19	*	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500-Mg E, Ed. 19	*	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	*	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500 SO ₄ ²⁻ A,F Ed.19	4,56	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500-NO ₂ A,B Ed. 19	0,007	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500-Fe A, B, Ed. 19	0,90	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500-NO ₃ A, D, Ed. 19	0,60	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500-Mn A, D, Ed. 19	0,32	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500-Cl- A, C, D, Ed. 19	0,48	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Cualquier reproducción parcial requiere de la aprobación del Departamento de Control Calidad Aguas. "

OBSERVACIONES: La norma de magnesio no está acreditada.

Revisó y Aprobó:



URIEL SALOMON BARRAGAN CARDOZO
Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas (e)

**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 04-22-10F
FECHA: Enero 5 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PROYECTOS
NOMBRE DE LA MUESTRA: NSUCI21 *falla*
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: Microcuenca Rio Sucio
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Noviembre 21 de 2004
FECHA DE RECEPCION: Noviembre 23 de 2004



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	NORMA ACREDITADA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	82,9	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500-Ca A, D, Ed. 19	30,33	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500-Mg E, Ed. 19	1,72	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	117,24	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500-SO ₄ ²⁻ A,E Ed.19	8,48	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500-NO ₂ A,B Ed. 19	0,005	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500-Fe A, B, Ed. 19	0,20	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500-NO ₃ A, D, Ed. 19	4,23	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500-Mn A, D, Ed. 19	0,08	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500-Cl- A, C, D, Ed. 19	0,46	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Cualquier reproducción parcial requiere de la aprobación del Departamento de Control Calidad Aguas. "

OBSERVACIONES: La norma de magnesio no está acreditada.

Revisó y Aprobó:


URIEL SALOMON BARRAGAN CARDOZO
 Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas (e)

**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 04-22-11F
FECHA: Enero 5 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PROYECTOS
NOMBRE DE LA MUESTRA: COL7
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: Microcuenca Rio Sucio
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Noviembre 22 de 2004
FECHA DE RECEPCION: Noviembre 23 de 2004



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	NORMA ACREDITADA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	182,2	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500-Ca A, D, Ed. 19	63,23	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500-Mg E, Ed. 19	5,90	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	117,24	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500 SO ₄ ²⁻ A,E Ed.19	8,48	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500-NO ₂ A,B Ed. 19	0,004	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500-Fe A, B, Ed. 19	0,03	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500-NO ₃ A, D, Ed. 19	0,63	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500-Mn A, D, Ed. 19	0,04	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500-Cl- A, C, D, Ed. 19	0,47	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Cualquier reproducción parcial requiere de la aprobación del Departamento de Control Calidad Aguas. "

OBSERVACIONES: La norma de magnesio no está acreditada.

Revisó y Aprobó:



URIEL SALOMON BARRAGAN CARDOZO
Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas (e)

**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 04-22-12F
FECHA: Enero 5 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PROYECTOS
NOMBRE DE LA MUESTRA: CBA4 *Meseta*
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: Microcuenca Rio Sucio
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Noviembre 22 de 2004
FECHA DE RECEPCION: Noviembre 23 de 2004



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	NORMA ACREDITADA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	166,2	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500-Ca A, D, Ed. 19	57,9	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500-Mg E, Ed. 19	5,21	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A, B Ed. 19	80,4	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500-SO ₄ ²⁻ A, F Ed. 19	68,15	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500-NO ₂ A, B Ed. 19	0,004	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500-Fe A, B, Ed. 19	0,03	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500-NO ₃ A, D, Ed. 19	0,90	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500-Mn A, D, Ed. 19	ND	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500-Cl- A, C, D, Ed. 19	1,42	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Cualquier reproducción parcial requiere de la aprobación del Departamento de Control Calidad Aguas. "

OBSERVACIONES: N.D: No Detectable, Límite de detección Mn=0,011 mg/L. La norma de magnesio no está acreditada.

Revisó y Aprobó:


URIEL SALOMON BARRAGAN CARDOZO
 Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas (e)

**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 04-22-13F
FECHA: Enero 5 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PROYECTOS
NOMBRE DE LA MUESTRA: NCHO
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: Microcuenca Rio Sucio
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Noviembre 21 de 2004
FECHA DE RECEPCION: Noviembre 23 de 2004



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

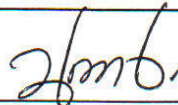
PARAMETRO	NORMA ACREDITADA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	*	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500-Ca A, D, Ed. 19	*	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500-Mg E, Ed. 19	*	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A, B Ed. 19	4,89	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500-SO ₄ ²⁻ A, E Ed. 19	4,56	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500-NO ₂ A, B Ed. 19	0,008	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500-Fe A, B, Ed. 19	0,70	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500-NO ₃ A, D, Ed. 19	61,27	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500-Mn A, D, Ed. 19	0,23	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500-Cl- A, C, D, Ed. 19	0,41	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Cualquier reproducción parcial requiere de la aprobación del Departamento de Control Calidad Aguas. "

OBSERVACIONES: La norma de magnesio no está acreditada.

Revisó y Aprobó:



URIEL SALOMON BARRAGAN CARDOZO
Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas (e)

**DEPARTAMENTO DE
 CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 04-22-14F
FECHA: Enero 5 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PROYECTOS
NOMBRE DE LA MUESTRA: LOP6
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: Microcuencia Rio Sucio
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Noviembre 20 de 2004
FECHA DE RECEPCION: Noviembre 23 de 2004


REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

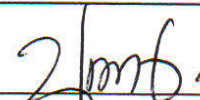
PARAMETRO	NORMA ACREDITADA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	227,3	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500-Ca A, D, Ed. 19	85,37	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500-Mg E, Ed. 19	3,36	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	153,92	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500-SO ₄ ²⁻ A,E Ed.19	38,45	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500-NO ₂ A,B Ed. 19	ND	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500-Fe A, B, Ed. 19	0,93	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500-NO ₃ A, D, Ed. 19	1,17	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500-Mn A, D, Ed. 19	0,21	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500-Cl- A, C, D, Ed. 19	0,44	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Cualquier reproducción parcial requiere de la aprobación del Departamento de Control Calidad Aguas. "

OBSERVACIONES: N.D. No Detectable, Límite de detección= NO₂ 0,003 mg/L. La norma de magnesio no está acreditada.

Revisó y Aprobó:



URIEL SALOMON BARRAGAN CARDOZO
 Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas (e)

**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 04-22-15F
FECHA: Enero 5 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PROYECTOS
NOMBRE DE LA MUESTRA: NBNJ21
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: Microcuenca Rio Sucio
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Noviembre 23 de 2004
FECHA DE RECEPCION: Noviembre 23 de 2004



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	NORMA ACREDITADA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	198,0	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500-Ca A, D, Ed. 19	77,67	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500-Mg E, Ed. 19	0,93	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	170,2	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500-SO ₄ ²⁻ A,E Ed.19	116,8	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500-NO ₂ A,B Ed. 19	ND	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500-Fe A, B, Ed. 19	1,61	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500-NO ₃ A, D, Ed. 19	0,74	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500-Mn A, D, Ed. 19	0,16	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500-Cl- A, C, D, Ed. 19	0,49	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Cualquier reproducción parcial requiere de la aprobación del Departamento de Control Calidad Aguas. "

OBSERVACIONES: N.D. No Detectable, Límite de detección NO₂= 0,003 mg/L. La norma de magnesio no está acreditada.

Revisó y Aprobó:



URIEL SALOMÓN BARRAGAN CARDOZO
Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas (e)



OFICINA: CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES (CEIAM) - UIS	INFORME DE RESULTADOS	ENERO 7 DE 2005
REALIZADO POR: Qca. Esp. Qca ambiental YANETH QUINTERO LÓPEZ	TITULO: ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO	

SOLICITANTE: Dra. ZULY GOMEZ
 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: AGUAS NATURALES
 FECHA DEL MUESTREO: NOVIEMBRE 22 DE 2004
 FECHA DE RECEPCIÓN AL LABORATORIO: NOVIEMBRE 22 DE 2004
 MUESTRA TOMADA POR: TRAJIDA AL LABORATORIO
 PARÁMETROS A EVALUAR: POTASIO

REPORTE LABORATORIO CEIAM

REPORTE LABORATORIO ENTRADA SISTEMA TRATAMIENTO

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	SUCIO 8	LOP	NCHO	NSUCI 2-1	COL	NSUC
POTASIO	mg/l K	Absorción Atómica	18.35	1.46	0.57	1.40	4.81	0.75


 YANETH QUINTERO LÓPEZ
 Jefe de Laboratorio PQ 1744

**ANEXO F.
Resultados de iones metálicos (Época Seca)**

**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**



SOLICITUD No: 05-09-1F
FECHA: Mayo 2 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PLANEACION Y PROYECTOS
DIRECCION SOLICITANTE: AMB
NOMBRE DE LA MUESTRA: NCHO
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: MICROCUENCA RIO SUCIO
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Abril 13 de 2005
FECHA DE RECEPCION: Abril 13 de 2005; 6:00 p.m.



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	NORMA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	28,60	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500- Ca A, D, Ed. 19	12,26	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500- Mg E, Ed. 19	N.D.	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	44,6	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500 SO ₄ ²⁻ A,E Ed.19	4,72	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500- NO ₂ A,B Ed. 19	0,05	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500- Fe A, B, Ed. 19	0,80	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500- NO ₃ A, D, Ed. 19	2,16	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500- Mn A, D, Ed. 19	0,35	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500- Cl- A, C, D, Ed. 19	0,76	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Prohibida su reproducción sin la aprobación escrita del Departamento de Control Calidad Aguas."

OBSERVACIONES: El parámetro magnesio no se encuentra acreditado.

Revisó y Aprobó:

CARLOS MANUEL PARRA GOMEZ
Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas



DEPARTAMENTO DE CONTROL CALIDAD AGUAS

SOLICITUD No: 05-09-2F
FECHA: Mayo 2 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PLANEACION Y PROYECTOS
DIRECCION SOLICITANTE: AMB
NOMBRE DE LA MUESTRA: LAGUNA
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: MICROCUENCA RIO SUCIO
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Abril 13 de 2005
FECHA DE RECEPCION: Abril 13 de 2005; 6:00 p.m.



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	NORMA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	5,80	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500-Ca A, D, Ed. 19	2,11	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500-Mg E, Ed. 19	0,13	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	8,51	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500-SO ₄ ²⁻ A,E Ed. 19	4,53	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500-NO ₂ A,B Ed. 19	0,003	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500-Fe A, B, Ed. 19	0,20	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500-NO ₃ A, D, Ed. 19	1,45	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500-Mn A, D, Ed. 19	0,10	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500-Cl- A, C, D, Ed. 19	0,78	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Prohibida su reproducción sin la aprobación escrita del Departamento de Control Calidad Aguas. "

OBSERVACIONES: El parámetro magnesio no se encuentra acreditado.

Revisó y Aprobó:

CARLOS MANUEL PARRA GOMEZ
 Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas



**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 05-09-3F
FECHA: Mayo 2 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PLANEACION Y PROYECTOS
DIRECCION SOLICITANTE: AMB
NOMBRE DE LA MUESTRA: NSUC
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: MICROCUENCA RIO SUCIO
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Abril 13 de 2005
FECHA DE RECEPCION: Abril 13 de 2005; 6:00 p.m.



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	NORMA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	5,80	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500- Ca A, D, Ed. 19	1,77	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500- Mg E, Ed. 19	0,33	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	5,63	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500 SO ₄ ²⁻ A,E Ed.19	4,49	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500- NO ₂ A,B Ed. 19	0,003	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500- Fe A, B, Ed. 19	3,20	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500- NO ₃ A, D, Ed. 19	1,34	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500- Mn A, D, Ed. 19	0,50	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500- Cl- A, C, D, Ed. 19	0,60	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Prohibida su reproducción sin la aprobación escrita del Departamento de Control Calidad Aguas."

OBSERVACIONES: El parámetro magnesio no se encuentra acreditado.

Na = 0,58

K = 0,003

Revisó y Aprobó:

CARLOS MANUEL PARRA GOMEZ
Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas



**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 05-09-4F
FECHA: Mayo 2 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PLANEACION Y PROYECTOS
DIRECCION SOLICITANTE: AMB
NOMBRE DE LA MUESTRA: FALLA NSOC I 21
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: MICROCUENCA RIO SUCIO
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Abril 13 de 2005
FECHA DE RECEPCION: Abril 13 de 2005; 6:00 p.m.



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	NORMA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	110,86	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500- Ca A, D, Ed. 19	29,04	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500- Mg E, Ed. 19	9,18	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	109,34	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500 SO ₄ ²⁻ A,F Ed.19	7,46	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500- NO ₂ A,B Ed. 19	0,002	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500- Fe A, B, Ed. 19	0,30	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500- NO ₃ A, D, Ed. 19	2,24	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500- Mn A, D, Ed. 19	0,12	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500- Cl- A, C, D, Ed. 19	0,76	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Prohibida su reproducción sin la aprobación escrita del Departamento de Control Calidad Aguas. "

OBSERVACIONES: El parámetro magnesio no se encuentra acreditado.

Revisó y Aprobó:


CARLOS MANJUEL PARRA GOMEZ
 Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas

**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**



SOLICITUD No: 05-09-5F
FECHA: Mayo 2 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PLANEACION Y PROYECTOS
DIRECCION SOLICITANTE: AMB
NOMBRE DE LA MUESTRA: MESETA
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: MICROCUENCA RIO SUCIO
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Abril 13 de 2005
FECHA DE RECEPCION: Abril 13 de 2005; 6:00 p.m.



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	NORMA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	256,00	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500- Ca A, D, Ed. 19	76	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500- Mg E, Ed. 19	18,24	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	218	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500 SO ₄ ²⁻ A,E Ed.19	77,75	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500- NO ₂ A,B Ed. 19	0,003	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500- Fe A, B, Ed. 19	0,30	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500- NO ₃ A, D, Ed. 19	1,45	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500- Mn A, D, Ed. 19	0,13	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500- Cl- A, C, D, Ed. 19	1,14	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Prohibida su reproducción sin la aprobación escrita del Departamento de Control Calidad Aguas."

OBSERVACIONES: El parámetro magnesio no se encuentra acreditado.

Revisó y Aprobó:

CARLOS MANUEL PARRA GOMEZ
Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas

**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 05-09-6F
FECHA: Mayo 2 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PLANEACION Y PROYECTOS
DIRECCION SOLICITANTE: AMB
NOMBRE DE LA MUESTRA: BNEI1
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: MICROCUENCA RIO SUCIO
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Abril 13 de 2005
FECHA DE RECEPCION: Abril 13 de 2005; 6:00 p.m.



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	NORMA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	308,60	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500- Ca A, D, Ed. 19	118,72	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500- Mg E, Ed. 19	2,83	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	232,3	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500 SO ₄ ²⁻ A,E Ed.19	186,25	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500- NO ₂ A,B Ed. 19	0,007	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500- Fe A, B, Ed. 19	0,94	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500- NO ₃ A, D, Ed. 19	1,61	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500- Mn A, D, Ed. 19	0,18	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500- Cl- A, C, D, Ed. 19	0,70	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Prohibida su reproducción sin la aprobación escrita del Departamento de Control Calidad Aguas. "

OBSERVACIONES: El parámetro magnesio no se encuentra acreditado.

Revisó y Aprobó:


CARLOS MANUEL PARRA GOMEZ
 Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas



amb
ACUEDUCTO METROPOLITANO
DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.

**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 05-09-7F
FECHA: Mayo 2 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PLANEACION Y PROYECTOS
DIRECCION SOLICITANTE: AMB
NOMBRE DE LA MUESTRA: SUC 8
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: MICROCUENCA RIO SUCIO
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Abril 13 de 2005
FECHA DE RECEPCION: Abril 13 de 2005; 6:00 p.m.



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	NORMA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	250,20	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500- Ca A, D, Ed. 19	68	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500- Mg E, Ed. 19	19,25	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	152,52	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500 SO ₄ ²⁻ A, E Ed.19	140,45	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500- NO ₂ A,B Ed. 19	0,003	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500- Fe A, B, Ed. 19	0,12	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500- NO ₃ A, D, Ed. 19	1,50	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500- Mn A, D, Ed. 19	N.D.	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500- Cl- A, C, D, Ed. 19	0,77	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Prohibida su reproducción sin la aprobación escrita del Departamento de Control Calidad Aguas. "

OBSERVACIONES: N.D: No Detectable, Límite de detección Mn=0,011 mg/l. El parámetro magnesio no se encuentra acreditado.

Revisó y Aprobó:

CARLOS MANUEL PARRA GOMEZ
Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas



amb
ACUEDUCTO METROPOLITANO
DE BUARAMANGA S.A. E.S.P.

**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 05-09-8F
FECHA: Mayo 2 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PLANEACION Y PROYECTOS
DIRECCION SOLICITANTE: AMB
NOMBRE DE LA MUESTRA: LOPEZ SOBRE PAJA
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: MICROCUENCA RIO SUCIO
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Abril 13 de 2005
FECHA DE RECEPCION: Abril 13 de 2005; 11:00 a.m.



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	NORMA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	198,60	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500- Ca A, D, Ed. 19	75,2	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500- Mg E, Ed. 19	2,54	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	172,65	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500 SO ₄ ²⁻ A,E Ed.19	32,81	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500- NO ₂ A,B Ed. 19	0,063	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500- Fe A, B, Ed. 19	1,60	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500- NO ₃ A, D, Ed. 19	2,89	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500- Mn A, D, Ed. 19	N.D.	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500- Cl- A, C, D, Ed. 19	1,14	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Prohibida su reproducción sin la aprobación escrita del Departamento de Control Calidad Aguas."

OBSERVACIONES: N.D: No Detectable, Límite de detección Mn=0,011 mg/l. El parámetro magnesio no se encuentra acreditado.

Revisó y Aprobó:

CARLOS MANUEL PARRA GOMEZ
Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas

**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**



SOLICITUD No: 05-09-9F
FECHA: Mayo 2 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PLANEACION Y PROYECTOS
DIRECCION SOLICITANTE: AMB
NOMBRE DE LA MUESTRA: CASA LOPEZ
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: MICROCUENCA RIO SUCIO
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Abril 13 de 2005
FECHA DE RECEPCION: Abril 13 de 2005; 11:00 a.m.



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	NORMA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	188,60	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500- Ca A, D, Ed. 19	68,8	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500- Mg E, Ed. 19	3,98	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	165,28	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500 SO ₄ ²⁻ A,E Ed.19	29,87	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500- NO ₂ A,B Ed. 19	0,02	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500- Fe A, B, Ed. 19	0,96	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500- NO ₃ A, D, Ed. 19	1,67	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500- Mn A, D, Ed. 19	N.D.	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500- Cl- A, C, D, Ed. 19	0,79	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Prohibida su reproducción sin la aprobación escrita del Departamento de Control Calidad Aguas. "

OBSERVACIONES: N.D: No Detectable, Límite de detección Mn=0,011 mg/l. El parámetro magnesio no se encuentra acreditado.

Revisó y Aprobó:

CARLOS MANUEL PARRA GOMEZ
Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas



amb
ACUEDUCTO METROPOLITANO
DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.

**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 05-09-10F
FECHA: Mayo 2 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PLANEACION Y PROYECTOS
DIRECCION SOLICITANTE: AMB
NOMBRE DE LA MUESTRA: N.LOP.
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: MICROCUENCA RIO SUCIO
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Abril 13 de 2005
FECHA DE RECEPCION: Abril 13 de 2005; 11:00 a.m.



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	NORMA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	215,00	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500- Ca A, D, Ed. 19	82	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500- Mg E, Ed. 19	2,4	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	184,2	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500 SO ₄ ²⁻ A,E Ed.19	40,85	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500- NO ₂ A,B Ed. 19	0,014	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500- Fe A, B, Ed. 19	6,10	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500- NO ₃ A, D, Ed. 19	2,24	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500- Mn A, D, Ed. 19	N.D.	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500- Cl- A, C, D, Ed. 19	1.84	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Prohibida su reproducción sin la aprobación escrita del Departamento de Control Calidad Aguas."

OBSERVACIONES: N.D: No Detectable, Límite de detección Mn=0,011 mg/l. El parámetro magnesio no se encuentra acreditado.

Revisó y Aprobó:

CARLOS MANUEL PARRA GOMEZ
Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas

**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 05-09-11F
FECHA: Mayo 2 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PLANEACION Y PROYECTOS
DIRECCION SOLICITANTE: AMB
NOMBRE DE LA MUESTRA: N.COL.
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: MICROCUENCA RIO SUCIO
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Abril 13 de 2005
FECHA DE RECEPCION: Abril 13 de 2005; 11:00 a.m.



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS


PARAMETRO	NORMA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	141,60	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500- Ca A, D, Ed. 19	53,2	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500- Mg E, Ed. 19	2,06	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A, B Ed. 19	102,64	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500 SO ₄ ²⁻ A, F, Ed. 19	39,05	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500- NO ₂ A, B Ed. 19	0,006	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500- Fe A, B, Ed. 19	0,50	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500- NO ₃ A, D, Ed. 19	1,39	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500- Mn A, D, Ed. 19	N.D.	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500- Cl- A, C, D, Ed. 19	0,44	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Prohibida su reproducción sin la aprobación escrita del Departamento de Control Calidad Aguas. "

OBSERVACIONES: N.D: No Detectable, Límite de detección Mn=0,011 mg/l. El parámetro magnesio no se encuentra acreditado.

Revisó y Aprobó:



CARLOS MANUEL PARRA GOMEZ
Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas

**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 05-09-12F
FECHA: Mayo 2 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PLANEACION Y PROYECTOS
DIRECCION SOLICITANTE: AMB
NOMBRE DE LA MUESTRA: COL.7
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: MICROCUENCA RIO SUCIO
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Abril 13 de 2005
FECHA DE RECEPCION: Abril 13 de 2005; 11:00 a.m.



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	NORMA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	227,40	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500- Ca A, D, Ed. 19	86,4	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500- Mg E, Ed. 19	2,74	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	222,53	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500 SO ₄ ²⁻ A,E Ed.19	31,13	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500- NO ₂ A,B Ed. 19	0,005	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500- Fe A, B, Ed. 19	0,97	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500- NO ₃ A, D, Ed. 19	1,45	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500- Mn A, D, Ed. 19	N.D.	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500- Cl- A, C, D, Ed. 19	1,33	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Prohibida su reproducción sin la aprobación escrita del Departamento de Control Calidad Aguas. "

OBSERVACIONES: N.D: No Detectable, Límite de detección Mn=0,011 mg/l. El parámetro magnesio no se encuentra acreditado.

Revisó y Aprobó:



CARLOS MANUEL PARRA GOMEZ
Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas

**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 05-09-13F
FECHA: Mayo 2 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PLANEACION Y PROYECTOS
DIRECCION SOLICITANTE: AMB
NOMBRE DE LA MUESTRA: CHO 11.
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: MICROCUENCA RIO SUCIO
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Abril 13 de 2005
FECHA DE RECEPCION: Abril 13 de 2005; 11:00 a.m.



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	NORMA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	89,20	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500- Ca A, D, Ed. 19	28	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500- Mg E, Ed. 19	4,61	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	90,15	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500 SO ₄ ²⁻ A, E Ed. 19	6,05	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500- NO ₂ A,B Ed. 19	0,062	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500- Fe A, B, Ed. 19	0,35	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500- NO ₃ A, D, Ed. 19	1,39	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500- Mn A, D, Ed. 19	N.D.	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500- Cl- A, C, D, Ed. 19	0,61	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Prohibida su reproducción sin la aprobación escrita del Departamento de Control Calidad Aguas. "

OBSERVACIONES: N.D: No Detectable, Límite de detección Mn=0,011 mg/l. El parámetro magnesio no se encuentra acreditado.

Na = 5,32
K = 0,007

Revisó y Aprobó:


CARLOS MANUEL PARRA GOMEZ
 Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas

**DEPARTAMENTO DE
 CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 05-09-14F
FECHA: Mayo 2 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PLANEACION Y PROYECTOS
DIRECCION SOLICITANTE: AMB
NOMBRE DE LA MUESTRA: COL 8
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: MICROCUENCA RIO SUCIO
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Abril 13 de 2005
FECHA DE RECEPCION: Abril 13 de 2005; 11:00 a.m.



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	NORMA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	165,80	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500- Ca A, D, Ed. 19	55,5	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500- Mg E, Ed. 19	6,48	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	132,15	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500 SO ₄ ²⁻ A,E Ed. 19	38,75	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500- NO ₂ A,B Ed. 19	N.D.	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500- Fe A, B, Ed. 19	0,06	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500- NO ₃ A, D, Ed. 19	1,34	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500- Mn A, D, Ed. 19	N.D.	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500- Cl- A, C, D, Ed. 19	2,00	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Prohibida su reproducción sin la aprobación escrita del Departamento de Control Calidad Aguas."

OBSERVACIONES: N.D: No Detectable, Límite de detección NO₂ = 0,003 mg/L, Mn=0,011 mg/l. El parámetro magnesio no se encuentra acreditado.

Revisó y Aprobó:



CARLOS MANUEL PARRA GOMEZ
 Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas

**DEPARTAMENTO DE
CONTROL CALIDAD AGUAS**

SOLICITUD No: 05-09-15F
FECHA: Mayo 2 de 2005
SOLICITANTE: GERENCIA DE PLANEACION Y PROYECTOS
DIRECCION SOLICITANTE: AMB
NOMBRE DE LA MUESTRA: BATEA
SITIO DE TOMA DE MUESTRA: MICROCUENCA RIO SUCIO
MUESTRA TOMADA POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER- GPH
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: Abril 13 de 2005
FECHA DE RECEPCION: Abril 13 de 2005; 11:00 a.m.



REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	NORMA	RESULTADO	DECRETO 1594/84	TECNICA	UNIDADES
Dureza total	Standard Methods 2340 A, C, Ed. 19	296,80	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Calcio	Standard Methods 3500- Ca A, D, Ed. 19	72,96	*	Potenciométrica	mg/L Ca
Magnesio	Standard Methods 3500- Mg E, Ed. 19	27,46	*	Potenciométrica	mg/L Mg
Alcalinidad	Standard Methods 2320 A,B Ed. 19	133,45	*	Potenciométrica	mg/L CaCO ₃
Sulfatos	Standard Methods 4500 SO ₄ ²⁻ A,E Ed.19	174,25	400	Turbidimétrica	mg/L SO ₄
Nitritos	Standard Methods 4500- NO ₂ A,B Ed. 19	N.D.	3,3	Colorimétrico	mg/L NO ₂
Hierro	Standard Methods 3500- Fe A, B, Ed. 19	1,08	*	Abs. Atómica	mg/L Fe
Nitratos	Standard Methods 4500- NO ₃ A, D, Ed. 19	1,45	44	Ion Selectivo	mg/l NO ₃
Manganeso	Standard Methods 3500- Mn A, D, Ed. 19	0,12	0,2	Colorimétrico	mg/L Mn
Cloruros	Standard Methods 4500- Cl- A, C, D, Ed. 19	0,84	250	Potenciométrica	mg/L Cl

F016 Rev.1 2004-07-27

"Estos resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. Prohibida su reproducción sin la aprobación escrita del Departamento de Control Calidad Aguas. "

OBSERVACIONES: El parámetro magnesio no se encuentra acreditado.

Revisó y Aprobó:



CARLOS MANUEL PARRA GOMEZ
Jefe Dpto. de Control Calidad Aguas



OFICINA: CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES (CEIAM) - UIS	INFORME DE RESULTADOS	MAYO 13 DE 2005
REALIZADO POR: Qca. Esp. Qca ambiental YANETH QUINTERO LÓPEZ	TITULO: ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO	

SOLICITANTE: Dra. ZULY GOMEZ
 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: AGUAS NATURALES
 FECHA DEL MUESTREO: ABRIL 13 DE 2005
 FECHA DE RECEPCIÓN AL LABORATORIO: ABRIL 15 DE 2005
 MUESTRA TOMADA POR: TRAIDA AL LABORATORIO
 PARÁMETROS A EVALUAR: POTASIO Y SODIO

REPORTE LABORATORIO AGUA NATURAL

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	#1	#3	#4	#5	#6	#10	#11	#13
POTASIO	mg/l K	Absorción Atómica	0.012	0.003	0.006	0.015	0.05	0.016	0.005	0.007
SODIO	mg/l Na	Absorción Atómica	7.01	0.58	4.59	6.7	-	-	-	5.32

-No se realizó.

Realizado Por:


 YANETH QUINTERO LÓPEZ
 Directora Laboratorio CEIAM PQ 1744

Revisado por:


 DR. EDGAR FERNANDO CASTILLO M.
 Director CEIAM

ANEXO G

Análisis de Índices

❖ Índices época Seca

Tabla G1. Índices calculados en el nacimiento del Chorreron.

ANIONES	mg/l	gramos	mmol/l	carga	meq/l		Relación	Resultado	Resultado
HCO ₃ ⁻	54,412	61,02	0,892	1	0,892	Aumenta ↓ Solubilidad	rMg/rCa	0	0,271
SO ₄ ⁻⁻	4,72	96,06	0,049	2	0,098		rK/rNa	0,001	0,000774
CL ⁻	0,76	35,45	0,021	1	0,021		rNa/rCa	0,498	0,16562
NO ₃ ⁻	0,05	62	8E-04	1	8E-04		rNa/r(Ca+Mg)	0,498	0,13026
							rCl/rHCO ₃	0,024	0,00955
							icb	-13,237	-12,4584
							icb(-)	-0,286	-0,111
							Kr	0,786	1,6558
CATIONES	mg/l	gramos	mmol/l	carga	meq/l	Aumenta ↓ Solubilidad	(SO ₄ *rCa) ^{1/2}	0,245	0,4195
Ca ⁺⁺	12,26	40,08	0,306	2	0,612		SO ₄ /Cl	4,584	
Mg ⁺⁺	0	24,31	0	2	0				
Na ⁺⁺	7,01	22,99	0,305	1	0,305				
K ⁺	0,012	39,1	3E-04	1	3E-04				

Tabla G2. Índices calculados en el punto C.CHO.OO.13.

ANIONES	mg/l	gramos	mmol/l	carga	meq/l		Relación	Resultado
HCO ₃ ⁻	109,98	61,02	1,8024	1	1,8024	Aumenta ↓ Solubilidad	rMg/rCa	0,271
SO ₄ ⁻⁻	6,05	96,06	0,063	2	0,126		rK/rNa	0,0007
CL ⁻	0,61	35,45	0,0172	1	0,0172		rNa/rCa	0,165
NO ₃ ⁻	0,062	62	0,001	1	0,001		rNa/r(Ca+Mg)	0,130
							rCl/rHCO ₃	0,009
							icb	-12,458
							icb(-)	-0,111
							Kr	1,656
CATIONES	mg/l	gramos	mmol/l	carga	meq/l	Aumenta ↓ Solubilidad	(SO ₄ *rCa) ^{1/2}	0,419
Ca ⁺⁺	28	40,08	0,6986	2	1,3972		SO ₄ /CL	7,320
Mg ⁺⁺	4,61	24,31	0,1896	2	0,3793		SO ₄ /Cl	7,320
Na ⁺⁺	5,32	22,99	0,2314	1	0,2314			
K ⁺	0,007	39,1	0,0002	1	0,0002			

Tabla G3. Índices calculados en el nacimiento .N.SUC.O.00.00

ANIONES	mg/l	gramos	mmol/l	carga	meq/l
HCO3-	6,8686	61,02	0,1126	1	0,112563
SO4--	4,49	96,06	0,0467	2	0,093483
CL-	0,6	35,45	0,0169	1	0,016925
NO3-	0,003	62	5E-05	1	4,84E-05
CATIONES	mg/l	gramos	mmol/l	carga	meq/l
Ca++	1,77	40,08	0,0442	2	0,088323
Mg++	0,33	24,31	0,0136	2	0,027149
Na++	0,58	22,99	0,0252	1	0,025228
K+	0,003	39,1	8E-05	1	7,67E-05

Relación	Resultado
rMg/rCa	0,3074
rK/rNa	0,003
rNa/rCa	0,286
rNa/r(Ca+Mg)	0,218
rCl/rHCO3	0,150
icb	-0,495
icb(-)	-0,040
Kr	0,104
(SO4*rCa)^1/2	0,091
SO4/CL	5,523

Aumenta Solubilidad ↓

Aumenta Solubilidad ↓

Tabla G4. Índices calculados en el nacimiento .N.SUC.I.03.00 (FRACTURA)

ANIONES	mg/l	gramos	mmol/l	carga	meq/l
HCO3-	133,39	61,02	2,1861	1	2,1861
SO4--	7,46	96,06	0,0777	2	0,1553
CL-	0,76	35,45	0,0214	1	0,0214
NO3-	0,002	62	3E-05	1	3E-05
CATIONES	mg/l	gramos	mmol/l	carga	meq/l
Ca++	29,04	40,08	0,7246	2	1,4491
Mg++	109,34	24,31	4,4977	2	8,9955
Na++	4,59	22,99	0,1997	1	0,1997
K+	0,006	39,1	0,0002	1	0,0002

Relación	Resultado
rMg/rCa	6,208
rK/rNa	0,0007
rNa/rCa	0,138
rNa/r(Ca+Mg)	0,0191
rCl/rHCO3	0,0098
icb	-8,319
icb(-)	-0,0762
Kr	1,906
(SO4*rCa)^1/2	0,474
SO4/CL	7,245

Aumenta Solubilidad ↓

Aumenta Solubilidad ↓

Tabla G5. Índices calculados para el punto la meseta (C.CBA.O.00.04)

ANIONES	mg/l	gramos	mmol/l	carga	meq/l
HCO3-	265,96	61,02	4,35857	1	4,3586
SO4--	77,75	96,06	0,80939	2	1,6188
CL-	1,14	35,45	0,03216	1	0,0322
NO3-	1,45	62	0,02339	1	0,0234
CATIONES	mg/l	gramos	mmol/l	carga	meq/l
Ca++	76	40,08	1,89621	2	3,7924
Mg++	18,28	24,31	0,75195	2	1,5039
Na++	6,7	22,99	0,29143	1	0,2914
K+	0,015	39,1	0,00038	1	0,0004

↓ Aumenta Solubilidad

Relación	Resultado
rMg/rCa	0,397
rK/rNa	0,00132
rNa/rCa	0,0768
rNa/r(Ca+Mg)	0,055
rCl/rHCO3	0,0074
icb	-8,0744
icb(-)	-0,0433
Kr	4,161
(SO4*rCa)^1/2	2,478
SO4/CL	50,338

↓ Aumenta Solubilidad

❖ Índices Época húmeda

Tabla G6. Índices calculados para el punto de López sobre la formación paja.

ANIONES	mg/l	gramos	mmol/l	carga	meq/l
ALCALINIDAD	118,2				
HCO3-	144,2	61,02	2,3632	1	2,3632
SO4--	40,85	96,06	0,4253	2	0,8505
CL-	0,39	35,45	0,011	1	0,011
NO3-	0,9	62	0,0145	1	0,0145
CATIONES	mg/l	gramos	mmol/l	carga	meq/l
Ca++	82,7	40,08	2,0634	2	4,1267
Mg++	1,33	24,31	0,0547	2	0,1094
Na++		22,99	0	1	0
K+		39,1	0	1	0

↓ Aumenta Solubilidad

Relación	Resultado
rMg/rCa	0,0265
rK/rNa	0
rNa/rCa	0
rNa/r(Ca+Mg)	0
rCl/rHCO3	0,0046
icb	1
icb(-)	0,0034
Kr	2,846
(SO4*rCa)^1/2	1,874
SO4/CL	77,309

↓ Aumenta Solubilidad

Tabla G7. Índices calculados para el nacimiento de López N.LOP.O.00.00.

ANIONES	mg/l	gramos	mmol/l	carga	meq/l
ALCALINIDAD	98,37				
HCO ₃ ⁻	120,011	61,02	1,96676	1	1,96676
SO ₄ ⁻⁻	30,65	96,06	0,31907	2	0,63814
CL ⁻	0,47	35,45	0,01326	1	0,01326
NO ₃ ⁻	0,78	62	0,01258	1	0,01258
CATIONES	mg/l	gramos	mmol/l	carga	meq/l
Ca ⁺⁺	91,24	40,08	2,27645	2	4,55289
Mg ⁺⁺	1,92	24,31	0,07898	2	0,15796
Na ⁺⁺		22,99	0	1	0
K ⁺	1,46	39,1	0,03734	1	0,03734

↓ Aumenta Solubilidad

Relación	Resultado
rMg/rCa	0,0347
rK/rNa	0
rNa/rCa	0
rNa/r(Ca+Mg)	0
rCl/rHCO ₃	0,0067
icb	-1,8164
icb(-)	-0,0092
Kr	2,6017
(SO ₄ *rCa) ^{1/2}	1,7045
SO ₄ /CL	48,1323

↓ Aumenta Solubilidad

Tabla G8. Índices calculados para el nacimiento de Chorrerón N.CHO.O.00.00.

ANIONES	mg/l	gramos	mmol/l	carga	meq/l
ALCALINIDAD	4,89				
HCO ₃ ⁻	5,9658	61,02	0,09777	1	0,0978
SO ₄ ⁻⁻	4,56	96,06	0,04747	2	0,0949
CL ⁻	0,41	35,45	0,01157	1	0,0116
NO ₃ ⁻	61,27	62	0,98823	1	0,9882
CATIONES	mg/l	gramos	mmol/l	carga	meq/l
Ca ⁺⁺		40,08	0	2	0
Mg ⁺⁺		24,31	0	2	0
Na ⁺⁺		22,99	0	1	0
K ⁺	0,57	39,1	0,01458	1	0,0146

↓ Aumenta Solubilidad

Relación	Resultado
rMg/rCa	0
rK/rNa	0
rNa/rCa	0
rNa/r(Ca+Mg)	0
rCl/rHCO ₃	0,1183
icb	-0,261
icb(-)	-0,0025
Kr	0
(SO ₄ *rCa) ^{1/2}	0
SO ₄ /CL	8,2089

↓ Aumenta Solubilidad

Tabla G9. Índices calculados para el nacimiento de la Colmena C.COL.O.00.00.

ANIONES	mg/l	gramos	mmol/l	carga	meq/l
ALCALINIDAD	141,2				
HCO3-	172,264	61,02	2,8231	1	2,8231
SO4--	38,15	96,06	0,3971	2	0,7943
CL-	0,39	35,45	0,011	1	0,011
NO3-	0,54	62	0,0087	1	0,0087
CATIONES	mg/l	gramos	mmol/l	carga	meq/l
Ca++	67,76	40,08	1,6906	2	3,3812
Mg++	1,12	24,31	0,0461	2	0,0921
Na++		22,99	0	1	0
K+	4,81	39,1	0,123	1	0,123

↓
Aumenta
Solubilidad

↓
Aumenta
Solubilidad

Relación	Resultado
rMg/rCa	0,0273
rK/rNa	0
rNa/rCa	0
rNa/r(Ca+Mg)	0
rCl/rHCO3	0,0039
icb	-10,182
icb(-)	-0,0309
Kr	2,998
(SO4+rCa)^1/2	1,6388
SO4/CL	72,199

ANEXO H

MUESTREO DE ISÓTOPOS

La hidroquímica proporciona información sobre un sistema hídrico, ayuda a clasificar los acuíferos y definir problemas que en el se presenten y posibles soluciones.

Las técnicas isotópicas hacen parte de la hidroquímica y junto con la caracterización de la cuenca son indispensables para estudios hidrogeológicos.

Los isótopos del agua permiten tener información sobre aguas antiguas, conexión hidráulicas entre varios acuíferos, la renovación de las aguas en los acuíferos (recarga), mezcla de aguas de origen diferente, hidrodinámica de los acuíferos (flujos y edad), disolución de evaporices, vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación (origen y circulación de los contaminantes).

Con la información recopilada de la cuenca se identificaron las principales zonas de recarga; para las cuales es necesario identificar algunos elementos disueltos que complementarían el análisis ya realizado.

La principal zona de recarga de la CERS es la meseta de Berlín y zonas aledañas; cuya influencia fue determinada en la Quebrada el Chorreron y en el punto la FALLA(N.SUC.I.03.00) en el análisis de iones principales y para la cual es necesario realizar muestreos de isótopos para corroborar todo lo afirmado.

Otros puntos donde se recomienda relazar muestreos de isótopos para identificar sus posibles fuentes de recarga, es en las exfiltraciones recientes como los nacimientos de Río Sucio y Qda la Colmena. El nacimiento de la Qda la López por ubicación y composición geológica se clasifico con recarga local lo cual descartaría cualquier influencia lejana de flujo.

Tabla de Puntos de muestreo de isótopos

Tabla H1. Puntos de muestreo recomendados para isótopos.

N° Puntos	Puntos de Muestreo	Isotopos
3	Meseta de Berlin	Oxigeno18, deuterio y Tritio
1	Qda los Arcos	Oxigeno18, deuterio y Tritio
1	N. Rio Sucio	Oxigeno18, deuterio y Tritio
1	N. Qda Colmena	Oxigeno18, deuterio y Tritio
1	N. Qda Choreron	Oxigeno18, deuterio y Tritio
1	Batea	Oxigeno18, deuterio y Tritio

Los isótopos recomendados son:

Isótopos estables (deuterio y oxígeno) que evidencian los trazados del origen del flujo ya que su composición se considera no degenerativos y el tritio el cual indican la presencia de aguas recientes en los acuíferos y bajo ciertas condiciones zonas de recarga preferentes.

Protocolo de Muestreo de Isótopos

Para muestras de isótopos estables se requiere envases plásticos de alta densidad y una cantidad mínima de 50ml, para isótopos inestables 500ml y con doble tapa. El envase de debe enjuagarse con el agua a muestrear al menos dos veces.

Para el transporte de la muestra es necesario llenar completamente el envase para no dejar burbujas de aire. En caso de que la muestra sea enviada por vía aérea es necesario llenarla solamente hasta 2/3 de la botella.

Para el rotulo de la muestra se debe escribir:

Tabla H2. Rótulo de muestras para isótopos.

ROTULO DE MUESTRAS PARA ISÓTOPOS	
Nombre de la muestra:	
Lugar de Muestreo:	
Fecha y Hora:	
Muestreado Por:	
Análisis a Realizar:	

Las muestras se deben dejar en un lugar fresco y oscuro. No necesitan refrigeración. Es importante evitar la evaporación de la muestra desde que se recoge hasta que se entrega en el sitio de análisis.

Además de todo lo dicho hay que coleccionar información completa sobre el sitio de muestra y los parámetros físico- químicos.

ANEXO I. PUNTOS MUESTREADOS

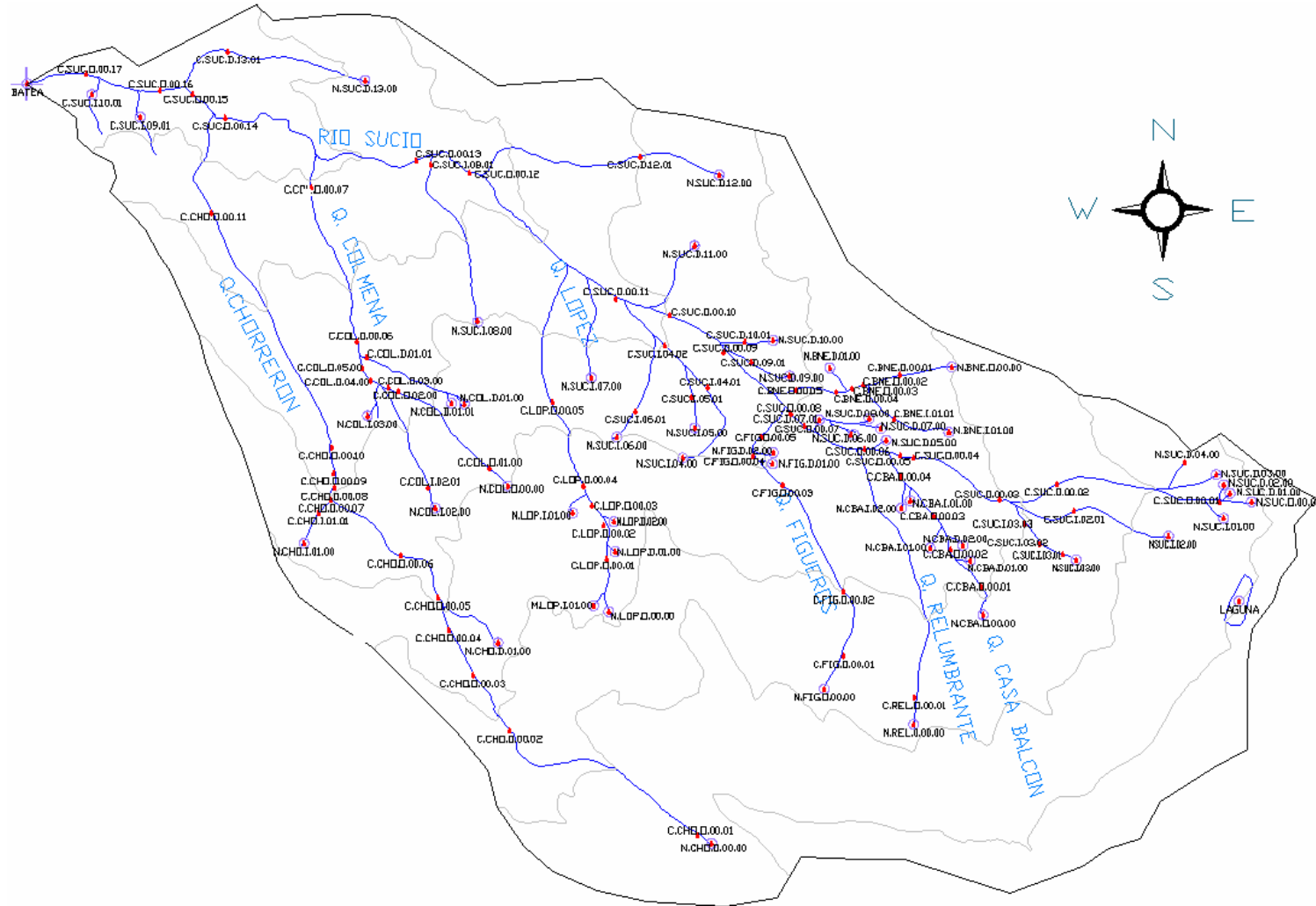
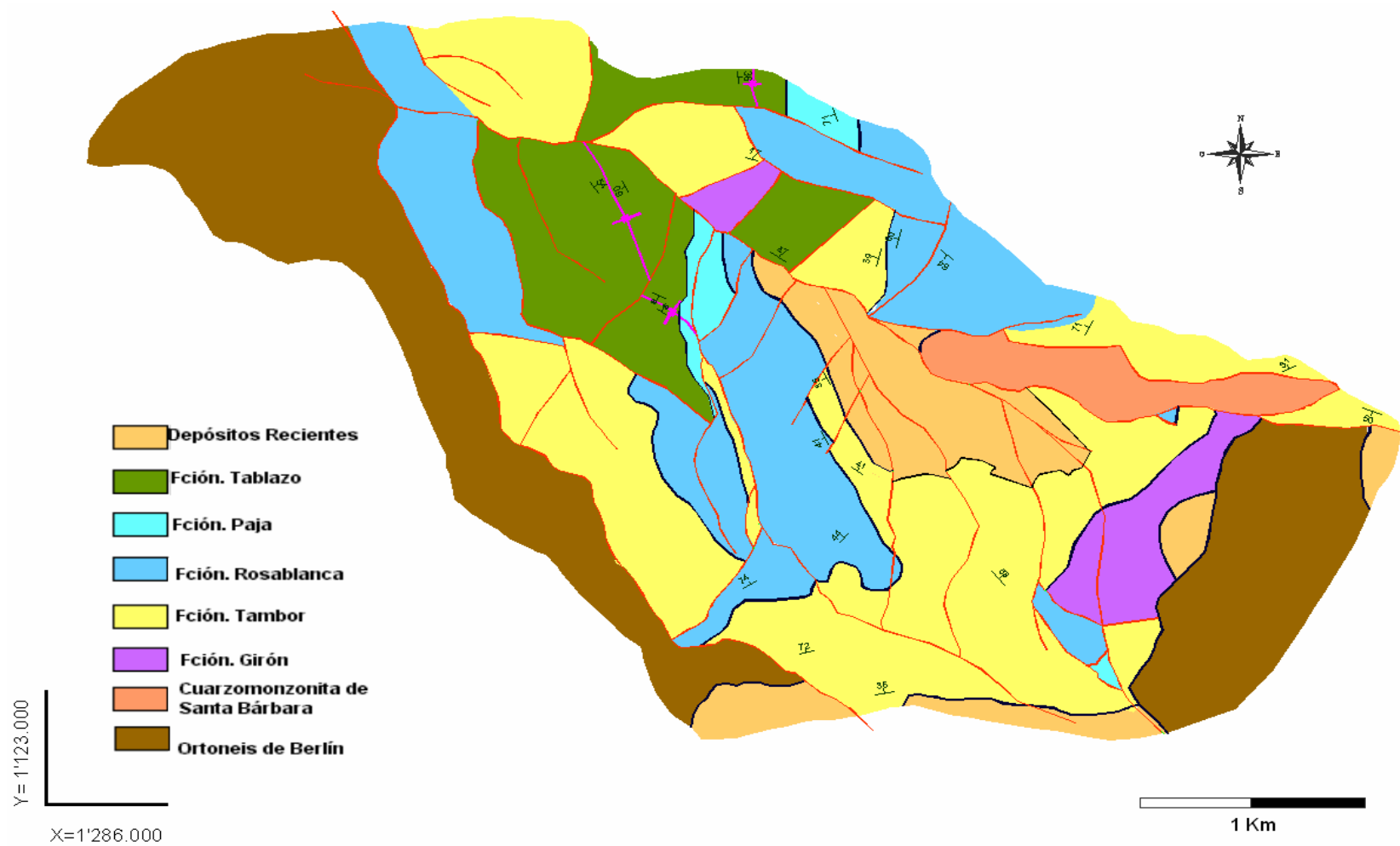


Figura I1. Puntos Muestreados en la CERS.

ANEXO J. MAPA GEOLÓGICO



ANEXO K. ANÁLISIS DE LIMNOLOGÍA

FRASCO MESETA (13/04/05)

Anabaena sp	Cianobacterias
Gomphonema acuminatus	
Surirella sp	
Nitzschia sp	Diatomeas
Pinnularia sp	
Trachelomonas	Euglenal
Cryptomonas sp (2 morfoespecies)	Flagelados

Gran cantidad de materia orgánica (detritus) y esporas de hongos

Gran cantidad de filamentos vacíos tipo cianobacteria

FRASCO N.SUC.O.00.00 (NAC. SUCIO)

Anabaena sp	
Lyngbia sp	Cianobacterias
Pinnularia sp.2	
Eunotia sp	Diatomeas
Navicula sensu lato (2 morfoespecies)	
Nitzschia cf. amphioxus	
Trachelomonas hispida	

FRASCO N.CHO.O.00.00

Anabaena sp	Cianobacterias
Melosira varians	
Gomphonema clavatum	
Eunotia sp.2	Diatomeas
Cymbella naviculiformis	
Navicula sensu stricto (cf. veneta)	
Trachelomonas hispida	Euglenal
Euglenal	
Staurodesmus sp.	Desmidias
Cosmarium sp.	
Gloeocystis sp.	Clorofita

FRASCO SUC PARTE BAJA (14/04/05)

Anabaena sp.	Cianobacterias
Gran cantidad de detritus y filamentos vacíos	

ANEXO L Porcentajes para Diagramas de Piper.

Tabla L1. Composición porcentual de iones mayoritarios en el nacimiento del Chorreron.

	mg/l	gramos	mmol/l	carga	meq/l			(%)
Ca+2	12,26	40,08	0,306	2	0,612	Na+K	0,305	33,28
Mg+2	0	24,31	0	2	0	Mg	0	0
Na+1	7,01	22,99	0,305	1	0,30	Ca	0,611	66,72
K+1	0,012	39,1	3E-04	1	0,001			
TOTAL	19,28			$\epsilon =$	0,917			
Cl-1	0,76	35,45	0,021	-1	-0,021			
SO4-2	4,72	96,06	0,049	-2	-0,098			
HCO3-1	54,41	61,02	0,892	-1	-0,892	CL+NO3	-0,023	1,17
NO3-1	0,05	62	8E-04	-1	-0,001	SO4	-0,098	5,16
CO3--	26,76	60	0,446	-2	-0,892	CO3H+CO3	-1,784	93,67
TOTAL	59,94			$\epsilon =$	-1,012		-1,904	

Tabla L2. Composición porcentual de iones mayoritarios en el nacimiento del Río Sucio.

NSUC

	mg/l	gramos	mmol/l	carga	meq/l			(%)
Ca+2	1,77	40,08	0,044	2	0,088	Na+K	0,025	17,97
Mg+2	0,33	24,31	0,013	2	0,027	Mg	0,027	19,28
Na+1	0,58	22,99	0,025	1	0,025	Ca	0,088	62,74
K+1	0,003	39,1	7,7E-05	1	7,67E-05			
	2,68			$\epsilon =$	0,140			
Cl-1	0,6	35,45	0,016	-1	-0,016			
SO4-2	4,49	96,06	0,046	-2	-0,093			
HCO3-1	6,869	61,02	0,113	-1	-0,113	CL+NO3	-0,017	5,05
NO3-1	0,003	62	4,8E-05	-1	-4,8E-05	SO4	-0,093	27,85
CO3--	3,38	60	0,0563	-2	-0,113	CO3H+CO3	-0,225	67,09
	11,96			$\epsilon =$	-0,223		-0,336	

Tabla L3.Composición porcentual de iones mayoritarios en el punto N.SUC.I.03.00

FALLA

	mg/l	gramos	mmol/l	carga	meq/l			(%)
Ca+2	29,04	40,08	0,724	2	1,449	Na+K	0,2	1,88
Mg+2	109,34	24,31	4,498	2	8,99	Mg	8,99	84,50
Na+1	4,59	22,99	0,199	1	0,199	Ca	1,45	13,61
K+1	0,006	39,1	0,0001	1	0,0001			
				$\epsilon =$	10,64			
Cl-1	0,76	35,45	0,0214	-1	-0,021			
SO4-2	7,46	96,06	0,078	-2	-0,155			
HCO3-	133,39	61,02	2,18	-1	-2,186	CL+NO3	-0,02	0,47
NO3-1	0,002	62	3,23E-05	-1	-3,2E-05	SO4	-0,15	3,41
CO3--	65,604	60	1,093	-2	-2,186	CO3H +CO3	-4,37	96,11
				$\epsilon =$	-2,362		-4,55	

Tabla L4.Composición porcentual de iones mayoritarios en el punto N.SUC.I.03.00

FRACTURA

	mg/l	gramos	mmol/l	carga	meq/l			(%)
Ca+2	76	40,08	1,8962	2	3,7924	Na+K	0,292	5,222
Mg+2	18,28	24,31	0,752	2	1,5039	Mg	1,504	26,912
Na+1	6,7	22,99	0,2914	1	0,2914	Ca	3,792	67,87
K+1	0,015	39,1	0,0004	1	0,0004			
				$\epsilon =$	5,5881			
Cl-1	1,14	35,45	0,0322	-1	-0,032			
SO4-2	77,75	96,06	0,8094	-2	-1,619			
HCO3-1	265,96	61,02	4,3586	-1	-4,359	CL+NO3	-0,055	0,534
NO3-1	1,45	62	0,0234	-1	-0,023	SO4	-1,619	15,57
CO3--	130,8	60	2,18	-2	-4,36	CO3H+CO3	-8,719	83,88
				$\epsilon =$	-6,033		-10,39	

Tabla L5.Composición porcentual de iones mayoritarios en el punto C.CHO.O.00.13.

C.CHO.O.13

	mg/l	gramos	mmol/l	carga	meq/l			(%)
Ca+2	28	40,08	0,699	2	1,3972	Na+K	0,23158	11,53
Mg+2	4,61	24,31	0,1897	2	0,3793	Mg	0,37927	18,89
Na+1	5,32	22,99	0,231	1	0,231	Ca	1,39721	69,58
K+1	0,007	39,1	0,0002	1	0,00018			100
				$\varepsilon =$	2,008			
Cl-1	0,61	35,45	0,0172	-1	-0,017			
SO4-2	6,05	96,06	0,063	-2	-0,126			
HCO3-1	109,983	61,02	1,802	-1	-1,802	CL+NO3	-0,018	0,485
NO3-1	0,062	62	0,001	-1	-0,001	SO4	-0,125	3,359
CO3--	54,09	60	0,902	-2	-1,803	CO3H+CO3	-3,605	96,15
				$\varepsilon =$	-1,947		-3,749	100