

**ANALISIS Y CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE
AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL ÁREA METROPOLITANA
DE BUCARAMANGA**

**AMITH JOSÉ ARRIETA BANQUEZ
JOSÉ LUIS REYES VILLARREAL**



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

2004

**ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE
AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL ÁREA METROPOLITANA
DE BUCARAMANGA**

**AMITH JOSÉ ARRIETA BANQUEZ
JOSÉ LUIS REYES VILLARREAL**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

**DIRECTORA DE PROYECTO
Ingeniera Civil, PhD. SULLY GÓMEZ ISIDRO**



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

2004

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a la directora del proyecto, la doctora Sully Gómez, por su apoyo, acertada y valiosa orientación.

Al ingeniero Ángel Anaya, por su aporte valioso y quien colaboró incondicionalmente y desinteresadamente en la realización de este proyecto.

A nuestros compañeros del GPH, y en especial a José David Otero y Sergio García, por su apoyo y ayuda en la etapa de tomas de muestra en campo.

Y a todos aquellos que de una u otra forma siempre creyeron en nosotros y contribuyeron a la realización de esta meta.

A Dios, por la vida

A mis Abuelos, Aura y José Miguel por su gran cariño

A mis padres, Cristóbal y Yadira por su entrega y comprensión

A mis hermanos Hernán, Eira y Jaime por su motivación

A Cecilia, por su apoyo en todo momento

A Vanessa, por su amor y ayuda incondicional en los tiempos difíciles

A mi familia y amigos, por contribuir en una u otra forma para alcanzar esta meta.

AMITH

A Dios

A mis padres, Hernando y Alba

A mis abuelos, Juan y Cecilia

A mis Hermanos, Pablo y Cecilia

JOSE

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	17
1. OBJETIVOS	19
1.1. Objetivo General	19
1.2. Objetivos Específicos	3
2. GENERALIDADES	21
2.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA	21
2.2. TOPOGRAFÍA	21
3. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA HIDROQUIMICA	23
3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL AGUA	23
3.2. COMPONENTES Y CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	24
3.2.1. Aniones	25
3.2.1.1. Cloruros, Cl ⁻	25
3.2.1.2. Sulfatos, SO ₄ ⁻	26
3.2.1.3. Nitratos, NO ₃ ⁻	26
3.2.1.4. Carbonatos y Bicarbonatos, CO ₃ ⁼ y CO ₃ H ⁻	26
3.2.2. Cationes	27
3.2.2.1. Sodio, Na ⁺	27
3.2.2.2. Potasio, K ⁺	27
3.2.2.3. Calcio, Ca ⁺⁺	27
3.2.2.4. Magnesio, Mg ⁺⁺	28
3.2.2.5. Hierro, Fe ⁺⁺	28
3.2.3. Gases Disueltos	28

3.2.3.1. Oxígeno Disuelto	28
3.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	29
3.3.1. Temperatura, °C	29
3.3.2. Conductividad, $\mu\text{S}/\text{Cm}$	29
3.3.3. pH	30
4. PROTOCOLO PARA MUESTREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	31
4.1. PROTOCOLO PARA ANÁLISIS HIDROQUÍMICO	31
4.1.1. Número y Frecuencia De Las Muestras	31
4.1.2. Métodos De Toma De Muestra	32
4.1.3. Determinación De Pruebas In-Situ	33
4.1.4. Precauciones, Tipo De Envase, Transporte y Almacenamiento De Las Muestras Que Se Llevan A Laboratorio	34
4.1.5. Identificación De Las Muestras	35
4.1.6. Presentación De Resultados De Campo	37
4.1.7. Presentación De Resultados Laboratorio	38
5. ASPECTOS GEOLÓGICOS	39
5.1. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	40
5.2. ROCAS METAMÓRFICAS	42
5.2.1. Neis de Bucaramanga (PEb)	42
5.3. ROCAS ÍGNEAS	43
5.3.1. Cuarzomonzonita de la Corcova (JRcl)	43
5.3.2. Cuarzomonzonita Santa Bárbara (JRcg)	44
5.4. ROCAS SEDIMENTARIAS	45

5.4.1. Formación Bucaramanga	45
5.4.1.1. Miembro Órganos (Qbo)	46
5.4.1.2. Miembro Finos (Qbf)	47
5.4.1.3. Miembro Gravoso (Qbg)	48
5.4.1.4. Miembro Limos Rojos (Qblr)	49
6. HIDROQUIMICA DE AGUAS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	50
6.1. METODOLOGIA DE TRABAJO	50
6.2. MUESTREO PILOTO	53
6.3. SECTORIZACIÓN	57
6.4. SEGUIMIENTO	62
6.4.1. Seguimiento Invierno	62
6.4.2. Seguimiento Verano	66
7. CARACTERIZACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	72
7.1. DETERMINACIONES QUÍMICAS DE LABORATORIO	72
7.2. HIDROGEOLOGIA	73
7.2.1. Rocas Ígneas	73
7.2.2. Rocas Metamórficas	75
7.2.3. Rocas Sedimentarías	76
7.3. DIAGRAMAS TRIANGULARES DE PIPER	77
7.3.1. Análisis Diagramas De Piper	79
7.3.1.1. Análisis Invierno Piper	80
7.3.1.2. Análisis Verano Piper	81
7.4. DIAGRAMA LOGARITMICO O SCHOELLER- BERKALOFF	82
7.4.1. Análisis Invierno Schoeller	83

7.4.2. Análisis Verano Schoeller	84
7.5. CLASIFICACIONES GEOQUÍMICAS	84
8. LEGILACIÓN SOBRE AGUAS SUBTERRÁNEAS	87
8.1. LEGISLACIÓN NACIONAL	87
8.2. LEGISLACIÓN INTERNACIONAL	89
8. CONCLUSIONES	94
9. RECOMENDACIONES	97
BIBLIOGRAFIA	99
ANEXOS	102

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Puntos de Muestreo Precipitación	53
Tabla 2. Puntos de Muestreo Manantiales	53
Tabla 3. Puntos de Muestreo Piezómetros	54
Tabla 4. Puntos de Muestreo Pozos	55
Tabla 5. Puntos de muestreo Drenes	55
Tabla 6. Puntos de muestreo Cisternas	56
Tabla 7. Muestreo Piloto	136
Tabla 8. Análisis de Cluster	139
Tabla 9. Puntos del Seguimiento	61
Tabla 10. Seguimiento Invierno	140
Tabla 11. Seguimiento Verano	143
Tabla 12. Seguimiento	146
Tabla 13. Iones Invierno	154
Tabla 14. Iones Verano	155
Tabla 15. Composición química de las principales rocas sedimentarias	76
Tabla 16. Análisis de Aguas Piper Invierno	156
Tabla 17. Análisis de Aguas Piper Verano	158
Tabla 18. Análisis de Aguas Shoeller Invierno	160
Tabla 19. Análisis de Aguas Shoeller Verano	162

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización del área de estudio	22
Figura 2. Formato de Etiquetas	36
Figura 3. Formato de toma de datos en campo	37
Figura 4. Formato de Presentación de Resultados Laboratorio	38
Figura 5. Geología de la zona	39
Figura 6. Corte geológico del Área Metropolitana de Bucaramanga	41
Figura 7. Panorámica de los miembros Formación Bga, Tomado de Estudio de Microzonificación Sísmica Ingeominas, Pág.22	46
Figura 8. Mapa General	56
Figura 9. Dendograma del Análisis de Cluster	60
Figura 10. pH vs. Tiempo Invierno	63
Figura 11. Redox vs. Tiempo Invierno	64
Figura 12. Electroconductividad vs. Tiempo Invierno	64
Figura 13. Salinidad vs. Tiempo Invierno	65
Figura 14. Temperatura vs. Tiempo Invierno	65
Figura 15. pH vs. Tiempo Verano	67
Figura 16. Redox vs. Tiempo Verano	68
Figura 17. Electroconductividad vs. Tiempo Verano	68
Figura 18. Salinidad vs. Tiempo Verano	69
Figura 19. Temperatura vs. Tiempo Verano	69
Figura 20. Relación pH vs. Tiempo	149
Figura 21. Relación Redox vs. Tiempo	150

Figura 22. Relación Conductividad vs. Tiempo	151
Figura 23. Relación Salinidad vs. Tiempo	152
Figura 24. Relación Temperatura vs. Tiempo	153
Figura 25. Formación Plutonica	74
Figura 26. Relación %de Sílice Vs Otros Óxidos En Rocas Ígneas	75
Figura 27. Diagrama de Piper	78
Figura 28. Diagrama Clasificadorio de Piper	80
Figura 29. Diagrama Piper Invierno	157
Figura 30. Diagrama Piper Verano	159
Figura 31. Diagrama Logarítmico	82
Figura 32. Diagrama Logarítmico Invierno	161
Figura 33. Diagrama Logarítmico Verano	163

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Manual Para El Uso De La Sonda Multiparametros Eijkelkamp 18.28	103
Anexo B. Muestreadores	129

RESUMEN

Título: ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.*

Autores:

Amith José Arrieta Banquez

José Luis Reyes Villarreal**

Palabras Claves: Hidroquímica, Caracterización, Aguas Subterráneas, Diagramas Piper y Shoeller.

El Estudio se ejecutó en la zona Metropolitana de Bucaramanga, ubicada al Nor-Oriente de Colombia. El acuífero está compuesto por depósitos aluviales de edad cuaternaria principalmente y rocas ígneo-metamórficas en la zona del macizo de Santander, el flujo regional del acuífero aproximadamente es Este - Oeste.

Se realizó un muestreo de parámetros fisicoquímicos (pH, Redox, Electroconductividad, salinidad, Oxígeno disuelto y temperatura) sobre 50 puntos en el área de estudio, a partir de esto se hizo una sectorización, para escoger los puntos más representativos, los cuales fueron ocho, procediendo a hacerles un seguimiento durante dos períodos (invierno y verano), para obtener la variabilidad temporal de los parámetros. Se planteó una línea de caracterización para analizar los cambios en la naturaleza del flujo del acuífero superior de la formación Bucaramanga. Los resultados obtenidos del estudio hidroquímico y de caracterización para esta línea, presentan como ion dominante el sodio, el cual permite clasificar en forma general las aguas del acuífero superior como cloruradas sódicas. Éstas sufren variaciones durante el periodo de lluvias, incrementando los niveles de iones bicarbonatos; convirtiéndola así en un agua bicarbonatada sódica; mientras que en el período seco se convierten en cloruradas sódicas, esto puede ser explicado por la ausencia de lluvias, las cuales traen consigo altas cantidades de CO₂ y a un mayor tiempo de interacción del agua con el subsuelo; que contiene grandes cantidades de estos elementos en su composición. Hecho que se muestra en los diagramas de Piper donde se puede apreciar el efecto de disolución que ejerce el agua sobre la estructura geológica, lo cual queda corroborado con los diagramas de Shoeller y la clasificación aquí expuesta.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Directora: Sully Gómez Isidro.

ABSTRACT

Title: ANALYSIS AND HYDROCHEMICAL CHARACTERIZATION OF UNDERGROUND WATERS IN METROPOLITAN AREA OF BUCARAMANGA.

Authors:

Amith José Arrieta Banquez
José Luis Reyes Villarreal**

Key words: Hydrochemistry, Characterization, Underground Waters, Piper and Shoeller Diagrams.

The Study was carried out in the Metropolitan area of Bucaramanga, located at the North-East of Colombia. The aquifer is composed by alluvial deposits from the quaternary age mainly, and an igneous-metamorphic rock in the area of the massif of Santander, the regional flow of the aquifer is East-West approximately.

A sampling of physical-chemical parameters was taken (pH, Redox, Electroconductivity, salinity, Dissolved Oxygen and Temperature) over 50 points in the study area, after that, the eight most representative points were chosen, to make them a pursuit during two periods (winter and summer), to obtain the temporal variability of the parameters. A line of characterization was set up to analyze the changes in the nature of the flow of the superior aquifer of the Bucaramanga formation. The obtained results of the study hydrochemical study and of characterization for this line, present sodium as the dominant ion, which allows to classify in general form, the waters from the superior aquifer as chloride-sodium waters. These ones suffer variations during the rainy season, increasing the levels of bicarbonate ions, turning them into bicarbonated-Sodium waters; this can be explained by the absence of CO₂ and higher time of interaction of the water with the underground; that has big quantities of these elements in its composition. This Fact shown in the piper diagrams where it is possible to see the breakup effect that water has on the geologic structure, which it is confirmed with the shoeller diagrams and the classification exposed.

*Graduation Project

**Faculty of Physical-mechanical Engineerings, School of Civil Engineering, Director: Sully Gómez Isidro.

INTRODUCCION

El agua subterránea parte importante en los recursos hídricos globales, si bien es utilizada por el hombre, generando ventajas frente a las aguas superficiales tales como abundancia relativa, protección contra polución, regularidad de los caudales, etc. Su uso indiscriminado, sin el correspondiente conocimiento de la naturaleza del flujo, esto es identificación de las zonas de recarga, cuantificación de la misma, y además de los cambios minerales que puede sufrir el agua a medida que a traviesa los estratos geológicos, se desaprovecha en gran medida el uso óptimo de este recurso.

Los temas relacionados con la prospección, aprovechamiento, y explotación del recurso hídrico subterráneo en la Cuenca Superior del Río Lebrija han suscitado interés en los últimos años. Diversos organismos gubernamentales y no gubernamentales están dedicando esfuerzos al estudio del recurso, desde diferentes puntos de vista, entre los cuales destaca por su importancia, el hidrogeológico.

Esta investigación pretende, caracterizar desde un punto de vista hidrogeoquímico los recursos subterráneos (“Identificados previamente mediante investigaciones realizadas por el “Grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático” (**GPH**)), provenientes del Macizo de Santander. Para ello se realizó un muestreo de iones principales (Calcio Magnesio, Potasio, Sulfatos, Cloruros, Nitratos, Hierro, Bicarbonatos y Carbonatos) y parámetros fisicoquímicos básicos (pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura, y salinidad), durante dos periodos (uno de lluvia (del 17 al 28 de Mayo del 2004) y uno seco (del 01 al 30 de Julio del 2004)) sobre las aguas del acuífero freático de la Meseta de Bucaramanga, en el sistema de drenes de la escarpa occidental de la ciudad de Bucaramanga, y otros acuíferos en las zonas aledañas a la misma. Como

resultado de esta caracterización se propuso una clasificación hidroquímica donde se muestre la interacción entre el flujo subterráneo y la geología por la cual fluye. Para ello se utilizaron herramientas de estudio hidroquímico como los diagramas de Piper y Shoeller, además, de la clasificación por ion dominante.

Con la caracterización química de las aguas subterráneas de los acuíferos aluviales y drenes sobre la zona estudiada se busca sentar bases para un proyecto de mayor escala, el cual se encaminaría a analizar futuras fuentes de abastecimiento para la ciudad.

Además de lo anteriormente descrito, la combinación de este con otros estudio relacionados con el flujo subterráneo y el acuífero superior, servirían como una herramienta valiosa para la formulación de un modelo conceptual del fenómeno de recarga en el macizos de Santander hacia la zona aluvial de la meseta de Bucaramanga y las áreas aledañas a la misma.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo General

Iniciar una caracterización hidroquímica del recurso hídrico subterráneo disponible en el sistema acuífero superficial de Bucaramanga y su zona de influencia, con el fin de diseñar muestreos definitivos de iones y definir futuros usos potenciales del mismo.

1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar y clasificar hidroquímicamente (Método del Ion Dominante) el recurso subterráneo de acuíferos superficiales de Bucaramanga y alrededores, con ayuda de técnicas gráficas (Piper, logarítmicas y columnas verticales), esto con el fin de evidenciar procesos como el de reducción, precipitación, modificaciones, disoluciones, mezcla de agua en las aguas subterráneas.
- Adelantar un programa preliminar de muestreo que evidencie la variabilidad temporal de los parámetros pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura, salinidad, medidos por la sonda EIJKELKAMP. Con el fin de diseñar una metodología de muestreo de iones principales (Calcio, Magnesio, Potasio, Sulfatos, Cloruros, Nitratos, Bicarbonatos y Carbonatos).
- Identificar posibles relaciones entre geología, litología y composición de las aguas subterráneas que permitan evidenciar los procesos hidroquímicos

- que tienen lugar entre el suelo y el flujo subterráneo. Todo esto a partir de los resultados del muestreo anterior.

- Conformar una guía de manejo de la sonda múltiparametros EIJKELKAMP para que futuros usuarios tengan una visión clara de los alcances y limitaciones que esta nos puede brindar, así como los cuidados correspondientes que se deben tener al momento de manipularla.

- Investigar las legislaciones nacionales e internacionales sobre el manejo y gestión del agua subterránea.

2. GENERALIDADES

2.1 SITUACIÓN GEOGRÁFICA

El área de estudio esta ubicada en la región de la Cordillera Oriental, en el Nororiente de Colombia, más específicamente en Área Metropolitana de Bucaramanga y partes circunvecinas, limitados por las coordenadas topográficas:

El área de estudio se ubica ente las coordenadas planas

X : 1.105.000

X : 1.123.000

Y : 1.276.000

Y : 1.282.000

De las planchas: 120 – II – B, 121 – I –A y 119 –IV – D del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, según la proyección Gauss con origen X:1'000.000 y Y: 1'000.000, ubicado en la ciudad de Bogota . Políticamente el área está conformada por terrenos pertenecientes a los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta, Santander.

2.2 TOPOGRAFÍA

En general el área presenta un rango de elevaciones que oscila entre 825 m.s.n.m, en las zonas de la escarpa occidental del área de estudio, y los 2600 m.s.n.m., ubicados en el Macizo de Santander al Este del área con una morfología de pendientes abruptas.

Figura 1. Localización del área de estudio



Tomado de Enciclopedia Encarta 2003

3. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA HIDROQUIMICA

3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL AGUA

El agua es una molécula formada por dos átomos de hidrogeno y uno de oxigeno, siendo su formula H_2O , su tipo de enlace es covalente y debido a su asimetría y fuerte polaridad, sus propiedades física como químicas presentan una gran similitud.

Se caracteriza físicamente por un punto de congelación de $0^{\circ}C$ y una de ebullición a los $100^{\circ}C$, a presión atmosférica, con un calor especifico bastante elevado ($1 \text{ Cal/g } ^{\circ}C$) y la tensión superficial mas elevada conocida. Presenta una anomalía dilatométrica, ya que a $4^{\circ}C$ presenta su máxima densidad (1kg/L) siendo algo menos densa a los $0^{\circ}C$ y aun más cuando se encuentra en estado sólido.

Su conductividad eléctrica es baja, alrededor de $0.045 \mu\text{S/cm}$ a una temperatura ambiente de $20^{\circ}C$. También tenemos que cumple para cualquier temperatura, y condiciones de pureza elevadas el siguiente balance químico:



Donde los paréntesis son concentraciones y K una constante función de la temperatura cuyo valor es de 10^{-14} a $25^{\circ}C$, esto es de suma importancia debido que a partir de esta formula podemos definir el pH de esta, parámetro fundamental en el estudio y caracterización de la misma. Además es conocida por su alto poder disolvente y de reacción con otras sustancias, tanto orgánicas como inorgánicas.

En los procesos de disolución de sales por el ataque del agua a los minerales, es de gran importancia los procesos que puedan alterar su estado de valencia, ya sea oxidándose o reduciendo a otras, este sistema se le conoce como Redox y

esta regido por las condiciones del pH, presión temperatura, presencia de oxígeno, materia orgánica entre otros factores, pero siendo estos lo más importantes. El Redox nos proporciona la tendencia de oxido-reducción de cualquier sustancia, y viene dado por la siguiente ecuación:

$$Eh = E_o + \frac{RT}{nF} \ln \frac{\langle Ox \rangle}{\langle Red \rangle} \quad \text{Donde:}$$

$\langle Ox \rangle$ = actividad molar del ion oxidado

$\langle Red \rangle$ = actividad molar del ion reducido

Eh = potencial Redox en Voltios

E_o = potencial Redox en voltios del electrodo cuando $\langle Ox \rangle = \langle Red \rangle$

R = constante de los gases (8.32 J/°K**mol*)

n = cambio de valencia en la reacción (eq-g/*mol*)

F = número de Faraday 96500 columbios/eq-g

En Aguas subterráneas el pH y el Redox existente es tal que no permite la liberación de oxígeno (O₂) ni de hidrógeno (H₂) que se desprenden de la descomposición de agua, las reacciones no serían posibles en algunos casos de no ser por la presencia de ciertas bacterias, sin las cuales no se presentaría dicha reacción. El Eh se midió de forma electrónica en campo debido a que cualquier cambio significativo en el ambiente podría ser un cambio importante en el valor.

3.2. COMPONENTES Y CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

En un agua subterránea la mayoría de las sustancias disueltas se encuentran en estado iónico. Existen unos iones que se encuentran casi siempre presentes en las aguas, estos son llamados los iones fundamentales, y sobre cada uno de estos

desarrollamos muestreos para ciertos puntos del proyecto, esto se debe a que representan la mayoría de los iones disueltos en el agua, estos se dividen en dos grupos que se conforman de la siguiente manera:

Aniones: Cloruro (Cl^-), Sulfato (SO_4^-), Nitrato (NO_3^-), Carbonatos (CO_3^-) y Bicarbonato (CO_3H^-).

Cationes: Sodio (Na^+), Magnesio (Mg^{++}), Calcio (Ca^{++}), Potasio (K^+) y Ferroso (Fe^{++}).

El resto de los componentes de las aguas son los iones menores, trazas y sustancias disueltas por lo general se encuentran en proporciones menores o iguales al 1% (Custodio, Emilio & Llamas, Manuel. (1996). Hidrología Subterránea. V.1)

3.2.1. Aniones

3.2.1.1. Cloruros, Cl^-

Son sales en general muy solubles y de difícil precipitación, generalmente asociada con el ion sodio (Na^+) especialmente en aguas salinas, no se oxidan ni se reducen, tienen concentraciones entre 10 y 250 ppm en aguas dulces, pero que en aguas salobre (mar) alcanza concentraciones de 18000 a 22000 ppm. No son nocivas para la salud (solo si superan varios miles de ppm), simplemente que con concentraciones superiores a 300 ppm presentan un sabor desagradable al paladar (salobre) y para algunas especies de plantas se les vuelve perjudicial y aumenta la corrosividad del agua.

3.2.1.2. Sulfatos, SO_4^-

Sales moderadamente solubles a muy solubles, es difícilmente precipitable, pero pueden separarse por concentración si existe una evaporación considerable. Las concentraciones son entre 2 y 150 en aguas dulces y pueden llegar a ser de 5000 ppm si hay presencia Calcio, y de más de 200000 ppm si se relacionan con Magnesio (Mg) o Sodio (Na). Las aguas selenitosas no quitan la sed y tienen sabor poco agradable, y se ingieren en cantidades razonables tienden a tener propiedades laxantes.

3.2.1.3. Nitratos, NO_3^-

Sales muy solubles por lo tanto de difícil precipitación, aunque estables. Su concentración habitual oscila entre 0.1 y 10 ppm, pero en aguas contaminadas puede llegar a 200 ppm, lo cual es altamente peligroso debido a que en altas concentraciones produce cianosis, especialmente en la población infantil, aparte de eso vuelven más corrosiva al agua.

3.2.1.4. Carbonatos y Bicarbonatos, $\text{CO}_3^{=}$ y CO_3H^-

Estos iones comunican alcalinidad al agua debido que aumentan su consumo de ácido al crear una solución tampón, no son oxidables ni reducibles en condiciones normales y son de fácil precipitación. La concentración del bicarbonato está alrededor de 50 y 350 ppm, mientras que para el carbonato son mucho menores y se relacionan con el pH, ya que sin este es inferior a 8.3, se dice que el carbonato es 0, pero en valores superiores a 8.3 puede presentarse cantidades de hasta 50 ppm. No presentan riesgo para la salud, pero aguas con altos contenidos no son muy recomendables para el riego de cultivos, debido a que tienden a alcalinizar la tierra, además pueden presentar corrosividad o incrustabilidad.

3.2.2. Cationes

3.2.2.1. Sodio, Na⁺

Su solubilidad es bastante elevada de hay su difícil precipitación, esta muy estrechamente relacionado con el ion cloruro, además se deja afectar fácilmente por los cambios de bases, su concentración regular va de 1 a 150 ppm, en aguas salobres esta alrededor de 10000 ppm, un gran contenido de este ion generalmente va relacionado con una alta presencia del ion menor fluor (F⁻).las concentraciones altas son perjudiciales para las plantas debido que reducen la permeabilidad del suelo, pero en general no generan peligro a la salud humana.

3.2.2.2. Potasio, K⁺

Su solubilidad es bastante elevada de hay su difícil precipitación, afectado muy fácilmente por el cambio de bases y es absorbido de manera fácil por arcillas en formación, esto debido a que hace parte de su composición, circunstancia que lo diferencia del Na⁺, su concentración oscila entre 1 y 10 ppm, y muy raras veces se ve en proporciones de cientos de ppm, por tal razón no representa ningún problema para la salud (rangos normales) y es de vital importancia para el crecimiento de las plantas.

3.2.2.3. Calcio, Ca⁺⁺

Pueden ser sales moderadamente solubles a muy solubles, son de fácil precipitación, su química se relaciona estrechamente con los carbonatos y bicarbonatos, razón por la cual se puede disolver o precipitar con facilidad, solo basta con cambiar el pH, su concentración habitual va de 10 a 250 ppm, llegando a 600 ppm en aguas selenitosas. El problema de una alta concentración va relacionado con la mayor duraza e incrustación del agua.

3.2.2.4. Magnesio, Mg⁺⁺

Es muy similar al ion calcio, pero siendo este mas soluble y un poco más difícil de precipitar, su rango de concentración varia entre 1 y 100 ppm, con excepción de aguas demasiado salobres donde alcanza rangos de miles ppm, una gran presencia de este ion hace que el agua tome propiedades laxantes y un sabor amargo, aparte de darle dureza al agua, y si a eso le sumamos altos niveles de pH la vuelve incrustante.

3.2.2.5. Hierro, Fe⁺⁺

Es bastante complejo de analizar pues puede variar del ion Fe⁺⁺ al Fe⁺⁺⁺ con una pequeña variación del pH, del Redox o de la composición de la solución, pero en aguas subterráneas tiende a estar más presente el ion Fe⁺⁺, sin embargo cuando hay alto niveles de pH (aguas básicas) este prácticamente no existe, las concentraciones que generalmente se encuentran son de entre 0 y 10 ppm, pero en aguas con buena aireación baja hasta 0.5 ppm y solo en condiciones especiales llega a 50 ppm o más, generalmente se presenta en aguas bastante ácidas. La presencia de hierro hace que el agua produzca manchas de color amarillento en las zonas donde se encuentra o utiliza, además produce altas incrustaciones y con concentraciones de mas de 0.5 ppm suelen ser nocivas incluso para plantas (suelen soportar hasta 5 ppm).

3.2.3. Gases Disueltos

3.2.3.1. Oxigeno Disuelto

Produce un medio oxidante y es importante debido a que solubiliza o insolubiliza los iones que cambian con facilidad de valencia, así como la actividad de

microorganismos, su ausencia produce medios anaeróbicos, se consume con gran facilidad si existen sustancias oxidables, como Fe^{++} , NO_2^- u materia orgánica. En las aguas subterráneas su concentración no supera las 5 ppm, uno de los problemas de poseer bajo niveles de oxígeno disuelto es su alta corrosividad y en algunos casos de producir malos olores.

3.3. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

3.3.1. Temperatura, °C

Es importante tomarla en el campo para interpretaciones detalladas de la composición química del agua, además de afectar la viscosidad y la capacidad de absorción de gases. En las aguas subterráneas es aproximadamente la temperatura media anual más el gradiente geotérmico regional normalmente la temperatura del subsuelo aumenta 3 °C cada 100 metros de profundidad, sin embargo es algo mayor en zonas tectónicas y volcánicas y menores en zonas sedimentarias.

3.3.2. Conductividad, $\mu\text{S}/\text{Cm}$

Es la facilidad del agua de conducir la corriente eléctrica. El agua destilada es prácticamente aislante, pero la conductividad aumenta rápidamente con la cantidad de iones disueltos. Su importancia se basa en que se mide muy fácilmente y nos indica aproximadamente la salinidad del agua:

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

La resistividad, constante que aparece en la Ley de Ohm, está dada en ohmios x metro. La conductividad es el inverso de ésta, de modo que sus unidades son

ohmios⁻¹ /metro. El inverso del ohmio se denomina Mho o Siemens. Por tanto sería: Siemens/metro, pero es usual $\mu\text{S}/\text{cm}$ (microSiemens/cm).

La conductividad aumenta en un 2% por cada grado Celsius de temperatura, tomando como referencia una temperatura de 25°C, además esta crece con el contenido de iones disueltos e influye también el tipo de iones presentes en la solución (carga eléctrica, estado de disociación, movilidad, etc.).

3.3.3. pH

Mide la acidez del agua y es igual a $-\log(\text{H}^+)$. Siendo (H^+) la actividad de iones Hidrógeno, en las aguas naturales oscila entre 5,5 y 8,5. Este crece un 8% por cada grado de temperatura, tomando una referencia de 25°C, algunos efectos del pH pueden ser que si su valor es menor a 7 suelen ser agresivas, mayores que 9 no son buenas para el riego.

4. PROTOCOLO PARA MUESTREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Los protocolos son un conjunto de normas expresadas de forma sistemática y detallada del procedimiento y cuidados que se deben tener al momento de tomar muestras para su análisis, ya sea en campo o para ser llevadas a laboratorio. Donde fundamentalmente se expresa la forma de tomarlas, de almacenar, y transportarlas. Estos pueden variar de acuerdo al tipo de estudio que se vaya a realizar, así como del laboratorio que realice las pruebas.

4.1. PROTOCOLO PARA ANALISIS HIDROQUÍMICO

Para un estudio hidroquímico del agua subterránea se debe definir una red de muestro periódica, esta debe incluir pozos, cisternas, piezómetros, drenes, manantiales, y puntos de aguas lluvias. La selección de estos se debe realizar de la manera más homogénea posible sobre el acuífero en estudio teniendo en cuenta las condiciones hidrodinámicas y de recarga, además de toda la información previa existe y relacionada sobre el acuífero y los distintos puntos de muestreo, esto es, tener en cuenta la forma de construcción, profundidad, litología y quizás lo mas importante el fácil acceso a estos (teniendo en cuenta que se va hacer un seguimiento continuo).

4.1.1. Número y Frecuencia De Las Muestras

El número de muestra que es preciso tomar para caracterizar es muy variable según el tipo de estudio que se desea realizar y las condiciones de recarga e hidrodinámica. Las muestras deben tomarse en las condiciones de máxima representatividad eligiendo pozos bien contruidos y cuya zona filtrante esté situada en lugar adecuado.

Bajo los anteriores antecedentes, para un estudio hidroquímico la escogencia de la cantidad de puntos queda a consideración del investigador tomando como referencia la naturaleza del flujo en el acuífero y su posible distribución en el espacio.

La periodicidad de la toma de muestras, dependerá además de la distancia a la zona de recarga de sus posibles velocidades de flujo y de las condiciones hidrológicas locales, esto es para tratar de observar los posibles cambios en su composición en cada uno de los periodos de lluvia o sequía que se presentan en la zona.

4.1.2. Métodos De Toma De Muestra

Este dependerá del tipo de punto que se vaya a muestrear. Para Manantiales y drenes se debe tomar un recipiente limpio, el cual se purgará o impregnará con el agua del manantial o dren por lo menos en dos ocasiones antes de tomar la muestra a analizar. También es recomendable tomar el caudal de la fuente.

Si es una cisterna se debe utilizar un recipiente con lastre y con un orificio de captación pequeño, esto con el fin de que la muestra sea representativa de las aguas más profundas, también se puede utilizar un muestreador para tal efecto.

Para pozos con bomba instalada, se debe dejar bombear por alrededor de unos 5 minutos o hasta que se presuma que el agua estancada se haya desalojado, con lo cual estaremos garantizando en gran medida que sea proveniente de la formación. El agua bombeada es en general la mejor muestra obtenible si la composición del acuífero es uniforme; si en los pozos existe rejillas de captación a varias profundidades que involucre más de un acuífero se obtendrá una mezcla. Hay que anotar que si el bombeo es por aire comprimido los valores de oxígeno disuelto y temperatura se verán afectados.

En caso de que sean pozos sin bomba o piezómetros, se debe utilizar un muestreador, el cual debe tomar la muestra a igual o lo más cerca posible de la rejilla filtrante, esto debido a que en ellas hay alguna recirculación de agua proveniente del acuífero. Si estos son demasiado profundos se recomienda que sea tomada a una profundidad no inferior a 20 metros a partir del nivel freático o piezométrico lo cual no me garantiza unos buenos resultados solo me reduce el margen de error. Aun así en la misma zona de rejillas pueden obtenerse malos resultados si estas no están lo suficientemente comunicadas con el acuífero o simplemente se encuentran taponadas.

Las muestras puntuales deben tomarse de arriba hacia abajo, ya que en cada inmersión y extracción del muestreador produce una mezcla de agua, caso particular de querer hacer un perfil de temperatura o conductividad. Recordar que para todos los procedimientos antes descritos hay purgura o impregnara con el agua a muestrear el sistema de recolección a utilizar.

4.1.3. Determinación De Pruebas In-Situ

Las pruebas en campo en los últimos años se han vuelto cada vez completas y esto se debe en gran medida al desarrollo tecnológico, el cual nos permite contar con equipos de trabajo más completos, de alta precisión, livianos y de fácil manipulación. Por tal motivo para la realización de un estudio hidroquímico es de gran utilidad tener a la mano uno de estos. Hay equipos en el mercado que miden desde parámetros individuales, hasta una variedad considerable como temperatura, conductividad, potencial Redox, salinidad, oxígeno disuelto, pH, entre otros, con lo cual obviamente varía el precio de adquisición.

Pero en forma general in-situ se debe tomar la temperatura, ya que el almacenamiento o transporte de la muestra altera considerablemente el valor de esta. Se puede medir con un termómetro normal de mercurio que se encuentre

bien graduado a la menor escala posible. Otros parámetros posibles de tomar en campo son el color, sabor, y turbidez.

4.1.4. Precauciones, Tipo De Envase, Transporte y Almacenamiento De Las Muestras Que Se Llevan A Laboratorio

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.

- 1. Conductividad, Potencial Redox, Salinidad:** Debe evitarse el escape de gases y la formación de precipitados, envase plástico opaco, en una cantidad mínima de 50 cm³ no necesita almacenamiento especial.
- 2. Oxígeno Disuelto:** Es preciso utilizar envases especiales que permitan cerrar sin dejar gas en su interior y la muestra no debe agitarse en la toma, en una cantidad mínima de 50 cm³, se debe analizar a la mayor brevedad debido a que este se consume durante el almacenamiento.
- 3. pH:** Se debe evitar la fuga de gases, la oxidación o reducciones y cambios de temperatura, se tiene que analizar con rapidez y tomar una cantidad mínima de 50 cm³. Los valores de laboratorio son siempre un poco más elevado de la realidad.
- 4. 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 H₂SO₄ (ácido sulfúrico) esto con el fin de

preservar la muestra hasta por 6 meses, para su transporte y almacenamiento se debe refrigerar.

5. 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.

Nota: Todos los envases deben ser etiquetados y purgados por lo menos 4 veces antes de tomar la muestra final.

4.1.5. Identificación De Las Muestras

Como ya lo habíamos 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 2. Formato de Etiquetas

UIS - GPH			
Identificación:	Dren SR-25	Temperatura:	25,3°C
Localización:	Escarpa Occidente	pH:	5,35
Nombre:	La Rosita	Conductividad:	125 µS
Fecha y Hora:	04-06-2004 / 09:18 am	Redox:	117 mV
Aspecto del Agua		Salinidad:	136 mg/L
Color:	Transparente	O2 Disuelto:	2,36 mg/L
Sabor:	Ninguno	Nombre de quien toma la muestra:	José David Méndez
Olor:	Ninguno		

4.1.6. Presentación De Resultados De Campo

Figura 3. Formato de toma de datos en campo

No.	Tipo	Código Local	Código CDMB	Localización	Zona	T. de Acuífero	Presión Barométrica	m.s.n.m	N. Piezo o N Freat.	Fecha toma	Hora toma	Temp. Aire
							mBa	mts	mts			°C
1	Piezómetro	Albania		B. El Jardín	Oriente	S	908	1015	1,35	01-May	09:52	23
2	Afloramiento	Conucos		Vía Antigua a Florida	Meseta	S	915	975	0	17-Abr	07:34	21,7
3	Nacimiento	La Malaña		Oda. La Malaña	Oriente	S	845	1165	0	01-May	11:00	24,1
4	Cisterna	La Rosita		Av. Qbda La Rosita Con Cr21	Meseta	S	909	960	3,3	16-Abr	16:47	21,6
5	Pozo	La Colina		Jardines La Colina	Oriente	S	905	1080	24	27-Abr	14:26	27,7
6	Dren	Nazareth	SR #23	B. Nazareth	Occidente	S	913	910	0	21-Abr	08:30	20,2

No.	Temp. Agua	pH	Redox	Conductividad Eléctrica	Salinidad TDS	Oxígenos Disueltos O2	%O2	Observaciones	
								mg/L	mg/L
1	22,1	6,73	2	828	444	0,95	12,5	0,4	Turbia, olor desagradable
2	25	5,18	88	79	71,7	3,45	46	0	
3	20,2	7,62	490	237	126	3,4	42	0,1	
4	25,2	5,64	64	136	72	4,95	66	0,1	
5	24,6	7,3	505	582	310	3,15	42	0,3	
6	24,4	4,08	154	247	131	2,7	35	0,1	

4.1.7. Presentación De Resultados Laboratorio

Figura 4. Formato de Presentación de Resultados Laboratorio

GPH - Grupo de Modelamiento Hidroclimático UIS						
Laboratorio: Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales - CEIAM		Informe de Resultados		Junio 25 de 2004		
Realizado por:		Análisis Físicoquímicos		Rno: 002564		
Qca. Espc Sandra Rodríguez C.		Amith Arrieta y José Reyes				
Solicitante:		Aguas Subterráneas y Superficiales				
Descripción de la muestra:		Junio 11 del 2004				
Fecha del muestreo:		Junio 11 del 2004				
Fecha de recepción del laboratorio:		Amith Arrieta y José Reyes				
Muestra tomada por:		K, Ca, Na, Mg, Fe, Nitratos, Carbonatos, Bicarbonatos, Cloruros, Sulfatos				
Parámetros a evaluar:						
REPORTE LABORATORIO ENTRADA SISTEMA TRATAMIENTO						
Parámetro	Unidades	Método	Puntos			
			FLORA-S	Km 33	P. AZUCAR S	ROSITA
HIERRO	mg/L Fe					
MAGNESIO	mg/L Mg					
SODIO	mg/L Na					
POTASIO	mg/L K					
CALCIO	mg/L Ca					
CARBONATOS	mg/L CaCO ₃					
BICARBONATOS	mg/L CaCO ₃					
NITRATOS	mg/L N-NO ₃					
SULFATOS	Mg/L SO ₄					

5.1 UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS

Se entiende por Unidades Litoestratigráficas cada uno de los conjuntos de materiales geológicos (rocas y acumulaciones sedimentarias) formados en condiciones homogéneas, o relativamente homogéneas, cartografiables a la escala de trabajo (1:10.000) y ordenados cronológicamente. En el área de estudio se presentan unidades litológicas, compuestas por rocas metamórficas, rocas sedimentarias, rocas ígneas (Tomado del estudio de micrzonificación sísmica del Área Metropolitana de Bucaramanga).

Las Unidades Litoestratigráficas más antiguas, de origen ígneo-metamórfico, tipo neis, esquisto, migmatita y pequeños intrusivos de granodiorita, han sido agrupadas dentro del Neis de Bucaramanga (PEb) que aflora en el bloque montañoso ubicado al nororiente del sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta conformando un gran volumen rocoso conocido con el nombre de Macizo de Santander.

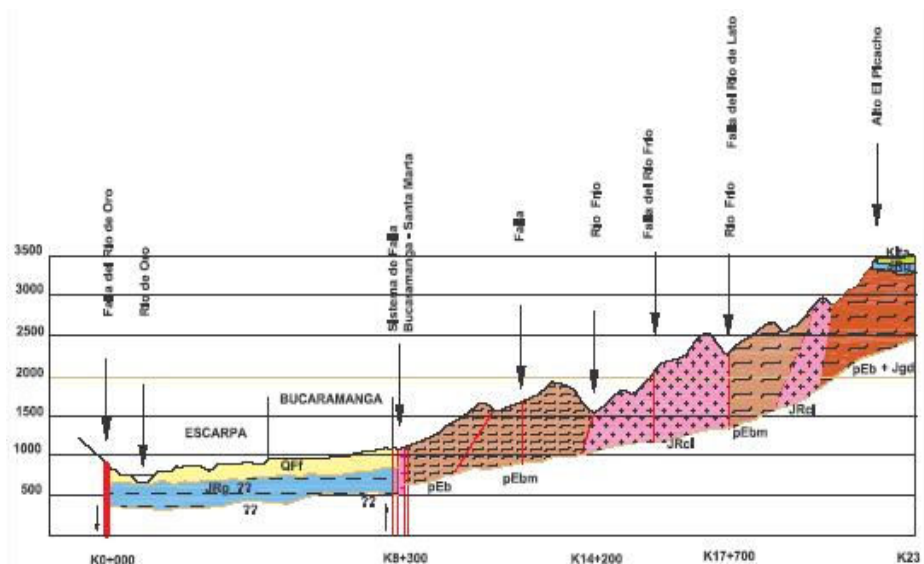
Afloramientos de rocas metamórficas aparecen en pequeñas franjas al oriente y sur-oriente del casco urbano de Piedecuesta, y nororiente de Bucaramanga, asociadas al sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta. Al extremo norte del Área Metropolitana de Bucaramanga afloran también rocas sedimentarias que abarcan una delgada franja de dirección norte sur.

Rodeando el perímetro del Área Metropolitana de Bucaramanga, se presentan extensiones notables de rocas sedimentarias clásticas, de edad Jurásico, conformando la formación Jordán (Jj) ubicada al nor-occidente de Bucaramanga, norte de Floridablanca y alrededores de Piedecuesta. La formación Girón (Jg) se ubica principalmente al occidente del Área Metropolitana de Bucaramanga, nor-occidente de Piedecuesta y Norte de Floridablanca constituyendo en su mayor

parte, el basamento que subyace los depósitos aluviales sobre los cuales está construida la ciudad de Bucaramanga.

Suprayaciendo las rocas anteriores se presentan depósitos detríticos de edad Cuaternaria. Estos son los materiales geológicos más importantes, ya que cubren más del 60% del área y sobre estos se encuentra construida gran parte de la ciudad de Bucaramanga y las poblaciones de Girón, Floridablanca y Piedecuesta. Los depósitos Cuaternarios están formados por bloques, cantos, gravas, arenas, limos y arcillas, mezclados en proporciones variables, provenientes en su mayor parte de la acción denudatoria sobre las rocas del Macizo de Santander. Entre estos materiales se destaca el gran depósito de la formación Bucaramanga conformada de base a techo por el miembro Órganos (Qbo), miembro Finos (Qbf), miembro Gravoso (Qbg) y miembro Limos Rojos (Qblr). Las características de las diferentes unidades geológicas, de la más antigua a la más reciente, se presentan a continuación.

Figura 6. Corte geológico del Área Metropolitana de Bucaramanga



5.2. ROCAS METAMÓRFICAS

5.2.1. Neis de Bucaramanga (PEb).

Conjunto de rocas cristalinas de edad Precámbrico que aflora al oriente del Área Metropolitana. Se localiza al oriente del sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta, los mejores afloramientos se encuentran al oriente del cementerio Las Colinas, el barrio Pan de Azúcar, sobre la vía que conduce a las antenas de RCN, al oriente del barrio Los Alares y en la vía que conduce a la vereda Vericute (municipio de Floridablanca).

Dicha unidad forma parte del Macizo de Santander, el cual se distingue por presentar relieve marcadamente sobresaliente por su elevada topografía, pendientes abruptas (entre 25° y 40°) y un patrón de drenaje dendrítico a subdendrítico y subparalelo, consta de rocas metamórficas de alto grado, con fábrica orientada y textura gruesa a media. Está compuesta, principalmente, de neis semipelítico, neis hornbléndico, anfibólita y esquisto; cerca a los planos de las fallas principales. También se detectan pequeñas cantidades de mármol.

Se encuentran dos tipos de neis: Uno de color blanco a rosado, constituido esencialmente por plagioclasa, cuarzo y feldespatos potásicos. Debido a su aspecto masivo y a la ausencia de estratificación, suponen un origen ígneo intrusivo primario y lo clasifican como Ortoneis. El otro es un paraneis, de color gris verdoso y alternancia de bandas máficas, principalmente anfibólicas y bandas félsicas cuarzofeldespáticas.

De los minerales constituyentes el único que se conserva casi inalterado es el cuarzo y la muscovita; esta última se presenta en láminas muy finas. Los

feldespatos y ferromagnesianos, por lo general, se encuentran en estado de meteorización alta.

La mayoría de afloramientos del Neis de Bucaramanga se encuentran parcialmente saprolitizados, en estado de meteorización entre moderada y alta. Esta unidad litológica, en especial dentro de una franja aproximada de unos 500 metros paralela al sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta, se presenta intensamente fracturada y es altamente susceptible a fenómenos de remoción en masa que involucran saprolito y fragmentos de roca de tamaño diverso. Los desprendimientos ocurren en las laderas o cortes de talud y la roca superficial descompuesta es variable en espesor, con un promedio entre 3 y 8 metros.

Hacia el oriente del sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta, y sobre las cotas alrededor de 1400 y 1600 m.s.n.m, el Neis de Bucaramanga se presenta intruído por una masa de origen ígneo denominada Cuarzomonzonita de La Corcova (JRcg). Ward et al. (1973), le han asignado al Neis de Bucaramanga una edad de 940-945 m.a, debido a que puede reflejar el ciclo de Orogenia del Pre-Cámbrico.

5.3. ROCAS ÍGNEAS

5.3.1. Cuarzomonzonita de la Corcova (JRcl).

Ocurre hacia la zona nororiental, en el sector de La Corcova sobre la vía Bucaramanga - Pamplona y al norte de la población de Piedecuesta, formando la masa principal del plutón de la Corcova. Se caracteriza por desarrollar una morfología abrupta con colinas alargadas donde se observa un drenaje dendrítico.

Esta unidad se encuentra bastante fracturada y cizallada, se presenta en algunos sectores como Diques y masas pequeñas. En estado poco alterado la

cuarzomonzonita se observa de color gris, de grano fino a medio, equigranular, de textura sacaroide, con biotita uniformemente diseminada. Esta roca al meteorizarse pasa a un material areno arcilloso de colores gris claro y gris amarillo y de consistencia media; cuando es masiva se altera en forma esferoidal (en cebolla). En sección delgada la textura es cenomórfica a subhidiomórfica granular aplítica. La roca esta compuesta de 30 a 35% de cuarzo, 25 a 45% de plagioclasa zonada, 30 a 45% de feldespato de potasio predominantemente microclina, 3% de biotita y trazas hasta de 2% de moscovita. Los accesorios son: Apatito, oxido de hierro y Zircón, los productos de alteración son clorita, epidota y sericita.

5.3.2. Cuarzomonzonita Santa Bárbara (JRcg).

Aflora en el sector oriental de los barrios Álvarez, Cabecera y el conjunto residencial Montearroyo, en Bucaramanga. Los mejores afloramientos observados de esta unidad están sobre la quebrada La Flora, donde se encuentra asociado con el Neis de Bucaramanga, también se encuentra expuesta al sur-occidente de Morrórico, al norte y nororiente del Área Metropolitana y como una franja de dirección noroeste que corta la quebrada La Vega, la cual se une con la quebrada La Loma en el extremo norte del área.

La geomorfología es muy semejante a la del Neis de Bucaramanga, reconociéndose lomos, escarpes y depósitos de ladera asociados. Macroscópicamente es de grano grueso, inequigranular, rosado, naranja y gris violáceo, con textura hipidiomórfica. La oligoclasa y albita se presentan ligeramente zonadas, subtabulares y equidimensionales.

En inmediaciones de la quebrada La Flora, esta compuesta de feldespato potásico, rosado, naranja a rojo grisáceo, plagioclasa blanca, cuarzo gris y en menor proporción biotita. Al nororiente del área, dos de estos cuerpos ígneos

están conformados por cuarzomonzonita gris, de grano fino a medio, equigranular, textura sacaroide y biotita diseminada uniformemente. Esta cuarzomonzonita es de color gris cuando está fresca pasando a gris brillante y gris amarillenta al meteorizarse.

En general el complejo ígneo metamórfico se encuentra ampliamente meteorizado, formando suelos lodoarenosos, de color amarillo a naranja, de mediana plasticidad con espesores que alcanzan hasta los 4 metros.

5.4. ROCAS SEDIMENTARIAS

5.4.1. Formación Bucaramanga.

Se trata de un importante depósito sedimentario de edad Cuaternaria que morfológicamente corresponde a un abanico aluvial erosionado, sobre el cual se ubica el casco urbano de la ciudad de Bucaramanga. Este abanico limita al nororiente y oriente con el Macizo de Santander, al nor-occidente y occidente con el cerro de Palonegro y el río de Oro, y al sur con la Mesa de Ruitoque abarcando una extensión aproximada de 60 a 80 km².

El espesor del depósito aumenta de oriente a occidente y aunque el valor real de éste se desconoce, siendo actualmente motivo de investigación, algunos cortes geológicos permiten estimar, en los sectores más profundos, valores promedios cercanos a los 250 m.

La formación Bucaramanga se divide en los siguientes niveles (De Porta, 1958):

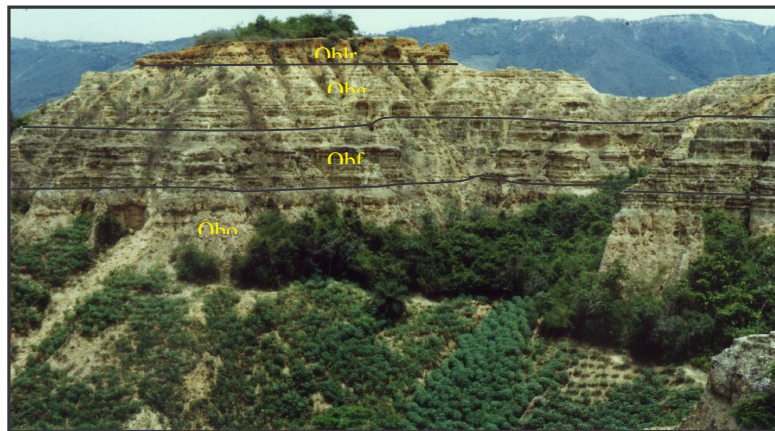
a) un paquete inferior con más de 150 m de espesor, conformado por niveles discontinuos de gravas, clasto soportado, con lentes arenosos intercalados.

b) una capa relativamente delgada de 10 a 18 m de espesor, ubicada en la parte intermedia a alta, compuesta de sedimentos arcillosos, la cual se extiende por una buena parte de la terraza.

c) un nivel superior de 8 a 15 m de espesor, constituido por una mezcla de fragmentos angulares gruesos y finos arenosos.

Algunos trabajos recientes proponen 5 miembros definidos de base a techo como: Calcáreo, Órganos, Finos, Gravoso y Limos Rojos. el denominado miembro Calcáreo forma parte del miembro Organos; por lo tanto, teniendo en cuenta las clasificaciones hechas por Hubach (1952) y Niño y Vargas (1993), se propone dividir la formación Bucaramanga, de base a techo, en los siguientes miembros: miembro Organos (Qbo), miembro Finos (Qbf), miembro Gravoso (Qbg) y miembro Limos Rojos (Qblr).

Figura 7. Panorámica de los miembros Formación Bga, Tomado de Estudio de Microzonificación Sísmica Ingeominas, Pág.22



Tomado de Estudio de Microzonificación Sísmica Ingeominas, Pág.22

5.4.1.1. Miembro Órganos (Qbo).

Aflora en las laderas y escarpes de la parte occidental de la Meseta de Bucaramanga y el Área Metropolitana, en los alrededores del municipio de Girón, anillo vial, en las estribaciones de la parte norte de la mesa de Ruitoque y en los

cortes de la carretera que comunica la población de Girón con la ciudad de Bucaramanga. Los mejores afloramientos donde se puede observar casi toda la secuencia se presentan en una extensa área sobre el escarpe occidental del Abanico de Bucaramanga, su espesor podría superar los 180 m.

Se caracteriza por erosionarse fácilmente, formando surcos, cárcavas y tierras malas que dan formas de estoraques que alcanzan alrededor de 15 m de altura.

Los niveles de aspecto “conglomerático” conforman depósitos de gravas y bloques, débilmente consolidados, clasto soportados (60%) y grano soportados (40%), dispuestos en forma de capas gruesas a muy gruesas, con espesores hasta de 15 m. El tamaño de los cantos varía entre 10 y 30 cm, alcanzando bloques mayores de 1 metro de diámetro. Estos se componen en su mayoría de areniscas silíceas de grano medio, bien cementadas y en menor proporción de fragmentos de rocas ígneas ácidas de textura fanerítica, neis micáceo de color amarillo a rosado, areniscas lodosas rojizas de grano fino y alto contenido de micas, cuarzo lechoso, lilitas y cherts.

5.4.1.2. Miembro Finos (Qbf).

Se ubica estratigáficamente entre el nivel inferior de la Formación Bucaramanga (Miembro Órganos) y el nivel superior (Miembro Gravoso) en planos paralelos. Es una extensa capa lenticular horizontal, más o menos continua, de unos 15 m de espesor promedio, donde alternan niveles arcillosos, limoarenosos y arenolimosos, de colores gris verdoso

La secuencia del miembro Finos se puede dividir en dos conjuntos:

1) Conjunto Arcilloso: Localizado hacia la base, se caracteriza por ser arcillolimoso, masivo, de colores grises a verdes, con estratificación plana paralela, en

donde el espesor varía ampliamente, como en el barrio el Porvenir (9 m) y cuchilla de Palomitas (2 m).

2) Conjunto Arenoso: Se localiza hacia el techo, donde muestra una alternancia de niveles arenolimosos con niveles limoarenosos arcósicos de colores amarillento a pardo amarillento. Hacia la base de este conjunto predominan costras y un nivel arcilloso pardo oscuro. En la cuchilla Palomitas solo se observan las arcillas grises a verdes en contacto erosivo con el suprayacente miembro Gravoso (Qbg).

5.4.1.3. Miembro Gravoso (Qbg).

Ubicado sobre la escarpa occidental y norte de Bucaramanga, también conforma los escarpes superiores de la parte alta del nacimiento de la quebrada La Iglesia, en los alrededores de los barrios Lagos del Cacique, Diamante II y San Luis. Otras secciones importantes se localizan en los barrios La cumbre, La Feria, Polvorines, Don Bosco y la vía a Café Madrid.

Su espesor varía entre 8 y 30 m; presenta niveles gravosos, gravoarenosos y gravolodosos. Los cantos son, en su mayor parte, tamaño grava de diámetro promedio 15 cm y bloques de roca, en menor cantidad, hasta de 0,8 m de diámetro, subangulares a subredondeados, en matriz areno-arcillo-limosa, color pardo rojizo, rojizo y ocre pálido; en general el depósito es matriz soportado, aunque localmente se presenta clasto soportado. El contacto inferior con el miembro Finos es neto, continuo y suavemente ondulado y el contacto superior con el miembro Limos rojos es gradacional.

Los cantos están compuestos en su mayor parte por rocas metamórficas-ígneas del Macizo de Santander, y areniscas cuarzosas, areniscas limosas y limolitas moradas de las Formaciones Girón y Jordán. La matriz, por su parte, es de

composición cuarzo-feldespática micácea (cuarzo, plagioclasa, láminas de muscovita), de consistencia media y de baja cohesión.

5.4.1.4. Miembro Limos Rojos (Qblr).

Este miembro se localiza en el sector urbanizado de Bucaramanga, aunque no en forma uniforme y se continúa hacia el sur, hasta el sector norte del municipio de Floridablanca.

Geomorfológicamente este miembro constituye lo que anteriormente se denominaba como “Meseta de Bucaramanga”, con relieve semiplano y pendientes entre 2 y 7%; el drenaje es escaso paralelo y superficial. Esta constituido por arenas arcillosas gravosas y limos de colores rojizos, amarillentos y naranjas. Se observa la presencia esporádica de bloques angulares de arenisca asociados superficialmente a este miembro; estos cantos pueden estar embebidos dentro de limos rojos y se caracterizan por estar meteorizados. La parte mas superficial de este miembro se encuentra altamente meteorizada, formándose en algunos sectores niveles de oxidación que le ayudan a incrementar su compactación y resistencia a la erosión.

6. HIDROQUIMICA DE AGUAS SUBTERRANEAS

Las aguas subterráneas se clasifican con el fin de establecer su composición química a partir de su interacción con el medio que la contiene, el área del conocimiento que se dedica a dicho estudio se le conoce como hidroquímica (Hidrogeoquímica), la cual relaciona los aspectos químicos de las aguas subterráneas con la geología de la zona donde se encuentren. Esta relación se podría aprovechar para establecer distintos usos, como pueden ser el doméstico, industrial o agrícola. Diferenciando que no se va hablar de calidad de agua, ya que al hablar de calidad estaríamos condicionado el uso que se le de a la misma, además, las características deseables o permisibles varían sustancialmente a las que vamos a desarrollar en el proyecto.

La caracterización hidroquímica de las aguas subterráneas estudia la relación existente entre las distintas variables fisicoquímicas, su distribución espacial y la evolución hidroquímica temporal. El manejo y estudio del análisis químico puede simplificarse con el empleo de gráficos y diagramas en especial cuando se trata de hacer comparaciones entre varios análisis de agua de un mismo lugar en épocas diferentes o de diferentes lugares, entre los diagramas más utilizados se encuentran los diagramas Triangulares (Piper o Triangular Modificado), de columnas verticales (Collins) y logarítmicos (Schoeller), los cuales utilizaremos para nuestra investigación.

6.1 METODOLOGIA DE TRABAJO

Para determinar las características hidroquímicas de las aguas en la zona de estudio se plantea un programa que se dividió en cuatro (4) etapas las cuales se describen a continuación:

Etapa 1: Muestreo Piloto

Diseño de un programa preliminar de muestreo el cual permita plantear una técnica de seguimiento basados en el conocimiento que actualmente se tiene del sistema acuífero superficial de Bucaramanga y sus alrededores, sin descartar algunos puntos accesibles al acuífero inferior. Conocimiento aportado por proyectos anteriores tales como Isótopos Estables Cuantificación y Localización de la Recarga del Acuífero (Informe de Avance Muestreo Isotópico, Conciencias 2003), proyecto realizado por el **GPH** (Grupo de predicción y Modelamiento Hidroclimático) de la UIS.

El cual analizara aguas lluvias, manantiales, pozos profundos, cisternas y especialmente piezómetros entre la formación ígneo-metamórfica al oriente de la ciudad y el sistema de drenes a lo largo de la escarpa nor.-occidental y occidental de la meseta. En el programa preliminar de muestreo se medirá in situ los parámetros pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura, salinidad, que son medidos por la sonda EIJKELKAMP de propiedad del **GPH** (grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático).

El diseño del programa consta fundamentalmente de un muestreo piloto sobre 50 puntos definidos con anterioridad y localizados espacialmente de forma tal que se encuentren dentro de la supuesta disposición del flujo en la zona, esto con el fin de lograr una distribución de los parámetros a medir con la sonda.

Etapa 2: Sectorización

Después de realizado el muestreo piloto se analizaran los resultados obtenidos con el objetivo de dividir la zona en sectores de características similares de

acuerdo a los rangos que se observen, para luego tomar un punto representativo de cada uno de estas.

Etapa 3: Seguimiento

Con base a lo obtenido en la etapa anterior se realizara un seguimiento a dichos puntos con pruebas periódicas de 3 veces por semana durante 2 semanas para dos periodos (invierno y verano). Luego se procederá a analizar la variabilidad temporal de los parámetros recopilados y se escogen los puntos para la línea de caracterización, dicha línea por lo menos debe de tener tres puntos. La frecuencia de toma de muestras en línea dependerá de la fluctuación en los resultados, pues si esta es baja solo se procederá a tomar una muestra, de lo contrario se tomaran dos o máximo tres.

Etapa 4: Caracterización Hidroquímica

Las muestras recolectadas en cada periodo para la conformación de la línea serán enviadas al laboratorio para ser analizadas con el fin de encontrar los siguientes iones fundamentales (Calcio Magnesio, Potasio, Sulfatos, Cloruros, Nitratos, Hierro, Bicarbonatos y Carbonatos).

Para luego dar inicio a la tabulación y diagramación de resultados, y brindar una idea clara del comportamiento específico del acuífero en estudio y empezar a estructurar los diferentes matices de la naturaleza hidroquímica del agua subterránea dentro de la zona de influencia del proyecto, desarrollando los diferentes aportes y conclusiones del proyecto. El programa servirá como base a estudios de muestreos más especializados, debido a la inherencia de los parámetros hidrogeoquímicos.

6.2. MUESTREO PILOTO

Para el proyecto se definió una red de cincuenta (50) puntos, los cuales incluyen cisternas, pozos profundos, manantiales, drenes y piezómetros. Seleccionados de forma tal que abarcaran lo más representativamente el área de estudio. Para la selección también se tuvo en cuenta la información existente de los puntos. Como son facilidades de acceso, características físicas, y trabajos relacionados con el tema.

Puntos De Muestreo

A continuación se relacionan los puntos seleccionados par el programa de muestreo:

Tabla 1. Puntos de Muestreo Precipitación

No.	CÓDIGO LOCAL	LOCALIZACIÓN	ALTURA	COORDENADAS	
				ESTE	NORTE
1	Centro	Cra 24 #31 -110	960	1105692	1279537
2	Estación UIS	UIS	1018	1105933	1281632

Tabla 2. Puntos de Muestreo Manantiales

No	CÓDIGO LOCAL	LOCALIZACIÓN	ALTURA m.s.n.m	COORDENADAS	
				ESTE	NORTE
1	Qda. La Flora	Lavadero Morrórico	1160	1107521	1280726
2	Qda. La Aurora	Km. 7 + 400 Vía a Cúcuta	1380	1109566	1279477
3	Qda. La Cascada – Zapamanga	Km. 11 + 100	1580	1110284	1278577
4	Afloramiento	Enfrente Conucos	930	1106934	1277488

5	Nacimiento Qda. El Carmen	Transversal Oriental	964	1109350	1274956
6	Qda Suratoque	Transversal Oriental	946	1109945	1274814
7	Nacimiento (fisura) Qda la Malaña	Vereda La Malaña	1250	1107099	1281850
8	Afloramiento	Parque de las Orquídeas	1025	1105692	1279537
9	Afloramiento El Lago	Lagos del Cacique	1015	1107987	1277026
10	Formación Diamante	Barrio La Esmeralda	974	1109279	1275887
11	El Diviso	Km 18+300 Vía Cúcuta	1780	1112352	1277912
12	Manantial	Km 32+300 Vía Cúcuta	2420	1117842	1280952
13	Qda. Providencia	Km. 33 Vía Cúcuta	2485	1118493	1279608

Tabla 3. Puntos de Muestreo Piezómetros

No.	CÓDIGO LOCAL	LOCALIZACIÓN	ACUIFERO	Nivel del Agua mts	ALTURA	COORDENADAS	
						ESTE	NORTE
1	Piezómetro Albania	Al norte Barrio el Jardín	S	1.8	1027	1107449	1279329
2	Piezómetro Pan de Azúcar S	Barrio Bajos de Pan de Azúcar	S	10	1045	1107869	1279050
3	Piezómetro Pan de Azúcar I	Barrio Bajos de Pan de Azúcar	I	6.75	1045	1107869	1279050
4	Piezómetro la Flora S	Parque La Flora	S	0.42	960	1107254	1278242
5	Piezómetro la Flora I	Parque La Flora	I	33.3	960	1107254	1278242
6	Piezómetro	B, Buenavista K5 Vía Cúcuta	S	5.71	960	1108466	1280481
7	Piezómetro Somascos 1	Congregación padres Somascos	S	3.3	825	1105350	1282260
8	Piezómetro Somascos 2	Congregación padres Somascos	S	1.43	825	1105350	1282260
9	Piezómetro Somascos 3	Congregación padres Somascos	S	1.44	825	1105350	1282260

Tabla 4. Puntos de Muestreo Pozos

No.	CÓDIGO LOCAL	LOCALIZACIÓN	ACIUFERO	PROF. mts	ALTURA	COORDENADAS	
						ESTE	NORTE
1	Terpel – Chimitá	Pozo Artesiano Terpel	I	-	690	1100750	1277520
2	Jardín La Colina	Cementerio la Colina	C	24	1080	1108271	1278069
3	Estación Servicio Oriental Transportes	Estación Oriental de Transportes	I	6	945	1108407	1275466
4	San Pío	Parque San Pío	C	15	980	1106934	1279032
5	Autolavado Calle 48	Calle 48 #32-67	I	15	976	1106794	1278819
6	Autolavado San Francisco	Bulevar Bolívar Cra 21 Esq.	S	12	961	1105167	1280528
7	Pozo Estación Colombia	Cr24 #32-24	S	12	965	1105775	1279615
8	Pozo Estación Terpel	Av Qbda Seca Con Cr 19	S	12	960	1105167	1279556
9	Pozo Llanograde	Vía Zapatoca, Hda Llanograde	S	7.81	680	1100736	1268301
10	Pozo Pretecor	Vía P/cuesta Km 10	S	24	1000	1100963	1269826
11	Pozo Norte	Padres Somascos	C	3.4	825	1105350	1282260

Tabla 5. Puntos de muestreo Drenes

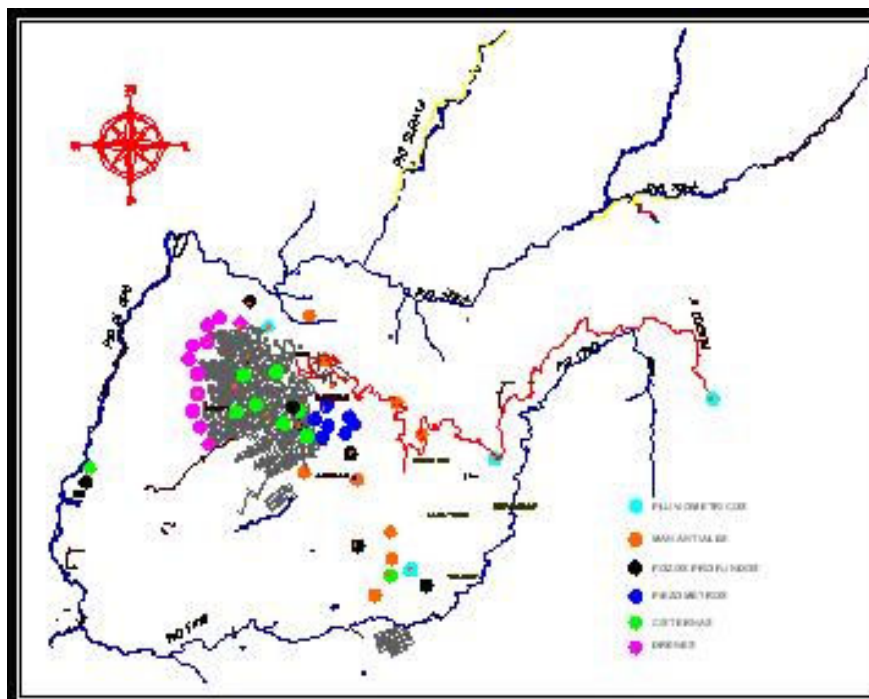
No.	CÓDIGO LOCAL	LOCALIZACIÓN	ALTURA	COORDENADAS	
				ESTE	NORTE
1	D. Nazareth #25	Vivero Nazareth	880	1104190	1281150
2	D. Independencia	Barrio Independencia Lavadero	885	1105090	1281620
3	D. Argelia	Dren Barrio Argelia	880	1103920	1279722
4	D. Rosita # 23	Vivero La Rosita	875	1105232	1278888
5	D. Las Navas	Qda. Las Navas	880	1104137	1280015
6	D. Cuyamita	Qda. Cuyamita	880	1103639	1278976
7	D. La Colina pf30	800m Vía La Colina	1005	1107627	1277569

Tabla 6. Puntos de muestreo Cisternas

No.	CÓDIGO LOCAL	LOCALIZACIÓN	ACUIFERO	PROF (mts)	ALTURA	COORDENADAS	
						ESTE	NORTE
1	Lavadero la Rosita	Avenida La Rosita Con 21	S	4,65	950	1105797	1278650
2	Lavadero la Cumbre	Cisterna Barrio La Cumbre	S	3,28	1000	1109014	1273923
3	Cisterna	Barrio Galán	S	3,59	650	1100103	1277165
4	Lavadero Splash Car	Av. Qda. Seca #19-70	S	12	963	1105330	1279611
5	Lavadero Rupilisto	Cll 56 #17-30	S	10	935	1105882	1277820
6	Lavadero El Mejor	Cll 56 #17A-21	S	10	935	1105829	1277791

Todos estos puntos se encuentran demarcados en el mapa general.

Figura 8. [Mapa General](#)



Se tomaron las 50 muestras representativas analizadas en campo con la sonda multiparámetro EIJKELKAMP 18.28 de propiedad del grupo GPH, todo esto siguiendo las especificaciones del protocolo para toma de muestras. Dichas muestras fueron tomadas entre el 17 de Abril y el 3 de Mayo del año 2004 lapso en el cual la pluviosidad de la zona se encontraba elevada. Los resultados de los datos obtenidos se encuentran dispuestos en la siguiente tabla: **Tabla 7 Muestreo Piloto** (Pág.136)

6.3. SECTORIZACIÓN

A Partir de la información de la etapa anterior se procedió a realizar un análisis detallado del comportamiento de los parámetros obtenidos en campo (pH, Redox, Electroconductividad, Salinidad, Oxígeno Disuelto), para tal efecto se utilizaron dos tipos de análisis uno estadístico y otro conceptual, los cuales se describen a continuación.

- **Análisis Conceptual:** aquí se relacionaron las diferentes variables haciendo grupos de modo conceptual, para ello se hicieron una serie de mapas con cada uno de los parámetros analizados ajustándoles rangos predeterminados, en los cuales se observan sectores con valores homogéneos. Ver mapa 1, mapa 2, mapa 3, mapa 4, mapa 5, mapa 6.

Como resultado del análisis podemos notar como las propiedades del flujo empiezan a variar de oriente a occidente, determinando tres grandes zonas de comportamiento homogéneo. Las cuales se encuentran localizadas de la siguiente manera:

La zona más homogénea es la oriental o del Neis, aquí se presentan pH altos, temperatura bajas, Oxígeno disuelto un tanto elevados, la salinidad es la mas baja

del estudio junto con su conductividad a diferencia de el potencial Redox el cual es el mas alto, esto debe muy posiblemente a que son aguas superficiales recién depositadas por la lluvia y no han tenido oportunidad de interactuar con la roca, por tal razón no ha habido un intercambio iónico. (Ver mapas 1-6)

Pasamos a la zona de falla donde se observan condiciones intermedias de los parámetros, posiblemente influenciadas por el fracturamiento de la roca en la formación, donde se localizan especialmente piezómetros y manantiales. Sus pH se encuentran en rangos neutros su temperatura presenta valores dentro de los 20 y 23 grados centígrados salvo algunas perforaciones profundas como la colina y oriental de transporte. El oxígeno disuelto no presenta una disposición clara, pero no presenta mayor relevancia en los resultados debido a que en las aguas subterráneas su concentración no supera las 5 ppm, la salinidad sigue siendo baja mientras que en la conductividad se genera un aumento considerable, el potencial Redox se encuentra entre valores medio - alto (Ver planos: [pH](#), [Redox](#), [Conductividad](#), [Salinidad](#), [Temperatura](#)).

En la zona de la formación Bucaramanga se observan pH ácidos, temperatura elevada, Oxígeno disuelto consumido irregularmente posiblemente por contaminación antropica, la concentración de sales es baja del mismo modo el comportamiento de la conductividad salvo algunas excepciones, el potencial Redox se encuentra en su punto mas bajo mostrando una gran diferencia de fase con respecto a nuestra zona anterior probablemente por que durante el recorrido del flujo se obtuvo un intercambio iónico considerable lo cual puede ser un indicador de un cambio drástico en la hidrodinámica del acuífero al pasar por la falla. (Ver planos: [pH](#), [Redox](#), [Conductividad](#), [Salinidad](#), [Temperatura](#)).

- **Análisis Multivariante:** el cual busca transformar una gran cantidad de observaciones en un número menor de puntuaciones compuestas de manera que

reflejen la mayor cantidad de la información contenida en los datos originales. Para estudiar las relaciones entre las distintas variables fisicoquímicas de las muestras analizadas se utilizó el análisis de cluster.

Análisis de Cluster:

Tiene por objetivo la búsqueda de grupos similares de casos o variables, los que van agrupados en conglomerados. El análisis de cluster se les introduce los parámetros de campo, a fin de definir la medida de proximidad entre los individuos y seleccionar el criterio para agrupar los individuos en conglomerados. El parámetro de distancia que gobierna dichos conglomerados es el cuadrado de las distancias euclidianas. Los distintos grupos de variables o casos creados se representan en gráficos llamados dendogramas (Investigación Hidrogeoquímica de Chile, Cap 4, U. Católica Del Norte, Custodio Llamas, Hidrología Subterránea, Cap 10, V1).

Con base en el análisis conceptual y de solo tomar los puntos que me representaran el acuífero superior, de tal forma que los valores de las distancias euclidianas no fuera demasiado grandes, lo cual podría llevar a un error sistemático. Además había que tener en cuenta un registro del tiempo de cada muestreo (día de por medio durante dos semanas) pues era vital saber que capacidad diaria de visita a los puntos se tenía para así elegir el número de conglomerados y por ende el número de sitios a tomar. Dado estos condicionamientos; tenemos que decir que para el análisis de cluster solo se utilizaron los datos correspondientes a aguas subterráneas, los cuales se encuentran consignados en la **Tabla 8 Análisis de Cluster** (Pág.139). Estos datos fueron analizados con la ayuda del programa estadístico Statgraphic 5.1 Plus versión estudiantil y se obtuvieron los siguientes resultados:

Analysis Summary

Data variables:
 Cond
 O2Disuelto
 pH
 Redox
 Salinidad
 TempAgua

Number of complete cases: 24
 Clustering Method: Nearest Neighbor (Single Linkage)
 Distance Metric: Squared Euclidean

Cluster	Members	Percent
1	1	4,17
2	6	25,00
3	16	66,67
4	1	4,17

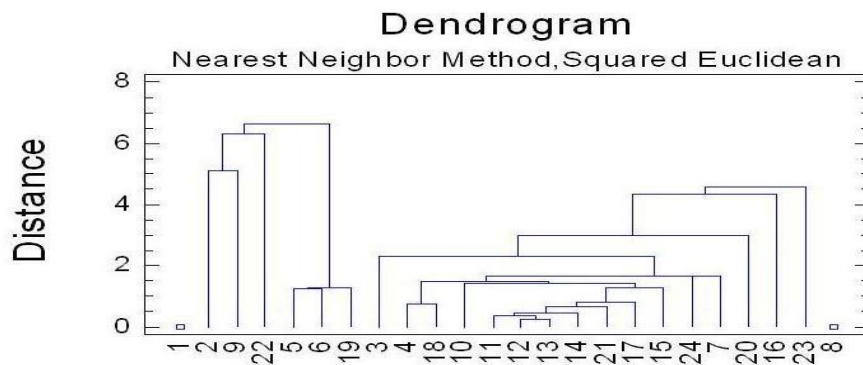
Centroids

Cluster	Cond	O2Disuelto	pH	Redox	Salinidad	TempAgua
1	828,0	0,95	6,73	2,0	444,0	22,1
2	379,167	2,8	7,30667	506,5	202,833	23,4667
3	204,631	2,88125	4,80562	111,313	110,313	24,7875
4	482,0	0,85	6,76	4,0	256,0	25,4

The StatAdvisor

This procedure has created 4 clusters from the 24 observations supplied. The clusters are groups of observations with similar characteristics. To form the clusters, the procedure began with each observation in a separate group. It then combined the two observations which were closest together to form a new group. After recomputing the distance between the groups, the two groups then closest together were combined. This process was repeated until only 4 groups remained. To specify the number of final clusters, press the alternate mouse button and select Analysis Options. To determine a reasonable value for the number of clusters, look at the Agglomeration Distance Plot available from the list of Graphical Options.

Figura 9. Dendrograma del análisis de cluster para la zona



Analizando el dendograma se ilustran dos de las tres zonas en las que se encuentra dividida en forma natural el área de estudio, estas son la de falla (grupo 2 del 2, 9, 22, 5, 6,19) y la sedimentaria (grupo 3 del 3, 4,18,10,11,12,13,14,21,17,15,24,7,20,16,23). El grupo 1 (1 piezómetro Albania) y el grupo 4 (8 Cisterna del lavadero Splash Car) no encajaron por sus valores tan atípico a la zona de falla y sedimentos, respectivamente.

Tabla 9. Puntos del Seguimiento

No.	Tipo	Código Local	Código CDMB	Localización	Zona	T. de Acuífero
1	Dren	Nazareth	#25	B. Nazareth	Escarpa	S
2	Dren	Rosita	#23	Vivero La Rosita	Escarpa	S
3	Cisterna	Servicentro El Mejor		Cll 56 #17A-21	Meseta	S
4	Afloramiento	Qbda El Carmen		Sobre la transversal Oriental	Z. Este	S
5	Piezómetro	Pan de Azúcar 1		B. Pan de Azúcar	Z. S-E	I
6	Piezómetro	Pan de Azúcar 2		B. Pan de Azúcar	Z. S-E	S
7	Manantial	Qda. Providencia		K33+200 Vía Cúcuta	Este	S
8	Afloramiento	La Malaña		Qda. La Malaña	N-E	S

La inclusión del piezómetro pan de azúcar 1 el cual pertenece al acuífero inferior se debió a la decisión de no descartar un posterior seguimiento al realizado en este trabajo y así no desestimar su importancia en el sistema hidrológico subterráneo del área metropolitana de Bucaramanga. El punto del Km 33 fue escogido para observar las características del agua antes de entrar al sistema del acuífero superior.

6.4. SEGUIMIENTO

Con base a los sitios escogidos en la etapa anterior se realizaron dos seguimientos a dichos puntos con pruebas periódicas de 3 veces por semana durante 2 semanas (invierno y verano).

6.4.1. Seguimiento Invierno

Fecha: 17/05/2004 al 28/05/2004

Participantes: GPH - UIS (Grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático).

Apoyo externo: CDMB (Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga)

Vehículos: Propio

Análisis: Todos realizados en campo con la sonda multiparametros EIJKELKAMP de propiedad del **GPH**.

Se muestrearon los 8 puntos más representativos ya seleccionados. Se puede mencionar el trabajo en el aspecto hidroquímico de Duarte, C., López (1989). Agua Subterránea como Posibilidad de Consumo en la Meseta de Bucaramanga. Tesis de grado. UIS.

Todos los muestreos fueron hechos mediante campañas en vehículo, comenzando siempre por la zona de drenes y finalizando en la zona de recarga. Sin embargo, cuando se presentó alguna dificultad este orden podía cambiar y en algunos casos dejar puntos para el día siguiente del programado. Para la última salida se tuvo condiciones ambientales adversas que no permitieron la recolección, teniendo que desistir de dicha campaña, de igual manera el parámetro de oxígeno disuelto no se tuvo en cuenta debido a que este no representa un comportamiento claro del agua, esto partiendo del hecho que su

concentración es poco representativa. Los resultados obtenidos en este periodo se encuentran consignados en la **Tabla 10 Seguimiento Invierno** (Pág.140).

Basados en los resultados obtenidos se construyeron gráficos que me relacionaban los distintos parámetros con el tiempo, con el fin de visualizar cambios representativos durante la etapa de seguimiento, todo esto para determinar el número muestras a tomar durante cada periodo para la línea de caracterización. Los resultados de cada parámetro se muestran a continuación:

Figura 10. pH vs. Tiempo Invierno

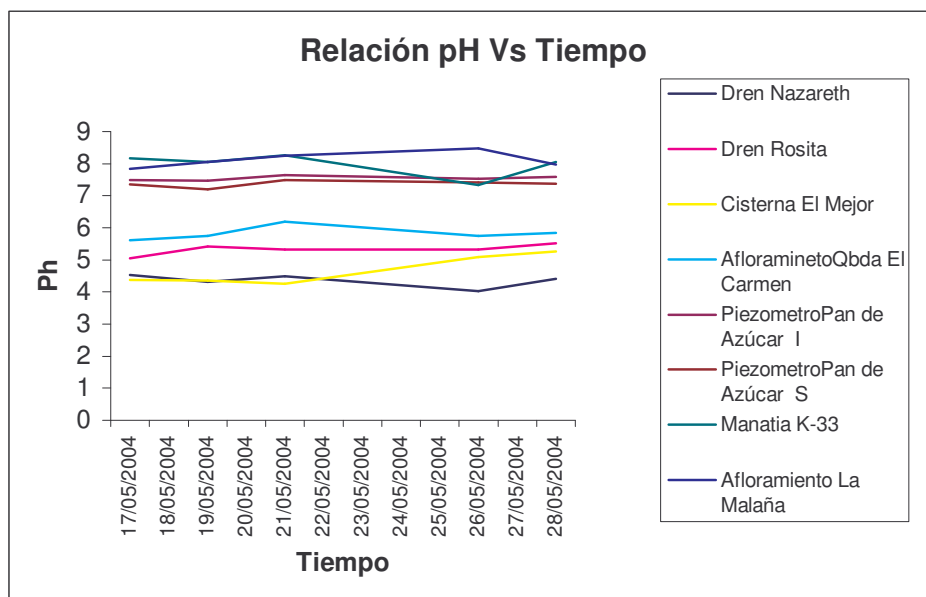


Figura 11. Redox vs. Tiempo Invierno

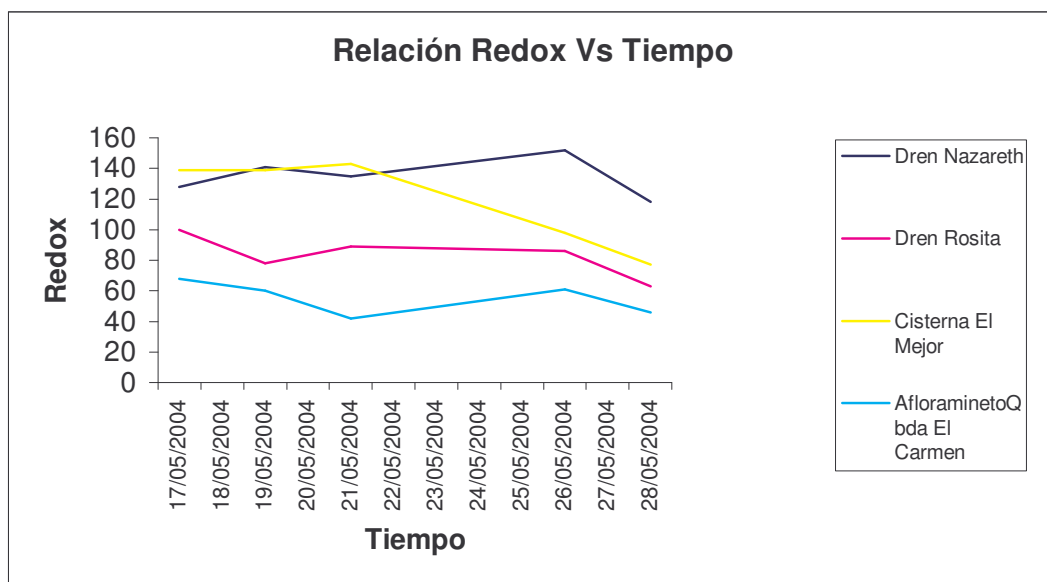


Figura 12. Electroconductividad vs. Tiempo Invierno

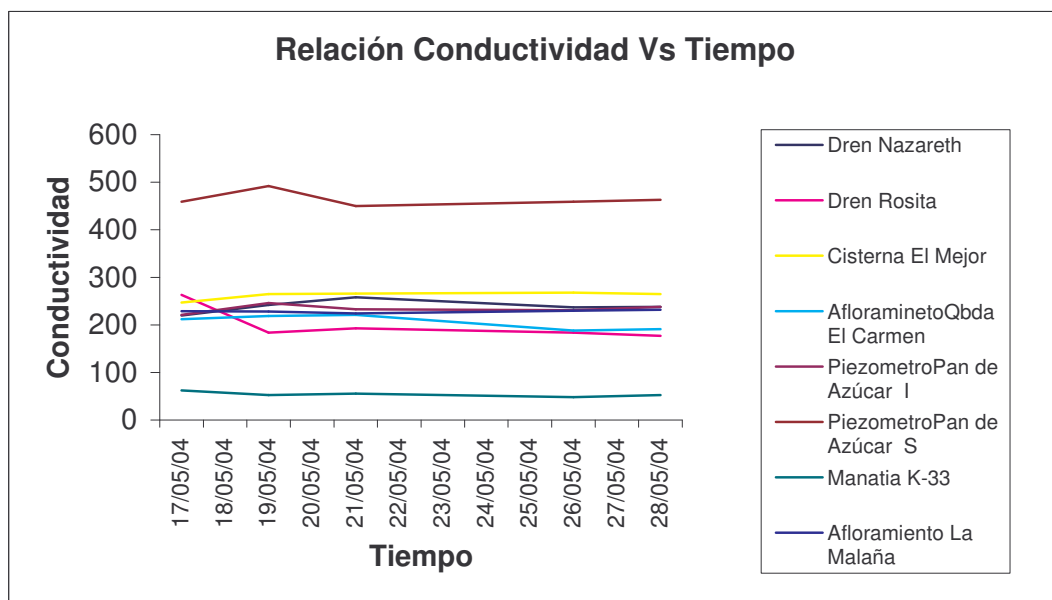


Figura 13. Salinidad vs. Tiempo Invierno

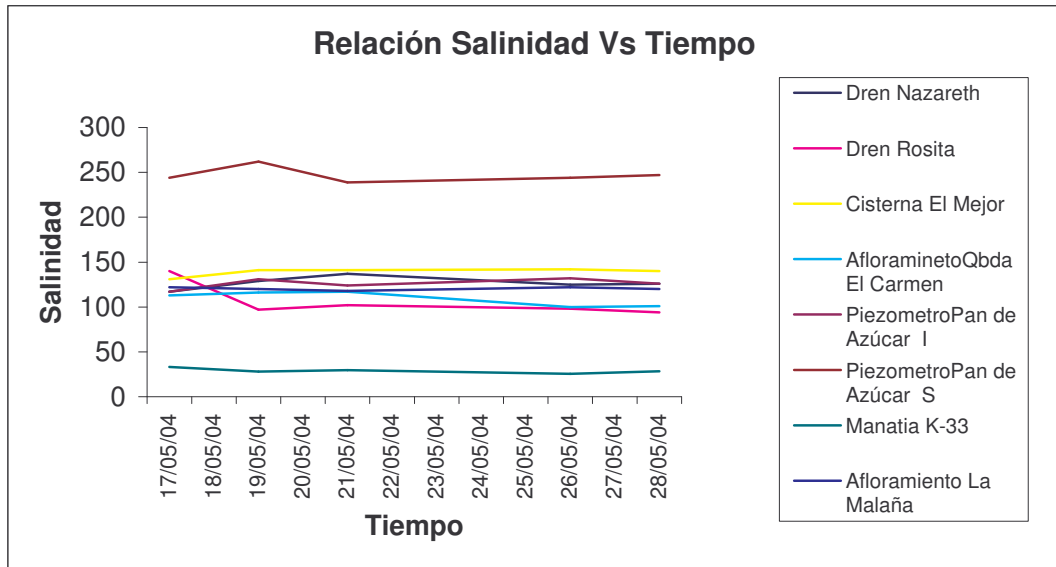
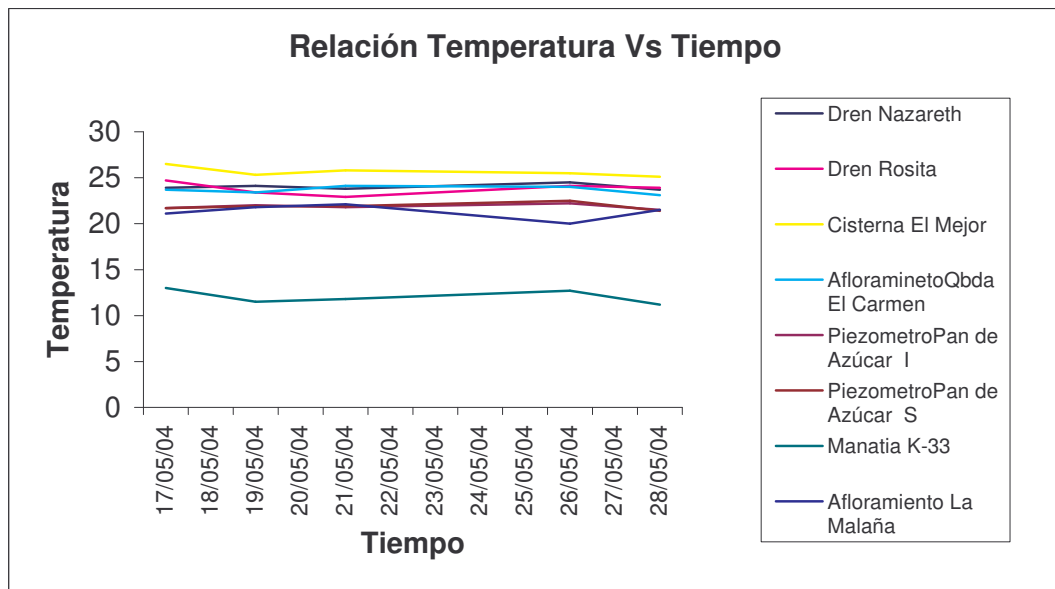


Figura 14. Temperatura vs. Tiempo Invierno



Con los datos recopilados se determinó que el nivel de variación no era lo suficientemente alto, exceptuando el Redox en la zona de falla y de recarga, esto nos permitió decidir que una muestra para la línea de caracterización era suficiente. La toma de las muestras para la primera caracterización se realizó durante este periodo más específicamente el día 25 de junio del 2004, día en el cual también fueron entregadas al laboratorio del CEIAM – Guatigura, para su respectivo análisis de iones principales.

6.4.2. Seguimiento Verano

Fecha: 01/07/2004 al 05/08/2004

Participantes: GPH - UIS (Grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático).

Apoyo externo: Ninguno

Vehículos: Propio

Análisis: Todos realizados en campo con la sonda multíparametros EIJKELKAMP de propiedad del **GPH**.

Se muestrearon nuevamente los 8 puntos más representativos para así tener una variabilidad temporal de los sitios. Todos los muestreos fueron hechos mediante campañas en vehículo, en este caso invertimos las rutas de seguimiento, ahora comenzando por la zona de recarga y finalizando en la zona de drenes. Cabe anotar que este periodo no fue de total ausencia de lluvias, ya que para finales de la primera parte del seguimiento se presentaron una serie de lluvias de consideración, por lo cual los valores de la zona de recarga y próximos a esta, muestran valores un poco más altos de los esperados, pero que al final no fueron tan considerables como se podrá apreciar. La toma de las muestras de la segunda caracterización se realizó durante el final de este periodo más específicamente el día 03 de agosto del 2004, estas fueron entregadas al laboratorio del CEIAM – Guatigura al día posterior, pero ateniéndonos al protocolo de toma de muestras.

Los resultados obtenidos en este periodo se encuentran consignados en la **Tabla 11 Seguimiento Verano** (Pág.143) Con lo datos recopilados se pudo observar que la variación de los parámetros se mostraron más estables, exceptuando el Redox nuevamente en la zona de falla y de recarga. Los resultados de cada parámetro se muestran a continuación:

Figura 15. pH vs. Tiempo Verano

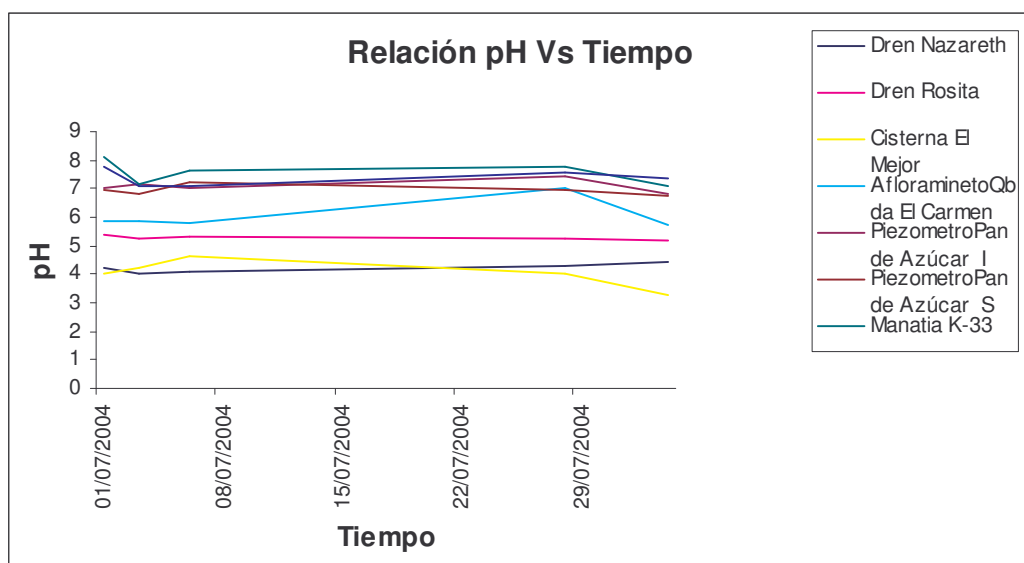


Figura 16. Redox vs. Tiempo Verano

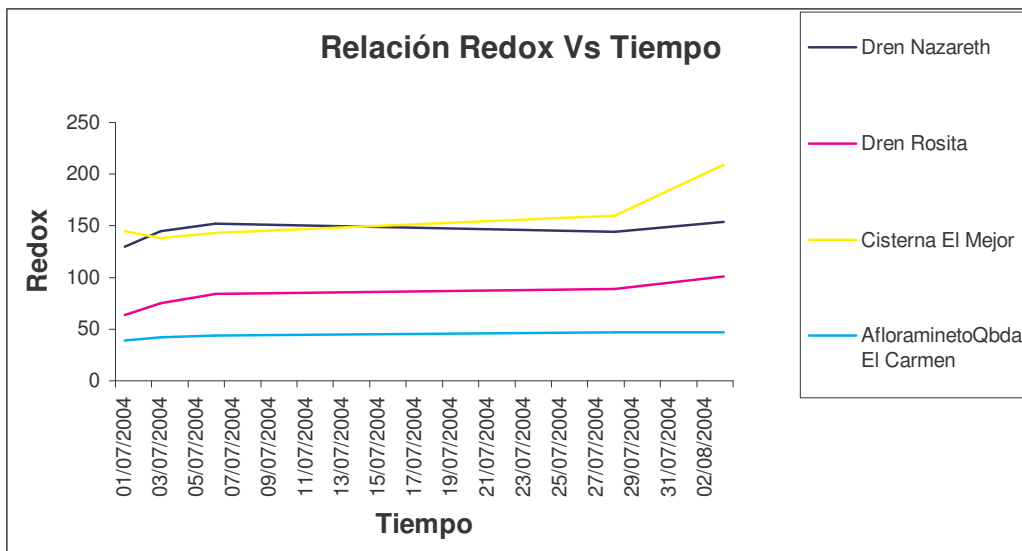


Figura 17. Electroconductividad vs. Tiempo Verano

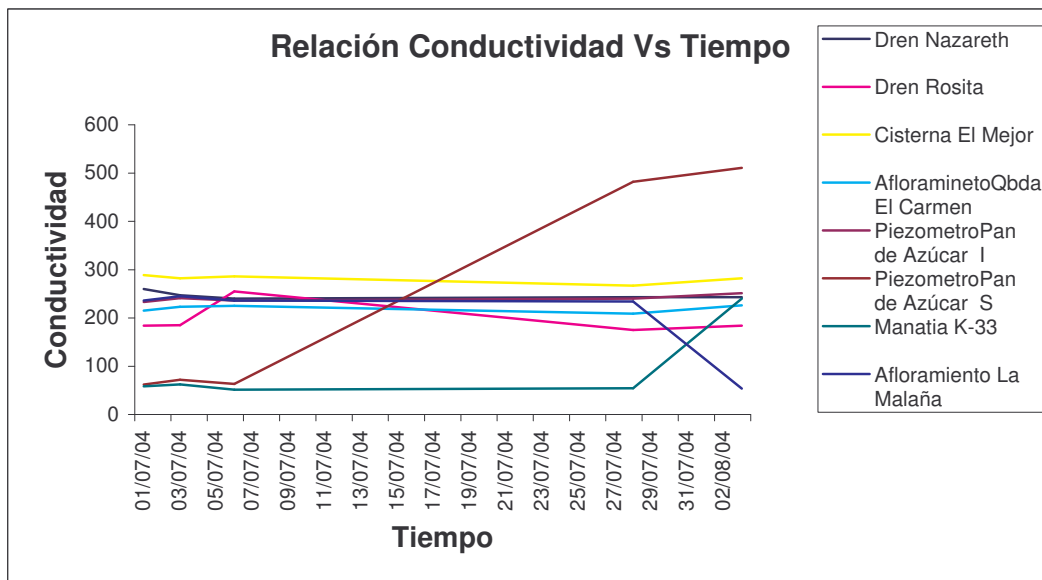


Figura 18. Salinidad vs. Tiempo Verano

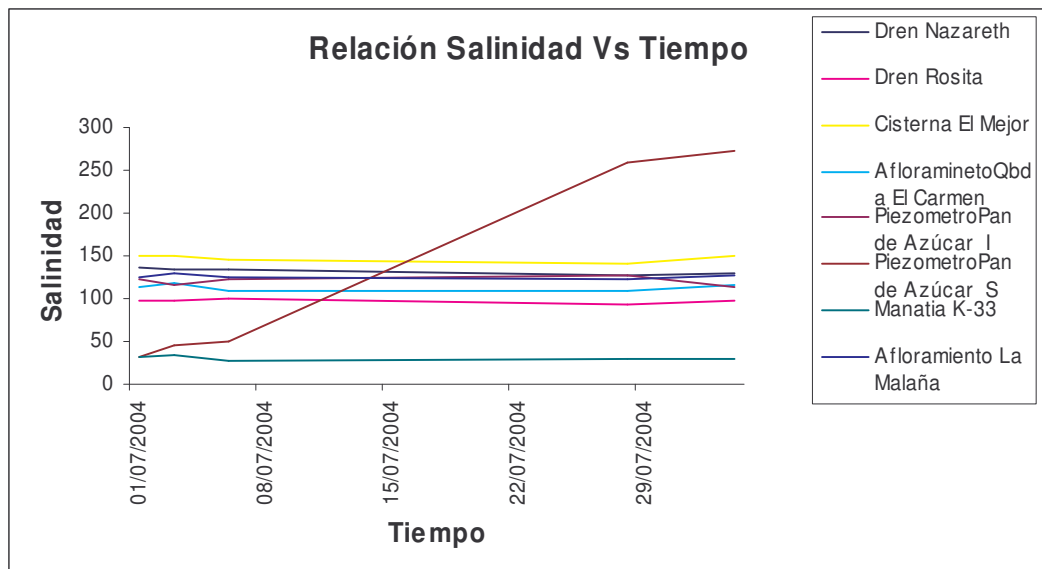
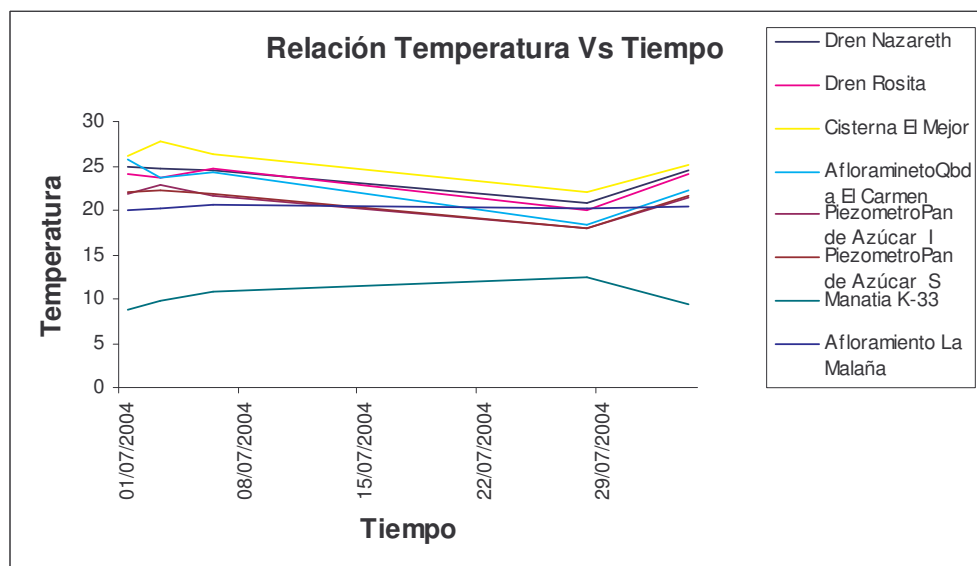


Figura 19. Temperatura vs. Tiempo Verano



El análisis completo del seguimiento en los dos periodos nos deja como resultado un comportamiento muy homogéneo en parámetros tales como la temperatura, salinidad, conductividad y pH en cada una de las tres zonas (recarga, falla y sedimentaria). Se visualiza un fuerte cambio en el Redox de los puntos ubicados en la zona de falla, presumiblemente debido alto grado de fracturamiento que se presenta en la zona haciendo que las velocidades del flujo cambien drásticamente y de forma heterogénea, lo cual puede generar gran interacción química entre la roca y el agua.

Para la sustentación de este concepto nos basamos en lo postulado por Vergara, Otoniel, Tesis de grado UIS, 2003. La cual estipula que todas las fracturas viabilizan en mayor o menor medida la circulación del agua subterránea; por lo tanto también serán conductos para el desarrollo de la meteorización, responsable de la destrucción de la roca original y neoformación de minerales estables en condiciones superficiales. Esto tiene una importancia vital frente al comportamiento del agua subterránea. Si las fracturas afectan rocas compuestas por minerales fácilmente meteorizables, la fractura se verá sellada o taponada con las arcillas neoformadas. Por el contrario, si las fracturas recortan a rocas compuestas por minerales poco alterables éstas permanecerán limpias y abiertas, maximizándose el almacenamiento y la conducción del agua subterránea. Es necesario además que esas fracturas estén conectadas con el ciclo hidrológico para que puedan recargarse con agua.

El otro cambio considerable que se presento fue en la zona de recarga, en el punto de la quebrada providencia (Km. 33 vía Cúcuta), esto se debió a la interacción directa con el agua de precipitación, ya que durante la recolección ocurrieron lluvias con moderada a alta intensidad, lo cual produjo grandes descensos en los valores, esto se debe a que el agua no a entrado todavía a una interacción iónica con el medio, por tal motivo encontramos valores negativos o muy bajos del Redox. Los valores atípicos de salinidad, conductividad,

presentados en el piezómetro de pan de azúcar superior se pueden estar presentando por una recarga local, más no de de la proveniente del acuífero en su totalidad, o en su defecto al posible taponamiento de las rejillas de abastecimiento, lo cual causaría estar tomando aguas estancadas, las cuales no representarían de forma adecuada las características del flujo. El comportamiento a lo largo de los dos periodos se encuentra registrado en **Tabla 12 Seguimiento** (Pág.146) y en las siguientes graficas.

Figura 20. Relación pH vs. Tiempo (Pág.149)

Figura 21. Relación Redox vs. Tiempo (Pág.150)

Figura 22. Relación Conductividad vs. Tiempo (Pág.151)

Figura 23. Relación Salinidad vs. Tiempo (Pág.152)

Figura 24. Relación Temperatura vs. Tiempo (Pág.153)

7. CARACTERIZACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.

El manejo y estudio del análisis químico puede simplificarse con el empleo de gráficos y diagramas en especial cuando se trata de hacer comparaciones entre varios análisis de agua de un mismo lugar en épocas diferentes o de diferentes lugares, para su interpretación se presentaran todos los análisis entres tipos de diagramas estos son los triangulares (Piper), y logarítmicos (Schoeller), los cuales me determinaran la interacción química que existe entre la litología de la zona y al agua. A medida que vayamos desarrollando la investigación iremos dando una breve explicación de cada uno de los diagramas. Además, se realizara una clasificación de las aguas por medio del método del ión dominante (Custodio Llamas, Cáp. 10-3, Pág. 1037, Investigación Hidroquímica U. Católica del Norte, Chile).

Para la caracterización se han tomado las aguas más someras que corresponden generalmente a aguas de menor mineralización (acuífero superior), que las aguas subterráneas más profundas. Para la realización se utilizaran los iones principales y el hierro.

7.1. DETERMINACIONES QUÍMICAS DE LABORATORIO

Los análisis químicos de laboratorio incluyen los iones principales mas hierro. La totalidad de estos análisis fueron realizados en los laboratorios del centro de estudios e investigaciones ambientales de la UIS (CEIAM). Las técnicas analíticas utilizadas para los análisis de laboratorio fueron las siguientes:

Para Fe, Mg, K, Na y Ca Absorción atómica.

Para carbonatos y bicarbonatos titrimétrico.

Cloruros argentométrico.

Nitratos calorimétricos.

Sulfatos turbidimétrico.

Los resultados de los laboratorios se encuentran consignados en las **Tabla 13 Iones Invierno** (Pág.154) y **Tabla 14 Iones Verano** (Pág.155)

7.2. HIDROGEOLOGIA

Para tener una relación lógica del comportamiento hidroquímico del recurso hídrico en estudio es necesario hacer un descripción detalla de los componentes geoquímicos de las diferentes formaciones que se supone atraviesa el flujo. Para ello debemos tomar los componentes litológicos descritos con anterioridad en el capitulo de geología y hallar su mineralogía además de su potencial de intercambio de elementos con el agua. Presentamos a continuación los componentes fundamentales de la geología de la zona.

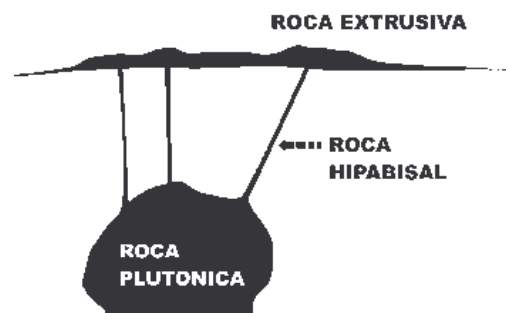
7.2.1 Rocas Ígneas:

Composición Química

La composición química de las rocas ígneas se suele calcular como el porcentaje de los óxidos de los diferentes elementos que los componen. En función de la cantidad de sílice (óxido de silicio), componente más abundante, las rocas magmáticas pueden clasificarse en ultrabásicas, si el contenido en sílice de la roca es inferior al 45%; básicas o alcalinas (según se haga referencia a rocas plutónicas o volcánicas), si su contenido se encuentra entre el 45-52%; intermedias, cuando es entre el 52-65%; y ácidas o toleíticas (refiriéndoas respectivamente a rocas plutónicas o volcánicas), cuando supera el 65%. En

nuestro caso encontramos rocas plutónicas con la siguiente composición, Cuarzomonzonita La roca está compuesta de 30 a 35% de cuarzo, 25 a 45% de plagioclasa zonada, 30 a 45% de feldespato de potasio predominantemente microclina, 3% de biotita y trazas hasta de 2% de moscovita. Los accesorios son: Apatito, óxido de hierro y Zircón, los productos de alteración son clorita, epidota y sericita. Estas son rocas con cantidades de silicio, sodio y potasio crecientes y con una mineralogía en la que predominan los feldespatos alcalinos, los piroxenos sódicos y los feldespatoides.

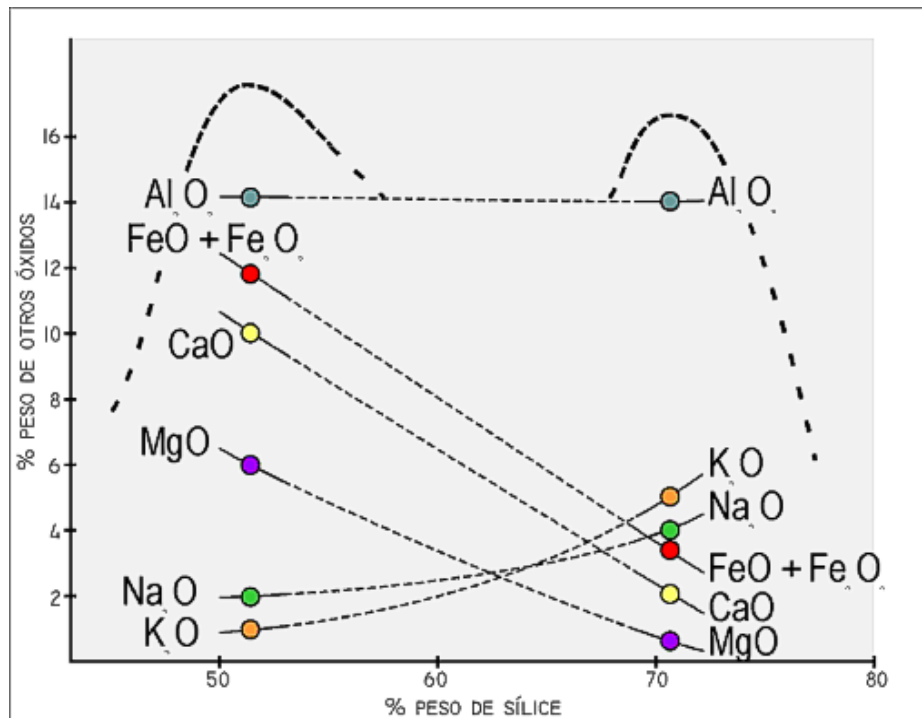
Figura 25. Formación Plutónica



Tomado de www.mineralesyrocas.com

Las rocas ígneas se dividen en básicas y ácidas se basa exclusivamente en el porcentaje de óxido de sílice. De esta manera, serán rocas básicas aquellas con menos de 55% de SiO₂, y ácidas las que posean más del 60% en peso de SiO₂. Otra característica distintiva de las rocas ácidas respecto a las básicas es la presencia de "cuarzo libre" o cristales de cuarzo visibles a simple vista (como en un granito). Los porcentajes presentes en nuestra zona ígnea son menores del 50%, situación que se ve reflejada en lo pH encontrados en las aguas del área. El resto de los óxidos que componen la roca presentan un comportamiento particular respecto al porcentaje de sílice, y sus tendencias pueden ser referidas al mismo. Esto se ejemplifica en la figura siguiente (tomado de www.mineralesyrocas.com):

Figura 26. Relación %de Sílice vs. Otros Óxidos En Rocas Ígneas



- 1) el porcentaje de los óxidos de sodio y potasio aumentan proporcionalmente con el óxido de silicio. Esto se ve reflejado en la mineralogía de las rocas ácidas, ricas en feldespatos potásicos y plagioclasas sódicas.
- 2) Inversamente, los óxidos de hierro, calcio y magnesio disminuyen proporcionalmente con el tenor de sílice. De allí que en las rocas básicas dominen minerales ferromagnesianos como el piroxeno, anfíboles, olivinos, etc.; y las plagioclasas sean más cálcicas.
- 3) El aluminio, sin embargo, permanece aproximadamente constante en ambos grupos de rocas, en alrededor de 14% en peso de las mismas.

7.2.2. Rocas Metamórficas:

Su conformación es de neis semipelítico, neis hornbléndico, anfíbolita y esquistos, mármol. Se encuentran dos tipos de neis: Uno de color blanco a rosado,

constituido esencialmente por plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico; el otro es un paraneis, de color gris verdoso y alternancia de bandas máficas, principalmente anfibólicas y bandas félsicas cuarzofeldespáticas. Además, hay presencia de cuarzo, moscovita, feldespatos y ferromagnesianos. La composición química volumétrica de la roca es invariante y condicionada por la química original de la roca ígnea.

7.2.3. Rocas Sedimentarías:

Existen dos grandes grupos de rocas sedimentarias: las detríticas y las de precipitación química. Otro grupo importante lo constituyen aquellas masas rocosas en las que sus constituyentes son fundamentalmente restos de organismos; estos juegan a veces papeles menos evidentes, pero no por ello menos importantes en la generación de rocas sedimentarias, muchas veces condicionando factores como el pH y eH 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 más o menos fuertemente adheridas por sustancias minerales a las que llamamos cementos. Estas sustancias llenan los vacíos que existen entre las partículas eliminando parcial o totalmente la porosidad inicial.

Tabla 15. Composición química de las principales rocas sedimentarias

Tipo de Roca	Composición Química
Rocas Detríticas	
Arenas	SiO ₂
-areniscas	SiO ₂
Arenas feldespáticas	SiO ₂ y Silicatos

Rocas De Alteración Meteórica	
arcillas silicatos	Silicatos
arcillitas silicatos	Silicatos
Rocas Químicas	
sílex, pedernal	SiO ₂
calizas químicas	CaCO ₃
Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂
Yeso	CaSO ₄ . 2H ₂ O
Anhidrita	CaSO ₄
Halita	NaCl

La zona sedimentaria del Área Metropolitana de Bucaramanga está compuesta de rocas detriticas de la siguiente manera; areniscas silíceas de grano medio del calcáreo, bien cementadas y en menor proporción de fragmentos de rocas ígneas ácidas de textura fanerítica, neis micáceo de color amarillo a rosado, areniscas lodosas rojizas de grano fino y alto contenido de micas, cuarzo lechoso, liditas y cherts. Los cantos están compuestos en su mayor parte por rocas metamórficas-ígneas del Macizo de Santander, y areniscas cuarzosas, areniscas limosas y limolitas moradas de las Formaciones Girón y Jordán. La matriz, por su parte, es de composición cuarzo-feldespática micácea (cuarzo, plagioclasa, láminas de muscovita),

Con todo lo anteriormente descrito podremos relacionar y mostrar de una manera más sencilla, como el aspecto geológico afecta la composición química del agua. Todo esto a través de los distintos diagramas que se presentaran a continuación.

7.3 DIAGRAMAS TRIANGULARES DE PIPER.

Son la representación unificada del comportamiento de los aniones y los cationes, donde, las aguas geoquímicamente similares quedan agrupadas en áreas bien

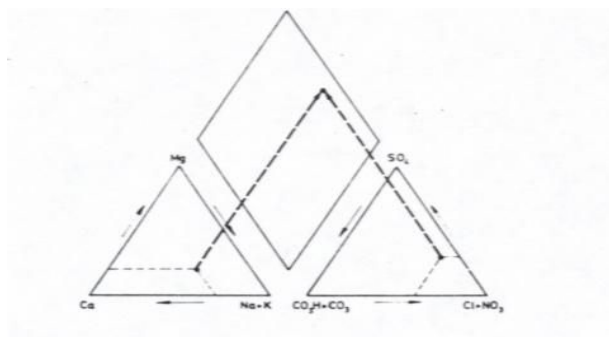
definidas. Las mezclas de aguas, precipitaciones, disoluciones, modificaciones, pozos, etc. Quedan fácilmente reflejadas en el los diagramas de Piper. A su vez estos evidencian los procesos que ocurren en los estratos donde se presenta el flujo subterráneo. En estos gráficos pueden representar todo esto 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. 27), 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: Na+K, Ca y Mg,.
- para los aniones: Cl+NO₃, SO₄ y HCO₃ + CO₃

Figura 27. Diagrama de Piper



Tomado de Hidrología Subterránea, Custodio, Llamas, Pág. 1039

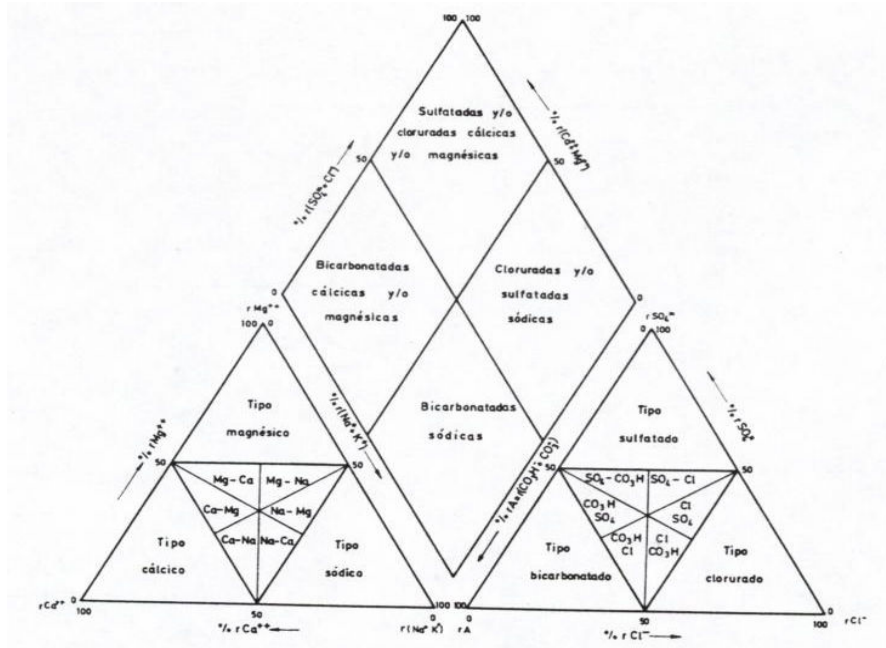
Los datos utilizados para la realización de los diagramas de Piper se encuentra consignada en las tablas: **Tabla 16 Análisis de Aguas Piper Invierno** (Pág.156) y **Tabla 17 Análisis de Aguas Piper Verano** (Pág.158)

7.3.1. Análisis Diagramas De Piper

Los iones tales como Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , están a veces retenidos en forma débil por la estructura silicatada y pasan con facilidad al agua, el proceso de disolución es función del pH y la temperatura, en general la disolución es más rápida por las aguas ácidas que por las alcalinas. Las arcillas tienden a fijar irreversiblemente el ion potasio.

Las aguas relacionadas con los granitos son en general poco salinas y en ellas domina como anión el carbonatado y como cationes el sodio, potasio o ambos. La relación SiO_2/Ca es mucho menor en las rocas que en las arcillas. Cantidades importantes de K y Fe se solubilizan, el primero retenido por las arcillas y el segundo precipitado como hidróxido ferrico ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) por lo cual sus concentraciones son generalmente pequeñas. El contenido de cloruros y sulfatos es en general bajo para las rocas ígneas ya que estas los contienen en poca cantidad.

Figura 28. Diagrama Clasificadorio de Piper



Tomado de Hidrología Subterránea, Custodio, Llamas, Pág. 1060.

7.3.1.1. Análisis Invierno Piper

En las aguas superficiales del K33+200 de la quebrada Providencia se observa una gran proporción de ion carbonato, esto como consecuencia de la precipitación del CO_2 presente en las aguas lluvias continentales. Además de una tendencia básica por la presencia de rocas con cantidades de silicio, sodio y potasio creciente, donde predominan los feldespatos alcalinos, los piroxenos sódicos y los feldespatoides. Lo cual permite un comportamiento de agua bicarbonatada sódica. La proporción de sodio en las muestras infiltradas o subterráneas se atribuye al sodio liberado como consecuencia de la meteorización de los feldespatos. La mayor concentración de sodio en el acuífero superior es atribuida a la interacción agua roca que tiene como resultado la alteración de los feldespatos y liberación de sodio. En la unidad es común encontrar aguas cloruradas sódicas en los puntos que están sobre la formación sedimentaria (la Flora y la rosita).

Al realizar la evaluación de los componentes químicos del agua subterránea en la zona de estudio se encuentra que los elementos principales como el bicarbonato, el sodio, el calcio y el magnesio y elementos menores como el hierro y el manganeso, están asociados directamente con las rocas que conforman los acuíferos. Las rocas son esencialmente los basaltos, diabasas, anfibolitas, gabros, cuarzo dioritas y esquistos, las cuales están conformadas por un alto porcentaje de minerales ferromagnesianos y feldespatos-plagioclasas que por acción química del agua son alterados y descompuestos en dichos elementos.

Se presenta un ligero incremento de la concentración de los iones en la dirección del flujo hasta la zona de la falla de Bucaramanga donde la meteorización es mayor. Al atravesar dicha falla (pan de azúcar) y pasar a la parte de sedimentos más arcillosos y con velocidades del flujo subterráneo diferentes se presenta una disminución notoria de los iones. Las concentraciones relativas de bicarbonato, calcio, magnesio, disminuye aumentando las concentraciones de sodio y cloruros, por lo tanto se presume que una parte importante de la recarga del acuífero de la unidad se produce a través del sistema de falla Bucaramanga-Santa Marta de la Cordillera Oriental, atraviesa los sedimentos del cuaternario para recargar los acuíferos libres de esta Unidad. En este proceso, el agua subterránea recargada a través de los sedimentos del cuaternario se enriquece en cloruros y sodio.

Ver **Figura 29**. Diagrama Piper Invierno (Pág.157).

7.3.1.2. Análisis Verano Piper.

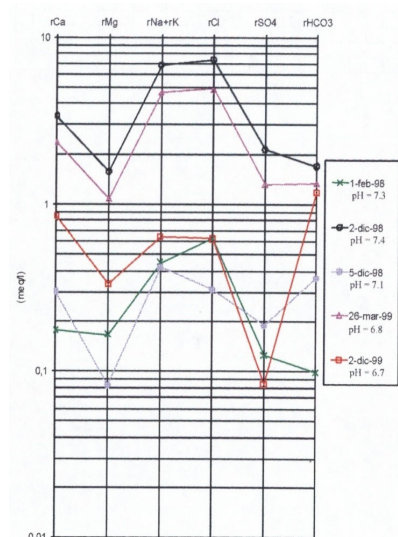
En las aguas superficiales del K33+200 de la quebrada Providencia se observa un cambio radical en la proporción de ion bicarbonato, esto como consecuencia de la ausencia de lluvias continentales durante gran parte de este periodo. Donde la tendencia básica se hace más marcada, pues pasa de un comportamiento bicarbonatado sódico a uno clorurado sódico, todo fácilmente apreciado en la **figura 29** y corroborada por los resultados de iones (**tablas 13 y 14**).

Se presenta marcados incrementos en las concentraciones iónicas en los dos periodos estudiados, eso si manteniendo el comportamiento de aumento en la dirección del flujo hasta la zona de la falla de Bucaramanga y decrecimiento desde esta área hasta la zona de drenes. Esto podría estar ocurriendo debido que al haber un mayor tiempo de interacción entre el flujo de agua que abastece el acuífero y la distintas zonas (ígneo-metamórfica y la sedimentaria), halla lapso suficiente para una mayor disolución de los materiales que componen las rocas y sedimentos, aumentando así la presencia de los iones, principalmente el de cloruro, potasio y sodio. Con lo anteriormente descrito y soportados en los resultados del diagrama de Piper para este periodo (Figura 29), se acentúa a un más el comportamiento de aguas cloruradas sódicas en la zona.

Ver **Figura 30**. Diagrama Piper Verano (Pág.159).

7.4. DIAGRAMA LOGARITMICO O SCHOELLER-BERKALOFF

Figura 31. Diagrama Logarítmico



Tomado del Documento Investigación Hidroquímica en Chile, Pág. 80.

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 modulo 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, Na+K, Cl, SO₄, CO₃H. 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. Sobre estos diagramas se puede estudiar si un agua es o no agresiva a la caliza.

Los datos utilizados para la realización de los diagramas de Piper se encuentra consignada en las tablas: **Tabla 18 Análisis de Aguas Shoeller Invierno** (Pág.160) y **Tabla 19 Análisis de Aguas Shoeller Verano** (Pág.162).

7.4.1. Análisis Invierno Schoeller

En el área de recarga se reitera el comportamiento descrito con el diagrama de Piper, el cual nos muestra una alta concentración de iones bicarbonatos, además, de una buena presencia del ion sodio y potasio. Se hace evidente la ausencia de sulfatos en las aguas de recarga y en la zona sedimentaria del acuífero donde es

a un más marcada. En forma general las mayores concentraciones iónicas se encuentran cerca a la zona de falla.

Ver **Figura 32.** Diagrama Logarítmico Invierno (Pág.161)

7.4.2. Análisis Verano Schoeller

En las aguas superficiales del K33+200 se puede apreciar con claridad la drástica caída en los valores del ion bicarbonato, se hace una marcada presencia de sodios y potasios, en todos los puntos de la línea, por los factores descritos con anterioridad (Piper verano), en el diagrama se hace evidente la presencia de aguas recargadas localmente en el piezómetro de Pan de Azúcar, pues sus valores de ion bicarbonato son superiores en comparación con la zona de recarga, algo no consecuente con el comportamiento del flujo, y además, estos valores se ven reflejado en los puntos más bajos del flujo del acuífero. En los piezómetros la flora y pan de azúcar los valores de sulfatos se encuentran relativamente elevados con respecto a los otros dos puntos.

Ver **Figura 33.** Diagrama Logarítmico Verano (Pág.163)

7.5. CLASIFICACIONES GEOQUÍMICAS

La clasificación de las aguas se realiza por sus iones característicos, las más comunes son Palmer, Souliné, Schoeller, Ion Dominante, Shchukarev, Filatov, Noisette entre otras.

La utilizada para el desarrollo de nuestro proyecto fue Ion dominante, generalmente este tipo de clasificación es la más usada. En la cual se nombra el agua por el anión o el catión que sobrepasa el 50% de sus sumas respectivas si

ninguno supera el 50% se nombran los dos más abundantes. Si conviene se puede añadir el nombre de algún ion menor de interés y que este en concentraciones anormalmente altas. Para simplificar a cada anión y catión se les da un número. Cuando interese resaltar además la mineralización total del agua se puede añadir una clasificación de acuerdo con la conductividad.

Los grupos que se hacen son:

ANIONES

1. $rCl > rSO_4 > rCO_3H$
2. $rCl > rCO_3H > rSO_4$
3. $rSO_4 > rCl > rCO_3H$
4. $rSO_4 > rCO_3H > rSO_4$
5. $rCO_3H > rCl > rSO_4$
6. $rCO_3H > rSO_4 > rCl$

CATIONES

- a. $rNa > rMg > rCa$
- b. $rNa > rCa > rMg$
- c. $rMg > rNa > rCa$
- d. $rMg > rCa > rNa$
- e. $rCa > rNa > rMg$
- f. $rCa > rMg > rNa$

C-1 Conductividad a 25 °C entre 0 y 250ms/cm; (entre 0 y 215 a 18 °C)

C-2 Conductividad a 25 °C entre 250 y 750ms/cm; (entre 215 y 650 a 18 °C)

C-3 Conductividad a 25 °C entre 750 y 2250ms/cm; (entre 650 y 2000 a 18 °C)

C-4 Conductividad a 25 °C mayor que 2250ms/cm; (mayor que 2000 a 18 °C)

En invierno las aguas de la meseta se pueden agrupar en la siguiente clasificación, de acuerdo a la zona (recarga, falla y sedimentaria o de meseta). Para tal efecto se utilizaron las tablas **Tabla 16 Análisis de Aguas Piper Invierno** (Pág.156) y **Tabla 17 Análisis de Aguas Piper Verano** (Pág.158), debido que en estas se encuentran detallados los porcentajes de cada ion.

Para la zona de recarga se presentan aguas bicarbonatada sódico-cálcica

Con la siguiente denominación **5-b-C 1**, en la zona de falla bicarbonatada sódica y se nombra **6-a-C 2**, y finalmente en la zona de la meseta se encuentran aguas cloruradas sódicas clasificadas como **2-a-C 1**.

Como las aguas de un mismo punto pueden variar de composición de un periodo a otro, también se realizó una clasificación en el período de verano obteniendo los siguientes tipos de agua:

Para la zona de recarga se presentan aguas cloruradas sódicas con la siguiente denominación **1-b-C 1**, en la zona de falla bicarbonatada sódica-magnésica y se nombra **6-a-C 2**, y finalmente en la zona de la meseta se encuentran aguas cloruradas sódicas clasificadas como **2-b-C 1**.

Como se puede observar una misma agua puede obtener una misma clasificación, pero no un mismo nombre, esto se debe a que las proporciones de los iones varían de un de un periodo a otro, pero manteniéndose en un mismo conglomerado.

8. LEGISLACIÓN SOBRE AGUAS SUBTERRÁNEAS

En el siguiente documento se relacionaran normas existentes para la utilización y explotación de las aguas subterráneas en Colombia, así como algunas extranjeras que podrían ser consideradas para una futura aplicación a nuestras leyes. Para un conocimiento total de la ley recomendamos dirigirse a las siguientes direcciones electrónicas o a los respectivos documentos oficiales.

<http://www.cecodes.org.co/comunicaciones/legislacion>

<http://gemini.udistrital.edu.co>

<http://calsegen01.alcaldiadebogota.gov.co>

<http://www.secretariasenado.gov.co/leyes>

8.1. LEGISLACIÓN NACIONAL

➤ LEY 373 DE 1997

Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. En esta se describe la como el uso de las aguas en forma general deben ser explotas mediante un estudio previo de de la oferta hídrica disponible, además de los entes encargados de hacerlo o supervisarlos.

ARTICULO 2o. CONTENIDO DEL PROGRAMA DE USO EFICIENTE Y AHORRO DEL AGUA.

Articulo 10. DE LOS ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS.

Artículo 16. PROTECCION DE ZONAS DE MANEJO ESPECIAL.

- PARÁGRAFO 1o.

- PARÁGRAFO 2o.

➤ **RESOLUCION 815 DE 1997 del DAMA**

Por la cual se fija un término para la implementación de medidores en los pozos de extracción de aguas subterráneas.

Artículo 1º, Artículo 2º

- PARÁGRAFO 1

➤ **RESOLUCIÓN 250 DE 1997 del DAMA**

Por la cual se fijan tasas para el aprovechamiento de aguas subterráneas.

Artículo 1º, Artículo 2º, Artículo 3º, Artículo 4º

➤ **DECRETO NÚMERO 00155 DE 2004** (enero 22) del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

Por el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones.

Artículo 1º, Artículo 2º, Artículo 3º, Artículo 4º, Artículo 7º, Artículo 8º, Artículo 9º, Artículo 10º

- PARÁGRAFO 1

- PARÁGRAFO 2

Artículo 12º

- **RESOLUCIÓN NO. 1096 de 17 de Noviembre de 2000** Del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.

Artículo 6º, Artículo 7º, Artículo 38º, Artículo 104º, Artículo 105º, Artículo 118º.

8.2. LEGISLACIÓN INTERNACIONAL

Las legislaciones que a continuación se relacionaran obedecen a las leyes chilenas, debido a que este país tiene una extensa experiencia en el aprovechamiento y manejo sostenible de este importante recurso hídrico.

Legislación de Aguas vigente

Las principales normas del Decreto de Ley 1122, de Agosto de 1981 - Código de Aguas de la República de Chile - son las siguientes:

- **Derechos de uso y aprovechamiento**

- En Chile el agua es un recurso nacional de uso público. Las personas individuales o empresas pueden adquirir el derecho de usarla, este constituye un derecho real que le confiere a su poseedor la propiedad sobre el recurso. El propietario esta facultado a usar el agua, obtener beneficios de este uso y disponer del recurso.
- La política chilena permite el funcionamiento de un mercado de aguas dentro y entre sectores de uso del recurso. Comercio, transferencia, transmisión y adquisición o pérdida del derecho a utilizar el agua debe ser efectuado de acuerdo a las leyes y la Constitución.

- De existir disponibilidad de agua en una fuente pueden otorgarse mas derechos de aprovechamiento a nuevos propietarios, si se presentara alguna oposición se tendrá en cuenta al mejor postor. La propiedad sobre los derechos de agua es inscrita en el Registro de Propiedad.

- Cuando las fuentes de agua han sido declaradas agotadas no pueden otorgarse mas derechos de aprovechamiento, en este caso la única forma de acceder al recurso es la compra a otros propietario sea como derechos de aprovechamiento o como turnos de agua.

- Los derechos de uso y aprovechamiento pueden ser vendidos o transferidos independientemente de la tierra que previamente irrigaban o el propósito para el cual el agua estaba siendo utilizada. Es decir que el agua no es accesoria de la tierra. Toda el agua que es posible ahorrar puede ser vendida a otros usuarios. Las aguas remanentes que fluyen naturalmente pueden ser utilizadas sin necesidad de un derecho de aprovechamiento.

- Aguas subterráneas; una vez que se ha confirmado la existencia de aguas subterráneas el o los interesados deberán solicitar su derecho de uso y aprovechamiento. La resolución que otorgue el derecho sobre aguas subterráneas establece también un área de protección impidiendo la instalación de otras perforaciones de pozos que pudieran afectarla. Si la explotación de aguas subterráneas causa un detrimento a otros usuarios, la Autoridad Nacional de Aguas ha pedido de uno o más de los interesados dispondrá una reducción temporal y proporcional en los derechos de uso. Esta misma agencia dispondrá áreas protegidas, impidiendo nuevas explotaciones para proteger los acuíferos.

- La Autoridad Nacional de Aguas puede también establecer áreas restringidas en sectores hidrológicos para uso común, cuando hay un serio riesgo de agotamiento de un acuífero específico.

- **DECRETO SUPREMO Nº 46/02, DE 8 DE MARZO DE 2002, DEL MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA, QUE APRUEBA LA NORMA DE EMISIÓN DE RESIDUOS LÍQUIDOS A AGUAS SUBTERRÁNEAS DO DE 17-01-03**

<http://www.miliarum.com/marcos/normativa>

Considerando:

Que las aguas subterráneas representan una importante fuente de suministro de agua para las ciudades. Aproximadamente el 77 % del agua utilizada por los servicios de agua potable rural proviene de esta fuente, y en el caso del abastecimiento urbano es de alrededor de un 40 % a nivel nacional, según estadísticas de la Superintendencia de Servicios Sanitarios al 31 de diciembre de 1995. La proporción de uso de aguas subterráneas para el abastecimiento urbano es variable, llegando a ser prácticamente en su totalidad para las ciudades del norte del país.

Que otros usos importantes de las aguas subterráneas, sobre todo entre la zona central y el norte del país, son la agricultura, la industria y la minería. Sin embargo, dada la importancia vital que tiene el consumo de agua para la población, se considera de la mayor relevancia el uso para el abastecimiento de agua potable, dentro del contexto general de la explotación de las aguas subterráneas.

Que la presente norma de emisión tiene como objeto de protección prevenir la contaminación de las aguas subterráneas, mediante el control de la disposición de los residuos líquidos que se infiltran a través del subsuelo al acuífero. Con lo anterior, se contribuye a mantener la calidad ambiental de las aguas subterráneas.

TÍTULO I, DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1º, Artículo 2º y Artículo 3º.

TITULO II, DEFINICIONES

Artículo 4

TITULO III, LÍMITES MÁXIMOS PERMITIDOS PARA DESCARGAS DE RESIDUOS LÍQUIDOS A AGUAS SUBTERRÁNEAS

Consideraciones Generales

Artículo 5º, Artículo 6º, Artículo 7º, Artículo 8º, Artículo 9º,

Limites Máximos de Emisión

Artículo 10º, Artículo 11º

TÍTULO IV, PROGRAMA Y PLAZOS DE CUMPLIMIENTO DE LAS NORMAS DE EMISIÓN

Artículo 12º, Artículo 13º

TÍTULO V, PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN Y CONTROL

Control de las normas de emisión

Artículo 14º

Consideraciones generales para el monitoreo

Artículo 15º, Artículo 16º, Artículo 17º, Artículo 18º

TÍTULO VI, CONDICIONES ESPECÍFICAS PARA EL MONITOREO

Frecuencia de monitoreo

Artículo 19º, Artículo 20º, Artículo 21º

Número de muestras

Artículo 22º

Condiciones para la extracción de muestras y volúmenes de muestra

Artículo 23º

Resultados de los análisis

Artículo 24º, Artículo 25º.

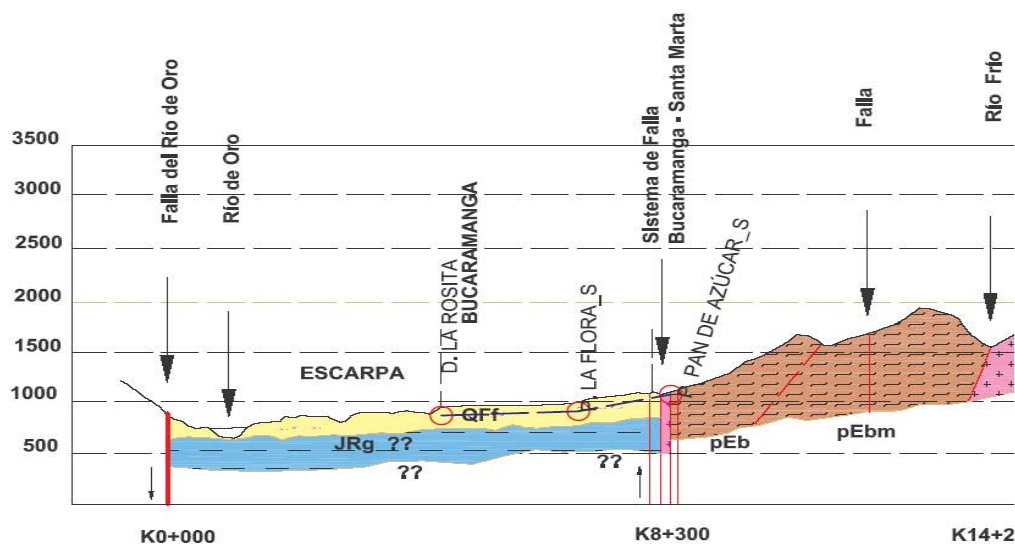
La diferencia entre las leyes nacionales y las chilenas son considerables, pero se ha mejorado ostensiblemente en la elaboración de las mismas, caso particular del Decreto Número 00155 De 2004 (enero 22) del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, el cual reglamenta tanto la explotación, como los estudios que se deben realizar para dicho fin (incluido los hidrogeológicos, hidroquímicos), así como las tarifas y los entes que deben controlar y regular todos ítems anteriormente descritos.

La legislación chilena sobre aguas subterráneas, podría ser una herramienta importante para conformar un conjunto de leyes nacionales que vaya acorde con las condiciones regionales, ahora no hay que descartar observar otro tipo de legislaciones como la española, y esto se trae a consideración por la larga experiencia que tienen estos países en el manejo del recurso hídrico subterráneo.

9. CONCLUSIONES

- Una primera zonificación hidroquímica realizada a las aguas en 50 puntos preliminares, localizados entre la zona alta del macizo de Santander y la escarpa de la meseta de Bucaramanga, muestra como el área de estudio se encuentra subdividida en tres zonas las cuales son: la zona del Macizo de Santander, la zona de falla y la zona aluvial de la meseta de Bucaramanga, donde los parámetros medidos en campo por la sonda (pH, Redox, conductividad eléctrica, temperatura, y salinidad) presentan comportamientos similares en cada una de las zonas.
- El parámetro pH sugiere la existencia de dos acuíferos diferentes en la meseta de Bucaramanga, lo cual se soporta por la marcada diferencia entre las aguas de la unidad superior (miembro gravoso) y del inferior (miembro órganos). Se debe corroborar con la litología de la meseta y otros estudios.
- El ion dominante en las aguas subterráneas caracterizadas hidroquímicamente es el ion sodio. Esto se debe a la meteorización de feldespatos alcalinos principal componente de las rocas existentes en la zona de recarga y de falla.
- El potencial Redox en la zona de falla es el único parámetro que presenta cambios significativos, presumiendo que se debe a una alta y continúa interacción entre el flujo subterráneo y con la roca meteorizada, la cual por su alto grado de meteorización facilita el intercambio iónico.

- Los diagramas de Piper realizados con los datos del muestreo de iones reflejaron una disminución de las concentraciones relativas de los iones bicarbonato, calcio, magnesio y un aumento las concentraciones de sodio y cloruros en la dirección del flujo, por lo tanto se presume que una parte importante de la recarga del acuífero de la unidad superior en la meseta se produce a través de la zona de falla. Además muestra que los iones presentes en las aguas subterráneas provienen de la meteorización de los elementos químicos que se encuentran en las diferentes rocas que hacen parte de la geología del área.
- La línea de flujo del acuífero superior encontrada en este trabajo queda demarcada claramente en los diagramas de Piper, por lo tanto puede ser trazada en el siguiente esquema conceptual.



- Los diagramas de Schoeller, muestran un comportamiento anormal de niveles de sulfato en los piezómetros de Pan de Azúcar superior y la Flora superior lo cual debe a la oxidación de piritas. Además el primero

denota presencia de bicarbonatos, esto se puede estar presentando debido a algún tipo de recarga local, que debe ser investigado.

- El comportamiento hidroquímico va ligado al periodo de precipitación (invierno o verano) en el que se haga el estudio. Viéndose claramente, como un agua (lluvia, superficial o subterránea) puede variar su composición y por ende cambiar de nombre en la clasificación (ion dominante) de un periodo lluvioso a uno seco.

10. RECOMENDACIONES

- Por medio técnicas hidroquímicas como balance de cloruros se puede determinar la infiltración utilizando la concentración de este ion en el agua de precipitación y en el agua subterránea. Lo cual sería de gran ayuda para estimar el potencial de recarga del acuífero en estudio.
- Se recomienda realizar un mayor número de líneas de caracterización en la dirección del flujo, para así obtener una representación hidroquímica más completa del acuífero superior. Además, tomar mayor cantidad de puntos por cada línea para llevar un control más detallado de la variación iónica del agua a causa de la geología que se presenta en su trayecto.
- Elaborar perfiles térmicos para tener relación del tipo de circulación presente en el acuífero. El puede ser circulación local (bajas temperaturas) o circulación regional (altas temperaturas), estas últimas debido al nivel de profundidad del flujo dentro de los estratos. Caso que se podría implementar para algunos puntos, en especial pozos profundos y piezómetros ubicados dentro del área investigada.
- Plantear un modelo conceptual de la disposición del flujo subterráneo en la zona de estudio a partir de los resultados obtenidos en esta investigación, en conjunto con estudios de isótopos como trazadores y hidrogeoquímicos que abarquen una mayor cantidad de parámetros fisicoquímicos e iones no fundamentales.

- Se debe implementar un mismo estudio para el acuífero inferior, para así tener un conocimiento más profundo de la naturaleza del mismo. Esto podría brindar una idea de un futuro uso potencial en cuanto a la explotación del recurso hídrico subterráneo.
- Diseñar un estudio de calidad del agua subterránea, donde se incluya, además de los iones estudiados, todos aquellos que interviene en la posibilidad de explotación para consumo humano (materiales pesados y tóxicos), complementándolos con estudios de actividad biológica. Sin dejar de lado un estudio económico que haga factible tal proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

Custodio, E., Llamas, M., Samper, Jer. (1997). La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica. Textos del Seminario celebrado en Palmas de Gran Canaria. Instituto Tecnológico Geominero de España.

Custodio, Emilio & Llamas, Manuel. (1996). Hidrología Subterránea. Tomo 1. 2 ed. Barcelona: Ediciones Omega, V.1

Duarte, C., Lopez, C. (1989). Agua Subterranea como Posibilidad de Consumo en la Meseta de Bucaramanga. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Civil. Colombia.

Gomez, S. (1990). Prediccion de Niveles Freaticos a Partir de la Precipitacion y su Influencia en la Estabiidad de Taludes, Caso de Aplicacion Meseta de Bucaramanga. Tesis de Maestria. UNCM Colombia.

Navia, M., Suarez, M. (1994). Aplicacion de Isotopos en Hidrologia. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Civil. Colombia.

Pérez, P., Jorge. (1997). Manual de Potabilización del Agua, ed. Facultad de Minas, Universidad Nacional - Medellín, Medellín.

Instituto Colombiano Para El Desarrollo De La Ciencia Y La Tecnología “Francisco José De Caldas” Colciencias. (2003). Interacción Entre Sistemas Hidrogeológicos Para El Estudio Del Fenómeno De Recarga En El Macizo De

Santander. Informe de Avance Muestreo Isotopico, **GPH** (grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático).

Zonificación Sismogeotécnica Indicativa Del Área Metropolitana De Bucaramanga (2001). Unidad Operativa Bucaramanga, Área Ingeniería Geoambiental– Ingeominas. Ministerio de Minas y Energía.

Vergara López, Otoniel (2003). Prospección geológica para agua subterránea en rocas cristalinas fracturadas del Macizo de Santander en el sector E de Bucaramanga (Santander). Estudio no publicado. Bucaramanga, Colombia. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Geología.

Chaparro, Edgar Y Guerrero, Alirio (1991). Geología y geotecnia de la zona oriental del área metropolitana de Bucaramanga en el sector Morrórico-Floridablanca. Bucaramanga, Colombia. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Geología.

Gomez, S., Anaya, A. (2000). Revision de metodologias para el estudio de la recarga. Informe Tecnico. Grupo en prediccion y modelamiento hidroclimatico. Universidad Industrial de Santander.

Corporación Autónoma Regional Para La Defensa De La Meseta De Bucaramanga, CDMB. Plan de Manejo Ambiental 2001 - 2003. Bucaramanga, 2000.

Corporación Metropolitana De Planeación Y Desarrollo De Bucaramanga (CORPLAN). (2000). Situación Actual y Futuro Inmediato del Área Metropolitana de Bucaramanga: Subsistema Biofísico – Ambiental. Bucaramanga.

Ingeniería De Suelos. (1991). Informe del Estado del Conocimiento en la Investigación de aguas subterráneas en la Terraza de Bucaramanga. CDMB.

Pellant, Chris. (1992). The Eyewitness Handbook Of Rock & Minerals, ed. DK Publishing, Inc.

Medina, Guillermo y Páez, Gloria (2004) Hidrogeología e Hidroquímica en los acuíferos aluviales de la zona sur del Valle del Cauca (Colombia), CVC, Calí.

<http://www.todogeologia.com/modules>

<http://www.fagro.edu.uy/geologia>

<http://www.miliarum.com/marcos/normativa>

<http://www.ideam.gov.co/legislacion>

<http://www.eccentrix.com/hydrogeologie>

<http://www.cecodes.org.co/comunicaciones/legislacion>

<http://gemini.udistrital.edu.co>

<http://calsegen01.alcaldiadebogota.gov.co>

<http://www.secretariasenado.gov.co/leyes>

ANEXOS

ANEXO A.

MANUAL PARA EL USO DE LA SONDA MULTIPARAMETROS EIJKELKAMP 18.28

La sonda múltiparametros me permite realizar mediciones en campo tales como temperatura, salinidad, Redox, conductividad, pH y oxígeno disuelto, todos estos con alto grado de precisión.

El equipo fue adquirido por el grupo de investigación de predicción y modelamiento hidrológico (GPH) de la UIS para llevar a cabo una serie de monitoreos del recurso hídrico existente en la región, especialmente el subterráneo. Lo que será de gran ayuda en minimización de errores a la hora de adelantar un proyecto de investigación.

1. OPERACIÓN GENERAL



Foto1. Aspecto de la sonda con cada uno de sus componentes.



Foto2. Elementos de la sonda.

1.1. Encendido

1. Presione la tecla ON/OFF para encender la sonda “EIJKELKAMP”, y la serie de esta será mostrado en la línea inferior de la ventana. El número de versión del software instalado es mostrado en la esquina inferior derecha.
2. La última función activa antes de apagarlo será mostrada.
3. La temperatura medida o establecida será mostrada en la esquina inferior derecha.
4. Un icono de batería indica el estado de la batería. Un icono totalmente negro indica que la batería esta totalmente cargada.



Foto3. Consola.

1.2. El Menú De Funciones

Presione la tecla MODE para desplazarse por el menú de funciones. Las funciones de medición serán mostradas en sucesión:

La sonda puede determinar los siguientes parámetros:

- pH (para medir el grado de acidez);
- mV (para medidas utilizando los electrodos REDOX o los electrodos de iones selectivos)
- μS (para medidas utilizando el electrodo de conductividad)
- mg / L (para medidas de salinidad utilizando el electrodo conductividad)
- mg / L O₂ (para medir el contenido de oxígeno disuelto en agua)
- porcentaje O₂ (para determinar el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en agua)
- °C (para medir o establecer la temperatura)

1.2.1. Menú De Parámetros

Presione la tecla MODE para mostrar el menú de parámetros con las siguientes opciones:

- Idioma
- Apagado
- Contraste

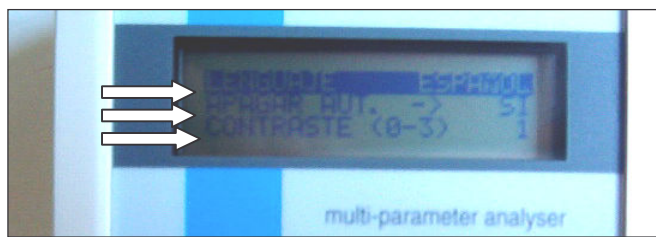


Foto 4. Set up de la Sonda

1.2.2. Establecer Idioma

Seleccione uno de los 6 idiomas, el de su preferencia:

- Presione CAL para cambiar

- Use ▲ o ▼ para seleccionar el idioma
- Presione CAL nuevamente para confirmar

1.2.3. Establecer La Opción De Apagado Automático

Use ▼ para seleccionar la opción de apagado (SWITCHING OFF) activo (ON) o Desactivo (OFF)

- Presione CAL para cambiar
- Use ▼ o ▲ para activar o desactivar
- Presione CAL para confirmar

1.2.4. Establecer Contraste

Use ▼ para seleccionar contraste (0 – 3)

- Presione CAL para cambiar
- Use ▼ o ▲ para ajustar contraste
- Presione CAL para confirmar

1.2.5. Operación De Memoria

- Conecte el electrodo apropiado y ajuste el aparato si es necesario.
- Revise la memoria:
- Presione para mostrar una lista de medidas almacenadas y posiciones de memoria disponibles
- Desplácese en la lista usando las teclas ▼ o ▲ y seleccione las posiciones para almacenar.
- Presione MODE para regresar de medidas estándares.

Para almacenar una medida:

- Presione ▼ mientras mide. Sobre la pantalla será mostrado Log # y un número de posición de memoria
- Presione CAL para almacenar la medida en esa posición. Presione ▼ o ▲ para almacenar la medida en otro lugar, sea cuidadoso; usted puede reescribir en una posición de memoria utilizada anteriormente. Cuando presione ▼ cada medida subsiguiente será automáticamente almacenada en la siguiente posición de memoria disponible.

2. MEDIDAS REDOX (MV)

Esta sonda no puede ser operada utilizando electrodos de referencia separados. Entonces usa únicamente electrodos de combinación modernas. Una medida mV (usualmente REDOX) es una medida directa de la tensión original por el electrodo, donde la temperatura nunca es compensada en el proceso a excepción de que se cuente con la probeta de temperatura por separado como es el caso.



Foto 5. Parámetro Redox

La sonda no puede ser calibrada sobre el Redox, pero si puede ser revisada con el líquido de calibración e.g 470 mV. Los errores menores pueden ser aceptados, pero los grandes errores pueden ser la razón para la limpieza del electrodo o su reparación.

3. PH/EC/O2 Y MEDIDAS DE SALINIDAD

En el caso de que un electrodo de temperatura sea conectado, la temperatura será automáticamente compensada durante la medición. El electrodo de oxígeno tiene su propio sensor de temperatura. Por tal razón siempre hay que adjuntar una probeta T (de tipo Pt 1000) cuando se mida el pH, EC y la salinidad, o la compensación se puede hacer manualmente utilizando un termómetro y atando dicha temperatura a cada parámetro.

Para este propósito seleccione la función de medida de temperatura. Establezca la temperatura utilizando las teclas ▼ o ▲. Asegúrese que la probeta T no este adjunta. La pantalla mostrara la palabra MAN (manualmente). De esta forma la medida será compensada por la temperatura.

Los electrodos pH/EC/salinidad no se afectan mutua y electrónicamente durante la medición. **Aun que uno de pH y uno de O2 si se afectan**, en consecuencia nunca sumerja estos electrodos simultáneamente en la solución. Una probeta de temperatura nunca afecta el proceso de medición.

Agite un electrodo O2 en una solución a la velocidad de 10 cm./seg como mínimo o use una celda de flujo continuo. Esto evitará la aireación del agua anaeróbica



Foto 6. Vista del Display de cada parámetro.

4. AJUSTES GENERALES

El ajuste de la sonda en los electrodos pH y O₂ debe hacerse antes de cada serie importante de medidas y una vez al día como mínimo, el electrodo EC debe hacerse antes de cada serie importante de medidas y una vez a la semana como mínimo. Siempre conecte el sensor de temperatura y sumerja la probeta en el líquido de calibración para un mejor ajuste.

El electrodo o probeta de temperatura no se recomienda calibrar ya que es muy complejo y solo es posible usando un termómetro certificado de referencia, con una medición especial establecida. Solo en el caso de serias dudas sobre el desempeño del sensor de la sonda usted puede decidirse a hacerlo. En caso de valores no anticipados revise si el cable está roto primero (la pantalla mostrará la palabra MAN en vez de AUTO).

5. REVISIONES SIMPLES

SUGERENCIA: Siempre cuestione el funcionamiento de los electrodos. Si el funcionamiento es demostrablemente bueno (compárelo con otro medidor idéntico) algunas revisiones simples pueden ser llevadas a cabo antes de llevar el medidor a reparación.

1. Revisión Simple Del Desempeño De La Función De Medición De pH / mV:

- Ponga en corto circuito la conexión BNC (utilice un clip) el resultado podría leer 0 mV o aproximadamente 7.00 pH.
- Revisión de la entrada O2 / EC
- Remueva la probeta del EC o O2. Para la función μS y mg/L el valor debe leerse cero (0). Para mg/L y %O2 debe leerse >>>>> (fuera del rango de medida).
- En caso que la sonda produzca resultados no anticipados reinicie el equipo.

Apague la sonda presionando MODE y al instante se encenderá. Presione si a la pregunta (RESTORE FACTORY SETTINGS YES OR NO) espere a que el equipo se reinicie. En caso de estar trabajando en campo debe considerar la calibración del hardware. Apague el aparato. Presione CAL y ON simultáneamente y siga las instrucciones en la pantalla.

6. ALMACENAMIENTO DE LOS ELECTRODOS

Los electrodos PH y REDOX pueden ser almacenados en KCl 3mol/L líquido. Cambie el líquido semanalmente.

El electrodo EC puede ser almacenado seco o en agua potable. Cámbiela semanalmente.

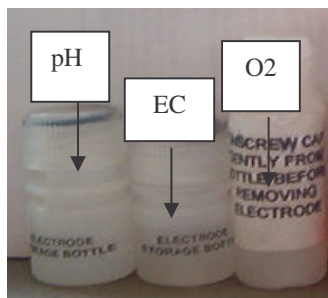


Foto 8. Envase de Almacenamiento

El O₂ puede ser almacenado seco. Preferiblemente en una caja o tubo y envuélvalo en un paño humedecido de lana o algodón antes de guardarlo, o en su defecto en agua potable para evitar que se seque. Siempre lave los electrodos con agua destilada antes y después de su uso. Lave los electrodos pH REDOX y EC con detergente diluido en agua (20.05.29).

7. ELECTRODO DE CONDUCTIVIDAD

7.1. Especificaciones

Tipo: Electrodo epoxy con placas Pt

Dimensiones: Ø12x120mm

Celconstante: $\pm 1\text{cm}^{-1}$

Rango: 0 – 20mS/cm.

Rango Temp.: 0 – 80°C

Cable/conector: longitud 1m/BNC o conexión de 2x4mm



Foto 9. Electrodo de Electroconductividad

7.2. LIMPIEZA

No se debe insertar ningún objeto en las puntas (orificios) del electrodo de conductividad. Esto puede dañar las placas de platino y alterara la conductividad constante de las celdas. Esto puede causar un error, lo cual requiere un cambio del electrodo.

El electrodo puede ser lavado con shampoo o detergente suave. Si hay una concertación de sólidos dentro del área de medida de la celda, este podría ser removido introduciendo agua desionizada a través del orificio inferior del electrodo (Ej.: con una jeringa de 10mm) hasta que los depósitos sean removidos. Las soluciones fuertemente contaminadas pueden ser disueltas con detergente (Dconex 20.05.29). Lave la punta (placas de platino) con IPA (isopropil-alcohol), para remover depósitos que obstruyen el platino. Esto requiere un tiempo de lavado de un máximo de 1 – 2 minutos.

7.3. Observaciones

1. Si la temperatura de la muestra es en una gran escala diferente a la del ambiente, entonces remoje el electrodo en la solución dada, antes de tomar la lectura.

2. El electrodo debe ser sumergido en la muestra por lo menos 10mm por debajo de los respiraderos del tronco.
3. Si mas de una muestra va ser medida, es mejor mantener la punta del electrodo remojada en agua desionizada.
4. Los electrodos rotos o fracturados no pueden ser reparados, remplace el electrodo.
5. Una medida de conductividad es una medida de resistencia. Es muy importante que otras resistencias externas no influyan en la medida. Inspeccione el cable y el conector para estar seguro que el aislamiento esta aun intacto y que la corrosión y la suciedad no han atacado el metal. Cuando el aislamiento se rompa o los cables estén enredados se puede presentar una mala señal. Inmediatamente remplace el conector si alguna corrosión es visible.
6. Mientras mas viejo sea el electrodo, menor será el platino negro en las placas del electrodo. Esto puede causar una disminución en la constante de la celda, esto es un efecto normal.
7. Es importante que después de cada uso la punta del electrodo sea lavada totalmente en agua destilada o desionizada. El electrodo puede ser almacenado en seco.

7.4. Ajuste Del Electrodo Ec

Un electrodo EC tiene dos puntos de contacto de una cierta superficie y una cierta distancia. Esta relación esta etiquetada en la constante de la celda. La constante de la celda de un electrodo estándar es de 1 / cm.

Preparar el equipo para el ajuste:

- Conecte el electrodo EC a la entrada EC / O2.
- Conecte la probeta T a las conexiones banana.

Encienda la sonda y ubíquela en EC y sumerja la probeta T en solución KCl 0.01mol/L (1413 μ S / cm. a 25°C) primero el equipo determinara automáticamente la corriente de frecuencia alterna para la medida en las base de una total conductividad del liquido. Esto puede tomar aproximadamente 10 seg. Subsecuentemente la medida exacta aparece.

En caso de que la medida se desvíe mucho del valor requerido (1.41 μ S):

Presione CAL

Una calibración del menú será mostrada:

Establezca la temperatura de referencia = 25°C

El estándar utilizado previamente (ajuste del liquido) = 1413 μ S/cm.

Calibre.... GLP

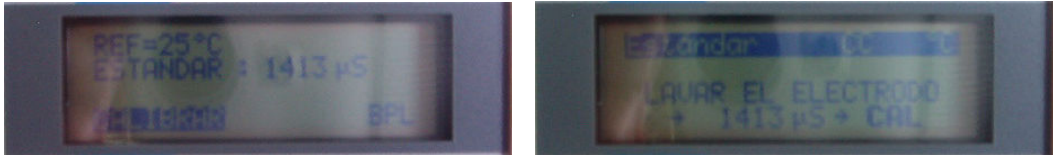


Foto 10. Vista de Calibración Ec

En ajuste con el propósito de medir agua fresca use agua salada a temperatura media (1413 μ S / cm. = a la proporcionada).

La celda constante del electrodo EC será establecido automáticamente.

Para todos los medidores: Presione CAL si los valores indicados de 25°C y 1413 μ S/cm. están bien. En caso de que se limpie y se sumerja el electrodo en líquido de ajuste en una etapa muy temprana, Presione CAL nuevamente.

Durante el ajuste, la pantalla mostrara lo siguiente:

El estándar usado, la constante anterior de la celda y la temperatura. Si el ajuste fue exitoso la constante anterior de la celda será reemplazada por una nueva constante de celda. En caso de que la nueva constante de celda este por encima de 1.3 o debajo de 0.7 el electrodo es rechazado y no se llevara acabo el ajuste.

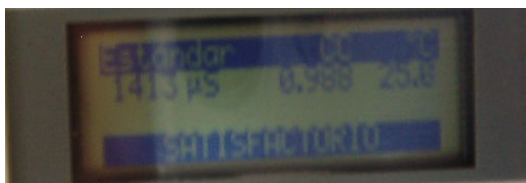


Foto11. Vista Calibración Satisfactoria EC

Presione CAL para terminar el ajuste y proceder con la medición

7.5. Accesorios

Solución de calibración 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (0.01 M) 250ml

Solución de calibración 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (0.01 M) 1Ltr.

Solución de calibración 0.01, 0.1 y 1M



8. EL ELECTRODO PH

8.1. Especificaciones

Tipo: Electrodo de cuerpo epoxy con membrana de vidrio, llenada con gel.

Referencia: Ag/AgCl

Dimensiones: $\varnothing 12 \times 120$ mm

Diafragma: Unión frit

Rango: PH: 0 -14

Rango Temp.: 0 – 80°C

Cable/conector: Longitud 1m con BNC



Foto 12. Electrodo de pH

8.2. Modo De Utilización

Si el electrodo es mantenido con el bulbo de pH hacia arriba, una burbuja de aire puede entrar en este causando una señal inestable y de mala calidad. Hay que verificar el electrodo, si una burbuja de aire está presente se debe mover el electrodo hacia abajo y agitarlo como un termómetro clínico.

Se debe lavar el electrodo con agua ionizada (agua potable) para esto hay que remover el contenedor de almacenamiento. El contenedor de almacenamiento contiene una solución de 3.0M KCl. Hale hacia abajo el contenedor de almacenamiento y no doble el electrodo mientras hace esto. Esto puede dañar los elementos internos del electrodo. Lave el bulbo de pH y el diafragma con agua ionizada (agua potable). Esto hidrata el bulbo pH y prepara el diafragma antes de realizar la prueba de medición.

NOTA: Almacene el electrodo después de usado en el contenedor con la solución 3.0M KCL.

8.3. Limpieza

Si el electrodo da resultados poco confiables (por ejemplo valores lentos y no reproducibles) uno de los siguientes procesos de limpieza deben ser seguidos:

1. General

Limpia el bulbo de vidrio y el diafragma regularmente con un detergente de acción mediana en agua tibia. Use un cepillo dental suave o un paño de limpieza, sumérjalo en la solución de detergente. Lave la punta del electrodo con agua ionizada y sumerja el electrodo en una solución 3.0M KCl por lo menos 20 minutos antes de ser usado.

2. Proteínas

Sumerja el electrodo aproximadamente por 5 minutos dentro de una solución de pepsina-HCl y lave el electrodo totalmente con agua desionizada. Después sumerja el electrodo en una solución acidificada (pH4) 3.0M KCl. Después de 10 minutos el electrodo puede ser usado nuevamente.

3. Diafragma Seco U Obstruido

Remueva los depósitos siguiendo los pasos 1 y 2. Sumerja el electrodo en una solución 2.0M KCl a 50°C por aproximadamente 30 - 45 minutos. Repita si es necesario

8.4. Observaciones Generales

1. Nunca deje secar el electrodo.

2. Los electrodos partidos o fracturados no pueden ser reparados. Reemplace el electrodo directamente.
3. Inspeccione el cable y el conector para estar seguro que el aislamiento esta aun intacto y que la corrosión y la suciedad no han atacado el metal. Cuando el aislamiento se rompa o los cables estén enredados se puede presentar una mala señal.
4. No sumerja el electrodo. Esto evitara que la suciedad entre al cable o al espacio de almacenamiento.
5. Nunca empuje el electrodo en la tierra sin antes perforar el suelo.
6. Para cortos y largos períodos de almacenamiento, es recomendable que el electrodo sea siempre almacenado en la solución acidificada 3.0M KCl. Después de varios usos es recomendable reemplazar la solución, por lo menos una vez a la semana.

NOTA: No almacene el electrodo con cualquier tipo de agua.

8.5. Ajuste Del Electrodo de pH

Preparando el equipo para el ajuste:

- Conecte el electrodo pH a la entrada Ph / mV
- Conecte la probeta T (si esta disponible) a las conexiones banana
- Encienda el medidor
- Use la tecla MODE para seleccionar la función pH
- En caso de que la probeta T no este disponible primero establezca la temperatura del líquido de ajuste.

Ajuste

Presione CAL

Una calibración del menú será mostrada:

Los parámetros del ajuste BUFFER son por ejemplo 7.00 y 4.00

Calibre.... GLP

Inspeccione de hay en adelante los otros ajustes en los BUFFER.

Presione CAL si los valores estándar del ajuste son los correctos y si desea empezar el ajuste

La pantalla mostrara:



Foto 13.

Lave el electrodo y sumérjalo en un líquido que contenga pH...y presione CAL



Foto 14. Vistas de Calibración pH

Presione CAL cuando este listo

Durante el ajuste la pantalla mostrara:

BUFFER mV y °C

Y lo valores observados:

Si el ajuste fue exitoso, un segundo ajuste será preparado. La pantalla mostrara:



Foto 15. Vista calibración con pH 4

Lave el electrodo y sumérgalo en un líquido que contenga pH...y presione CAL

- Remueva el electrodo del primer líquido de ajuste.
- Lave los electrodos con agua desmineralizada
- Sumerja los electrodos en el segundo liquido de ajuste
- Presione CAL para iniciar el segundo ajuste

La pantalla mostrara



Foto 16. Vista de una calibración satisfactorai

BUFFER mV y °c

Y lo valores observados:

En el primero y segundo ajuste

Presione CAL para terminar el ajuste proceder con la medición.

8.6. Accesorios

Electrolito 3 M KCl, 500ml

Solución buffer 4.01 + 6.87

Solución de calibración pH 4 + pH 7

Contenedor de almacenamiento del electrodo

Solución desinfectante



Foto 17. Soluciones de calibración, almacenamiento y vaso de almacenamiento

9. ELECTRODO DE OXIGENO DISUELTO O2



Foto 17. Electrodo de Oxígeno Disuelto

9.1. Especificaciones

Tipo: Electrodo de cuerpo epoxy.

Dimensiones: \varnothing 12 x 120 mm

Rango: 0 -100 g/L

Rango Temp.: 0 – 50°C

Cable/conector: Longitud 2m con BNC

Cable/conector: Longitud 2m con conexiones bananas

9.2. Generalidades

1. Nunca deje el electrodo por mucho tiempo en un líquido fuertemente contaminado.

2. Una solución neutral esta disponible para verificar el funcionamiento correcto del medidor en los rangos bajos. La lectura debe ser mg/L 0,0. A +/- 0,2, una desviación es aceptada. En la posición % el valor debe ser o (+/- 4%).

3. Mantenido en el aire el medidor debe leerse 100% (+/- 4%). En mg/L el valor saturado no es absoluto y es inapropiado para ser usado en la determinación de desviaciones.

4. El electrodo es totalmente resistente al agua. Agite el electrodo en liquido mientras mide (10cm/seg. como mínimo) deje que el electrodo se enfríe o caliente por algunos minutos y después proceda con la medición.

5. Nunca envuelva el cable del electrodo hacia el aparato, si no alejado de el, preferiblemente almacene el electrodo en una caja justa al tamaño del electrodo con un poco de agua. El almacenamiento seco también es posible.

Asegurase de secar todas las partes antes de continuar con el almacenamiento.

9.3. Ajuste Del Electrodo De O2

Preparando el equipo para el ajuste:

- Conecte el electrodo de O2 a la entrada EC / O2 y °C
- Encienda el medidor
- Use la tecla MODE para seleccionar la función mg/L O2

Modo De Ingreso

Presione CAL

Una calibración del menú será mostrada:

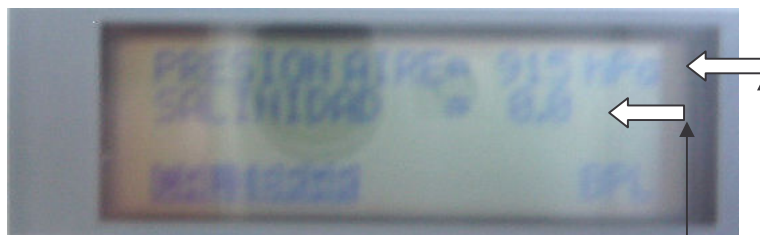


Foto 18. Vista de calibración O2

La presión atmosférica establecida

La salinidad establecida

Calibre.... **GLP**

La presión atmosférica puede ser medida utilizando un medidor separado de presión atmosférica, o consultando la página de los servicios de información meteorológicos.

La salinidad puede ser determinada utilizando el electrodo de Ec (seleccione la función de la salinidad). Entre valor de de salinidad obtenido en espacio indicado.

1. Modificar la presión atmosférica establecida

Presione la flecha ▲ ▼ hasta que las palabra ATMOSPHERIC PRESSION sean mostradas

Presione CAL para activar ATMOSPHERIC PRESSION

Modifique el valor de presión atmosférica utilizando las teclas ▼ y ▲

Presione CAL para confirmar

2. Modificar la salinidad establecida

Presione la flecha ▲ ▼ hasta que las palabra SALINITY sea mostrada

Presione CAL para activar SALINITY

Modifique el valor de salinidad utilizando las teclas ▼ y ▲

Presione CAL para confirmar

3. Ajuste

Presione la flecha ▲ ▼ hasta que las palabra CALIBRATION sea mostrada

Presione CAL para activar CALIBRATION



Foto 19. Proceso de calibración O2

La pantalla mostrara el menú de calibración

Mg / L μ A °C

Si es necesario remueva la protección del electrodo (debe haber una película transparente en la punta del electrodo), en caso de que el electro no halla sido lavado con agua desmineralizada, hágalo ahora. Agítelo hacia abajo como un termómetro clínico, Seque la parte exterior y recueste el electrodo sin tocar la membrana sensitiva.

Presione CAL

La pantalla mostrara los valores previamente ajustados. La sonda suspenderá el ajuste hasta que la medición sea estable, entonces mostrara los nuevos valores medidos. Si son correctos, la sonda ajustara esto nuevos valores y mostrara la palabra SUCCESFUL.



Foto 20. Calibración satisfactoria O2

Presione CAL para terminar el ajuste y proceder con la medición

9.4. Accesorios

Electrolito 3 M KCl, 500ml

Contenedor de almacenamiento del electrodo

Membrana

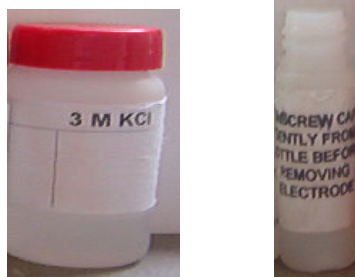


Foto 21. Solución y vaso de almacenamiento

10. ESPECIFICACIONES DE LA SONDA MULTIPARAMETROS EIJKELKAMP

18.28

Rangos

pH 0...14

mV \pm 1100 mV

Conductividad (18.21 , 18.28)

Cc = 0.1cm⁻¹. :0.01 μ S/cm. ...10ms/cm.

Cc = 1cm⁻¹. :0.1 μ S/cm. ...100ms/cm.

Cc = 10cm⁻¹. :1 μ S/cm. ...1000ms/cm.

TDS

Cc = 0.1cm⁻¹. :0.01 mg/l. ...20g/l

Cc = 1cm⁻¹. :0.1 mg/l. ...100g/l

	Cc = 10cm ⁻¹ . :1 mg/l. ...100g/l
Salinidad	0 ...70ppt
O₂	0 ...20mg/l
Saturación	0 ...200%
°C	0 ...100°C (O ₂ , : 0 ...50°C)
Resolución	0.01 pH, 1mV, 0.1°C, 0.01µS/cm., 0.05mg/l O ₂ , 0.5%
Entradas	Entrada BNC para electrodos pH / mV Entrada BNC celda de conductividad o electrodo O ₂ Entrada BANANA para una probeta de temperatura
Compensación de Temp.	Automática con Pt1000 o manualmente
Pantalla	Pantalla LCD, de 122x32 píxeles
Teclas	5 teclas táctiles
Temp. Ambiente	4 ...40°C
Humedad Relativa	0 ...90% (no condensada)
Abastecimiento Elect.	4 baterías alcalinas, tamaño AA
Armazón	Armazón IP65
Dimensiones	195x101x44 mm.
Peso	400 g

10.1. Teclado

MODE = Selecciona todos los modos o sale de un cometido, calibra procedimientos, etc.

Para retornar al modo original.

CAL = Comenzar o proceder a calibrar o a una función

▲/▼ = Botón para entrar un valor o seleccionar una función

ON/OFF = Interruptores de instrumento on / off

10.2. Baterías

Las baterías pueden ser remplazadas abriendo el compartimiento del armazón, solo use baterías alcalinas o baterías NiMH

10.3. Entradas

El medidor de electrodos debe ser conectado al correspondiente conector coaxial pH / mV o EC/O₂. La compensación automática de temperatura y la medición de temperatura será posible conectando una probeta de temperatura Pt1000 dentro del terminales °C. Usted también puede usar un electrodo con la probeta Pt1000.

10.4. Almacenamiento De Datos

Presione ▼ para almacenar los valores en pantalla en la memoria. La pantalla mostrara [log#?] y a continuación una dirección de almacenamiento (1...200), luego seleccione la dirección deseada y presione CAL para entrar los valores medidos en la memoria.

Si usted desea buscar un valor almacenado debe presionar ▲ para llamar los datos almacenados. La pantalla mostrara una lista de valores almacenados y luego proceda a seleccionar la dirección deseada, para salir presione MODE para retornar a las mediciones normales.

10.5. Parámetros De Calibración

Nist Buffer

Temp.	1.68	4.01	6.87	9.18	12.45
0°C	1.666 pH	4.003 pH	6.984 pH	9.464 pH	13.423 pH
5°C	1.668 pH	3.999 pH	6.951 pH	9.395 pH	13.207 pH
10°C	1.670 pH	3.998 pH	6.923 pH	9.332 pH	13.003 pH
15°C	1.672 pH	3.999 pH	6.900 pH	9.276 pH	12.810 pH
20°C	1.675 pH	4.002 pH	6.881 pH	9.225 pH	12.627 pH
25°C	1.679 pH	4.008 pH	6.865 pH	9.180 pH	12.454 pH
30°C	1.683 pH	4.015 pH	6.853 pH	9.139 pH	12.289 pH
40°C	1.694 pH	4.035 pH	6.838 pH	9.068 pH	11.984 pH
50°C	1.707 pH	4.060 pH	6.833 pH	9.011 pH	11.705 pH
60°C	1.723 pH	4.091 pH	6.836 pH	8.962 pH	11.449 pH
70°C	1.743 pH	4.126 pH	6.845 pH	8.921 pH	
80°C	1.766 pH	4.164 pH	6.859 pH	8.885 pH	

Buffer Estándar

Temp.	4.00	7.00	9.21	10.00
5°C	3.99 pH	7.08 pH	9.45 pH	10.24 pH
10°C	3.99 pH	7.06 pH	9.38 pH	10.18 pH
20°C	3.99 pH	7.02 pH	9.26 pH	10.06 pH
25°C	4.00 pH	7.00 pH	9.21 pH	10.01 pH
30°C	4.01 pH	6.99 pH	9.16 pH	9.87 pH
40°C	4.03 pH	6.98 pH	9.06 pH	9.89 pH
50°C	4.06 pH	6.97 pH	8.99 pH	9.83 pH
60°C	4.09 pH	6.98 pH	8.93 pH	9.79 pH

Conductividad Estándar

Temp.	0.01 M	0.1 M	1 M
0°C	776 μ S	7.15 mS	65.4 mS
5°C	896 μ S	8.22 mS	74.1 mS
10°C	1020 μ S	9.33 mS	83.2 mS
15°C	1147 μ S	10.48 mS	92.5 mS
20°C	1278 μ S	11.67 mS	102.1 mS
25°C	1413 μ S	12.88 mS	111.8 mS
30°C	1552 μ S	14.12 mS	121.7 mS

Redox Estándar

Temp.	3 M KCl
0°C	224 mV
5°C	219 mV
10°C	214 mV
15°C	212 mV
20°C	204 mV
25°C	199 mV
30°C	194 mV
35°C	189 mV
40°C	184 mV
45°C	179 mV
50°C	174 mV

Anexo B.

MUESTREADORES

Debido a que dentro del proyecto existían puntos donde el acceso directo para tomar la muestra se hacia imposible (pozos sin bomba, piezómetros y cisternas). Fue necesario diseñar una herramienta que nos permitiera llegar a los niveles de agua, teniendo en cuenta la preservación del punto, y sobre todo lo más importante la de obtener una muestra lo menos alterada posible.

Para tal fin se diseñaron una serie de muestreadores a profundidad, los cuales iban desde un diámetro de ½" hasta 3". La idea principal como ya se dijo es la de tomar una muestra lo más representativa de acuífero, y para tal efecto debíamos de llegar a los niveles donde se encontraban las rejillas de captación. Del grupo de muestreadores el más utilizado por su practicidad y buen volumen de recolección fue el de 1", esto debido a que la mayoría de los piezómetros tienen un diámetro de 3" y los pozos sin bomba alrededor de 4", las cisternas en este caso no representaron tantos inconvenientes por su fácil acceso.

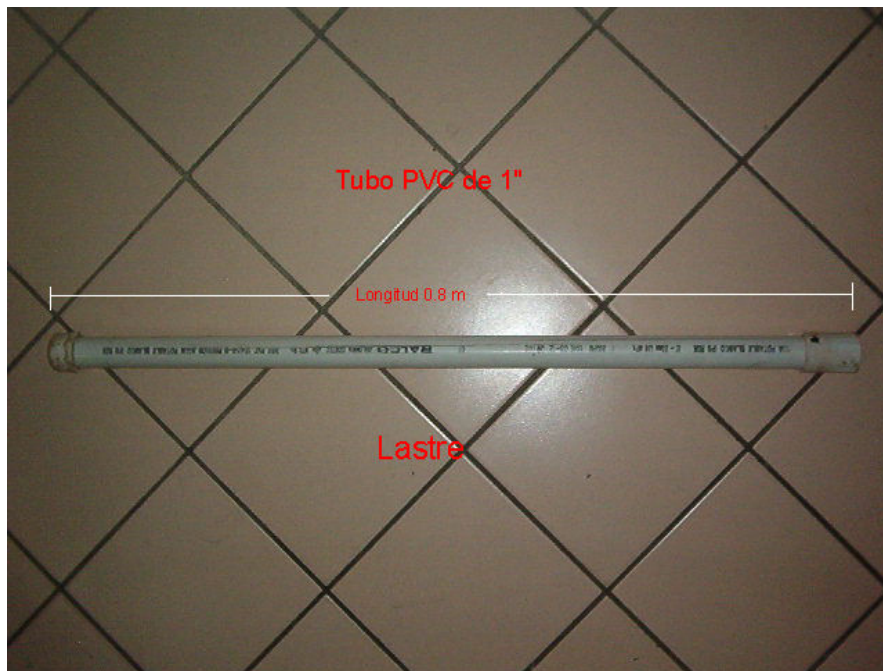
A continuación se describirá de forma breve pero concisa su composición, los dispositivos constan fundamentalmente de tres secciones.

Foto 22. Muestreador de 1”



La primera e inferior consta de un tubo PVC sellado dentro del cual se coloca el lastre necesario para la inmersión del dispositivo. Para lastrar el aparato se puede utilizar cualquier tipo de material, la precaución que se debe tener es la de aislar la sección con el fin de que este no contamine la muestra. Para nuestro diseño se utilizó arena, piedras y plomo; como aislante usamos un polímero inerte como lo es la silicona. Para su conexión con el tubo almacenamiento, se le colocó un accesorio hembra en la parte superior.

Foto 23. Lastre



La segunda es la de almacenamiento, la cual tanto en su parte superior como inferior lleva un accesorio macho para poder ser conectada tanto al lastre como a la válvula de pie, esta me permite regular la entrada del fluido para captar a la profundidad deseada. La dirección de instalación de la válvula es contraria al sentido de entrada de flujo, hay dos maneras de abrir el dispositivo, la primera es utilizando un cordel conectado al sello que me permita abrirlo a la profundidad deseada, el problema de este radica en su poca practicidad, pues tiende a enredarse demasiado, retardando así el proceso de recolección. El segundo consiste en dejar semiabierto la válvula por medio de una cuña, en este caso se recolecta una mínima cantidad de líquido que no corresponde a la profundidad a muestrear, pero su proporción no se considera representativa con el total del volumen obtenido (Ver Foto 25), el volumen a recolectar es dependiente de las dimensiones de esta sección.

Foto 24. Válvula

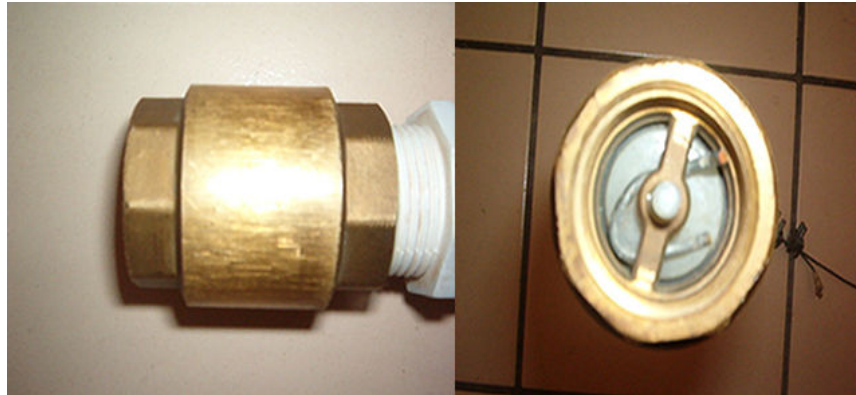
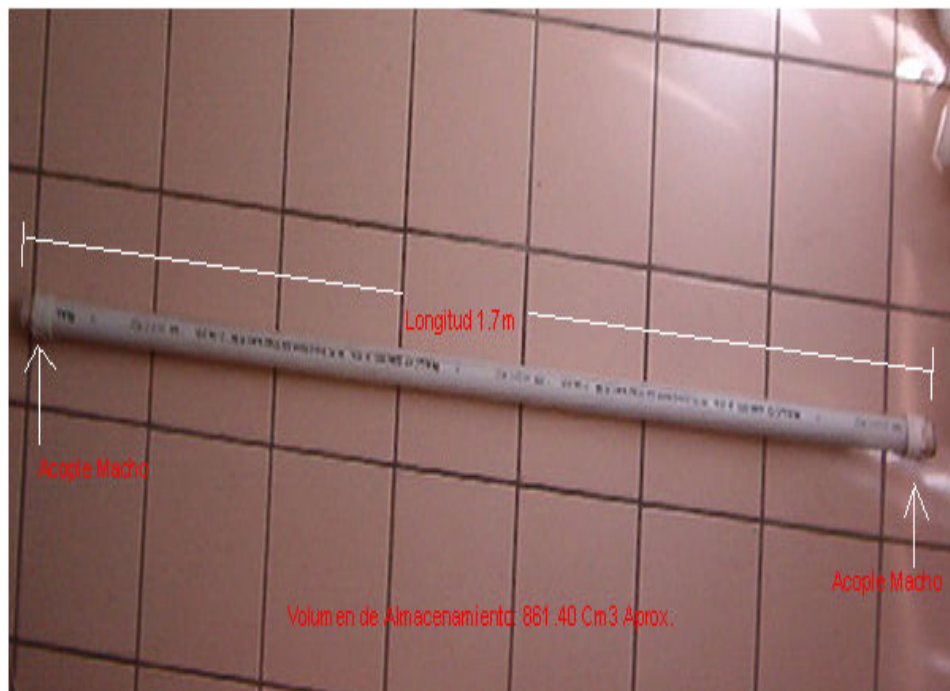


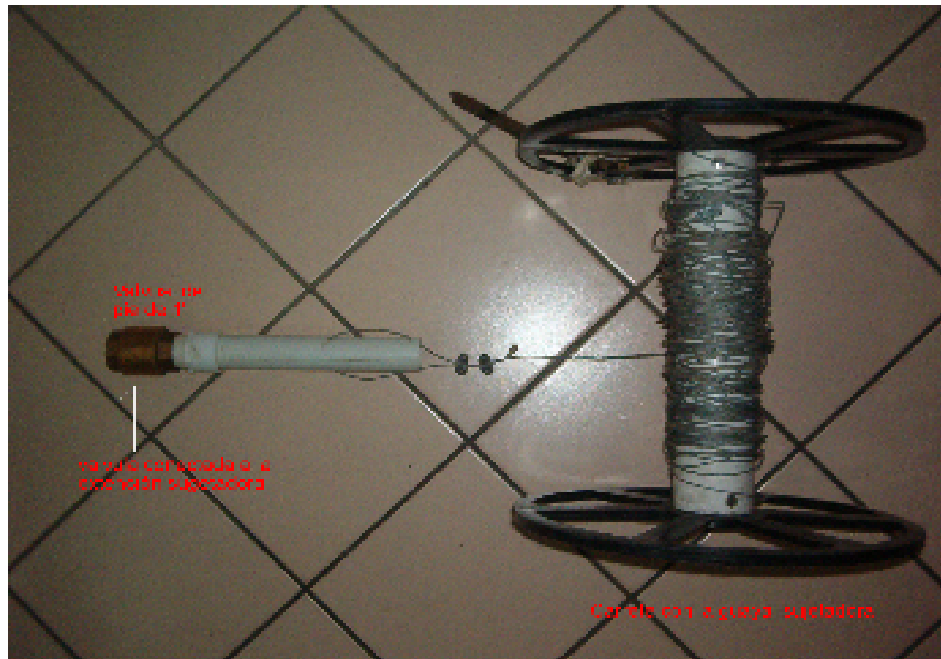
Foto 25. Vaso de Almacenamiento



La tercera y última es una pequeña extensión de tubería que en su parte inferior se encuentra unida a la válvula por medio de un macho, y arriba acoplada a una guaya la cual se utiliza para llamar nuestro muestreador.

Se diseñaron muestreadores de diferentes dimensiones tanto de longitud como de grosor, por lo tanto distintos volúmenes de recolección.

Foto 26. Sujetador



1. Muestreador # 1

Longitud total: 1.80 mts

Diámetro: 1/2"

Longitud del Vaso: 1mt

Capacidad: 126.67 Cm³ Aprox.

2. Muestreador # 2

Longitud total: 2.30 mts

Diámetro: 1"

Longitud del Vaso: 1.70mts

Capacidad: 861.40 Cm³ Aprox. (Es el mostrado en la **Foto 22**)

Se destaca por su practicidad y gran volumen de recolección el de 1", teniendo en cuenta que entre menos alterada este la muestra será mucho mejor.

SONDA MEDICIÓN DE NIVELES

Para llevar un control de los niveles freático o piezométrico de los distintos puntos es necesario contar con un aparato el cual nos indique la profundidad exacta donde se encuentra el agua; el dispositivo esencialmente es un cable de antena al cual unimos una cinta métrica por medio de remaches. El Cable me permite crear un circuito abierto, ya que en la parte superior colocamos un circuito medidor de niveles, en el extremo inferior dejamos al descubierto las dos puntas, las cuales al encontrar el nivel de agua cierran el circuito y encienden luz indicadora en la caja. En la parte inferior se le coloco un lastre pero de forma que no interfiriera con el buen funcionamiento de la sonda.

Tablas

Tabla 7. Muestreo Piloto

No.	Tipo	Código Local	Localización	Zona	m.s.n.m	N. Agua	Fecha toma	Hora toma	Temp Aire	Temp Agua	pH	Redox	Cond Elec.	Salinidad TDS		Oxígenos Disueltos O ₂	%O ₂
														mg/L	Sal		
					mts	mts	2004		°C	°C	mV	µS/cm	mg/L	mg/L			
1	Piezómetro	Albania	B. El Jardín	Falla	1015	1.35	01-May	09:52	23	22,1	6,7	2	828	444	0,4	0,95	12,5
2	Piezómetro	Pan de Azúcar 1	B. Pan de Azúcar	Falla	1035	6.4	16-Abr	10:40	21,8	21,2	7,3	509	220	117	0,1	1,4	17
3	Piezómetro	Pan de Azúcar 2	B. Pan de Azúcar	Falla	1035	10	23-Abr	17:25	14,9	21	7,1	516	509	273	0,3	1,55	19
4	Piezómetro	La Flora 1	Parque La Flora	Aluvial	960	0.5	16-Abr	12:23	21,5	22	6	46	164	88	0,1	1,25	16
5	Piezómetro	La Flora 2	Parque La Flora	Aluvial	960	30.30	23-Abr	18:10	14,1	22,7	6,6	6	383	204	0,2	1,2	15
6	Piezómetro	Somascos 1	Padres Somascos	Aluvial	825	3.30	23-Abr	16:14	20	24	6,4	14	353	188	0,2	2,6	34
7	Piezómetro	Somascos 2	Padres Somascos	Aluvial	825	1.43	23-Abr	15:35	20,3	25,5	6,9	525	278	148	0,1	2,7	36
8	Piezómetro	Somascos 3	Padres Somascos	Aluvial	825	1.44	23-Abr	15:55	20,3	25,8	6,9	525	336	178	0,2	2,65	37
9	Quebrada	La Flora	Lavadero Morrorico	Falla	1140	0	17-Abr	13:26	20,1	20	7,9	480	276	147	0,2	5,6	71
10	Manantial	La Aurora	Km. 7+400 Vía Cúcuta	Ígnea	1360	0	17-Abr	12:37	23,6	21,1	7,5	509	137	73	0,1	4,95	62,5
11	Manantial	Qda La Iglesia	Km. 11 + 100	Ígnea	1580	0	17-Abr	12:02	19,1	18,4	6,5	15	94,2	50,1	0,1	4,35	52
12	Afloramiento	Conucos	Vía Antigua a Florida	Aluvial	975	0	17-Abr	07:34	21,7	25	5,2	88	79	71,7	0	3,45	46
13	Afloramiento	Qbda El Carmen	Sobre la transversal Oriental	Jordán-Girón	1015	0	01-May	12:00	24	23,8	5,5	71	197	104	0,1	0,7	9
14	Quebrada	Suratoque	Sobre la transversal Oriental	Jordán	995	0	26-Abr	18:03	21,5	22,5	7,9	469	406	216	0,2	3,9	50
15	Afloramiento	La Malaña	Qda. La Malaña	Falla	1255	0	01-May	11:00	24,1	20,2	7,6	490	237	126	0,1	3,4	42
16	Afloramiento	El Lago	Lagos del Cacique	Falla	1015	0	21-Abr	17:30	18,3	22,2	7,7	488	167	88	0,1	3,4	43
17	Afloramiento	La Esmeralda	B. la Esmeralda	Formación Diamante	917	0	26-Abr	17:26	21,1	22,8	7,4	499	592	314	0,3	1,45	18,5
18	Cisterna	La Rosita	Av Qbda La Rosita Con Cir21	Aluvial	960	3.3	17-Abr	16:47	21,6	25,2	5,6	64	136	72	0,1	4,95	66
19	Cisterna	La Cumbre	Lavadero La Cumbre	Jordán	1010	4	27-Abr	11:20	29	23,2	5,2	86	477	253	0,2	1,85	24
20	Cisterna	Galán	Barrio Galán	Aluvial	680	1.19	21-Abr	10:36	22,8	25,4	6,8	4	482	256	0	0,85	11,5
21	Pozo	Chimitá	Terpel – Chimitá	Aluvial	690	Artesiano	21-Abr	11:50	22,4	26,2	7	254	526	135	0,1	1,25	16,5
22	Pozo	La Colina	Jardines La Colina	Falla	1080	24	27-Abr	14:26	27,7	24,6	7,3	505	582	310	0,3	3,15	42

Tabla 7. Muestreo Piloto

No.	Tipo	Código Local	Localización	Zona	m.s.n.m	N. Agua	Fecha toma	Temp Aire	Temp Agua	pH	Redox	Cond Elec.	Salinidad TDS	Oxígenos Disueltos O ₂	%O ₂	
					mts	mts	2004	°C	°C		mV	µS/cm	mg/L	mg/L		
23	Pozo	Estación Servicio Oriental Transportes	Estación Servicio Oriental Transportes	Jordán-Girón	945	45	27-Abr 13:13	29,2	30,4	7,8	476	520	276	0,2	2,3	33,5
24	Pozo	Autolavado Calle 48	Calle 48 #32-67	Aluvial	1005		27-Abr 16:01	24,1	25	4,7	118	49,2	26,1	0	2,15	28,5
25	Pozo	Autolavado Center Car/S. Francisco	Bulevar Bolívar Cra 21 Esq.	Aluvial	916	12	27-Abr 16:37	23,5	25	4,4	134	208	110	0,1	2,1	28
26	Pozo	Pozo Norte	Padres Somascos	Aluvial	825	Desconocido	17-Abr 09:44	24,1	25,3	6,7	8	188	100	0,1	0,9	12
27	Dren	Nazareth	B. Nazareth	Aluvial	910	0	21-Abr 08:30	20,2	24,4	4,1	154	247	131	0,1	2,7	35
28	Dren	Independencia	Barrio Independencia Lavadero	Aluvial	885	0	21-Abr 09:15	20,7	24,2	4,7	123	237	126	0,1	2,5	33,5
29	Dren	Argelia	Barrio Argelia	Aluvial	880	0	23-Abr 11:02	15	24,8	3,8	160	266	141	0,1	1,85	24
30	Dren	Rosita	Vivero La Rosita	Aluvial	865	0	23-Abr 10:09	17,6	22,7	5,2	86	185	97	0,1	3,3	42
31	Dren	Las Navas	Qda Las Navas	Aluvial	880	0	03-May 11:30	20,3	24	3,9	165	500	266	0,2	3,8	51
32	Dren	Cuyamita	Qda Cuyamita	Aluvial	875	0	03-May 11:00	20,5	24	4,7	122	224	118	0,1	1,2	15
33	Dren	La Colina	Vía C. La Colina a 800 m	Falla	1005	0	26-Abr 14:50	25,9	24	5,1	93	29,9	15,2	0	3,85	51
34	Manantial	Qda. Providencia	K33+200 Vía Cúcuta	Ígneo	2485	0	17-Abr 09:10	14,1	10,9	7,8	489	37,4	19,8	0	6	62,5
35	Manantial		K32+300 Vía Cúcuta	Ígneo	2420	0	17-Abr 09:44	13,9	11,7	8,4	454	30,2	14,7	0	5,6	58
36	Manantial	El Diviso	K18+300 Vía Cúcuta	Ígneo	1780	0	17-Abr 10:46	19,3	15,6	7,6	496	63,7	33,9	0	5,3	58,5
37	Lago	Las Orquídeas	Lagos del Cacique	Falla	1025	0	21-Abr 17:09	19,2	24	7,3	510	232	129	0,1	3,85	50,5
38	Pozo	Estación Colombia	Cr24 #32-24	Aluvial	965	10	29-Abr 12:14	30	25,2	4,1	154	283	149	0,1	5,5	72,5
39	Pozo	Estación Terpel	Av Qbda Seca Con Cr 19	Aluvial	960	10	29-Abr 15:51	27,8	26,2	4,5	131	219	116	0,1	1,4	19
40	Cisterna	Splash Car	Av Qbda Seca #19-70	Aluvial	963	12	29-Abr 16:16	27,7	28,8	6,9	530	548	291	0,2	1,45	20
41	Cisterna	Servicentro RapiLISTO	Cil 56 #17-30	Aluvial	950	8	29-Abr 11:37	30	28,2	6,7	5	169	90	0,1	2,8	39,5

Tabla 7. Muestreo Piloto

No.	Tipo	Código Local	Localización	Zona	m.s.n.m	N. Agua	Fecha toma	Hora toma	Temp Aire	Temp Agua	pH	Redox	Cond Elec.	Salinidad TDS		Oxígenos Disueltos O ₂	%O ₂
														mg/L	Sal		
					mts	mts	2004		°C	°C	mV	µS/cm	mg/L	Sal	mg/L		
42	Cisterna	Servicentro El Mejor	Cl 56 #17A-21	Aluvial	950	8	29-Abr	11:20	30	26,7	4,4	138	278	148	0,1	3,3	45
43	Manantial	Qbda El Carmen	Sobre la transversal Oriental	Jordán-Girón	1015	0	01-May	12:15	24,5	26,6	5,7	64	227	119	0,1	0,7	9
44	Manantial	Qbda El Carmen	Sobre la transversal Oriental	Jordán-Girón	1015	0	01-May	12:26	24,5	27	7,1	521	95	50,7	0,1	3,3	45
45	Precipitación	Estación UIS	Cr27 con 9	Aluvial	965	0	29-Abr	22:38	20	20,4	6,3	31	31,6	16,7	0	3,4	43
46	Precipitación	Estación Centro	Cr24 #31-111	Aluvial	965	0	03-May	21:15	20	20,4	7,5	-30	34,6	18,5	0	3,6	45
47	Pozo	Parq. San Pío	Cr35 entre 45-46	Aluvial	995	100	29-Abr	09:40	23	25,5	5,4	80	71,4	38,4	0	1,9	25,5
48	Piezómetro	Buonavista	K5 Vía Cúcuta B. Buenavista	Falla	960	5,71	19-May	15:45	17,6	19,5	7,3	514	300	159	0,2	1,2	15
49	Pozo	Llanogmade	Vía Zapatoaca, Hda Llanogmade	Girón	680	7,81	12-Jun	14:15	24,3	27,4	6,9	2	517	276	0,2	1,5	20
50	Pozo	Pretecor	Vía P/cuesta Km 10	Ígneo	1000	40	12-Jun	09:36	22,8	25,5	6,4	10	500	267	0,2	1,6	21

Tabla 8. Análisis De Cluster

No.	Tipo	Código Local	Zona	Temp.Agua °C	pH	Redox mV	Conductividad Eléctrica µS/cm.	Salinidad TDS mg/L	Oxigenos Disueltos O2 mg/L
1	Piezómetro	Albania	Falla	22,1	6,73	2	828	444	0,95
2	Piezómetro	Pan de Azúcar 2	Falla	21	7,05	516	509	273	1,55
3	Piezómetro	La Flora 1	Aluvial	22	5,96	46	164	88	1,25
4	Afloramiento	Conucos	Aluvial	25	5,18	88	79	71,7	3,45
5	Nacimiento	La Malaña	Falla	20,2	7,62	490	237	126	3,4
6	Afloramiento	El Lago	Falla	22,2	7,67	488	167	88	3,4
7	Cisterna	La Rosita	Aluvial	25,2	5,64	64	136	72	4,95
8	Cisterna	Galán	Aluvial	25,4	6,76	4	482	256	0,85
9	Pozo	La Collina	Falla	24,6	7,3	505	582	310	3,15
10	Pozo	Autolavado Calle 48	Aluvial	25	4,68	118	49,2	26,1	2,15
11	Pozo	Autolavado Center Car	Aluvial	25	4,4	134	208	110	2,1
12	Dren	Nazareth	Aluvial	24,4	4,08	154	247	131	2,7
13	Dren	Independencia	Aluvial	24,2	4,67	123	237	126	2,5
14	Dren	Argelia	Aluvial	24,8	3,8	160	266	141	1,85
15	Dren	Rosita	Aluvial	22,7	5,18	86	185	97	3,3
16	Dren	Las Navas	Aluvial	24	3,87	165	500	266	3,8
17	Dren	Cuyamita	Aluvial	24	4,66	122	224	118	1,2
18	Dren	La Collina	Falla	24	5,06	93	29,9	15,2	3,85
19	Lago	Las Orquideas	Falla	24	7,3	510	232	129	3,85
20	Pozo	Estación Colombia	Aluvial	25,2	4,08	154	283	149	5,5
21	Pozo	Estación Terpel	Aluvial	26,2	4,5	131	219	116	1,4
22	Cisterna	Splash Car	Aluvial	28,8	6,9	530	548	291	1,45
23	Cisterna	Servicentro Raplilisto	Aluvial	28,2	6,72	5	169	90	2,8
24	Cisterna	Servicentro El Mejor	Aluvial	26,7	4,41	138	278	148	3,3

Grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático GPH-UIS
Tabla 10. Seguimiento Invierno

No.	Tipo	Código Local	Código CDMB	Localización	Zona	m.s.n.m	Fecha toma	Hora toma	Temp. Aire °C	Temp. Agua °C	pH	Redox mV	Cond Eléctrica µS/cm.	Salinidad TDS	
														mg/L	Sal
1	Dren	Nazareth	#25	B. Nazareth	Aluvial	915	17-May	08:00	17,9	23,9	4,53	128	220	117	0,1
2	Dren	Rosita	#23	Vivero La Rosita	Aluvial	895	17-May	09:31	22,7	24,7	5,05	100	263	140	0,1
3	Cisterna	Servicentro El Mejor		Cil 56 #17A-21	Aluvial	940	17-May	09:54	25	26,5	4,38	139	247	131	0,1
4	Afloramiento	Obda El Carmen		Sobre la transversal Oriental	Jordan-giron	1010	17-May	11:00	23,4	23,7	5,62	68	212	113	0,1
5	Piezómetro	Pan de Azúcar 1		B. Pan de Azúcar	Falla	1055	17-May	11:37	18,5	21,7	7,5	501	221	117	0,1
6	Piezómetro	Pan de Azúcar 2		B. Pan de Azúcar	Falla	1055	17-May	12:00	17	21,7	7,36	511	459	244	0,2
7	Manantial	Qda. Providencia		K33+200 Via Cúcuta	Ignea	2555	17-May	13:22	13,7	13	8,17	460	62,5	33,1	0
8	Afloramiento	La Malaña		Qda. La Malaña	Ignea	1295	17-May	14:42	18,9	21,1	7,83	483	229	122	0,1
1	Dren	Nazareth	#25	B. Nazareth	Aluvial	915	19-May	07:00	15,5	24,1	4,32	141	242	129	0,1
2	Dren	Rosita	#23	Vivero La Rosita	Aluvial	895	19-May	07:40	18,5	23,4	5,42	78	184	97	0,1
3	Cisterna	Servicentro El Mejor		Cil 56 #17A-21	Aluvial	940	19-May	08:21	20,6	25,3	4,36	139	265	141	0,1
4	Afloramiento	Obda El Carmen		Sobre la transversal Oriental	Jordan-giron	1010	19-May	09:17	24,4	23,4	5,75	60	219	116	0,1
5	Piezómetro	Pan de Azúcar 1		B. Pan de Azúcar	Falla	1055	19-May	10:30	22,2	22	7,48	501	246	131	0,1
6	Piezómetro	Pan de Azúcar 2		B. Pan de Azúcar	Falla	1055	19-May	10:45	22,2	21,9	7,2	516	492	262	0,3
7	Manantial	Qda. Providencia		K33+200 Via Cúcuta	Ignea	2555	19-May	14:15	10,5	11,5	8,05	-65	52,8	28	0
8	Afloramiento	La Malaña		Qda. La Malaña	Ignea	1295	19-May	16:06	17,5	21,8	8,05	475	228	120	0,1

Grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático GPH-UIS
Tabla 10. Seguimiento Invierno

No.	Tipo	Código Local	Código CDMB	Localización	Zona	m.s.n.m	Fecha toma	Hora toma	Temp. Aire °C	Temp. Agua °C	pH	Redox mV	Cond Eléctrica µS/cm.	Salinidad TDS	
														mg/L	Sal
1	Dren	Nazareth	#25	B. Nazareth	Aluvial	915	21-May	06:57	19,8	23,8	4,49	135	258	137	0,1
2	Dren	Rosita	#23	Vivero La Rosita	Aluvial	895	21-May	07:30	24,5	22,9	5,32	89	193	102	0,1
3	Cisterna	Servicentro El Mejor		Cll 56 #17A-21	Aluvial	940	21-May	07:58	23,4	25,8	4,25	143	266	141	0,1
4	Afloramiento	Qbda El Carmen		Sobre la transversal Oriental	Jordan-giron	1010	21-May	09:15	26,7	24,1	6,19	42	221	117	0,1
5	Piezómetro	Pan de Azúcar 1		B. Pan de Azúcar	Falla	1055	21-May	09:54	26,9	21,8	7,65	499	233	124	0,1
6	Piezómetro	Pan de Azúcar 2		B. Pan de Azúcar	Falla	1055	21-May	10:01	26,2	21,9	7,5	506	450	239	0,2
7	Manantial	Qda. Providencia		K33+200 Vía Cúcuta	Ignea	2555	21-May	11:30	12,6	11,8	8,26	459	55,5	29,6	0
8	Afloramiento	La Malaña		Qda. La Malaña	Ignea	1295	21-May	13:00	19	22,1	8,25	465	224	118	0,1
1	Dren	Nazareth	#25	B. Nazareth	Aluvial	915	26-May	08:39	20,9	24,5	4,02	152	237	125	0,1
2	Dren	Rosita	#23	Vivero La Rosita	Aluvial	895	26-May	09:27	23,9	24,1	5,33	86	184	98	0,1
3	Cisterna	Servicentro El Mejor		Cll 56 #17A-21	Aluvial	940	26-May	09:55	24,5	25,5	5,1	98	268	142	0,1
4	Afloramiento	Qbda El Carmen		Sobre la transversal Oriental	Jordan-giron	1010	26-May	10:53	26,4	24	5,75	61	188	100	0,1
5	Piezómetro	Pan de Azúcar 1		B. Pan de Azúcar	Falla	1055	26-May	11:46	25,8	22,2	7,52	501	231	132	0,1
6	Piezómetro	Pan de Azúcar 2		B. Pan de Azúcar	Falla	1055	26-May	11:58	25,2	22,5	7,41	512	459	244	0,2
7	Manantial	Qda. Providencia		K33+200 Vía Cúcuta	Ignea	2555	26-May	16:30	15,3	12,7	7,33	496	48,1	25,5	0
8	Afloramiento	La Malaña		Qda. La Malaña	Ignea	1295	26-May	17:30	17,5	20	8,48	-79	230	122	0,1

Grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático GPH-UIS
Tabla 10. Seguimiento Invierno

No.	Tipo	Código Local	Código CDMB	Localización	Zona	m.s.n.m	Fecha toma	Hora toma	Temp. Aire °C	Temp. Agua °C	pH	Redox mV	Cond Electrica µS/cm.	Salinidad TDS	
														mg/L	Sal
1	Dren	Nazareth	#25	B. Nazareth	Aluvial	915	28-May	07:58	18,6	23,7	4,42	118	238	126	0,1
2	Dren	Rosita	#23	Vivero La Rosita	Aluvial	895	28-May	08:31	19,5	23,9	5,52	63	177	94	0,1
3	Cisterna	Servicentro El Mejor		Cll 56 #17A-21	Aluvial	940	28-May	09:00	20,1	25,1	5,27	77	265	140	0,1
4	Afloramiento	Qbda El Carmen		Sobre la transversal Oriental	Jordan-giron	1010	28-May	09:41	18,2	23,1	5,85	46	191	101	0,1
5	Piezómetro	Pan de Azúcar 1		B. Pan de Azúcar	Falla	1055	28-May	10:22	17,6	21,5	7,59	-42	238	126	0,1
6	Piezómetro	Pan de Azúcar 2		B. Pan de Azúcar	Falla	1055	28-May	10:33	17	21,4	7,38	-30	463	247	0,2
7	Manantial	Qda. Providencia		K33+200 Via Cúcuta	Ignea	2555	28-May	13:13	12,3	11,2	8,06	465	52,6	28,3	0
8	Afloramiento	La Malaña		Qda. La Malaña	Ignea	1295	28-May	14:24	19,5	21,5	7,98	456	232	120	0,1

Grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático GPH-UJS

Tabla 11. Seguimiento Verano

No.	Tipo	Código Local	Código CDMB	Localización	Zona	m.s.n.m	Fecha toma	Hora toma	Temp. Aire	Temp. Agua	pH	Redox	Cond Eléctrica	Salinidad TDS
						mts	2004		°C	°C		mV	µS/cm.	mg/L
1	Dren	Nazareth	#25	B. Nazareth	Aluvial	915	01-Jul	10:44	26,4	24,8	4,25	130	260	136
2	Dren	Rosita	#23	Vivero La Rosita	Aluvial	895	01-Jul	11:18	30,9	24,1	5,41	64	184	98
3	Cisterna	Servicentro El Mejor		Cil 56 #17A-21	Aluvial	940	01-Jul	11:50	32,4	26,1	4,03	145	289	150
4	Afloramiento	Qbda El Carmen		Sobre la transversal Oriental	Jordan-giron	1010	01-Jul	12:11	33,1	25,8	5,85	39	215	114
5	Piezómetro	Pan de Azúcar 1		B. Pan de Azúcar	Falla	1055	01-Jul	15:08	27,3	21,9	7,02	505	233	123
6	Piezómetro	Pan de Azúcar 2		B. Pan de Azúcar	Falla	1055	01-Jul	15:01	27,3	22,1	6,93	514	62	32,8
7	Manantial	Qda. Providencia		K33+200 Vía Cúcuta	Ignea	2555	30-Jun	06:48	12,7	8,8	8,11	78	58,2	30,9
8	Afloramiento	La Malaña		Qda. La Malaña	Ignea	1295	30-Jun	15:01	19,9	20,1	7,75	-59	236	125
1	Dren	Nazareth	#25	B. Nazareth	Aluvial	915	03-Jul	09:22	24,6	24,6	4,03	145	247	133
2	Dren	Rosita	#23	Vivero La Rosita	Aluvial	895	03-Jul	09:47	25,7	23,6	5,25	75	185	98
3	Cisterna	Servicentro El Mejor		Cil 56 #17A-21	Aluvial	940	03-Jul	10:20	25,5	27,8	4,22	138	282	150
4	Afloramiento	Qbda El Carmen		Sobre la transversal Oriental	Jordan-giron	1010	03-Jul	10:56	27,4	23,7	5,85	42	223	118
5	Piezómetro	Pan de Azúcar 1		B. Pan de Azúcar	Falla	1055	03-Jul	11:38	25,2	22,8	7,15	512	241	117
6	Piezómetro	Pan de Azúcar 2		B. Pan de Azúcar	Falla	1055	03-Jul	11:33	25,2	22,3	6,82	509	72	45,3
7	Manantial	Qda. Providencia		K33+200 Vía Cúcuta	Ignea	2555	03-Jul	06:47	11	9,7	7,18	-31	62,3	33,1
8	Afloramiento	La Malaña		Qda. La Malaña	Ignea	1295	03-Jul	08:41	20,4	20,2	7,08	509	245	130

Grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático GPH-UIS

Tabla 11. Seguimiento Verano

No.	Tipo	Código Local	Código CDMB	Localización	Zona	m.s.n.m mts	Fecha toma 2004	Hora toma	Temp. Aire °C	Temp. Agua °C	pH	Redox mV	Cond Electrica µS/cm.	Salinidad TDS	
														mg/L	Sal
1	Dren	Nazareth	#25	B. Nazareth	Aluvial	915	06-Jul	08:40	22,3	24,5	4,07	152	240	134	0,1
2	Dren	Rosita	#23	Vivero La Rosita	Aluvial	895	06-Jul	09:12	23,7	24,7	5,3	84	255	100	0,1
3	Cisterna	Servicentro El Mejor		Cil 56 #17A-21	Aluvial	940	06-Jul	09:47	24,3	26,3	4,65	143	286	145	0,1
4	Afloramiento	Qbda El Carmen		Sobre la transversal Oriental	Jordan-giron	1010	06-Jul	10:30	25,2	24,2	5,8	44	225	110	0,1
5	Piezómetro	Pan de Azúcar 1		B. Pan de Azúcar	Falla	1055	06-Jul	11:42	20,8	21,6	7,05	497	236	122	0,1
6	Piezómetro	Pan de Azúcar 2		B. Pan de Azúcar	Falla	1055	06-Jul	11:38	20,9	21,8	7,2	509	63,3	50,3	0,1
7	Manantial	Qda. Providencia		K33+200 Vía Cúcuta	Ignea	2555	05-Jul	08:37	12,9	10,9	7,65	484	51,4	27,3	0
8	Afloramiento	La Malaña		Qda. La Malaña	Ignea	1295	05-Jul	11:04	22,6	20,7	7,12	512	236	125	0,1
1	Dren	Nazareth	#25	B. Nazareth	Aluvial	915	28-Jul	09:34	20,8	24,2	4,28	144	243	128	0,1
2	Dren	Rosita	#23	Vivero La Rosita	Aluvial	895	28-Jul	10:13	20,1	23,3	5,26	89	175	93	0,1
3	Cisterna	Servicentro El Mejor		Cil 56 #17A-21	Aluvial	940	28-Jul	10:55	22	25,2	4,02	160	267	142	0,1
4	Afloramiento	Qbda El Carmen		Sobre la transversal Oriental	Jordan-giron	1010	28-Jul	11:56	18,3	21,2	6,99	47	209	110	0,1
5	Piezómetro	Pan de Azúcar 1		B. Pan de Azúcar	Falla	1055	28-Jul	12:43	18	21	7,4	501	240	127	0,1
6	Piezómetro	Pan de Azúcar 2		B. Pan de Azúcar	Falla	1055	28-Jul	12:49	18	21,3	6,93	525	482	258	0,1
7	Manantial	Qda. Providencia		K33+200 Vía Cúcuta	Ignea	2555	30-Jul	08:46	12,5	10,2	7,8	480	54,6	29,3	0
8	Afloramiento	La Malaña		Qda. La Malaña	Ignea	1295	30-Jul	10:53	20,3	23,1	7,56	483	234	123	0,1

No.	Tipo	Código Local	Código CDMB	Localización	Zona	m.s.n.m	Fecha toma	Hora toma	Temp. Aire	Temp. Agua	pH	Redox	Cond Eléctrica	Salinidad TDS	
														µS/cm.	mg/L
1	Dren	Nazareth	#25	B. Nazareth	Aluvial	915	05-Ago	11:58	23,8	24,5	4,42	154	243	129	0,1
2	Dren	Rosita	#23	Vivero La Rosita	Aluvial	895	03-Ago	11:50	27,2	24	5,16	101	184	98	0,1
3	Cisterna	Servicentro El Mejor		Cll 56 #17A-21	Aluvial	940	03-Ago	12:34	26,3	25,1	3,26	209	282	150	0,1
4	Afloramiento	Qbda El Carmen		Sobre la transversal Oriental	Jordan-giron	1010	05-Ago	13:20	19,4	22,3	5,75	47	226	116	0,1
5	Piezómetro	Pan de Azúcar 1		B. Pan de Azúcar	Falla	1055	03-Ago	09:43	18,6	21,5	6,79	7	251	113	0,1
6	Piezómetro	Pan de Azúcar 2		B. Pan de Azúcar	Falla	1055	03-Ago	09:30	18,6	21,6	6,74	9	511	272	0,3
7	Manantial	Qda. Providencia		K33+200 Vía Cúcuta	Ígnea	2555	03-Ago	07:54	10,5	9,4	7,06	529	53,9	28,7	0
8	Afloramiento	La Malaña		Qda. La Malaña	Ígnea	1295	05-Ago	10:30	21,6	20,5	7,36	520	240	127	0,1

Tablas 12. Seguimiento de los Parámetros

	Invierno						Verano					
	17-May	19-May	21-May	26-May	28-May	01-Jul	03-Jul	06-Jul	28-Jul	03-Ago		
pH												
Dren Nazareth	4,53	4,32	4,49	4,02	4,42	4,25	4,03	4,07	4,28	4,42		
Dren Rosita	5,05	5,42	5,32	5,33	5,52	5,41	5,25	5,3	5,26	5,16		
Cisterna Cil56 # 17A-21	4,38	4,36	4,25	5,1	5,27	4,03	4,22	4,65	4,02	3,26		
Afloramino Qbda El Carmen	5,62	5,75	6,19	5,75	5,85	5,85	5,85	5,8	6,99	5,75		
Piezómetro pan de Azúcar I	7,5	7,48	7,65	7,52	7,59	7,02	7,15	7,05	7,4	6,79		
Piezómetro pan de Azúcar S	7,36	7,2	7,5	7,41	7,38	6,93	6,82	7,2	6,93	6,74		
Manantial K-33	8,17	8,05	8,26	7,33	8,06	8,11	7,18	7,65	7,8	7,06		
Afloramino La Malaña	7,83	8,05	8,25	8,48	7,98	7,75	7,08	7,12	7,56	7,36		

	Invierno						Verano					
	17-May	19-May	21-May	26-May	28-May	01-Jul	03-Jul	06-Jul	28-Jul	03-Ago		
Redox												
Dren Nazareth	128	141	135	152	118	130	145	152	144	154		
Dren Rosita	100	78	89	86	63	64	75	84	89	101		
Cisterna Cil56 # 17A-21	139	139	143	98	77	145	138	143	160	209		
Afloramino Qbda El Carmen	68	60	42	61	46	39	42	44	47	47		
Piezómetro pan de Azúcar I	501	501	499	501	-42	505	512	497	501	7		
Piezómetro pan de Azúcar S	511	516	506	512	-30	514	509	509	525	9		
Manantial K-33	460	-65	459	496	465	78	-31	484	480	529		
Afloramino La Malaña	483	475	465	-79	456	-59	509	512	483	520		

Tablas 12. Seguimiento de los Parámetros

	Invierno						Verano					
	17-May	19-May	21-May	26-May	28-May	01-Jul	03-Jul	06-Jul	28-Jul	03-Ago		
Conductividad												
Dren Nazareth	220	242	258	237	238	260	247	240	243	243		
Dren Rosita	263	184	193	184	177	184	185	255	175	184		
Cisterna Cil56 # 17A-21	247	265	266	268	265	289	282	286	267	282		
Afloramino Qbda El Carmen	212	219	221	188	191	215	223	225	209	226		
Piezómetro pan de Azúcar I	221	246	233	231	238	233	241	236	240	251		
Piezómetro pan de Azúcar S	459	492	450	459	463	62	72	63,3	482	511		
Manantial K-33	62,5	52,8	55,5	48,1	52,6	58,2	62,3	51,4	54,6	53,9		
Afloramino La Malaña	229	228	224	230	232	236	245	236	234	240		

	Invierno						Verano					
	17-May	19-May	21-May	26-May	28-May	01-Jul	03-Jul	06-Jul	28-Jul	03-Ago		
Salinidad												
Dren Nazareth	117	129	137	125	126	136	133	134	128	129		
Dren Rosita	140	97	102	98	94	98	98	100	93	98		
Cisterna Cil56 # 17A-21	131	141	141	142	140	150	150	145	142	150		
Afloramino Qbda El Carmen	113	116	117	100	101	114	118	110	110	116		
Piezómetro pan de Azúcar I	117	131	124	132	126	123	117	122	127	113		
Piezómetro pan de Azúcar S	244	262	239	244	247	32,8	45,3	50,3	258	272		
Manantial K-33	33,1	28	29,6	25,5	28,3	30,9	33,1	27,3	29,3	28,7		
Afloramino La Malaña	122	120	118	122	120	125	130	125	123	127		

Tablas 12. Seguimiento de los Parámetros

Temp. Agua °C	Invierno							Verano				
	17-May	19-May	21-May	26-May	28-May	01-Jul	03-Jul	06-Jul	28-Jul	03-Ago		
Dren Nazareth	23,9	24,1	23,8	24,5	23,7	24,8	24,6	24,5	20,8	24,5		
Dren Rosita	24,7	23,4	22,9	24,1	23,9	24,1	23,6	24,7	20,1	24		
Cisterna CII56 # 17A-21	26,5	25,3	25,8	25,5	25,1	26,1	27,8	26,3	22	25,1		
Afloramineto Qbda El Carmen	23,7	23,4	24,1	24	23,1	25,8	23,7	24,2	18,3	22,3		
Piezómetro pan de Azúcar I	21,7	22	21,8	22,2	21,5	21,9	22,8	21,6	18	21,5		
Piezómetro pan de Azúcar S	21,7	21,9	21,9	22,5	21,4	22,1	22,3	21,8	18	21,6		
Manantial K-33	13	11,5	11,8	12,7	11,2	8,8	9,7	10,9	12,5	9,4		
Afloramiento La Malaña	21,1	21,8	22,1	20	21,5	20,1	20,2	20,7	20,3	20,5		

Figura 20. pH vs. Tiempo

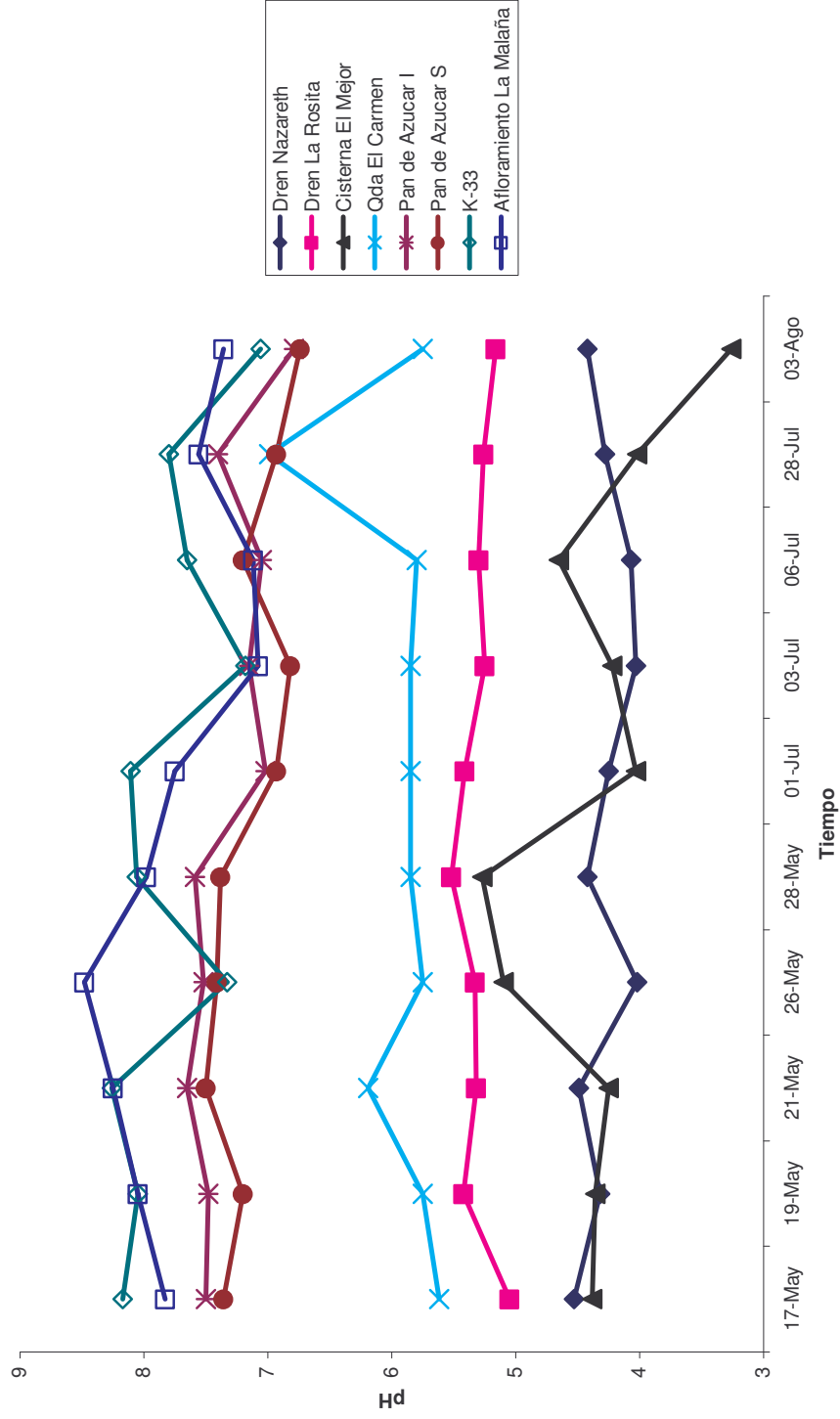


Figura 21. Redox vs. Tiempo

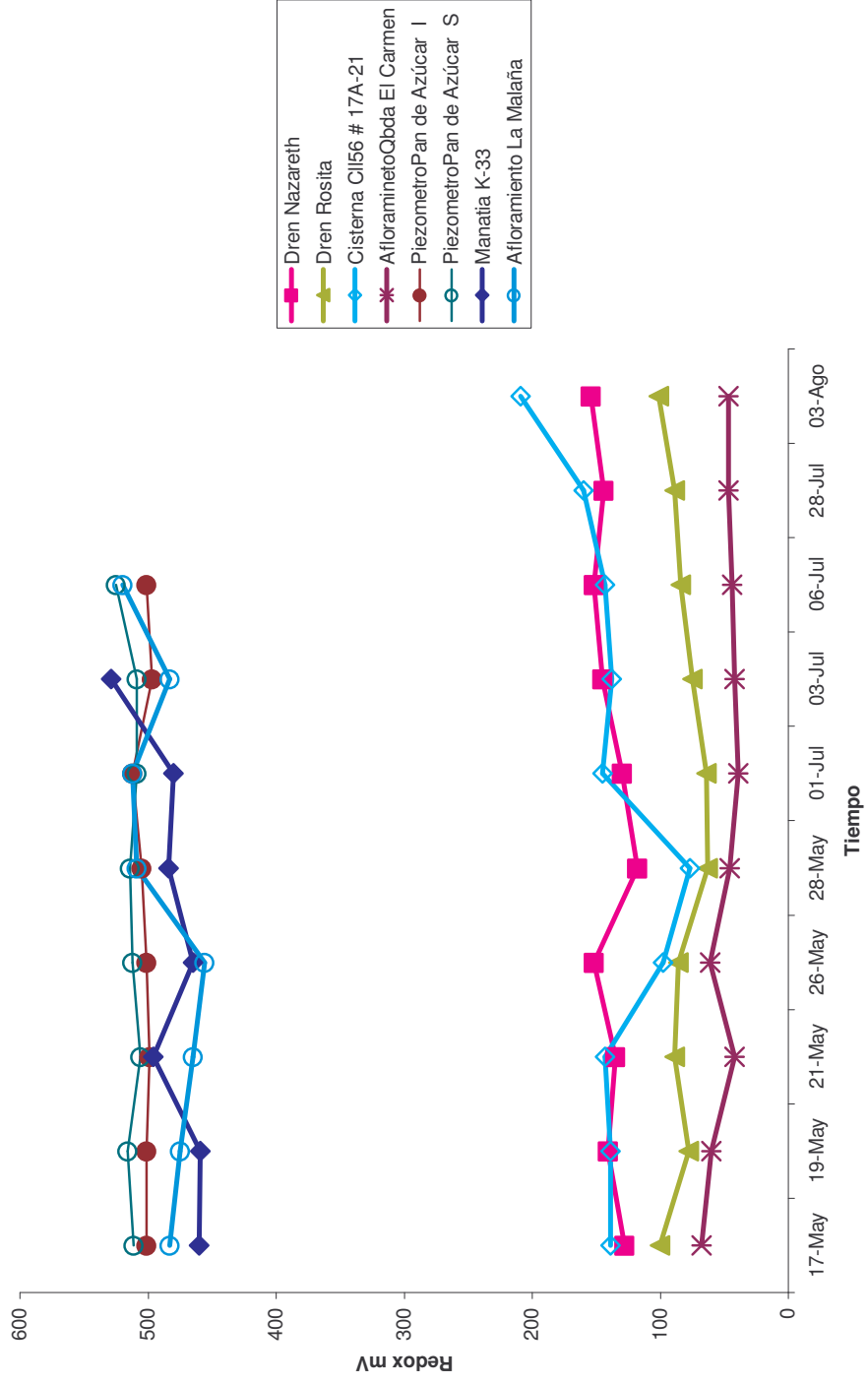


Figura 22. Conductividad vs. Tiempo

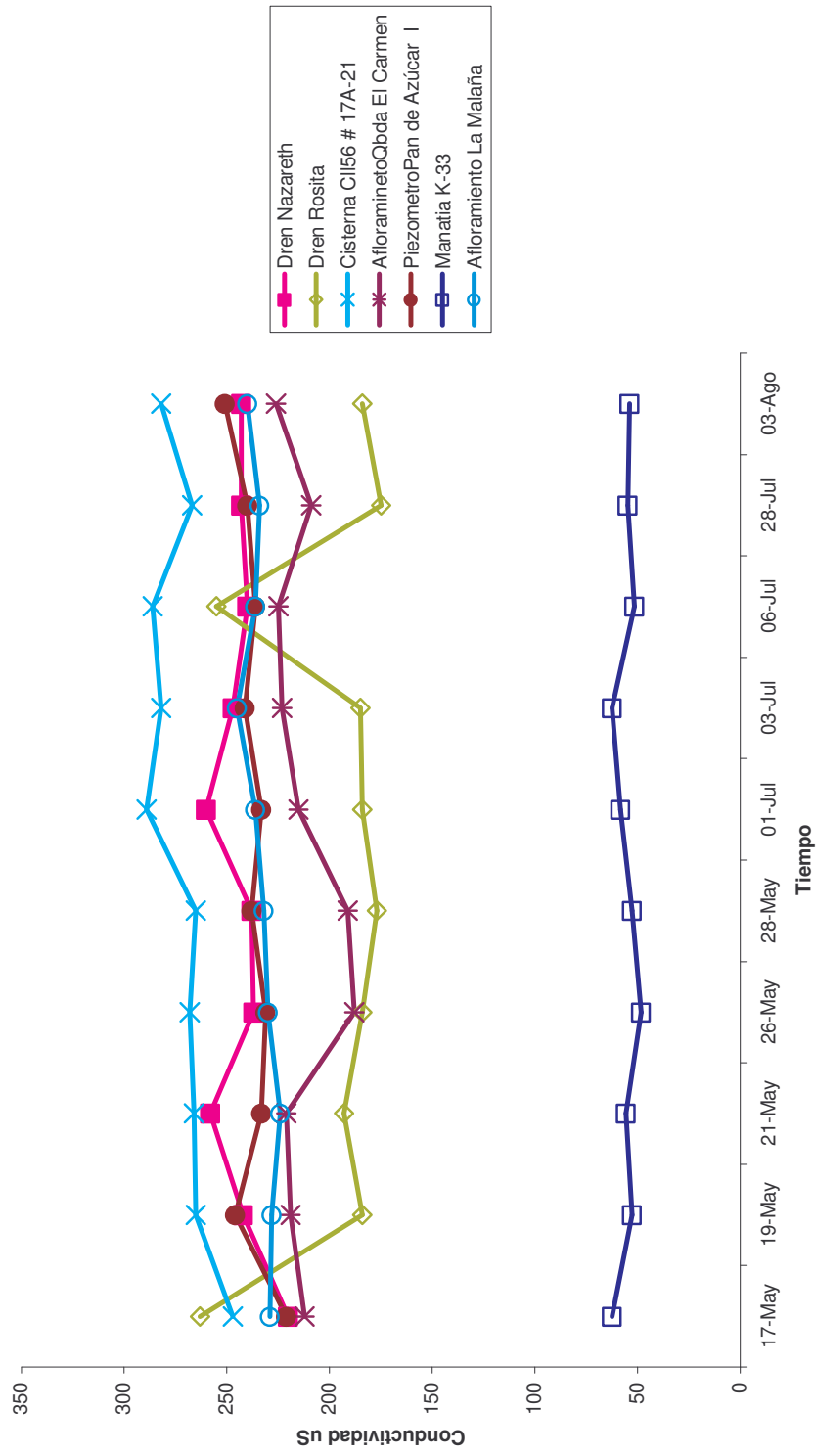


Figura 23. Salinidad vs. Tiempo

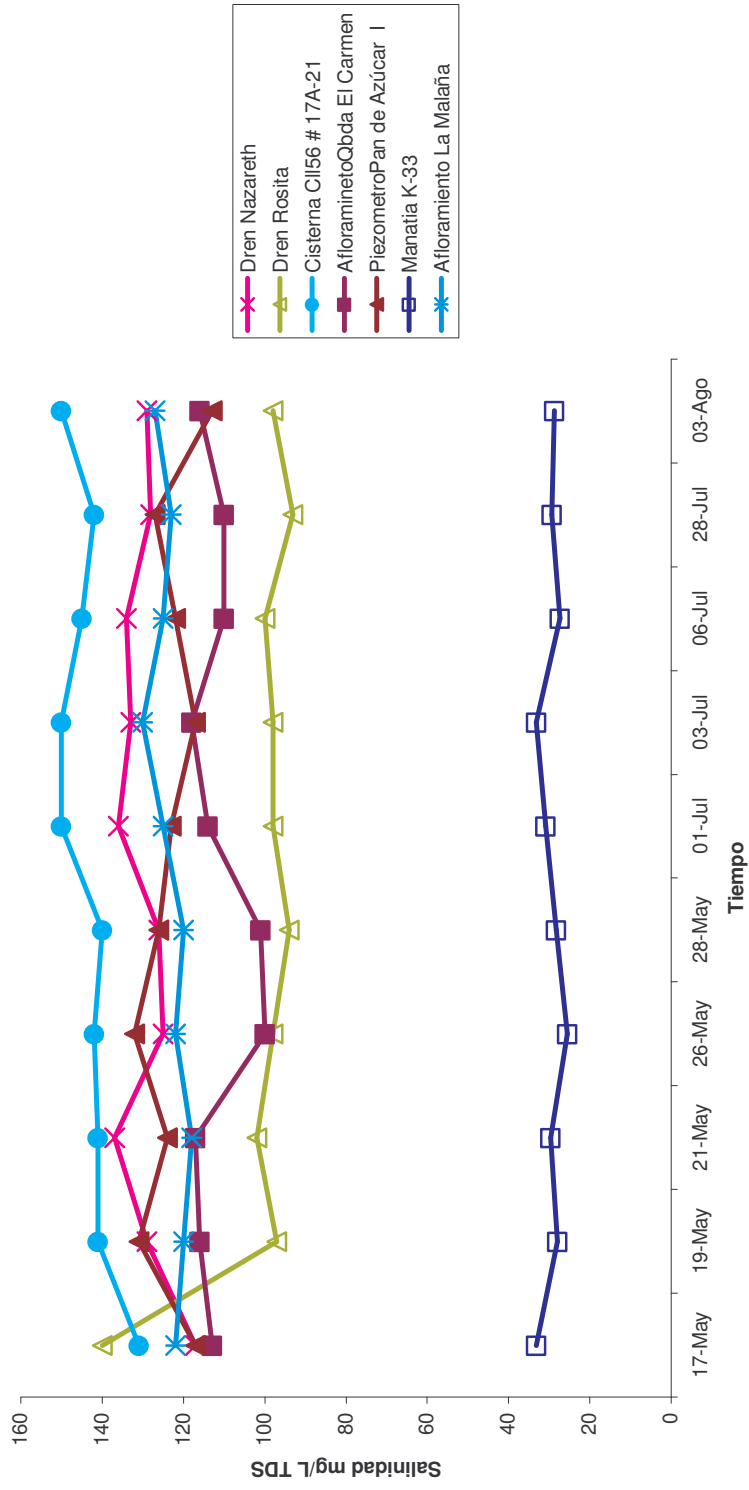


Figura 24. Temperatura del Agua vs. Tiempo

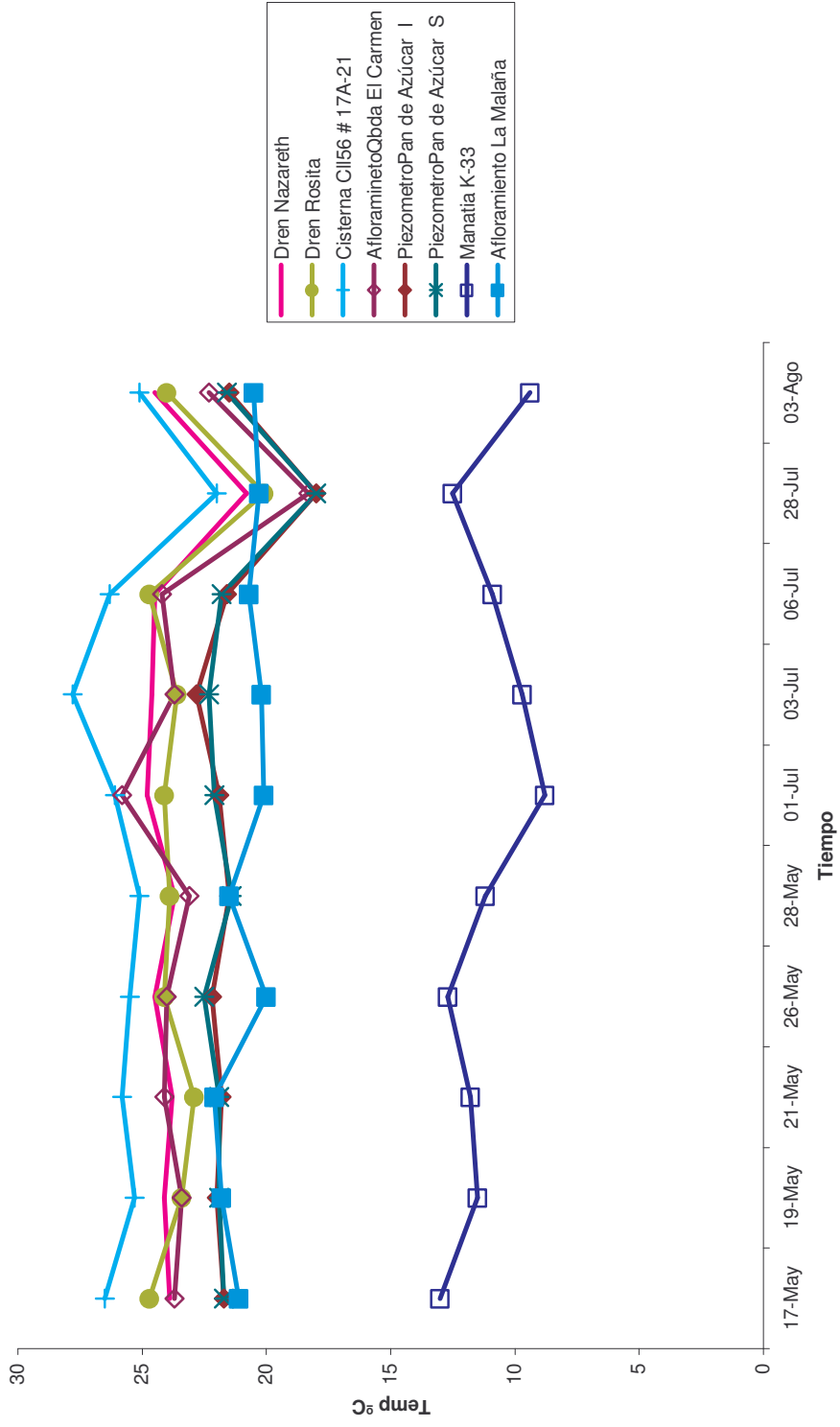




Tabla 13. Iones Invierno

Laboratorio: Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales - CEIAM	Informe de Resultados	Junio 25 de 2004
	Realizado por: Qca. Espc Yaneth Quinteros L.	
		Rno: 00162

Solicitante: Amith Arrieta y José Reyes
Descripción de la muestra: Aguas Subterráneas y Superficiales
Fecha del muestreo: Junio 11 del 2004
Fecha de recepción del laboratorio: Junio 11 del 2004
Muestra tomada por: Amith Arrieta y José Reyes
Parámetros a evaluar: K, Ca, Na, Mg, Fe, Nitratos, Carbonatos, Bicarbonatos, Cloruros, Sulfatos

REPORTE LABORATORIO ENTRADA SISTEMA TRATAMIENTO						
Parámetro	Unidades	Método	Puntos			
			PIEZ. FLORA - S	Km 33	P.PAN DE AZUCAR S	ROSITA
HIERRO	mg/L Fe	Absorción Atómica	41,58	0,07	127,8	<0,03
MAGNESIO	mg/L Mg	Absorción Atómica	14,1	0,79	11,79	2,1
POTASIO	mg/L K	Absorción Atómica	9,3	0,52	30,27	4,19
SODIO	mg/L Na	Absorción Atómica	33,86	2,98	41,01	11,02
CALCIO	mg/L Ca	Absorción Atómica	4,66	2,5	4,5	3,33
CARBONATOS	mg/L CaCO ₃	Titrimétrico	0	0	0	0
BICARBONATOS	mg/L CaCO ₃	Titrimétrico	42,6	24,6	246,4	11,2
CLORUROS	mg Cl/L	Argentométrico	26,6	0,98	10,84	19,95
NITRATOS	mg/L N-NO ₃	Colorimétrico	2,58	<1	<1	8,4
SULFATOS	mg/L SO ₄	Turbidimétrico	6,53	0,7	39,1	0,1

Tabla 14. Iones Verano

Laboratorio: Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales - CEIAM	Informe de Resultados	Agosto 20 de 2004
	Análisis Físicoquímicos	
Realizado por: Qca. Espc Yaneth Quinteros L.		Rno: 00164

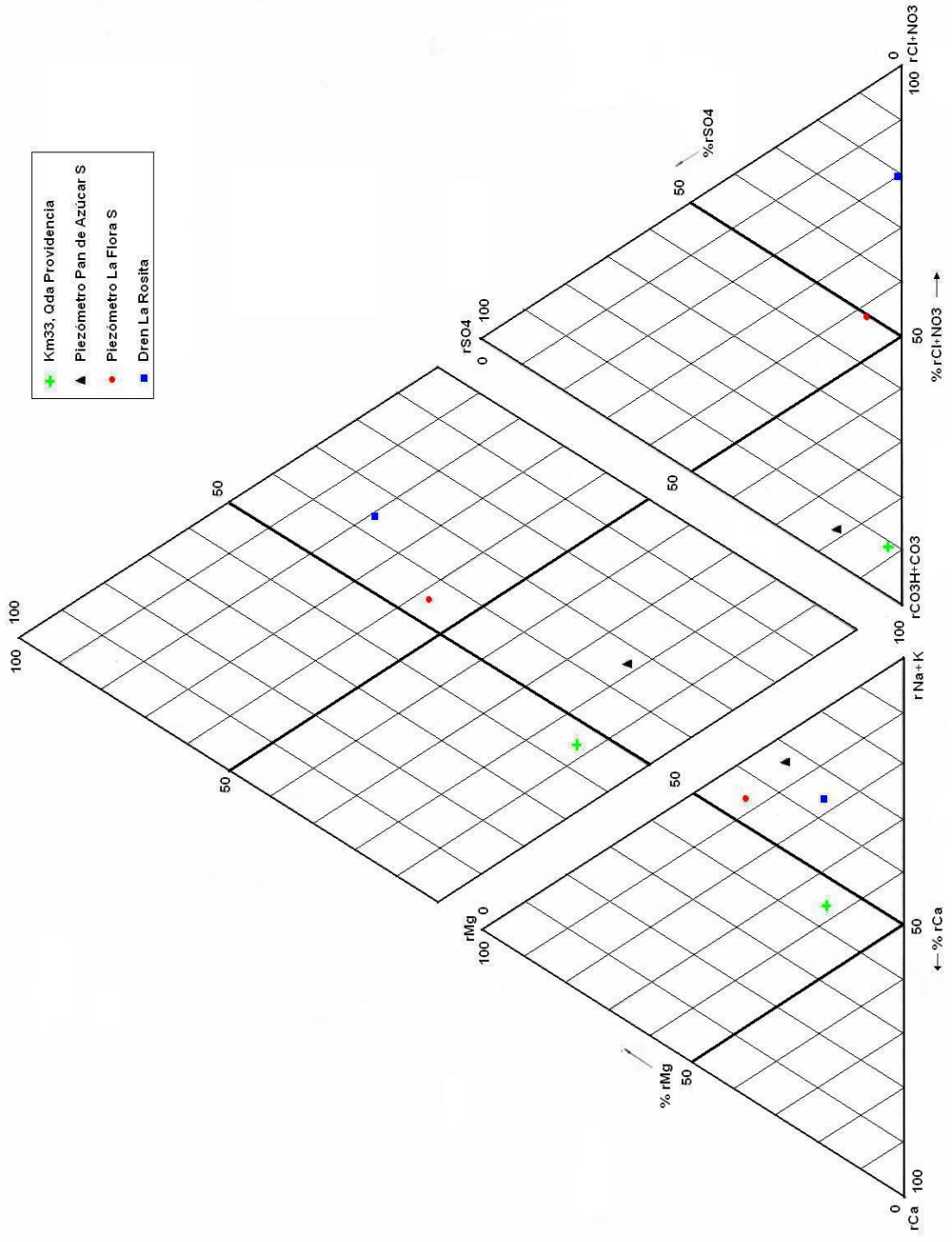
Solicitante: Amith Arrieta y José Reyes
Descripción de la muestra: Aguas Subterráneas y Superficiales
Fecha del muestreo: Agosto 03 del 2004
Fecha de recepción del laboratorio: Agosto 04 del 2004
Muestra tomada por: Amith Arrieta y José Reyes
Parámetros a evaluar: K, Ca, Na, Mg, Fe, Nitratos, Carbonatos, Bicarbonatos, Cloruros, Sulfatos

REPORTE LABORATORIO ENTRADA SISTEMA TRATAMIENTO

Parámetro	Unidades	Método	Puntos			
			PIEZ. FLORA - S	Km 33	P. PAN DE AZUCAR - S	DREN ROSITA
HIERRO	mg/L Fe	Absorción Atómica	64,1	<0,08	160,3	<0,08
MAGNESIO	mg/L Mg	Absorción Atómica	11,71	1,25	33,91	2,21
POTASIO	mg/L Na	Absorción Atómica	9,09	0,79	24,24	8,33
SODIO	mg/L K	Absorción Atómica	34,8	44,64	54,47	127,23
CALCIO	mg/L Ca	Absorción Atómica	17,81	1,59	48,13	16,72
CARBONATOS	mg/L CaCO ₃	Titrimétrico	0	0	0	0
BICARBONATOS	mg/L CaCO ₃	Titrimétrico	21,2	0	291,5	10,6
CLORUROS	mg Cl/L	Argentométrico	16,6	10	9,7	24
NITRATOS	mg/L N-NO ₃	Colorimétrico	7,94	35,07	0,78	40
SULFATOS	mg/L SO ₄	Turbidimétrico	14,6	0,81	37,15	<0,81

Tabla 16. Análisis Diagrama de Piper Invierno

Muestra	Km 33+200		Piezómetro Pan de Azúcar S		Piezómetro La Flora S		Dren La Rosita #25	
Profundidad mts.	0		15		20		0	
Aniones								
	Valor meq/L	% meq/L	Valor meq/L	% meq/L	Valor meq/L	% meq/L	Valor meq/L	% meq/L
CO3H	0,4032	87,7094	4,039	78,03323	0,6983	42,7016	0,183	20,5618
SO4	0,0145	3,15423	0,814	15,72643	0,136	8,31652	0,002	0,224719
Cl+NO3	0,042	9,13639	0,323	6,24034	0,801	48,9818	0,705	79,21348
Total	0,4597	100	5,176	100	1,6353	100	0,89	100
Cationes								
	Valor meq/L	% meq/L	Valor meq/L	% meq/L	Valor meq/L	% meq/L	Valor meq/L	% meq/L
Na+K	0,1482	43,8202	2,638	68,64429	1,715	54,9151	0,607	63,99578
Ca	0,125	36,9604	0,225	5,854801	0,233	7,46077	0,1665	17,55403
Mg	0,065	19,2194	0,98	25,50091	1,175	37,6241	0,175	18,45018
Total	0,3382	100	3,843	100	3,123	100	0,9485	100
Temperatura °C	9,4		22		22,4		24,7	
pH	7,18		7,45		5,76		5,77	
Redox mV	529		-20		64		63	
Conductividad uS/cm	42,6		455		159		182	
Salinidad mg/L	22,6		242		84		98	

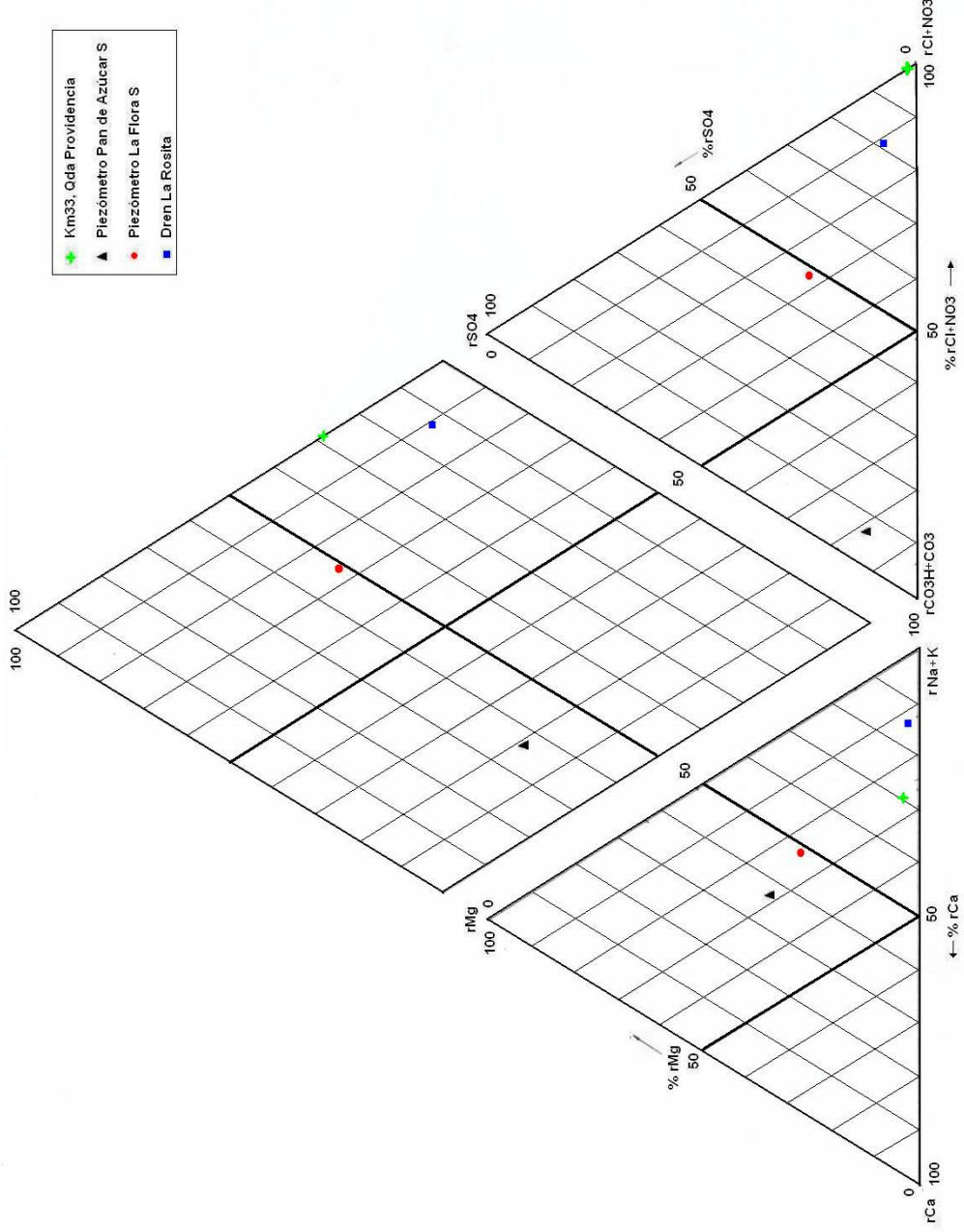


Tabal 17. Análisis Diagrama de Piper Verano

Muestra	Km 33+200		Piezómetro Pan de Azúcar S		Piezómetro La Flora S		Dren La Rosita #25	
	Profundidad mts.	0	15	20	0	0		
Aniones								
	Valor meq/L	% meq/L	Valor meq/L	% meq/L	Valor meq/L	% meq/L	Valor meq/L	% meq/L
CO3H	0	0	4,778	80,26205	0,347	27,6935	0,173	10,49312
SO4	0,016	1,84758	0,773	12,98505	0,304	24,2618	0,145	8,794808
Cl+NO3	0,85	98,1524	0,402	6,752898	0,602	48,0447	1,3307	80,71208
Total	0,866	100	5,953	100	1,253	100	1,6487	100
Cationes								
	Valor meq/L	% meq/L	Valor meq/L	% meq/L	Valor meq/L	% meq/L	Valor meq/L	% meq/L
Na+K	2,1493	70,5082	2,9979	36,43136	1,75208	48,4324	5,763	84,96241
Ca	0,795	26,0801	2,406	29,23842	0,8905	24,6159	0,836	12,32493
Mg	0,104	3,41174	2,825	34,33023	0,975	26,9517	0,184	2,712664
Total	3,0483	100	8,2289	100	3,61758	100	6,783	100
Temperatura °C	9,4		21,6		22,5		24,8	
pH	7,06		6,74		5,34		5,16	
Redox mV	529		9		91		101	
Conductividad US/cm	53,9		511		144		184	
Salinidad mg/L	28,7		272		77		98	



Figura 30. Diagrama Piper Verano

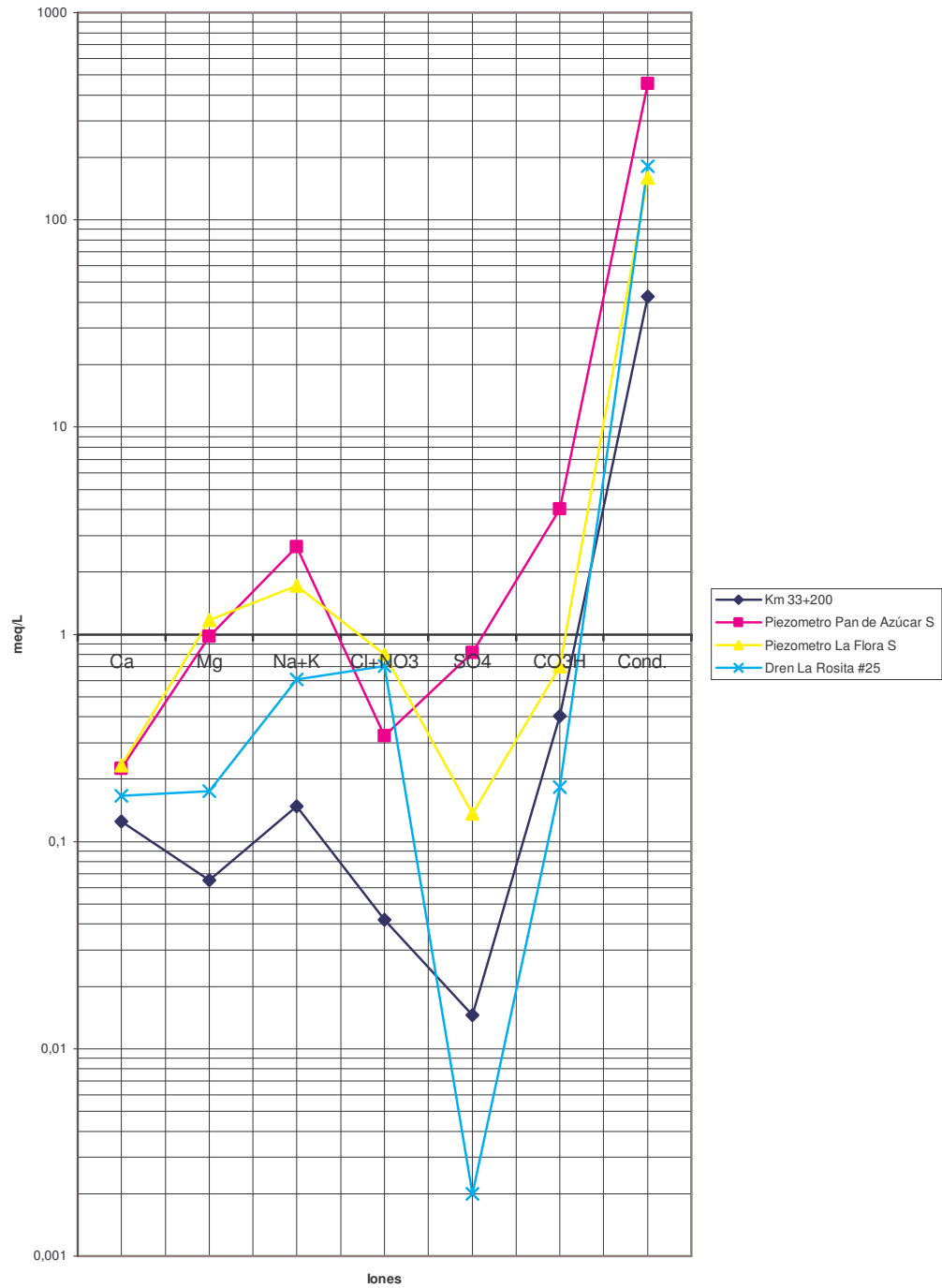


Grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático GPH-UIS
 Tabla 18. Análisis Diagrama de Shoeller Invierno

Profundidad mis.	Muestra	Ca meq/L	Mg meq/L	Na+K meq/L	Cl+NO3 meq/L	SO4 meq/L	CO3H meq/L	Cond. uS/cm
0	Km 33+200	0,125	0,065	0,1482	0,042	0,0145	0,4032	42,6
15	Piezómetro Pan de Azúcar S	0,225	0,98	2,638	0,323	0,814	4,039	455
20	Piezómetro La Flora S	0,233	1,175	1,715	0,801	0,136	0,6983	159
0	Dren La Rosita #25	0,1665	0,175	0,607	0,705	0,002	0,183	182

	Km 33+200	Piezómetro Pan de Azúcar S	Piezómetro La Flora S	Dren La Rosita #25
Temperatura °C	9,4	22	22,4	24,7
pH	7,18	7,45	5,76	5,77
Redox mV	529	-20	64	63
Conductividad uS/cm	42,6	455	159	182
Salinidad mg/L	22,6	242	84	98

Análisis Shoeller Invierno





Grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático GPH-UJES
 Tabla 19. Análisis Diagrama de Shoeller Verano

Profundidad mts.	Muestra	Ca	Mg	Na+K	Cl+NO3	SO4	CO3H	Cond.
		meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	uS/cm
0	Km 33+200	0,795	0,104	2,1493	0,85	0,016	0,0001	53,9
15	Piezómetro Pan de Azúcar S	2,406	2,825	2,9979	0,402	0,773	4,778	511
20	Piezómetro La Flora S	0,8905	0,975	1,75208	0,602	0,304	0,345	144
0	Dren La Rosita #25	0,836	0,184	5,763	1,3307	0,0145	0,163	184

	Km 33+200	Piezómetro Pan de Azúcar S	Piezómetro La Flora S	Dren La Rosita #25
Temperatura °C	9,4	21,6	22,5	24,8
pH	7,06	6,74	5,34	5,16
Redox mV	529	9	91	101
Conductividad uS/cm	53,9	511	144	184
Salinidad mg/L	28,7	272	77	98

Análisis Shoeller Verano

