

**MEDICIÓN DE PARAMETROS FÍSICO QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DEL AGUA
SUBTERRÁNEA EN LA ZONA DE BUCARAMANGA**

**JORGE ARMANDO JIMÉNEZ SÁNCHEZ CÓD: 2005276
SERGIO CAMILO COLMENARES LEÓN CÓD: 2006378**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARMANGA
2009**

**MEDICIÓN DE PARAMETROS FÍSICO QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DEL AGUA
SUBTERRÁNEA EN LA ZONA DE BUCARAMANGA**

**JORGE ARMANDO JIMÉNEZ SÁNCHEZCÓD: 2005276
SERGIO CAMILO COLMENARES LEÓN CÓD: 2006378**

**Proyecto de grado presentado como requisito
Para optar por el título de ingeniero civil**

**Directora
SULLY GÓMEZ ISIDRO
IC. PhD**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARMANGA
2009**

DEDICATORIA

Dedicarle este trabajo primero a mi Padre Dios,
Sin Él nada hubiese sido posible.

A mi papá querido José Vicente gran ejemplo y
Admiración y apoyo en toda mi vida.

A mi mamita Isabel porque siempre ha soñado con
Verme dar este pasito de mi vida.

A mis hermanos Víctor Alfonso y José Manuel
Los quiero mucho, a Uds. Futuros ingenieros

A Jorge mi gran amigo y compañero de proyecto,
Que Dios lo siga bendiciendo.

Al GPH y a la doctora Sully Gómez por su colaboración
Y labor para ver a muchos estudiantes graduarse y
Cumplir ese sueño.

Sergio Camilo

DEDICATORIA

Hay dos formas de vivir y hacer las cosas:
Una, fruto de nuestro propio esfuerzo y la otra
Con Dios y su bendición sobre nuestra vida.

Gracias a Dios por este tiempo y por cada bendición.
A mis Padres gratitud y amor por su apoyo incondicional.
A mi hermano por ser un regalo de Dios a mi vida.
A mi amigo y compañero de proyecto que Dios lo bendiga en todo.
Al grupo GPH-UIS y a nuestra Directora de proyecto por la oportunidad brindada.
Y a todos aquellos Maestros que han aportado a mi vida.
Gracias.

Hechos 20:24
Jorge

CONTENIDO

	PÁG
INTRODUCCIÓN	1
1. OBJETIVOS	2
1.1 GENERAL	2
1.2 ESPECÍFICOS	2
2. NORMATIVIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA	3
2.1 ESTÁNDAR INTERNACIONAL	3
2.2 EN COLOMBIA.	4
2.2.1 DECRETO 475 DE 10 DE MARZO DE 1998	4
2.2.3 RESOLUCIÓN 2115 DE JUNIO 22 DE 2007	5
2.2.4 DECRETO 1594 DE JUNIO 26 DE 1984	5
2.3 ARTÍCULOS RELACIONADOS CON LA NORMA RAS, REVISIÓN 1 DE NOVIEMBRE DE 2000	6
3. CONCEPTOS FUNDAMENTALES, FISICOQUIMICOS Y BIOLÓGICOS	7
3.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES	7
3.1.1 Calidad del agua	7
3.1.2 Agua potable o agua para consumo humano	7
3.1.3 Fuente de abastecimiento	7
3.1.4 Concepto sanitario	8
3.1.5 Análisis básicos	8
3.1.6 Análisis complementarios	9
3.2 CONCEPTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS	9
3.2.1 pH	9
3.2.2 TDS y Conductividad eléctrica	9
3.2.3 Temperatura	10
3.2.4 Color	10

3.2.5 Turbiedad	11
3.3 CONCEPTOS BIOLÓGICOS	11
3.3.1 Nitrógeno total y nitrógeno amoniacal	11
3.3.2 Coliformes totales y fecales	12
3.3.3 Escherichia Coli	13
3.3.4 DBO ₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno)	13
4. ASPECTO GEOLÓGICO	15
4.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO	15
4.2 LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS	17
4.3 CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS DEL PROYECTO	18
5. PARAMETROS A ANALIZAR	21
6. ASPECTOS SOBRE EL TRABAJO DE CAMPO	23
6.1 EQUIPO DE CAMPO	23
6.1.1 La Sonda Multiparámetros	23
6.1.1.1 Conductividad eléctrica	24
6.1.1.2 pH	24
6.1.2. Nivel de aguas subterráneas	25
6.1.3 Dispositivo para extracción de muestras	26
6.1.4 Dispositivo GPS	27
7. EL PROTOCOLO DE MUESTREO	31
7.1 FORMATOS EN DRENES Y PIEZOMETROS	33
7.2 PIEZÓMETROS	35
7.3 DRENES	37
7.4 TOMA DE MUESTRA	39
7.4.1 Envases para la toma de muestras	40

7.4.2 Tipos de muestras	41
7.4.3 Procedimientos de toma de muestras	41
7.4.4 Conservación de muestras	42
7.4.5 Cantidad e identificación de la muestra	43
8. ANÁLISIS DE DATOS	45
8.1 RECOPIACIÓN DE DATOS	45
8.1.1 Invierno o primera época lluviosa del año 2008	45
8.1.2 Verano o época seca de mitad de año 2008	49
8.1.3 Toma de muestras para análisis biológico	53
8.1.4 Observaciones de cada parámetro de laboratorio	54
8.1.4.1 DBO ₅	54
8.1.4.2 Color	55
8.1.4.3 Turbiedad	55
8.1.4.4 Nitrógeno total y nitrógeno amoniacal	55
8.1.4.5 Coliformes totales y E. Coli	56
9. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES	58
10. RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA	63
ANEXOS	65

LISTA DE FIGURAS

	PÁG
Fig. 1 Ubicación de los piezómetros de Bajos de Pan de Azúcar	15
Fig. 2 Ubicación del piezómetro del parque la Flora	16
Fig. 3 Ubicación del dren de la Rosita	16
Fig. 4 Ubicación del dren del vivero Nazareth	17
Fig. 5 Sonda Multiparámetros Eijkelkamp	23
Fig. 6 Trabajo de campo con la Sonda Multiparámetros	23
Fig. 7 Cinta eléctrica o sensor de profundidad	25
Fig. 8 Bailer, dispositivo para extracción de muestras	26
Fig. 9 Dimensiones del lastre	26
Fig. 10 Mapa de la zona de Bajos de Pan de Azúcar	27
Fig. 11 Medición de factores físico químicos in situ	31
Fig. 12 Formato del Protocolo de muestreo de drenes	33
Fig. 13 Formato del Protocolo de muestreo de pozos o piezómetros	34
Fig. 14 En campo, extrayendo la muestra	35
FIG. 15 Modelo en corte del piezómetro	36
Fig. 16 Medición del nivel después del muestreo, o del abatimiento	37
Fig. 17 En campo, abatimiento del nivel del piezómetro	37
Fig. 18 Toma de la muestra de drenes	38
Fig. 19 Construcción de un Dren	38
Fig. 20 Datos de la toma de muestras de invierno del ph	39
Fig. 21 Datos de la toma de muestras de invierno de la Temperatura	47
Fig. 22 Datos de la toma de muestras de invierno del Redox	48
Fig. 23 Datos de la toma de muestras de invierno de la Electroconductividad	48
Fig. 24 Datos de la toma de muestras de verano del pH	51
Fig. 25 Datos de la toma de muestras de verano de la Temperatura	51
Fig. 26 Datos de la toma de muestras de verano del Redox	52
Fig. 27 Datos de la toma de muestras de verano de la Electroconductividad	52

LISTA DE TABLAS

	PÁG
Tabla 1. Parámetros microbiológicos aceptados de carácter Internacional (OMS y UE)	3
Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos aceptados de carácter Internacional (OMS y UE)	4
Tabla 3. Denominación de los pozos y drenes de muestreo	17
Tabla 4. Parámetros a evaluar con cada método tipo y normas Que lo sustentan	22
Tabla 5. Niveles freáticos en pozos, zona norte De la ciudad de Bucaramanga	28
Tabla 6. Cotas y coordenadas de pozos visitados en Bucaramanga	29
Tabla 7. Coordenadas de los pozos de muestreo en B/manga	30
Tabla 8. Toma y conservación de muestras de aguas	43
Tabla 9. Tabla de toma de muestras durante la época de invierno	46
Tabla 10. Tabla de toma de muestras durante la época de verano	50
Tabla 11. Resultados físico químicos del Laboratorio del Consultas Industriales	53
Tabla 12. Resultados biológicos del Laboratorio del Consultas Industriales	54
Tabla 13. Tabla de comparación entre los datos de laboratorio Y los admisibles en cada punto	57

LISTA DE ANEXOS

	PÁG
Anexo A. Gráfico de parámetros físico químicos de invierno Verano Vs. Tiempo	66
a. Datos de la toma de muestra de verano más invierno Del ph	66
b. Datos de la toma de muestra de verano más invierno De la temperatura	66
c. Datos de la toma de muestra de verano más invierno Del Redox	67
d. Datos de la toma de muestra de verano más invierno De la Conductividad	67
Anexo B. Tabla de parámetros físico-químicos en cada punto De invierno y verano	68
Anexo C. Tabla comparativa entre los valores admisibles y los Resultados obtenidos	69

RESUMEN

TÍTULO:

MEDICIÓN DE PARAMETROS FÍSICO QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA ZONA DE BUCARAMANGA.*

AUTORES:

Jorge Armando Jiménez Sánchez, Sergio Camilo Colmenares León.**

PALABRAS CLAVE:

Pozo, Bailing, extracción, Sonda Multiparámetros, parámetros físico químicos y biológicos, protocolo de muestreo.

DESCRIPCIÓN:

La situación actual, en cuanto al manejo de los recursos hídricos y en especial para nuestro caso, el del agua subterránea, en la zona metropolitana de Bucaramanga, requiere un estudio en cuanto al estado de la calidad de este recurso.

Por tal razón, se programaron las salidas de campo para esta fase del proyecto, con el Grupo de Predicción y modelamiento Hidroclimático (GPH) de la Universidad Industrial de Santander (UIS), y con la ayuda de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), ya que fue esta entidad, la que se encargó de la excavación y perforación de los pozos, además se diseñó un protocolo de muestreo para las salidas de campo a algunos pozos, ubicados en distintos sitios de la zona de Bucaramanga. Con el fin de analizar los parámetros físico-químicos del agua subterránea, tales como: el nivel actual del pozo, el pH, la conductividad eléctrica, la temperatura, REDOX y el oxígeno disuelto, mediante la Sonda Multiparámetros y con un "Bailing" se hizo la extracción de las muestras. Esto se llevó a cabo en varias épocas o períodos de tiempo. Además se tomaron muestras para analizar algunos parámetros biológicos, en el Laboratorio de Consultas Industriales de la UIS. El criterio para escoger los parámetros biológicos a evaluar, dependió de cuáles de ellos eran los más representativos para un agua cuyo fin, sería el consumo humano según el decreto 1594 del ministerio de salud, además del factor económico de los análisis.

La segunda fase consistió en la recolección de datos, y los resultados de los análisis biológicos, después se ubicaron los pozos observados, utilizando un dispositivo GPS, para situarlos con sus respectivas coordenadas, y ubicarlos dentro de un plano de la ciudad de Bucaramanga.

* Proyecto de Grado

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

ABSTRACT

TITLE:

MEASUREMENT OF PHYSICAL-CHEMICAL AND BIOLOGICAL UNDERGROUND WATER PARAMETERS IN THE BUCARAMANGA AREA.*

AUTHORS:

Jorge Armando Jiménez Sánchez, Sergio Camilo Colmenares León.**

KEY WORDS:

Well, Bailing, extraction, Probe Multiparameters, physical-chemical and biological parameters, sampling protocol.

DESCRIPTION:

The current condition about the management of the hydrologic resources, especially, the underground water, in this case, in the metropolitan area of Bucaramanga, it requires a work study of the resource's quality state.

So that, for this phase of the project, together with, the Hydroclimatic Modeling and Prediction Group (GPH) of the Industrial University of Santander (UIS), and with the aid of the Defense Autonomous Regional Corporation of Bucaramanga's Tableland (CDMB), due to this organization took care of the well perforation and excavation, planed the schedule for some field trips, and attached to a sampling protocol, to visit the wells located in different places of the Bucaramanga area, in order to analyze the physical-chemical parameters of underground water, such as: actual water level, pH, electrical conductivity, temperature, REDOX and dissolved oxygen by means of Multi parameter Probe and the "Bailing" for samples extraction. This carried out in several period of time. Moreover were taken samples to analyze some biological parameters, those analysis were performed in the Industrial Consulting Lab of the UIS. The selection criterion to choose the biological parameters depended on which of them were the most representative for human consumption purpose, according to 1594 decree of Ministry of Health, besides the economic factor of the analysis.

The second phase consisted in data compilation, and the biological analysis results. After that, a GPS device was used to locate the wells into a Bucaramanga's city map, with their respectively coordinates

* Degree Project.

** UIS Faculty of Physical-Mechanical Engineering, School of Civil Engineering, Director: Sully Gómez Isidro.

INTRODUCCIÓN

Con el Grupo en Predicción y Modelamiento Hidroclimático GPH-UIS se ha querido realizar un trabajo para analizar la calidad del agua subterránea en el área metropolitana de Bucaramanga. Para esto se organizó conjuntamente con la CDMB las visitas de campo a algunos drenes y pozos de observación ó piezómetros, que fueron construidos y administrados por esta entidad.

Para ello se diseñó un protocolo de muestreo, con el fin de organizar cada salida, y tener certeza del proceso que se debe llevar a cabo, para el muestreo de agua subterránea. El protocolo de muestreo no solo incluye un proceso, sino una serie de condiciones, para tomar la muestra y almacenarla, con el fin de llevar cada muestra a un laboratorio y obtener información más elaborada, que la que obtenemos en el campo.

También se contó con la ayuda de una Sonda Multiparámetros, para medir, el pH, la conductividad eléctrica, la temperatura, REDOX y el oxígeno disuelto. Y también se cuenta con una cinta eléctrica, que nos permite medir el nivel de agua actual del pozo. Y con el “Bailing” que fue un “dispositivo” diseñado y adaptado a la geometría de los pozos, para extraer el agua, y no solamente tomar las muestras, sino, abatir el nivel de agua y poder observar la recuperación del pozo. De esta manera apreciar para un futuro si es posible el aprovechamiento de estas aguas.

Los parámetros biológicos en el agua son de suma importancia, ya que estos, junto con los parámetros físico-químicos, muestran la calidad del agua subterránea. Para esto se siguió un protocolo de muestreo, ya establecido por los laboratorios, para este tipo de muestras.

1. OBJETIVOS

1.1 General

Evaluar los últimos pozos de monitoreo construidos en la zona de Bucaramanga y determinar a través de parámetros fisicoquímicos y análisis biológicos la calidad y el comportamiento del agua subterránea.

1.2 Específicos

- Hacer muestreos en época de invierno y en época de verano para ver la variabilidad de cada uno de los piezómetros con sus respectivos parámetros.
- Medir algunos factores tales como el pH, la conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura y nivel de agua en los piezómetros evaluados.
- Medir mediante un parámetro biológico representativo la potabilidad del agua subterránea.
- Realizar el análisis de los resultados obtenidos y proponer un modelo de circulación de agua subterránea.
- Apoyarnos con las actividades que otras entidades desarrollen para realizar este proyecto.

2. NORMATIVIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA

Bajo la normatividad consultada, en este proyecto, se dispone que salvo algunas excepciones las aguas son de dominio público y que su administración y manejo corresponde al Estado; que los usuarios deben solicitar autorización del Estado para su utilización mediante permisos o concesiones; que la planificación y administración del agua es competencia en primer lugar del Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; y que las encargadas de ejecutar las políticas ambientales son las Corporaciones Regionales Ambientales o los entes ambientales municipales. Existe una legislación para determinar potabilidad y uso del agua, que independiente de su procedencia debe cumplirse. Se hará mención en esta normatividad, que nos dan un marco de referencia básico para determinar su potabilidad y posible uso.

2.1 ESTÁNDAR INTERNACIONAL

La siguiente normatividad es la establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Unión Europea (UE), con sus estándares mínimos a tener en cuenta, en cuanto a la calidad del agua potable.

Parámetros microbiológicos		
<i>Escherichia coli</i>	-	0 en 250 ml
Bacterias coliformes	-	0 en 100 ml

Tabla 1. Parámetros microbiológicos aceptados de carácter internacional.

	Estándares de la OMS (1993)	Estándares europeos (1998)
DQO	Menos de 5 UNT	-
DBO	No hay directriz	-
Turbidez	No hay directriz ⁽¹⁾	-
pH	6,5-8,5	-
Conductividad	250 µS/cm	250 µS/cm
Color	15 mg/l Pt-Co	-
Nitrógeno Total	50 mg/L	-

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos aceptados de carácter internacional.

2.2 EN COLOMBIA

La siguiente normatividad en Colombia en cuanto al agua subterránea no es muy amplia. Los decretos, resoluciones y normas existentes están más encaminados a los parámetros de calidad que debe cumplir el agua según su uso, y no hace mucha discriminación si es de origen superficial o subterráneo. A continuación algunos puntos de las normas vigentes.

2.2.1 DECRETO 475 DE MARZO 10 DE 1998

Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable.

Capítulo III: NORMAS ORGANOLÉPTICAS, FÍSICAS, QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE.

Artículo 35, Artículo 36, Artículo 37, Artículo 38, Artículo 39, Artículo 40.

2.2.2 DECRETO 1575 DE 2007 (MAYO 9)

Ministerio de la Protección Social: Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

CAPITULO III: RESPONSABLES DEL CONTROL Y VIGILANCIA PARA GARANTIZAR LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO.

CAPITULO IV: INSTRUMENTOS BÁSICOS PARA GARANTIZAR LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO.

2.2.3 RESOLUCION 2115 DE JUNIO 22 DE 2007

Del Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

CAPITULO II: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO.

CAPITULO III: CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS.

2.2.4 DECRETO 1594 DE JUNIO 26 DE 1984

Usos del agua y residuos líquidos.

CAPITULO III: DE LA DESTINACION GENERICA DE LAS AGUAS SUPERFICIALES, SUBTERRANEAS, MARITIMAS, ESTUARIAS Y SERVIDAS.

CAPITULO IV: DE LOS CRITERIOS DE CALIDAD PARA DESTINACION DEL RECURSO.

2.3 ARTÍCULOS RELACIONADOS CON LA NORMA RAS, REVISIÓN 1 DE NOVIEMBRE DE 2000

En algunos artículos relacionados a la calidad del agua, de este reglamento técnico normativo del sector de agua potable y saneamiento básico, se mencionan determinadas características mínimas que deben cumplir para que se considere que el agua es potable. Los artículos son los siguientes:

Numeral A.11.2.2.1 (artículo 104); Numeral A.11.2.2.2 (artículo 105); Numeral A.11.2.2.3 (artículo 106); Numeral A.11.2.2.4 (artículo 107)

3. CONCEPTOS FUNDAMENTALES, FISICOQUIMICOS Y BIOLÓGICOS

Estos son los conceptos clave que permiten entender mejor el contexto de nuestro problema, es decir, el asunto de la calidad del agua subterránea.

3.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES

A continuación se enumeran conceptos necesarios para mejor comprensión del proyecto.

3.1.1 Calidad del Agua

Es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia.

3.1.2 Agua potable o Agua para consumo humano

Es aquella que por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, existentes en las normas que la reglamenten, es apta para consumo humano. Se utiliza en bebida directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal.

3.1.3 Fuente de Abastecimiento

Depósito o curso de agua superficial o subterránea, utilizada en un sistema de suministro a la población, bien sea de aguas atmosféricas, superficiales, subterráneas o marinas.

3.1.4 Concepto Sanitario

Es el resultado de evaluar la calidad del agua para consumo humano con base en las visitas de inspección sanitaria y análisis de los criterios y normas de las características del agua, los cuales podrán ser:

- Concepto favorable: Es el que se emite cuando el sistema de suministro de agua para consumo humano cumple con las Buenas Prácticas Sanitarias, según la reglamentación sanitaria vigente.
- Concepto favorable con requerimientos: Es el que se emite cuando el sistema de suministro de agua para consumo humano no cumple con la totalidad de las Buenas Prácticas Sanitarias, según la reglamentación sanitaria vigente, pero no conlleva un riesgo inminente para la salud humana.
- Concepto desfavorable: Es el que se emite cuando existe riesgo inminente para la salud de los usuarios, o cuando no se haya dado cumplimiento a lo establecido en el concepto favorable con requerimiento.

3.1.5 Análisis Básicos

Es el procedimiento que se efectúa para determinar turbiedad, color aparente, pH, cloro residual libre o residual de desinfectante usado, coliformes totales y *Escherichia coli*.

3.1.6 Análisis Complementarios

Es el procedimiento que se efectúa para las determinaciones físicas, químicas y microbiológicas no contempladas en el análisis básico, que se enuncian en la presente resolución y todas aquellas que se identifiquen en el mapa de riesgo.

3.2 CONCEPTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS

Análisis físico químico son aquellos procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para evaluar sus características físicas, químicas o ambas.

3.2.1 pH

El potencial hidrógeno (pH) es el logaritmo negativo de la concentración molar (mas exactamente de la actividad molar) de los iones hidrógeno, $\text{pH} = -\text{Log} [\text{H}^+]$. Mide la acidez del agua y en aguas naturales oscila entre 5,5 y 8,5. Crece un 8% por cada grado Celsius, partiendo de 25°C. La escala de pH esta entre 0, correspondiendo a un estado mas acido, y 14 a un estado mas básico, con un punto neutro en 7.

3.2.2 TDS y Conductividad Eléctrica

El término TDS describe la cantidad total de sólidos disueltos en el agua. La TDS y la conductividad eléctrica están estrechamente relacionadas. Cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será el valor de la conductividad eléctrica. La mayoría de los sólidos que permanecen en el agua tras una filtración de arena, son iones disueltos. El cloruro de sodio por ejemplo se encuentra en el agua como Na^+ y Cl^- . El agua de alta pureza que en el caso ideal contiene solo H_2O sin sales o minerales tiene una conductividad eléctrica muy baja. La

temperatura del agua afecta a la conductividad eléctrica de forma que su valor aumenta de un 2 a un 3 % por grado Celsius.

3.2.3 Temperatura

Las aguas subterráneas gozan por lo general, de una constancia de temperatura que las aguas de circulación superficial no pueden poseer nunca, sometidas como están a evaporaciones, intercambios térmicos con el aire exterior y el terreno de superficie, radiación solar etc. La temperatura en aguas subterráneas varía directamente proporcional al gradiente geotérmico, presentando una variación aproximada de 2 a 3 grados centígrados cada 100 metros de profundidad.

3.2.4 Color

El color del agua puede estar condicionado por la presencia de iones metálicos naturales (hierro y manganeso), de humus o turbas, de plancton, restos vegetales y residuos industriales. En la naturaleza no existen aguas incoloras, aunque a pequeña profundidad lo pueda parecer. El agua no contaminada suele tener ligeros colores rojizos, pardos, amarillentos o verdosos debido a los compuestos húmicos, férricos o los pigmentos verdes de las algas que contienen. El color aparente del agua engloba no solo el color debido a las sustancias disueltas, sino también a las materias en suspensión; este se evalúa en la muestra original, sin filtrado ni centrifugado. El color real es el que se obtiene tras la filtración de la muestra y es medido con un espectrofotómetro. El color del agua se determina mediante la comparación visual de la muestra con concentraciones conocidas de una sustancia coloreada, aunque puede realizarse con discos especiales de cristal de color adecuadamente calibrados.

3.2.5 Turbiedad

Se entiende por turbidez o turbiedad debido a la falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión presente el agua más sucia parecerá ésta y más alta será su turbidez. Este parámetro se considera un buen indicador de la calidad del agua, a medida que la turbidez aumenta, menor será su calidad. Entre las sustancias en suspensión que desvían y absorben la luz en el agua produciendo turbidez podemos encontrar desde materia orgánica (virus, bacterias, protozoos y algas) hasta arcillas, coloides o sales en suspensión precipitadas. Un alto nivel de turbidez puede presentar graves problemas para la salud y generar dificultades en su proceso de tratamiento. La turbidez se mide en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). Según la OMS, la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 UNF, siendo ideal que se encuentre por debajo de 1 UNF.

3.3 CONCEPTOS BIOLÓGICOS

Son los procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para consumo humano para evaluar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.

3.3.1 Nitrógeno total y nitrógeno amoniacal

Las aguas residuales presentan una elevada carga contaminante que responde, en gran parte, a la materia orgánica que contienen, en cuya composición se encuentran los compuestos de nitrógeno. Entre las formas de nitrógeno, unas de las de mayor interés en las aguas son el amoniacal y el total. El amoniaco es uno de los componentes transitorios en el agua, ya que es parte del ciclo del nitrógeno

y se ve influido por la actividad biológica. Es un producto natural de la descomposición de los compuestos orgánicos nitrogenados. Las aguas superficiales no deben contener normalmente amoníaco. En general, la presencia de amoníaco libre o ion amonio se considera como una prueba química de contaminación reciente y peligrosa. Si el medio es aerobio, el nitrógeno amoniacal se transforma en nitritos. El nitrógeno total está compuesto por el nitrógeno amoniacal más el nitrógeno orgánico, y este está constituido por las formas de nitrógeno correspondientes al nitrato, nitrito y amonio. En la actualidad las mediciones analíticas en el medio ambiente deben ser realizadas con calidad para satisfacer objetivos bien definidos, como es la vigilancia epidemiológica. En la presente década la química ambiental requiere del desarrollo, perfeccionamiento y validación de métodos de ensayos exactos, precisos y específicos para el análisis de los contaminantes del medio ambiente. El objetivo del presente trabajo fue evaluar los indicadores de calidad en la determinación de nitrógeno amoniacal y total en aguas de consumo y residuales por el método del fenato.

3.3.2 Coliformes Totales y Fecales

La denominación genérica coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos. Los coliformes se introducen en gran número al medio ambiente por las heces de humanos y animales. Por tal motivo suele deducirse que la mayoría de los coliformes que se encuentran en el ambiente son de origen fecal. Sin embargo, existen muchos coliformes de vida libre. Tradicionalmente se los ha considerado como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua destinada al consumo humano en razón de que, en los medios acuáticos, los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es principalmente fecal. Por tanto, su ausencia indica que el agua es

bacteriológicamente segura. Los coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo a los humanos. En general, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo. Por su amplia diversidad el grupo coliformes ha sido dividido en dos grupos: coliformes totales y coliformes fecales. El grupo coliforme está formado por los siguientes géneros: Escherichia, klebsiella, enterobacter y citrobacter.

3.3.3 Escherichia Coli

Existen varias razones para que el E. Coli sea el principal indicador bacteriano en agua potable, aguas residuales, aguas recreativas y aguas de moluscos y crustáceos. La investigación ha demostrado que el E. Coli está universalmente presente en las heces de animales de sangre caliente en densidades de 10^8 y 10^9 por gramo y comprende casi el 95% de los coliformes en las heces, basado en esto se puede concluir que el E. Coli siempre estaría presente en cualquier caso de contaminación fecal a diferencia del Kliebsiella, Enterobacter y Citrobacter que pueden estar presentes, pero en densidades mucho menores.

3.3.4 DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno)

Los microorganismos tales como las bacterias son responsables de descomponer los desechos orgánicos. Cuando materia orgánica tal como planta muertas, hojas, recortes de pasto, boñiga, aguas negras o incluso desechos de comida están presentes en el suministro de agua, las bacterias iniciarán el proceso de descomposición de estos desechos. Cuando esto sucede, mucho del oxígeno disuelto disponible lo consumen las bacterias aeróbicas, robándoles el oxígeno a otros organismos acuáticos que lo necesitan para vivir.

La Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) es una medida de oxígenos que usan los microorganismos para decomponer esta agua. Si hay una gran cantidad de desechos orgánicos en el suministro de agua, también habrá muchas bacterias presentes trabajando para descomponer este desecho. En este caso, la demanda de oxígeno será alta (debido a todas las bacterias) así que el nivel de la DBO será alto. Conforme el desecho es consumido o dispersado en el agua, los niveles de la DBO empezarán a bajar.

Con esto dejamos claro, cuáles van a ser los parámetros de estudio de este proyecto de grado, en lo que se refiere al estudio de la calidad del agua, en la zona de Bucaramanga.

4. ASPECTO GEOLÓGICO

En este capítulo se tratan la ubicación del proyecto y algunas características geológicas importantes para el desarrollo del mismo.

4.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO

El área de estudio se encuentra ubicada en las coordenadas planas:

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: 1.000.000 ubicado en la ciudad de Bogotá.

X: 1.105.000 X: 1.123.000

Y: 1.276.000 Y: 1.282.000

Correspondientes a la zona metropolitana de Bucaramanga, Santander, Colombia.



Fig. 1 Ubicación de los dos piezómetros de Bajos de Pan de Azúcar



Fig. 2 Ubicación del piezómetro del Parque La Flora



Fig. 3 Ubicación del dren de la Rosita



Fig. 4 Ubicación del dren del Vivero Nazareth¹

4.2 LOCALIZACION DE PUNTOS

PUNTO	DESCRIP	UBICACION	COORDENADAS		COTAS-GPS
No.1 Punto 1	Piezómetro o pozo de observación	B. de Pan de Azúcar Superficial	E=1104431.5160	N=1280788.2830	1039,096
No.2 Punto 2		B. de Pan de Azúcar Profundo	E=1105295.3820	N=1278366.0720	1039,324
No.3 Punto 3		Parque La Flora	E=1107283.3050	N=1278187.4610	955,812
No.4 Punto 4	Dren	Vivero Nazareth	E=1107875.7330	N=1279069.2760	914,056
No.5 Punto 5		La Rosita	E=1107871.7550	N=1279070.2440	922,473

Tabla 3. Denominación de los pozos y drenes de muestreo

¹ Las imágenes de las figuras 1 a la 4, fueron tomadas de: <http://maps.google.com/maps> de la zona metropolitana de Bucaramanga, Santander Colombia.

Los puntos de muestreo que se tendrán en cuenta para el análisis son: dren en la Rosita, dren en el Vivero Nazareth, dos piezómetros en Pan de Azúcar y un piezómetro en el Parque la Flora, en total 5 puntos de muestreo.

4.3 CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS DEL PROYECTO

La falla de Bucaramanga Santa Marta y demás estructuras geológicas que se asocian a ella, cruzan de sur a norte la región, y dividen la zona en dos partes, una de ellas contiene rocas ígneo metamórficas, y la otra es una zona es de formación aluvial, y esto compone a grandes rasgos la zona de Bucaramanga, Piedecuesta y Florida. De acuerdo a estudios previamente realizados, hay presencia de rocas metamórficas con intrusiones y diques y la datación del Neiss de Bucaramanga corresponde a rocas de edad precámbrica.

En la zona de Bajos de Pan de Azúcar se encuentra una masa ígnea (JRcg) intrusiva conformada por sienogranitos, granitos, dioritas muy compactas pero bastante fracturadas. Las dioritas se encuentran al norte del Barrio el Jardín, entre las quebradas la Flora y el Dinamo. Los sienogranitos afloran en la avenida de Pan de Azúcar y en la quebrada el Dinamo. Esta zona de Pan de Azúcar, gracias a los estudios realizados, ha demostrado ser un suelo bueno par almacenar agua, debida a la textura granular ocasionada por la meteorización esferoidal. En la zona oriental donde aflora el complejo ígneo metamórfico existen masas ígneas pequeñas en gran cantidad, dentro de las rocas metamórficas formando de esta manera migmatitas².

² CORPORACION AUTONOMA PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA CDMB. Interacción entre sistemas hidrogeológicos para el estudio del fenómeno de recarga en el macizo de Santander e identificación de acuíferos. Informe final Pozo de observación-Piezómetros de Pan de Azúcar. Bucaramanga, Octubre 2003. p. 8.

Las rocas del macizo debido a su gran fracturamiento con diaclasamiento y meteorización presentan una permeabilidad secundaria, siendo este un rasgo geológico importante, pues esto beneficia el almacenamiento de agua subterránea, es decir en condiciones de formación acuífera fracturada.

De la cuarzomonzonita Santa Bárbara (JRcg) se encuentra en las inmediaciones de la quebrada La Flora, el suelo está compuesto de feldespato potásico, rosado, naranja a rojo grisáceo, plagioclasa blanca, cuarzo gris y en menor proporción biotita. Al nororiente de la zona metropolitana se encuentran dos cuerpos de este tipo, conformados por cuarzomonzonita gris, de grano fino a medio, equigranular, de 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 la zona del sector urbanizado de Bucaramanga y hacia el sur, y hasta el sector norte de la zona de Floridablanca podemos encontrar limo rojo (Qblr), y este constituye primordialmente lo que se conoce como “Meseta de Bucaramanga”, el drenaje es escaso y paralelo, y cuenta con pendientes entre el 2 y 7%, está constituido por arenas arcillosas y gravosas, y limos rojizos, amarillentos y naranjas. La parte más superficial de este miembro se encuentra altamente meteorizada formando en algunos sectores altos niveles de oxidación que le ayudan a incrementar su compactación y resistencia a la erosión.

Por el sector ubicado sobre la escarpa occidental, y en el norte de Bucaramanga, y en la parte alta de la quebrada de la Iglesia podemos encontrar el miembro gravoso (Qbg), también podemos situarlo en los alrededores de los barrios de Lagos del Cacique, Diamante II, San Luís, La Cumbre, La Feria, Polvorines, Don Bosco y la vía a Café Madrid. Este sector presenta niveles gravosos, gravo arenosos y gravo lodosos. Los cantos son grava con diámetro promedio de 15 cm,

y bloques de roca de hasta 0.8 m de diámetro aunque en menor cantidad. En general el sector es matriz soportado, aunque localmente se presenta clasto soportado. Los cantos están compuestos de rocas metamórficas-ígneas del Macizo de Santander y areniscas cuarzosas, areniscas limosas, y limonitas moradas de las formaciones Girón y Jordán, en cuanto a la matriz tiene una composición cuarzo feldespática micácea (cuarzo, plagioclasa, láminas de moscovita) de baja cohesión y una consistencia media.

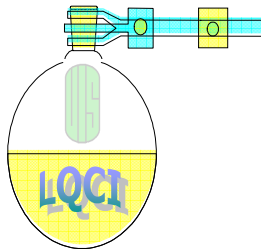
5. PARAMETROS A ANALIZAR

En este capítulo se hace mención a los puntos seleccionados para la toma de muestras y a los análisis respectivos a realizar para determinar la calidad del agua.

De acuerdo a la normatividad consultada en diferentes fuentes y con la asesoría de profesionales entendidos en la materia, y bajo los recursos disponibles, se decidió llevar a cabo el análisis de los parámetros de calidad del agua, que mostramos en la tabla 4. Las muestras fueron llevadas al Laboratorio Químico de Consultas Industriales, de la Universidad Industrial de Santander, el cual se encuentra actualmente acreditado y calificado por el IDEAM, para realizar los análisis correspondientes.

Es necesario aclarar que hay una manera adecuada e idónea para tomar la muestra, almacenarla y llevarla al laboratorio, donde se hicieron los correspondientes exámenes, y de esto se hablará en el capítulo 7, llamado *Protocolo de muestreo*.

A continuación se añaden los ítems a evaluar, y de igual manera el costo de cada uno en pesos colombianos, como referencia, para futuros procesos. También se tienen en cuenta otros parámetros, que se tomaron directamente en el proceso de campo, y están descritos, en el siguiente capítulo, el capítulo 6, llamado *Aspectos sobre el trabajo de campo*.



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER
ESCUELA DE QUÍMICA
LABORATORIO QUÍMICO DE
CONSULTAS
INDUSTRIALES
F-RS-03**



Parámetro	Valor Unitario (\$)	Método	Norma
Turbiedad	8.000	Nefelométrico	SM
Color	8.000	Espectrofotométrico	SM
Demanda Bioquímica de Oxígeno	50.000	Respirométrico	SM 5210B
Nitrógeno Total	25.000	Kjeldahl- Titrimétrico	SM 4500-N
Nitrógeno Amoniacal	20.000	Titrimétrico	SM 4500C-NH ₃
Coliformes Totales y Fecales	45.000	Filtración por Membrana	SM 9222
TOTAL POR CADA PTO EVALUADO	156.000		

Tabla 4. Parámetros a evaluar en laboratorio, con cada método tipo, y con normas que lo sustentan.

En total, el costo de todos los análisis físicos químicos y biológicos, efectuados en este proyecto, fue de \$ 780.000 pesos moneda colombiana, para los cinco puntos analizados y mostrados en este proyecto.

6. ASPECTOS SOBRE EL TRABAJO DE CAMPO

En este capítulo se hace mención a los aspectos más importantes sobre el trabajo y procedimientos realizados en el campo.

6.1 EQUIPO DE CAMPO

El equipo empleado para la toma de muestras se describe a continuación y son todos aquellos implementos que fueron útiles para la toma de muestras y en algunos casos, como se mencionara, para obtener un resultado inmediato de los parámetros físico químicos.

6.1.1 La Sonda Multiparámetros



Fig. 5 Sonda Multiparámetros Eijkelkamp



Fig. 6 Trabajo de campo con la Sonda Multiparámetros

Para determinar características físico-químicas del agua, se cuenta con una sonda multiparámetros EIJKELKAMP, compuesta por cuatro electrodos dispuestos de la siguiente forma: uno para temperatura, otro para ph y redox, otro para conductividad y salinidad y otro para oxígeno disuelto que tiene su propio sensor de temperatura. El equipo fue adquirido por el Grupo de Predicción y

Modelamiento Hidroclimático (GPH) de la UIS, para llevar a cabo una serie de monitoreos en la región.

Además de ser un equipo fácil de manejar y portátil, tiene una buena precisión, lo que hace que el trabajo de campo sea muy efectivo, para obtener resultados rápidos y confiables.

6.1.1.1 Conductividad eléctrica

Es necesario calibrar el medidor de conductividad según indicaciones del fabricante. Normalmente esto se logra usando un estándar de calibración con una conductividad de 1413 μs a 25 °C. Este procedimiento debe realizarse cada vez que se va a dar uso a este electrodo.

Para medir la conductividad de una muestra, tómese agua del pozo y viértase en un beaker. Insértese el electrodo de conductividad. Asegúrese de lavar el electrodo con agua destilada antes de efectuar cada medición. Una vez las lecturas se estabilicen, regístrese la temperatura y conductividad de la muestra de agua.

6.1.1.2 pH

Se debe calibrar el medidor de pH, utilizando el electrodo correspondiente, de acuerdo a las indicaciones del fabricante, para medir de manera correcta este parámetro. Para realizar este procedimiento, es necesario contar con las siguientes soluciones:

- Solución de lavado (agua destilada)
- Solución de almacenamiento
- Solución Buffer de pH 4.0
- Solución Buffer de pH 7.0

Colóquese el medidor de pH en modo de calibración e insértese el electrodo en la solución de mayor pH (pH 7.0) a 25°C. Cuando se pueda observar la lectura correcta de pH, remuévase y lávese el electrodo con la solución de lavado. Insértese el electrodo en la solución de menor pH (pH 4.0) a 25°C. Cuando la lectura se estabilice y se pueda observar una lectura correcta, el medidor de pH estará calibrado y listo. Finalmente, colóquese el medidor en modo de medición. Para medir el pH de una muestra, inserte el electrodo en la muestra, presione la tecla apropiada en el medidor y espere a que la lectura se estabilice. No agite demasiado la muestra, pues esto puede cambiar el pH de la muestra por desgasado de dióxido de carbono. Finalmente, registre la lectura, limpie el electrodo con la solución de lavado y guarde el electrodo en la solución de almacenamiento. Si no se cuenta con solución de almacenamiento, guarde el electrodo en solución buffer de pH 4.0. No guarde el electrodo en agua destilada o desionizada.

6.1.2. Nivel de aguas subterráneas



Fig. 7 Cinta eléctrica o sensor de profundidad.

Para el monitoreo de aguas subterráneas se cuenta con un sensor de nivel de agua. Es una cinta métrica y en su punta tiene un electrodo que al entrar en contacto con el agua produce un sonido.

6.1.3 Dispositivo para extracción de muestras



Fig. 8 Bailer, dispositivo para extracción de muestras



Fig. 9 Dimensiones del lastre.

Un *bailer* es un artefacto usado para tomar el agua de un pozo de agua subterránea, es sencillamente un contenedor que puede ser llenado manualmente. Aunque para este caso el *bailer*, es un dispositivo, armable y desarmable, para llevarlo al campo; que consta de tres tubos de PVC, dos de ellos huecos, el otro relleno de arena, el lastre, con el fin de hundir en el pozo o piezómetro el *bailer*, y todos unidos mediante acoples macho y hembra, para amarrarlos a una guaya. Así que una vez acoplados, se desenrolla la guaya que envuelve el carrete, y se deja caer en el pozo, poco a poco, para extraer las muestras o abatir el nivel, dependiendo de cuál de estas tareas se estén realizando. Este *bailer* cuenta con una capacidad constante de extracción de 1.66 litros por muestra.

6.1.4 Dispositivo GPS

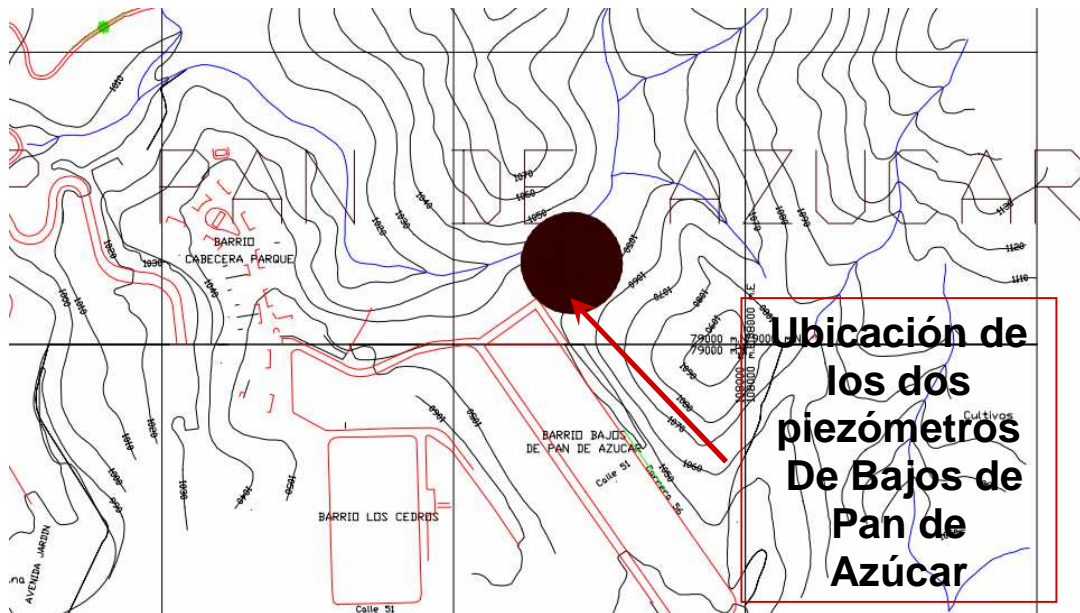


Fig. 10 Mapa de la zona de Bajos de Pan de Azúcar.

Este artefacto se usa para localizar mediante coordenadas según la proyección Gauss con origen X: 1.000.000 Y: 1.000.000 ubicado en la ciudad de Bogotá, los distintos puntos, donde se miden los niveles de agua en los piezómetros o pozos de observación y se realizan los muestreos, para poderlos localizar en el plano de la ciudad de Bucaramanga. También se hicieron mediciones en la zona norte de la ciudad, en compañía de la CDMB, en otros piezómetros. (Tabla 5)

En las visitas hechas se tomo el nivel freático de varios piezómetros en las siguientes zonas o barrios, y se observo, que al menos desde Junio hasta Octubre del año 2008 los pozos se mantenían con un nivel estable, lo cual es bueno, si se piensa en un futuro aprovechamiento del recurso hídrico.

Sector	# total de pozos	Nivel (m) (Junio)	Nivel (m) (Agosto)	Nivel (m) (Octubre)
Mirador	9	3,03	3,03	3,08
		-	-	-
		-	-	-
		3,27	3,29	3,3
		0,78	0,76	0,75
		4,5	4,5	4,47
		-	-	-
		0,7	0,71	0,71
		-	-	-
Lizcano	4	-	-	-
		2,08	2,1	2,04
		1,92	1,96	1,92
		0,17	0,17	1,15
Esperanza III	5	-	-	-
		8,94	8,94	9,13
		-	-	-
		-	-	-
		-	-	-
Somascos (pozo artesiano Somascos)	4	3,02	3,07	3,06
		1,22	1,25	1,29
		1,46	1,47	1,52
		10,65	10,05	-
Villa Rosa	3	-	-	-
		0,33	0,33	0,32
		1,34	1,35	1,38
La Flora	2	0,94	0,94	0,91
		30,11	30,12	30,19
Pan de azúcar	2	6,32	6,37	6,63
		10,32	10,39	10,47
Albania	1	1,88	1,89	1,74

Tabla 5. Niveles freáticos en pozos, zona norte de la ciudad de Bucaramanga³.

³ Datos facilitados por encargados de la toma de niveles por parte de la CDMB.

Con la ayuda del GPS y el programa de altitud y localización en coordenadas que tiene este dispositivo, se pudo situar los puntos de muestreo que se tomaron. Aquí entonces se muestran los datos del levantamiento:

Punto	COTA-GPS	COORDENADAS	
		ESTE	NORTE
Vivero Nazareth	914.056	1104431.516	1280788.283
cra 15 con 8 (salida del Vivero Nazareth)	942.198	1104548.419	1280885.262
Mirador 1	791.292	1105318.884	1282486.935
Mirador 2	777.943	1105262.381	1282511.496
Mirador 3	777.948	1105263.134	1282523.187
Mirador 6	768.253	1105234.371	1282554.974
Mirador 8	775.758	1105283.821	1282602.717
Lizcano 3	773.900	1105166.311	1282387.128
Lizcano 4	768.030	1105083.399	1282383.788
Esperanza3	782.972	1104988.119	1282241.045
Somascos entrada	813.912	1105341.716	1282260.059
Somascos 1 (pto1)	815.732	1105394.229	1282281.425
Villa Rosa 3	758.371	1104730.038	1282326.400
Villa Rosa 2	764.193	1104711.006	1282419.786
Villa Rosa 1	741.957	1104681.243	1282537.135
La Rosita	922.473	1105295.382	1278366.072
Albania	1030.995	1107404.415	1279711.223
Pan de Azúcar (pto1)	1039.096	1107871.755	1279070.244
Pan de Azúcar (pto2)	1039.324	1107875.733	1279069.276
cra 56 con 50 (Pan de Azúcar)	1048.513	1107848.872	1279043.000
cil 61 con 44 Terrezas la Flora	952.401	1107239.465	1277956.700
Parque la Flora	955.812	1107283.305	1278187.461
Colinas	995.439	1107939.551	1277698.762

Tabla 6. Cotas y coordenadas de pozos visitados en Bucaramanga.

En esta tabla se muestran solamente las coordenadas de los puntos tomados para este proyecto y anteriormente mencionados en el capítulo de *Parámetros a analizar*.

Punto	COORDENADAS	
NAZARETH	E=1104431.5160	N=1280788.2830
LA ROSITA	E=1105295.3820	N=1278366.0720
PARQUE LA FLORA	E=1107283.3050	N=1278187.4610
PAN DE AZUCAR 2	E=1107875.7330	N=1279069.2760
PAN DE AZUCAR 1	E=1107871.7550	N=1279070.2440

Tabla 7. Coordenadas de los pozos de muestreo en Bucaramanga.

7. EL PROTOCOLO DE MUESTREO



Fig. 11. Medición de factores físico químicos in situ

El protocolo de muestreo es un proceso específico, diseñado a través de nuestra experiencia del muestreo en campo, y se sigue para aprovechar al máximo el tiempo de trabajo, sabiendo con anticipación lo que se va a realizar en la salida de campo, y esto se realizó para los piezómetros o pozos de observación, como para los drenes. Se tomo como base para el protocolo de muestreo, el que realiza la Asociación Internacional de Energía Atómica (AIEA), junto con los protocolos que se sigue para la extracción de muestras biológicas que enseña el Laboratorio de Consultas Industriales de la UIS.

El apropiado muestro y medición en campo de ciertos parámetros fisicoquímicos son críticos para determinar resultados de alta calidad y una interpretación confiable de los datos. Antes de iniciar una campaña de muestreo, antes de iniciar una campaña de muestreo se debe empacar adecuadamente todos los materiales y equipos:

- Botellas para muestras

- Tijeras
- Hoja para toma datos
- Etiquetas
- Marcadores a prueba de agua
- Cinta adhesiva.

Una vez en el sitio de muestreo, el primer muestreo que se debe hacer es el del nivel de agua estático del pozo por debajo de un punto de referencia, para el caso de un piezómetro. Esta medición debe hacerse antes de purgar el pozo. Mídase el nivel del agua bien usando una cinta métrica o una sonda eléctrica, y regístrese la lectura.

Después de registrar el nivel de agua, se purga el pozo con una bomba o con un bailer para remover el agua empozada y se debe asegurar que al menos el 95% del agua de las muestras a tomar se origine del sistema de acuíferos a muestrear. Se debe purgar entre 3 y 5 veces el volumen de agua en el pozo. Las lecturas deben tomarse y registrarse en intervalos de algunos minutos junto con el método de bombeo y el volumen de agua bombeado. De esto se habla con más detalle en el numeral *7.2 llamado Piezómetros*.

La localización del sitio de muestreo debe ser registrada con tanta precisión como sea posible, usando bien un sistema de posicionamiento global (GPS) o un mapa topográfico de suficiente resolución. Se debe indicar puntos de referencia, cercanos al punto de muestreo, si los hay. Después de completar la purga, el pozo está listo para las mediciones en campo de la conductividad, temperatura, pH y redox.

7.1 FORMATOS EN DRENES Y PIEZOMETROS

Las figuras 9 y 10 mostradas a continuación, son los formatos de protocolo finales para la toma de muestras tanto en drenes como en piezómetros respectivamente. A esto se llegó teniendo en cuenta los parámetros físicos y químicos que se quieren evaluar y fue necesario hacer múltiples visitas de campo. En la parte final del protocolo de muestreo, exactamente el punto 3, es un espacio para registrar el muestreo de isótopos si se requiere, aunque para este proyecto, no se hizo un análisis para isótopos, pero se diseñó este espacio considerando futuras mediciones.

PROTOCOLO DE MUESTRAS DE AGUA SUBSUPERFICIAL EN DRENES PUNTO #: 4

1. GENERALIDADES

Localización: Vivero Nazareth
Municipio: Bucaramanga
Muestreado por Jorge Armando Jiménez Sánchez
Sergio Camilo Colmenares León

T(°C) ambiente: 15
Fecha: 13/08/2008
Hora inicio: 16:15
Dren #: _____

2. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Conductividad Eléctrica [μ S]: 295
Redox [mV]: 153
pH: 4,14
Temperatura [°C]: 15,2
O.D [mg/L] 1,57

3. MUESTRAS

ID	Descripción	ID	Descripción
#IE001	ISÓT/PARÁM		
#IE002	ISÓT/PARÁM		

Fig. 12. Formato del *Protocolo de muestreo de drenes*.

PROTOCOLO DE MUESTRAS
DE AGUA SUBSUPERFICIAL

PUNTO #: 2

1. GENERALIDADES

Localización: Bajos de Pan de Azúcar
Municipio: Bucaramanga
Muestreado por Jorge Armando Jiménez Sánchez
Sergio Camilo Colmenares León

T(°C) ambiente: 12,9
Fecha: 13/08/2008
Hora inicio: 07:55 a.m
D. Perf(in): _____
D. Rev(in): _____

2. ELEVACIÓN DE AGUA

Método de Medición: Bailing
Elevación Inicial de agua [m] 6,47
Hora elevación inicial: 08:35 a.m

Volumen x Extracción:
1.66 lt

3. PURGA

Ext	Nivel (m)	Cond [µS]	T (°C)
1	6,82	209	14,2
2	7,05	207	14,2
3	7,3	205	14,4

Elevación luego de purga [m] 7,3
Hora luego de purga: 08:45 a.m
 ΔH (abatimiento) [m]: 0,83

Ext	Nivel (m)	Cond [µS]	T (°C)

Ext	Nivel (m)	Cond [µS]	T (°C)

4. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS (después de recuperación)

Conductividad Eléctrica [µS] 245
Redox [mV]: 532
pH: 7,22
Temperatura [°C]: 14,7
O.D [mg/L] 1,55
Elevación Final de nivel [m]: 6,8
Hora elevación final: 9:20 a.m

5. MUESTRAS

ID	Descripción	ID	Descripción
#IE001	ISÓT/PARÁM		

Fig. 13. Formato del *Protocolo de muestreo de pozos o piezómetros*



Fig. 14. En campo, extrayendo la muestra

7.2 PIEZÓMETROS

Un piezómetro o pozo de observaciones es una excavación vertical, en la que se introduce adecuadamente un tubo, que puede ser de pvc, cuyo extremo inferior se encuentra unido a un acuífero de tipo libre o confinado, y por esto permite el ascenso de agua por su propia presión hidrostática. Dependiendo del tipo de acuífero cambiará el diseño y construcción del pozo.

Para obtener una muestra representativa en cada pozo de observación o piezómetro, es necesario abatir el nivel del pozo, y luego esperar que este retome el nivel inicial. Pero lo que indica hasta qué punto se debe abatir el nivel del pozo, es cuando al extraer la muestra con el bailer, y medir con la sonda la electroconductividad, esta indica una constante en la segunda cifra significativa por tres medidas seguidas.

La siguiente es una figura que muestra como ejemplo el trabajo de excavación de un piezómetro, o pozo, en este caso en específico, los piezómetros de Pan de Azúcar:

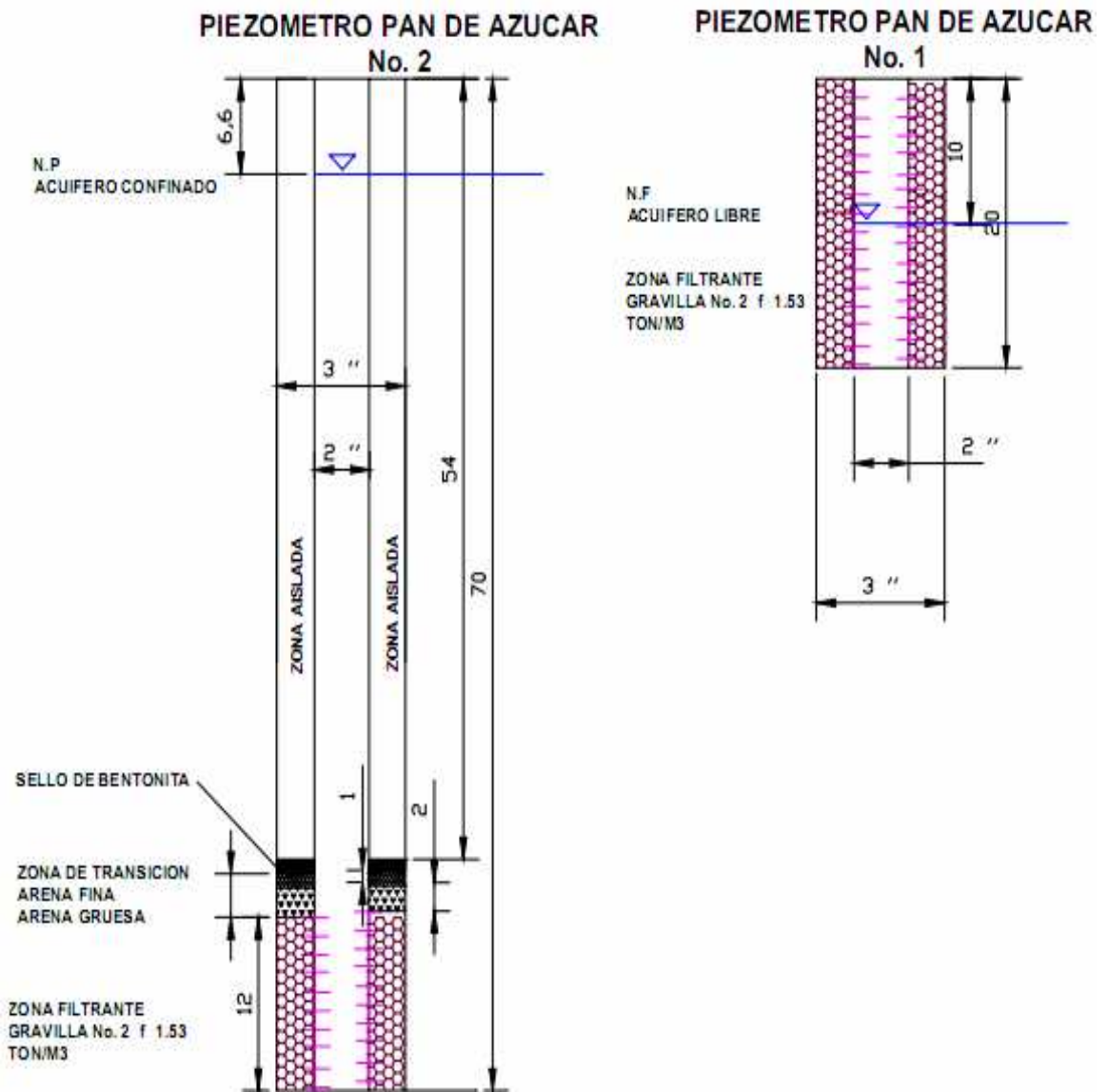


FIG. 15. Modelo en corte del piezómetro⁴

⁴ CORPORACION AUTONOMA PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA CDMB. Interacción entre sistemas hidrogeológicos para el estudio del fenómeno de recarga en el macizo de Santander e identificación de acuíferos. Informe final Pozo de observación-Piezómetros de Pan de Azúcar. Bucaramanga, Octubre 2003. p. 14.



Fig. 16. Medición del nivel después del muestreo, o del abatimiento



Fig. 17. En campo, abatimiento del nivel del piezómetro

7.3 DRENES

Los drenes son perforaciones que se perforan con una pendiente del 2% al 10% a través del terreno, para controlar el nivel freático, es decir, encausando la circulación de las aguas que se filtran en él, por causa de las lluvias o riego de manera controlada, y evitar de esta manera que se desplome el talud por la saturación del suelo. La construcción de estos drenes, por parte de la CDMB, ha sido fundamental para disminuir en gran manera la erosión de las zonas de escarpa de la meseta de Bucaramanga.



Fig. 18. Toma de la muestra *de drenes*

Los drenes también son importantes, ya que además de ser una estructura que da respaldo y soporte al terreno, permiten conocer los flujos del agua subterránea y tomar muestras de agua, para la medición de los parámetros físico químicos y biológicos. Al analizar las muestras de agua, estas permiten estudiar el tipo de zona en que se encuentran, por los minerales que el agua puede contener.



Fig. 19. Construcción de un dren⁵

⁵ Fotografía tomada de la página de: www.erosion.com.co de la sección de Estabilización de taludes.

En cuanto a la toma de datos existe una gran diferencia entre los drenes y los pozos, ya que los drenes no tienen que pasar por el proceso de abatimiento de agua, para obtener una muestra representativa.

7.4 TOMA DE MUESTRA

La toma de muestra de aguas es una operación delicada, que debe llevarse a cabo con el mayor cuidado, dado que una toma inadecuada puede alterar los resultados analíticos y su interpretación.

De una manera general, la muestra debe ser homogénea y representativa y no modificar las características fisicoquímicas o biológicas del agua (gases disueltos, materias en suspensión, etc.). Los tipos de envase a utilizar dependen del tipo de análisis a realizar. Y el tipo de envase a utilizar requiere un tratamiento previo de limpieza, esterilización, etc. en función de los parámetros a determinar.

Por otra parte, el tipo de muestra a tomar depende del programa de muestreo establecido y de la finalidad requerida. Así, pueden tomarse muestras simples, compuestas, integradas, etc.

Es de gran importancia aclarar, que tanto, los piezómetros o pozos de observación, como los drenes, no son estructuras para la captación de agua subterránea, porque el fin de ellos consiste en monitorear el nivel de agua en el acuífero y observar la recarga hidráulica del mismo en el caso de los piezómetros. Y que los drenes fueron construidos con el fin de controlar el proceso de erosión de la parte baja de la meseta de Bucaramanga. Y que se utilizaron para la toma de muestras, debido a la facilidad que proporcionan, para poder llegar al agua subterránea.

7.4.1 Envases para la toma de muestras

Exceptuando el material específico que pueda utilizarse para determinaciones especiales, los recipientes en que se recogen las muestras deberán ser de vidrio opaco, en su defecto de color ámbar o material plástico opaco, para no permitir el paso de la luz y tendrán que cumplir los siguientes requisitos:

- No desprender materia orgánica, elementos alcalinos, boro, sílice u otros que puedan contaminar la muestra recogida.
- Que la adsorción ejercida por sus paredes sea mínima sobre cualquiera de los componentes presentes en la muestra de agua.
- Que el material constituyente del recipiente no reaccione con los componentes de la muestra.
- Deberán poderse cerrar y sellar herméticamente.

Los envases de plástico no deben utilizarse para el análisis de gases disueltos, debido a su permeabilidad, ni para analizar compuestos orgánicos y algunos elementos minerales (por ejemplo fósforo) dada su capacidad de adsorber dichos compuestos. Los envases de vidrio no deben utilizarse para tomar las muestras en que se deben determinar elementos alcalinos, fluoruros, boro, sílice o bien se vaya a medir la radiactividad.

En el momento de la toma de muestra, los envases han de ser enjuagados varias veces con el agua a analizar y después llenados completamente sin dejar cámara de aire, para asegurarnos de que la muestra que se tome solo contenga el agua que se quiere analizar, porque el aire atrapado puede alterar la muestra. Los envases de plástico pueden dar problemas de contaminación, si la limpieza no ha sido perfecta, después de cierto tiempo de utilización.

7.4.2 Tipos De Muestras

- Muestras simples: Son las que se toman en un tiempo y lugar determinado para su análisis individual.
- Muestras compuestas: Son las obtenidas por mezcla y homogeneización de muestras simples recogidas en el mismo punto y en diferentes tiempos.
- Muestras integradas: Son las obtenidas por mezcla y homogeneización de muestras simples recogidas en puntos diferentes y simultáneamente.
- Muestras para el laboratorio: Son las muestras obtenidas por reducción de las muestras anteriores (simples, compuestas o integradas) para realizar el análisis de cada uno de los parámetros.

7.4.3 Procedimientos de toma de muestras

En el caso de pozos o piezómetros, la muestra debe tomarse solo hasta que el pozo se haya recuperado del abatimiento y su conductividad este estable.

La muestra puede tomarse por alguno de los siguientes métodos:

- Directamente en la botella o recipiente que se va a enviar al laboratorio o que se utilice para las determinaciones "in situ". Este procedimiento está recomendado en grifos de redes de distribución, fuentes, canales de riego, arroyos de poca profundidad, pozos dotados de bombas de extracción, drenes y casos similares. En estos casos, es recomendable dejar fluir el agua durante cierto tiempo para conseguir que la muestra sea verdaderamente representativa.
- Mediante equipos de toma de muestra. Estos equipos se utilizan en ríos, embalses, pozos sin bomba, grandes depósitos de almacenamiento, etc. En estos casos es preciso considerar diversos factores, tales como la

profundidad, flujo de corriente, distancia a la orilla, etc. Si es posible, es recomendable obtener muestras integradas, y de no ser posible, se tomarán muestras simples en los lugares más apropiados de la masa de agua (centro, orillas, a profundidades distintas, etc.). Asimismo, dependiendo de las necesidades, se tomarán muestras compuestas (por ejemplo, en el estudio de vertidos industriales, urbanos, etc.)

7.4.4 Conservación de muestras

Una vez tomada la muestra, ésta sufre una serie de procesos que alteran sus características fisicoquímicas y biológicas. Así, por ejemplo, puede ocurrir: fijación de ciertos elementos sobre las paredes de los recipientes y sobre las partículas suspendidas, pérdida de gases disueltos, precipitaciones secundarias de cambio de valencia, acción de gérmenes presentes, etc. Por ello es necesario, tomar ciertas precauciones con miras a su conservación y estabilización de los constituyentes, durante el tiempo que transcurra entre la toma de muestra y el análisis. No obstante, ciertos parámetros del agua requieren determinaciones "in situ" (por ejemplo, pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, etc.) o bien de forma inmediata en el laboratorio.

De manera general, es necesario conservar las muestras a baja temperatura (4°C) tanto durante el transporte como en el laboratorio durante el tiempo que transcurra hasta la realización del análisis. La adición de ciertos compuestos químicos facilita la conservación de las muestras durante un cierto tiempo. No obstante, ciertos parámetros deben ser determinados dentro de las 24 horas siguientes (por ejemplo, color, turbidez, residuos, cianuros, fenoles, detergentes, compuestos nitrogenados, etc.) aun añadiéndole dichos agentes preservantes.

7.4.5 Cantidad e identificación de la muestra

Los envases de plástico que se usaron en la toma de muestras son de polietileno opaco, mientras que los de vidrio son de color ámbar; esto aplica para los diferentes envases, independiente del volumen de la muestra.

Para las muestras de pH, conductividad, potencial redox y temperatura, se tomaron muestras de 50 cm³ con envases de plástico.

La muestra para determinar el oxígeno disuelto fue de 50 cm³ en envase de vidrio.

Los envases para Nitrógeno amoniacal, Nitrógeno total, DBO₅, Turbiedad y Color fueron de vidrio, con un volumen de 500 cm³ para cada uno de ellos.

El empleado para Coliformes fecales y Coliformes totales de 50 cm³ cada uno y plástico.

Las etiquetas empleadas para identificar cada una de las muestras están elaboradas de forma sencilla y práctica. Esta contiene los siguientes datos: pozo o dren, localización, fecha y tipo de análisis a realizar.

En la tabla 8 se indican los agentes de preservación recomendados para cada determinación y el tiempo máximo que debe transcurrir desde la toma de muestra hasta que se realice el análisis.

P = polietileno V = Vidrio

PARAMETRO A DETERMINAR	TIPO DE ENVASE	AGENTE DE PRESERVACION	TIEMPO MAXIMO
Temperatura	-	-	Medida "in situ".
pH, conductividad	P o V	-	Medida "in situ" o de manera inmediata.
Olor, color	V	-	24 h.
Turbidez	P o V	-	24 h.
D.B.O ₅	P o V	-	6 h.
Coliformes totales y fecales	P o V	Temperatura menos a 4°C	24h
Nitrógeno total	P o V	HgCl ₂ (40 mg/l)	48 h.

Tabla 8. Toma y conservación de muestras de agua

De todo lo anterior, se ha aplicado a este trabajo, lo relacionado con los envases, el procedimiento concerniente al muestreo de los factores de la tabla 8, que se explica en este capítulo, tanto en los pozos como en los drenes, ya que en cuanto a la toma y conservación de las muestras, no hay diferencias en ellos. Y como se explicó en el capítulo 5 de este trabajo, en la tabla 4, en cada punto de muestreo, se realizaron en el Laboratorio Químico de Consultas Industriales los análisis que ahí están consignados, aclarando que se hicieron cinco muestras una por cada punto, por lo tanto se realizaron cinco veces estos análisis en total.

8. ANALISIS DE DATOS

En este capítulo se recopilan los datos obtenidos en el análisis de los parámetros físico-químicos y biológicos, de los puntos de muestreo mencionados en el numeral *5.1 Localización de Puntos* (tabla 3), para posteriormente sintetizarlos en forma de gráficos o tablas, lo cual facilitará el análisis y las conclusiones.

8.1 RECOPIACION DE DATOS

La toma de los datos se realizó en dos periodos, uno en invierno del 14 de mayo al 10 de junio del 2008 o primer periodo lluvioso del año 2008, y el segundo, en verano o periodo seco a mediados del mismo año del 1 de agosto al 21 de agosto del 2008. Las muestras para los análisis biológicos solamente se tomaron en la última visita a cada punto y en época de verano.

8.1.1 Invierno o primera época lluviosa del año 2008

La fecha de esta recolección de datos fue del 14 de Mayo del 2008 al 10 de Junio del 2008. Se contó con la participación del GPH-UIS (Grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático) y con apoyo externo de la Subdirección en Conservación de Suelos de la CDMB (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta De Bucaramanga).

Todas las muestras fueron analizadas en campo con la sonda multiparámetros EIJKELKAMP propiedad del GPH.

Las salidas se realizaron empezando en los piezómetros de Pan de Azúcar y terminaron en el dren de La Rosita.

		14-May	15-May	16-May	20-May	21-May	30-May	04-May	05-May	09-May	10-May
PARÁM.		Invierno 2008									
Bajos de Pan de azúcar Superficial Punto No 1	pH		6,2				6,8		6,1		7,33
	Temp. (°C)		14,5				13,5		12,9		14,9
	Redox (mV)		510				53		520		526
	Cond. (µs/cm)		506				548		509		567
Bajos de Pan de azúcar Profundo Punto No 2	pH		6,9				7,01		6,76		7,01
	Temp. (°C)		12,8				13,4		12,6		14,8
	Redox (mV)		467				8		7		9
	Cond. (µs/cm)		185				173		200		188
Parque la Flora Punto No 3	pH	5,55			5,43				5,95		5,26
	Temp. (°C)	18,7			14,7				15		14,1
	Redox (mV)	90			85				64		102
	Cond. (µs/cm)	222			174				205		187
Vivero Nazareth Punto No 4	pH			3,8		4,3		3,23		4,12	
	Temp. (°C)			15,1		15,4		16,9		16,4	
	Redox (mV)			140		146		149		155	
	Cond. (µs/cm)			279		255		264		289	
La Rosita Punto No 5	pH			4,5		3,86		3,45		4,16	
	Temp. (°C)			17,4		18,4		17,5		16,8	
	Redox (mV)			154		157		158		160	
	Cond. (µs/cm)			547		539		526		541	

Tabla 9. Tabla de toma de muestras durante la época de invierno

Con estos resultados se construyeron graficas en función del tiempo para poder ver alguna variación significativa de ellos.

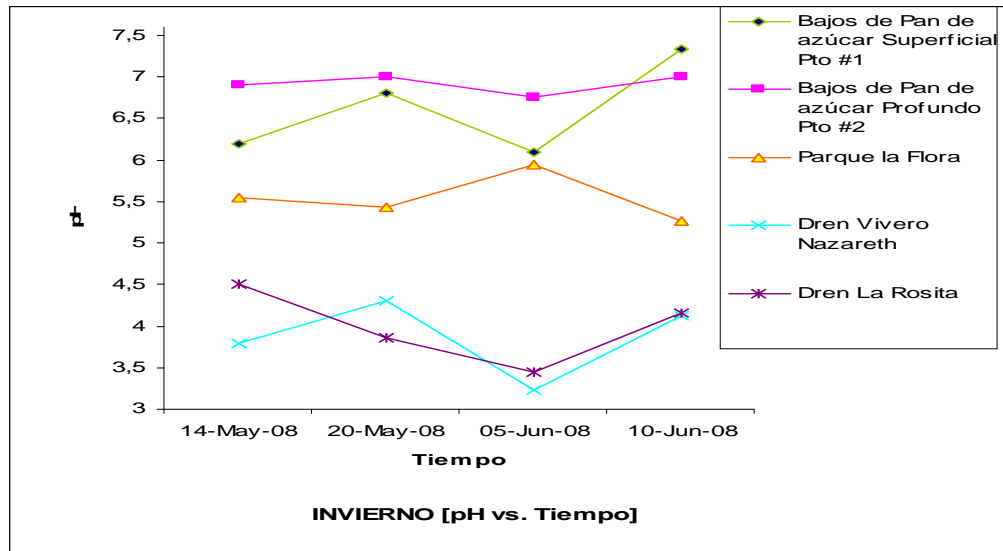


Fig. 20. Datos de la toma de muestras de invierno del pH

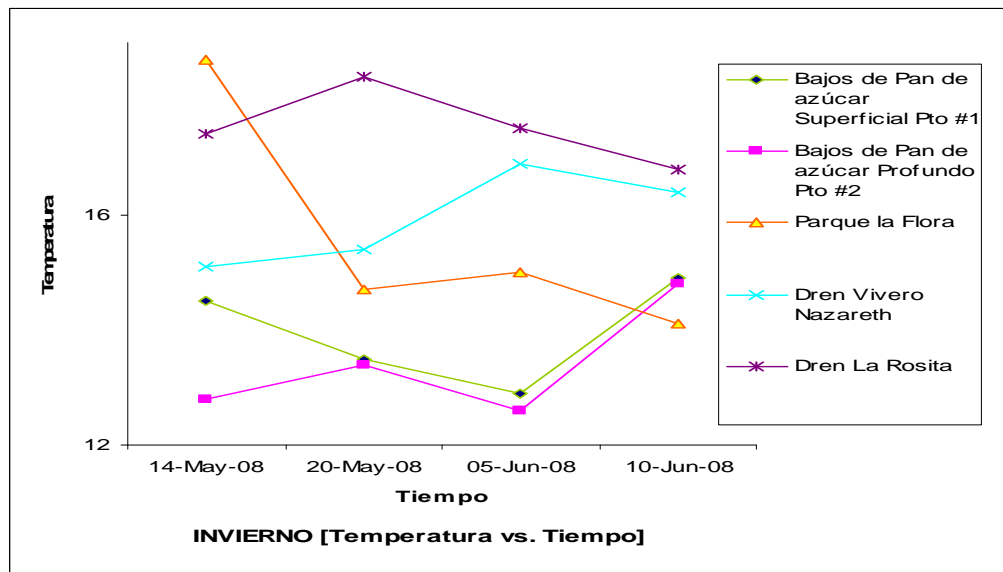


Fig. 21. Datos de la toma de muestras de invierno de la temperatura

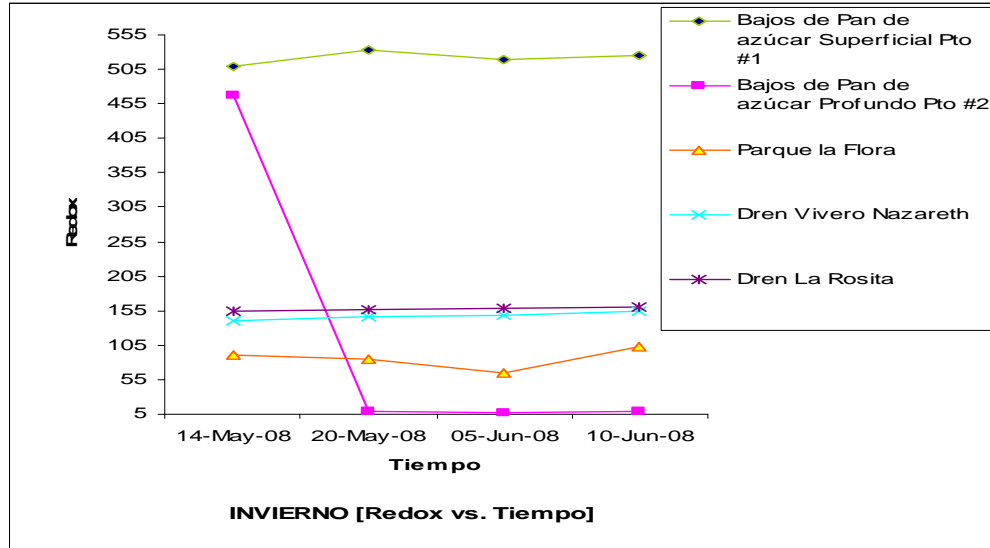


Fig. 22. Datos de la toma de muestras de invierno del Redox

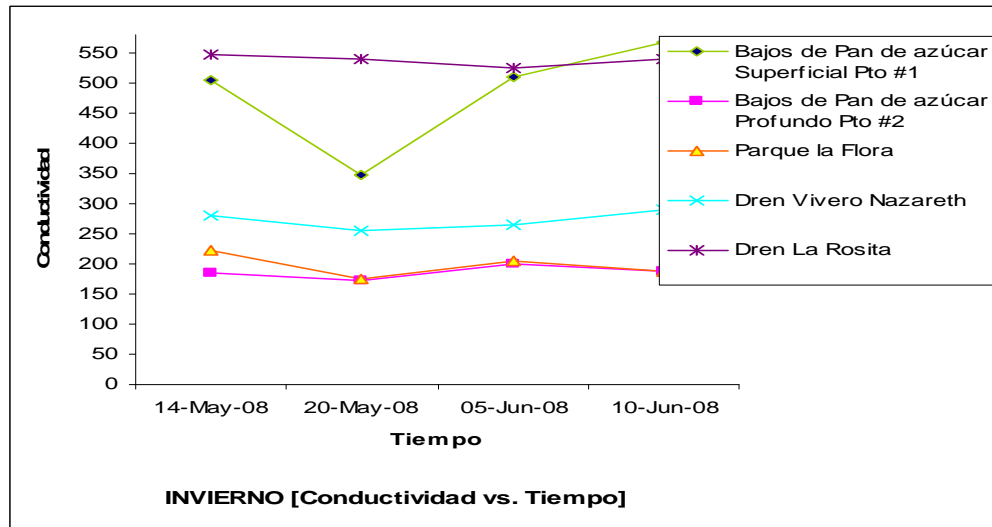


Fig. 23 Datos de la toma de muestras de invierno de la electroconductividad

A través de las gráficas obtenidas se ve que no hay una variación significativa en los parámetros, excepto el redox que presenta una discontinuidad, con un valor máximo 467 mV llegando a valores bajos de 7 mV, en el punto 2 (Bajos de Pan de

azúcar profundo) debido a una posible una interacción entre el agua o flujo subterráneo con los diferentes elementos químicos presentes.

8.1.2 Verano o época seca de mitad de año 2008

La fecha de esta recolección de datos fue del 1 de Agosto del 2008 al 21 de Agosto del 2008. Se contó nuevamente con la participación del GPH-UIS (Grupo en Predicción y Modelamiento Hidroclimático) y con apoyo externo de la Subdirección en Conservación de Suelos de la CDMB (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta De Bucaramanga) .

Todas las muestras fueron analizadas en campo con la sonda multiparámetros EIJKELKAMP propiedad del GPH. Las salidas se realizaron empezando en los piezómetros de Pan de Azúcar y terminando en el dren de La Rosita.

Como un componente bastante especial en la época de verano, aparecieron lluvias, es decir que esta temporada que debía ser verano no tuvo mucha diferencia con los días de la época de invierno, sin embargo, para cumplir con el propósito, las muestras se tomaron en los días que tuvieron como mínimo tres días anteriores sin lluvia.

		01-Ago	02-Ago	05-Ago	06-Ago	09-Ago	13-Ago	21-Ago
PARÁM.		Verano 2008						
Bajos de Pan de azúcar Superficial Punto No 1	pH	7,2		6,94		7	7,22	
	Temp. (°C)	14,8		13,8		13,6	14,2	
	Redox (mV)	534		499		543	530	
	Cond. (µs/cm)	495		555		584	638	
Bajos de Pan de azúcar Profundo Punto No 2	pH	6,96		7,06		7,22	7,22	
	Temp. (°C)	13,4		13,1		14,2	14,7	
	Redox (mV)	616		611		606	532	
	Cond. (µs/cm)	196		214		205	245	
Parque la Flora Punto No 3	pH	6,41		6,35		5,8	6,3	
	Temp. (°C)	14,6		14,7		14,2	14,4	
	Redox (mV)	76		58		79	52	
	Cond. (µs/cm)	180		214		223	219	
Vivero Nazareth Punto No 4	pH		4,35		4,18	4,18	4,19	4,21
	Temp. (°C)		16,2		15,9	15,9	16,9	18,3
	Redox (mV)		153		148	148	150	153
	Cond. (µs/cm)		296		278	278	291	295
La Rosita Punto No 5	pH		4,17		4,13	4,08		4,21
	Temp. (°C)		16,7		16,6	17,8		18,3
	Redox (mV)		155		156	159		159
	Cond. (µs/cm)		533		537	540		531

Tabla 10. Tabla de toma de muestras durante la época de verano

Con estos resultados se construyeron graficas en función del tiempo para poder ver alguna variación significativa de ellos.

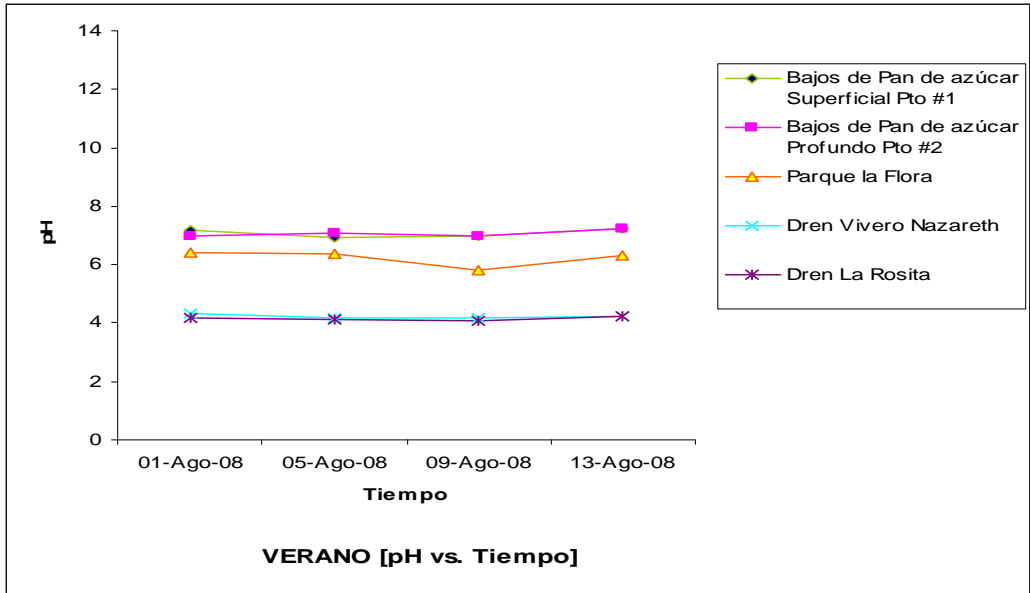


Fig. 24. Datos de la toma de muestras de verano del pH

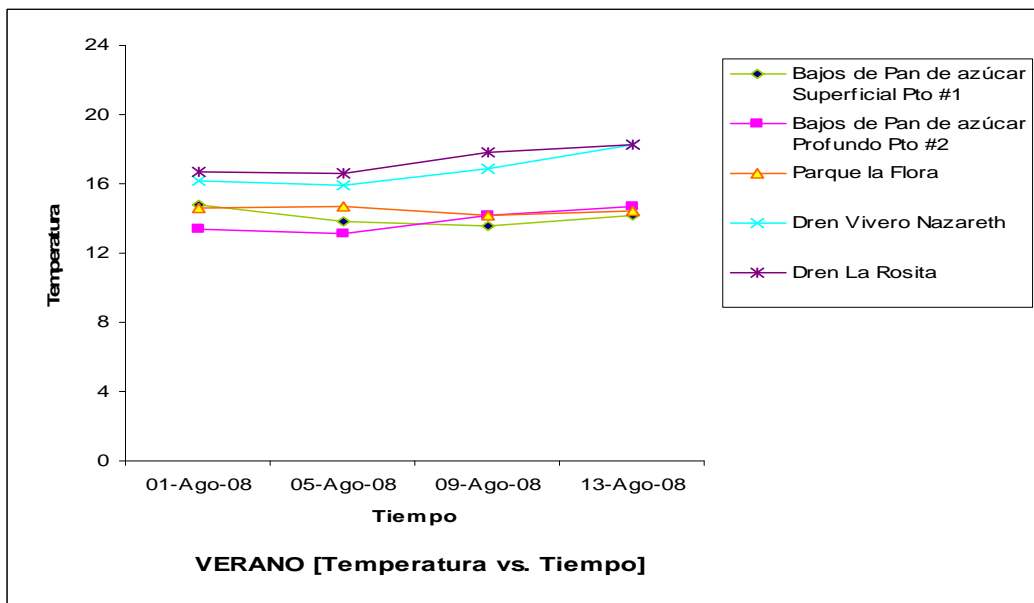


Fig. 25. Datos de la toma de muestras de verano de la temperatura

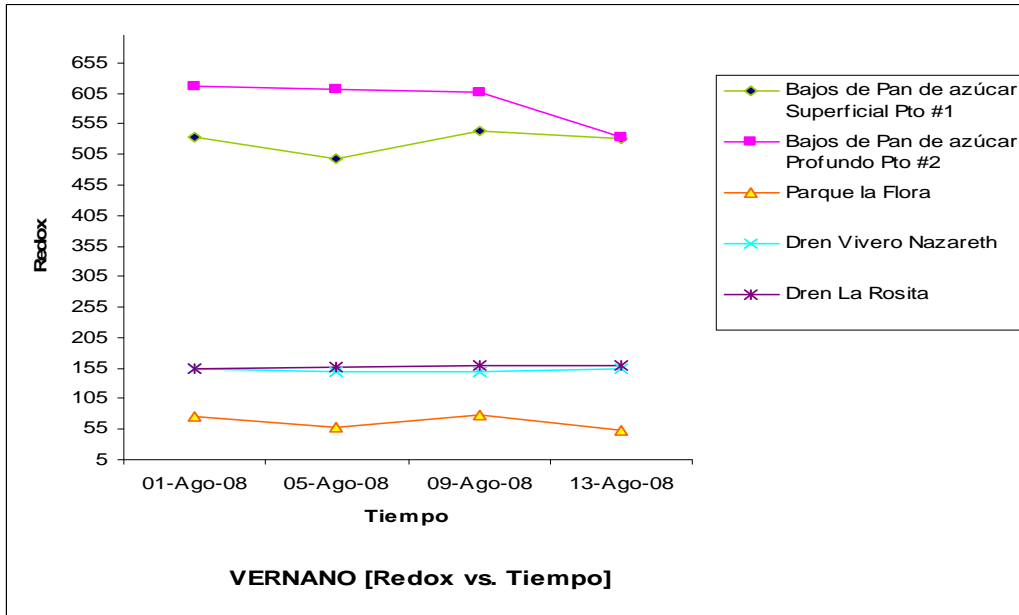


Fig. 26. Datos de la toma de muestras de verano del Redox

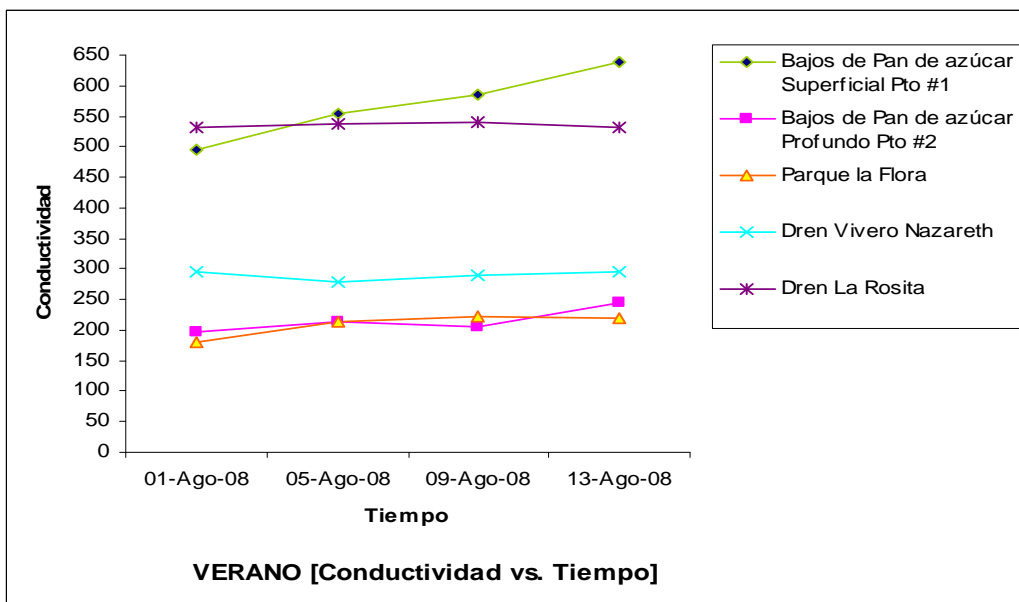


Fig. 27. Datos de la toma de muestras de verano de la electroconductividad

Nuevamente a través de las gráficas se pudo observar que existe una tendencia muy homogénea en los datos, al igual que en época de invierno, observando al parecer una tendencia más regular en la gráfica de Redox, la variación tiene que ver con algún intercambio iónico entre el agua y los minerales de la zona.

8.1.3 Toma de muestras para análisis biológico

Se procedió de acuerdo a como el protocolo de muestreo lo indica, tanto para pozos como para drenes, conforme a lo explicado en el capítulo 6. Tomados los parámetros físico-químicos in situ, se almacenaron las muestras y se transportaron al laboratorio. Con los resultados obtenemos las siguientes tablas:

Resultados físico químicos:

PARÁMETRO	UNIDADES	No.1 Pan de Azúcar Superficial	No.2 Pan de Azúcar Profundo	No.3 Parque La Flora Superficial	No.4 Dren Nazareth	No.5 Dren La Rosita
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg O ₂ /L	20	20	10	30	60
Color	UPC	2950	5000	152	6	10
Turbiedad	NTU	587,5	980	18,4	0,51	0,53
Nitrógeno Total	mg N _T /L	13,95	8,37	5,58	8,37	8,37
Nitrógeno Amoniacal	mg N _{NH3} /L	9,77	5,58	2,79	6,97	2,79

Tabla 11. Resultados físico químicos del Laboratorio de Consultas Industriales

Resultados bacteriológicos:

PARÁMETRO	UNIDADES	No.1 Pan de Azúcar Superficial	No.2 Pan de Azúcar Profundo	No.3 Parque La Flora Superficial	No.4 Dren Nazareth	No.5 Dren La Rosita
Recuento Estándar	UFC/100mL	3584	7200	4032	2400	87
Coliformes Totales	UFC/100mL	0	1792	2240	448	0
E. Coli	UFC/100mL	0	1792	2240	394	0

Tabla 12. Resultados biológicos del Laboratorio de Consultas Industriales

8.1.4 Observaciones de cada parámetro de laboratorio

Algunas observaciones básicas respecto a los parámetros a medir en laboratorio.

8.1.4.1 DBO₅

Respecto a la medida de la descarga de materiales orgánicos biodegradable, entonces, se debiera legislar la cantidad máxima de orgánicos a descargar en función de la tasa de respiración que tal descarga induce. Tal parámetro es la ya citada DBO₅, que mide precisamente la tasa de respiración de oxígeno que imprime un líquido sobre el agua que lo recibe. (La DBO₅ se expresa como la concentración de oxígeno que se ha consumido en 5 días, es decir, es una tasa).

La DBO₅ es un análisis lento: toma 5 días. Desde un punto de vista operativo (es decir, al trabajar en un proceso industrial al que se regula la descarga de orgánicos) medir la DBO₅ no es demasiado útil puesto que el análisis diría que "hace 5 días el proceso estuvo mal", sin dejar ninguna posibilidad de reacción correctiva. La DBO₅, en realidad, es un parámetro que se debe medir con propósitos de verificación. En los procesos se trabaja con la demanda química de

oxígeno (DQO) que se mide en 2 horas o con el carbono orgánico total (COT) que es aún más rápido.

Según la norma NOM-003-SEMARNAT 1997, estipula que la carga mínima para consumo humano es de 20 mg/L de DBO₅, y el tratamiento a seguir son las lagunas de estabilización.

Según la Norma RAS 2000, estipula según los artículos 104 al 107, que para una muestra de agua, la carga orgánica, según sea la calidad de la fuente tiene algunas variaciones, siendo la más permisiva 1.5 mg/L de DBO₅, siguiendo los procesos de desinfección y ajuste del pH si se requiere.

8.1.4.2 Color

En cuanto a este parámetro se tiene que decir que existen pocas referencias, pero el decreto 475 de 1998 recomienda como límite 25 UPC (Unidades de Color Platino Cobalto), es decir este sería el valor admisible.

8.1.4.3 Turbiedad

De este parámetro se recomienda que se consulte con el decreto 475 de 1998, expedido en Colombia, como reseña para el parámetro mínimo admisible, en el consumo para humanos. Siendo este parámetro menor o igual a 5. Como tratamiento para este problema se recomienda utilizar la floculación.

8.1.4.4 Nitrógeno Total y Nitrógeno Amoniacal

De este parámetro poco se ha definido con certeza, existen diferentes rangos, incluso para diferentes usos del agua, pero no se define concretamente, en la

norma de estudio de aguas para consumo humano expedidas en Cuba, por el Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología en sus laboratorios de trabajo, se llegó a la conclusión tras un estudio estadístico y minucioso, los siguientes estándares en la calidad del agua, con respecto al nitrógeno amoniacal y total: Para el consumo humano el nitrógeno amoniacal debe ser menor a 0.5 mg/L y en la misma cantidad para el nitrógeno total.

Otro factor que indica la presencia de nitrógeno en el agua, aunque no de una manera exacta, es la aproximación de la contaminación al punto donde se tomó la muestra, pues el nitrógeno amoniacal tiende a disminuir su concentración más rápido que el resto de los nitratos, durante el recorrido de flujo. Así que si la muestra tiene un mayor porcentaje de nitrógeno amoniacal que del resto de los nitratos, esto significará, que el origen de la contaminación se encuentra relativamente cercano de donde se tomó la muestra. Y esto es posible observarlo con los análisis que se realizaron.

8.1.4.5 Coliformes Totales y E. Coli

Del Decreto 475 de 1998, artículo 25, se tiene que decir que prácticamente no es admisible que el agua potable contenga coniformes de ningún tipo. Siendo la cero UFC/100L la cantidad mínima de E. Coli. Aunque para los coniformes totales, este decreto admite 2 UFC/100mL.

A continuación una tabla comparativa de los datos obtenidos en cada punto, analizados en el laboratorio y los admisibles por la norma establecida.

PARÁMETRO	UNIDADES	ADMISIBLE	No.1 Pan de Azúcar Superficial	No.2 Pan de Azúcar Profundo	No.3 Parque La Flora Superficial	No.4 Dren Nazareth	No.5 Dren La Rosita
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg O ₂ /L	1.5	20	20	10	30	60
Color	UPC	< 25	2950	5000	152	6	10
Turbiedad	NTU	≤ 5	587,5	980	18,4	0,51	0,53
Nitrógeno Total	mg N _T /L	0,5	13,95	8,37	5,58	8,37	8,37
Nitrógeno Amoniacal	mg N _{NH3} /L	0,5	9,77	5,58	2,79	6,97	2,79
Coliformes Totales	UFC/100mL	< 2	0	1792	2240	448	0
E. Coli	UFC/100mL	0	0	1792	2240	394	0
Ph		6.5 - 9	7,22	7,22	6,3	4,21	4,21
Conductividad	μS/cm	< 1000	638	245	219	295	531

Tabla 13. Tabla de comparación entre los datos de laboratorio y los admisibles en cada punto.

9. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

- Los valores de pH, de la electroconductividad y de la temperatura, medidos en cada uno de los puntos, muestran que no existe una variación significativa de los valores máximos y mínimos entre ellos por cada punto de muestreo, y de una fecha a otra; Por ejemplo, si vemos los datos tomados en el piezómetro del Parque La Flora, observamos que los resultados de pH presentan una regularidad, en este punto, en cada fecha de la toma de muestra de este parámetro, y así sucesivamente para la temperatura y la electroconductividad; lo cual indica que bastaría con una sola muestra tomada y analizada en cada punto para determinar estos factores físico-químicos, aclarando que esto, se aplica mejor dentro de cada temporada de época de lluvias o ausencia de ellas. Es decir los resultados de invierno se mantendrían uniformes en invierno, y los de verano en verano.
- De acuerdo a los resultados arrojados por el laboratorio de Consultas Industriales de la UIS y los datos obtenidos en campo, y comparándolos con los criterios de calidad de agua nacionales e internacionales para consumo humano, se tiene que: el punto 1 que corresponde al de Bajos de Pan de Azúcar, superficial y el punto 5 que corresponde al Dren la Rosita, están libres de coliformes, lo cual indica que no están contaminados, con agentes biológicos.
- Se observa de acuerdo a los resultados de laboratorio, en los puntos muestreados, cantidades de nitrógenos totales, y de nitrógenos amoniacales, lo cual nos indica la posible presencia en descomposición de materia orgánica en estos puntos. Si bien, no es mucha la cantidad

mostrada en los resultados, es un indicio de que el agua subterránea en su recorrido, por los diferentes estratos del suelo esté recogiendo estos elementos, tal vez raíces de plantas que estén en el subsuelo, o sustratos de suelo vegetal.

- Se observan dos tipos de agua, de acuerdo al parámetro del pH medido. Los dos drenes, uno del Vivero Nazareth, y el otro de la Rosita, presentan agua ácida, pues el resultado es 4.21. En cambio el valor del pH de los puntos la zona alta de la meseta, correspondientes a los puntos 1 y 2 de Bajos de Pan de Azúcar, y el punto 3, correspondiente al del Parque la Flora, se encuentra dentro de los límites permitidos con un pH casi neutro cuyos valores son: pH igual a 7.22 para los puntos 1 y 2 y pH igual a 6.3 para el punto 3.
- Se deja en claro que los parámetros de turbiedad y color, no son problemas de contaminación del agua subterránea, sino que estos son una señal de la mala construcción del piezómetro, o por causa de la falta de mantenimiento, pues un piezómetro bien construido, no debe presentar este tipo de problemas con parámetros como la turbiedad, tal vez algo muy mínimo con el color, pero nada más.
- El parámetro que más presentó variaciones es el de REDOX. La variación, que se dio en el punto 2, bajos de Pan de Azúcar profundo, desde 7 a 616 mV, es probable que sea debido a que hubo una interacción entre el agua o flujo subterráneo con los diferentes elementos químicos presentes en las rocas que se meteorizan y hacen parte de la geología del área.

- El agua subterránea muestreada en este trabajo permite decir que hay aguas tomadas de piezómetros y drenes (Bajos de Pan de Azúcar y dren la Rosita) que aunque no presentaron contaminación por coliformes, se debe tener en cuenta la carga orgánica, señalada por el parámetro de la DBO_5
- El agua subterránea tomada de Bajos de Pande Azúcar donde la zona en que se realizaba el muestreo, era prácticamente un baño público. Y el agua en contacto con fuentes contaminadas por heces, tales como alcantarillados, como es el caso del piezómetro del Parque La Flora, va a presentar generalmente muestras de contaminación por la influencia antrópica.
- La calidad del agua subterránea muestreada tiene un nivel de potabilidad que resulta ser apto, siempre y cuando, las condiciones de los puntos de muestreo mejoren las condiciones actuales y se les haga un buen mantenimiento,
- El agua tal y como aparece en estos puntos, no está lista para ingestión humana directa, pero según sus parámetros puede ser usada con fines de riego, industriales, pecuarios y recreativos.
- Los puntos de muestreo, no son estructuras de captación sólo se utilizaron porque brindan un fácil acceso al recurso del agua subterránea, y son zonas que han sido afectadas por la influencia antrópica.

10. RECOMENDACIONES

- En las condiciones actuales es necesario implementar tratamientos específicos para producir una calidad de agua que satisfaga los valores admisibles de todos los parámetros físicos – químicos, microbiológicos y organolépticos y que se encuentran contemplados en el Decreto 475 del 10 de marzo de 1998, pero lo cierto, es que se debe proteger nuestros recursos, teniendo cuidado muy especial de no dañar los sitios donde estos van a ser captados, pues la influencia antrópica deteriora en gran manera este recurso.
- Se recomienda tomar un muestreo mucho más amplio, para mejorar el alcance y la confianza de los resultados obtenidos, de esta manera tener una representación más completa, del estado del agua subterránea en la meseta de Bucaramanga y su área metropolitana, tomando más muestras, en más piezómetros y drenes.
- Se recomienda realizar muestreos en los distintos puntos a analizar, con una frecuencia de al menos una vez por semana. Procurando que se haga el mismo día, y en la misma hora, y tanto en época de lluvia, como en época seca, para que la muestra tomada sea representativa. Esto se puede hacer con un dispositivo conocido como *diver*, que se programa para realizar de manera más eficiente, precisa y representativa, el seguimiento de los parámetros físicos y químicos, y de igual manera que el abatimiento se haga con un equipo de bombeo, para que el agua extraída sea una muestra característica de cada punto analizado.

- En general se recomienda llevar a cabo un tratamiento de desinfección y ajuste de pH, para hacerla apta para el consumo humano.
- El agua se puede usar con fines agrícolas, entonces se recomienda consultar el artículo 40 del decreto 1594 de 1984, y si es para uso industrial, se usa el agua subterránea teniendo cuidado con las exigencias del uso industrial, se recomienda de igual manera seguir lo establecido en este mismo decreto en su artículo 48.

BIBLIOGRAFÍA

Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA) Protocolo de muestreo de agua sub-superficial en pozos.

Arrieta Banquez, Amith José. Reyes Villareal, José Luís (2004) Análisis y Caracterización Hidroquímica de Aguas Subterráneas en el Área Metropolitana de Bucaramanga (Santander). Proyecto de tesis de grado de la Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil.

Corporación Autónoma para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (2003) Interacción entre Sistemas Hidrogeológicos para el Estudio del Fenómeno de Recarga en el Macizo de Santander e Identificación de Acuíferos, Informe Final Pozo de Observación Bajos de Pan de Azúcar.

Custodio, Emilio & Llamas, Manuel. (1996) Hidrología Subterránea. Tomo 1 y Ed. Barcelona: Ediciones Omega, V1.

Decreto 1594 de 1984, Uso del agua y residuos líquidos, Colombia

Decreto 475 de 1998 (marzo 10), Por lo cual se expiden normas técnica de calidad de agua potable, Colombia.

Decreto 1575 de 2007 (mayo 9), Por lo cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, Colombia.

Ingeniería de Suelos (1991) Informe del Estado del Conocimiento en la Investigación de Aguas Subterráneas en la Terraza de Bucaramanga. CDMB

Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL (1997) Tabla 1. Límites Permisibles Máximos de Contaminantes

Norma RAS 2000, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Artículos 104 al 107.

Vínculos consultados:

Ministerio de la Protección Social:

<http://www.minproteccionsocial.gov.co/VBeContent/library/documents/DocNewsNo10206DocumentNo7750.PDF>

<http://www.minproteccionsocial.gov.co/VBeContent/NewsDetail.asp?ID=10206&IDCompany=3>

Vigencias:

<http://www.minproteccionsocial.gov.co/VBeContent/Search.asp>

Normatividad de aguas:

<http://www.minproteccionsocial.gov.co/VBeContent/NewsDetail.asp?ID=16109&IDCompany=3>

Monitoreo de aguas subterráneas:

<http://www.ideam.gov.co/temas/guiaagua/Anexo%204.pdf>

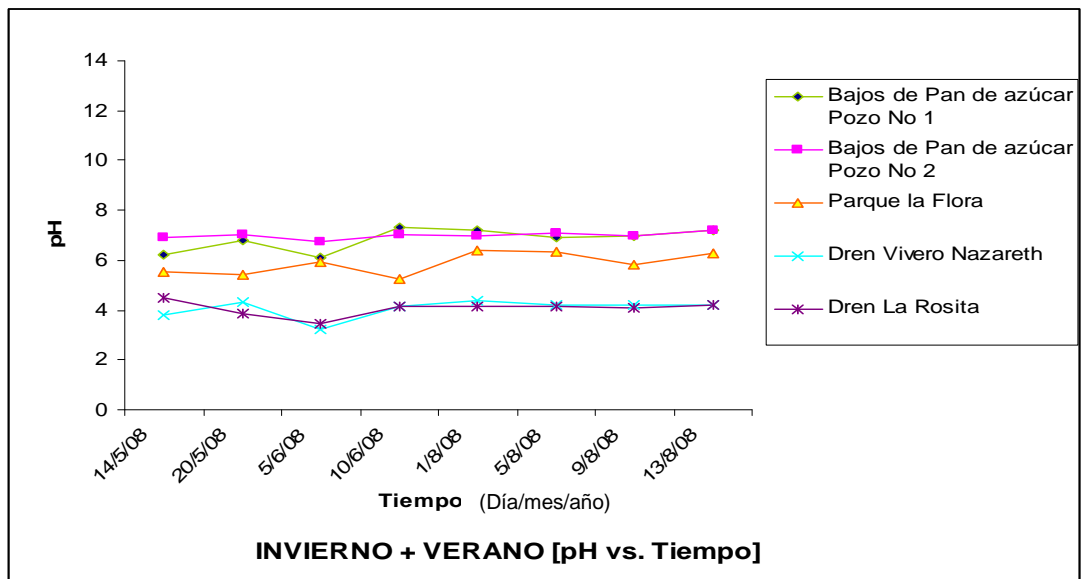
Calidad del agua:

http://www.bvs.sld.cu/revistas/hie/vol42_2_04/hig02204.htm

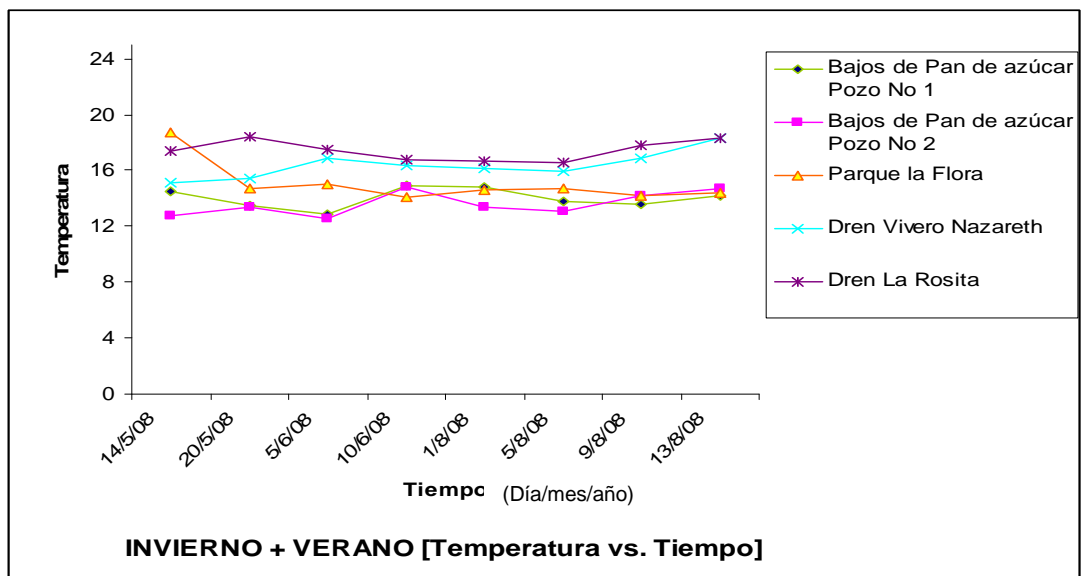
ANEXOS

ANEXO A

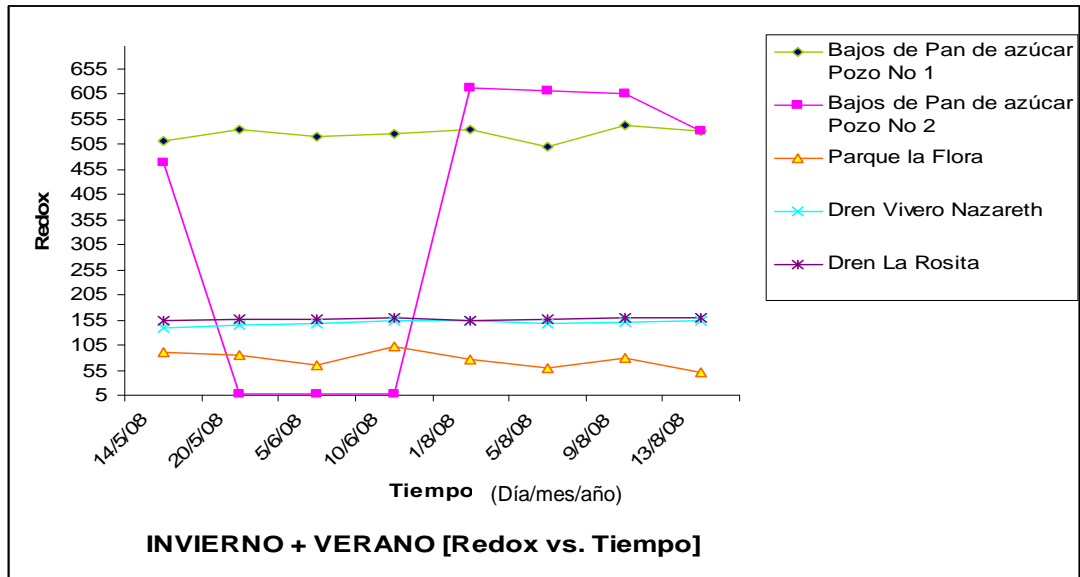
Gráficas de Parámetros Físico Químicos de Invierno y Verano vs. Tiempo.



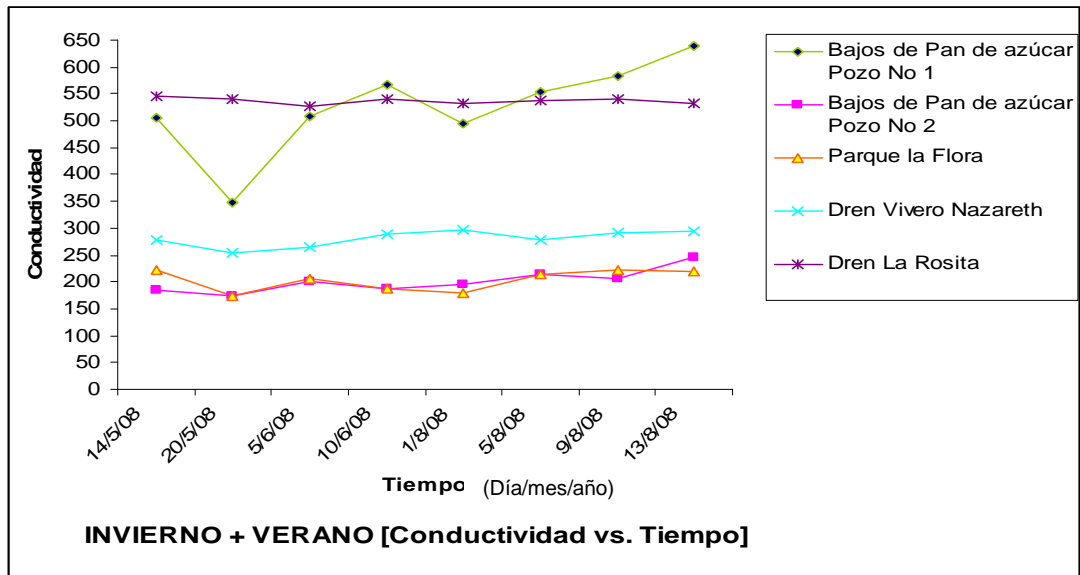
a. Datos de la toma de muestras de verano+ invierno del pH



b. Datos de la toma de muestras de verano+ invierno de la temperatura



c. Datos de la toma de muestras de verano+ invierno del Redox



d. Datos de la toma de muestras de verano+ invierno de la Conductividad

ANEXO B

Tabla de parámetros físico químicos en cada punto de invierno y verano.

		14/5	15/5	16/5	20/5	21/5	30/5	04/6	05/6	09/6	10/6	01/8	02/8	05/8	06/8	09/8	13/8	21/8	
	PARÁM.	Invierno 2008										Verano 2008							
Bajos de Pan de azúcar Superficial Punto No 1	pH		6,2				6,8		6,1		7,33	7,2		6,94		7	7,22		
	Temp. (°C)		14,5				13,5		12,9		14,9	14,8		13,8		13,6	14,2		
	Redox (mV)		510				53		520		526	534		499		543	530		
	Cond. (µs/cm)		506				548		509		567	495		555		584	638		
Bajos de Pan de azúcar Profundo Punto No 2	pH		6,9				7,01		6,76		7,01	6,96		7,06		7,22	7,22		
	Temp. (°C)		12,8				13,4		12,6		14,8	13,4		13,1		14,2	14,7		
	Redox (mV)		467				8		7		9	616		611		606	532		
	Cond. (µs/cm)		185				173		200		188	196		214		205	245		
Parque la Flora Punto No 3	pH	5,55			5,43				5,95		5,26	6,41		6,35		5,8	6,3		
	Temp. (°C)	18,7			14,7				15		14,1	14,6		14,7		14,2	14,4		
	Redox (mV)	90			85				64		102	76		58		79	52		
	Cond. (µs/cm)	222			174				205		187	180		214		223	219		
Vivero Nazareth Punto No 4	pH			3,8		4,3		3,23		4,12			4,35		4,18	4,18	4,19	4,21	
	Temp. (°C)			15,1		15,4		16,9		16,4			16,2		15,9	15,9	16,9	18,3	
	Redox (mV)			140		146		149		155			153		148	148	150	153	
	Cond. (µs/cm)			279		255		264		289			296		278	278	291	295	
La Rosita Punto No 5	pH			4,5		3,86		3,45		4,16			4,17		4,13	4,08		4,21	
	Temp. (°C)			17,4		18,4		17,5		16,8			16,7		16,6	17,8		18,3	
	Redox (mV)			154		157		158		160			155		156	159		159	
	Cond. (µs/cm)			547		539		526		541			533		537	540		531	

Parámetros físico químicos en cada punto de invierno y verano.

ANEXO C

Tabla comparativa entre los valores admisibles y los resultados obtenidos.

PARÁMETRO	UNIDADES	ADMISIBLE	No.1 Pan de Azúcar Superficial	No.2 Pan de Azúcar Profundo	No.3 Parque La Flora Superficial	No.4 Dren Nazareth	No.5 Dren La Rosita
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg O ₂ /L	1.5	20	20	10	30	60
Color	UPC	< 25	2950	5000	152	6	10
Turbiedad	NTU	≤ 5	587,5	980	18,4	0,51	0,53
Nitrógeno Total	mg N _T /L	0,5	13,95	8,37	5,58	8,37	8,37
Nitrógeno Amoniacal	mg N _{NH3} /L	0,5	9,77	5,58	2,79	6,97	2,79
Coliformes Totales	UFC/100mL	< 2	0	1792	2240	448	0
E. Coli	UFC/100mL	0	0	1792	2240	394	0
Ph		6.5 - 9	7,22	7,22	6,3	4,21	4,21
Conductividad	μS/cm	< 1000	638	245	219	295	531