

## **INFORME DE CALIDAD Y NIVELES DE LA RED DE PIEZOMETROS MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI**



**Elaborado por:**

**Ingeniera Hidrogeologa Marleny Garcia**

**Ingeniera Agrícola Maribel Molano Muñoz**

**Abril 2015**

## Tabla de contenido

1	RESUMEN .....	7
2	INTRODUCCIÓN .....	7
3	ANTECEDENTES .....	8
3.1	Red de Monitoreo.....	9
3.2	IMPORTANCIA DE LA RED DE MONITOREO .....	12
	Fuente: DAGMA 2013 .....	12
3.3	MONITOREO DE LA RED .....	13
4	JUSTIFICACIÓN .....	14
5	MARCO TEORICO .....	15
5.1	OBJETIVOS .....	15
5.2	OBJETIVO GENERAL .....	15
5.3	OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	16
6	IMPORTANCIA DEL AGUA SUBTERRÁNEA .....	16
7	COMPOSICIÓN QUIMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA .....	17
7.1	SUSTANCIAS QUE SE ENCUENTRAN DISUELTAS EN EL AGUA NATURAL SUBTERRÁNEA .....	17
7.2	Aniones .....	18
7.2.1	Cloruros .....	18
7.2.2	Sulfatos.....	18
7.2.3	Bicarbonato y Carbonatos .....	19
7.2.4	Nitratos .....	19
7.2.5	Silice .....	19
7.3	Cationes .....	20
7.3.1	Sodio .....	20

7.3.2	Potasio.....	20
7.3.3	Calcio.....	20
7.3.4	Magnesio .....	20
7.4	Principales Gases Disueltos.....	21
7.4.1	Anhidrido Carbónico .....	21
7.4.2	Oxígeno Disuelto .....	21
7.5	CARACTERISTICAS FISICO QUIMICAS DEL AGUA SUBTERRÁNEA .	21
7.5.1	Turbiedad .....	21
7.5.2	Color .....	22
7.5.3	Potencial de Hidrogeno .....	22
7.5.4	Temperatura .....	22
7.5.5	Conductividad y Sólidos Disueltos Totales .....	22
7.5.6	Alcalinidad .....	23
7.5.7	Dureza .....	23
7.6	PARAMETROS ANALIZADOS Y METODOS UTILIZADOS .....	23
7.7	CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	25
7.7.1	INDICADORES DE CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA.....	25
7.7.2	INDICADORES DE CONTAMINACIÓN QUÍMICA .....	26
8	CONTROL DE CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS .....	26
8.1	SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA .....	29
8.2	CARACTERÍSTICA DE LOS MAPAS DIGITALES.....	29
8.2.1	MAPA DE CONDUCTIVIDAD.....	29
8.3	RANGOS DE CONDUCTIVIDAD.....	30
8.4	MAPA DE DUREZA TOTAL.....	33
8.5	MAPA DE HIERRO + MANGANESO .....	35

8.6	MAPA DE CLASIFICACION DEL AGUA SUBTERRANEA EN LA CIUDAD DE CALI.....	38
9	RESULTADOS Y DIISCUCIONES.....	41
10	MONITOREO DE NIVELES .....	44
10.1	FRECUENCIA DE MUESTREO Y MEDICIÓN DE NIVELES .....	44
11	RESULTADOS DEL MONITOREO DE NIVELES. ....	44
12	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS MEDICIÓN DE NIVELES.....	50
13	CONCLUSIONES.....	50
14	RECOMENDACIONES .....	54
15	HIDROGRAMAS MONITOREO DE NIVELES PIEZOMETRICOS 2012 -2014 56	
16	BIBLIOGRAFIA.....	79

### LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Diseño del Piezómetro .....	12
Figura 2.	Ubicación geográfica de los sitios de muestreo de agua subterránea en el área urbana del municipio de Santiago de Cali. ....	11
Figura 3	Mapa de calidad Microbiológica .....	28
Figura 4	Mapa de Conductividad de agua subterránea en el área urbana del municipio de Santiago de Cali .....	32
Figura 5	Mapa de Dureza Total de agua subterránea en el área urbana del municipio de Santiago de Cali .....	34
Figura 6	Mapa de Hierro + Manganeso del agua subterránea en el área urbana del municipio de Santiago de Cali .....	37
Figura 7	Mapa de Clasificación de las agua subterránea en el área urbana del municipio de Santiago de Cali .....	40

Figura 8 Plano de líneas isohipsas mostrando zonas con elevaciones del Nivel freático .....	46
Figura 9 Ejemplo de flujo subterráneo mostrando isohipsas y líneas de flujo .....	47
Figura 10 Mapa de isohipsas época de verano 2013.....	48
Figura 11: Mapa de isohipsas época de invierno .....	49
Figura 13 Medición de Niveles Piezómetro Meléndez N° 1 - Carrera 93 Calle 2° C .....	56
Figura 14 Medición de Niveles Piezómetro Meléndez N° 2 – Calle 5 Carrera 80 .	57
Figura 15: Medición de Niveles Piezómetro Meléndez N° 3– Carrera 75 Calle ....	58
Figura 16: Medición de Niveles Piezómetro Meléndez N° 4– Carrera 85 Calle 18	59
<b>Figura 17: Medición de Niveles Piezómetro Meléndez N° 5–Carrera 93 Calle 16 .....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 18: Medición de niveles piezómetro Meléndez N° 6–Calle 46 Carrera 86 .....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 19: Medición de Niveles Piezómetro Cauca N° 1 Carrera 67 Calle 25 bis .....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 20: Medición de Niveles Piezómetro Cauca N° 2– Calle 50 Carrera 50</b>	<b>63</b>
<b>Figura 21: Medición de Niveles Piezómetro Cauca N° 3– Carrera 41B Calle 30D.....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 22: Medición de Niveles Piezómetro Cauca N° 4 Carrera 28C Calle 44 .....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 23: Medición de Niveles Piezómetro Cauca N° 5 Diagonal 71E Calle 26E.....</b>	<b>66</b>
Figura 24: Medición de Niveles Piezómetro Cauca N° 6 Calle 81 Carrera 28C ....	67
<b>Figura 25: Medición de Niveles Piezómetro Cauca N° 7 Calle 73A Diagonal 26C1.....</b>	<b>68</b>

<b>Figura 26: Medición de Niveles Piezómetro Cali N°1 Avenida 5ANorte Calle 19N.....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 27: Medición de Niveles Piezómetro Cali N°2 Avenida 2B Norte Calle 36N.....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 28: Medición de Niveles Piezómetro Cali N°3"Avenida 3Norte Calle 43 .....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 29: Medición de Niveles Piezómetro Cali N°4 Avenida 2E Norte Calle 47 C Norte .....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 30: Medición de Niveles Piezómetro Cali N°5 Avenida 5 Norte Calle 48 N.....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 31: Medición de Niveles Piezómetro Cali N°6 Calle 19 Carrera 5 Parque San Nicolás .....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 32: Medición de Niveles Piezómetro Cali N°7 Calle 33 Carrera 2.....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 33: Medición de Niveles Piezómetro Cali N°7 Calle 48 Carrera 1F Zona Verde Parque el Samán .....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 34: Medición de Niveles Piezómetro Cañaveralejo N°1 Calle 8 carrera 55B.....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 35: Medición de Niveles Piezómetro Cañaveralejo N°2 Calle 8C Carrera 46 .....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 36: Medición de Niveles Piezómetro Cañaveralejo N°3 Calle 11 Carrera 46 .....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 37: Medición de Niveles Piezómetro Cañaveralejo N°4 Calle 14 A Carrera 42 (CALI 10).....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 38: Medición de Niveles Piezómetro Lili N°1 Calle 13 Carrera 102 .....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 39: Medición de Niveles Piezómetro Lili N°2 Calle 25 Carrera 100 .....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 40: Medición de Niveles Piezómetro Lili N°3 Calle 42 Carrera 98 .....</b>	<b>78</b>

Figura 41: Medición de Niveles Piezómetro Los Chorros N°1 Carrera 69 frente a 3-54 .....	78
Figura 42: Medición de Niveles Piezómetro Los Chorros N°2 Calle 5° Carrera 66 B .....	79
Figura 43: Medición de Niveles Piezómetro Los Chorros N°3 B Calle 15 Carrera 58 (Parque Humedal el Limonar) .....	79

### **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1 Ubicación de Piezómetros por Cuenca .....	9
Tabla 2 Parámetros Analizados En El Agua Subterránea .....	23
Tabla 3 Rangos de Conductividad .....	30
Tabla 4 Rangos de Dureza Total.....	33
Tabla 5 Rangos de Hierro Manganeso.....	35
Tabla 6 Rangos de Clasificación Del Agua Subterránea.....	38
Tabla 7: Valores Medios Y Recomendados De Los Parámetros Analizados .....	41

### **LISTA DE FOTOS**

Fotos 1: Campaña de medición de Niveles.....	44
--	----



## 1 RESUMEN

El informe muestra la importancia de contar con una red de piezómetros su localización, características de diseño, así mismo el informe presenta los resultados obtenidos de las diferentes caracterizaciones llevadas a cabo

La red de piezómetros fue diseñada pensando en la protección de las aguas subterráneas, así como monitorear los posibles cambios que se presentan en estas.

Firmas como Perfovalle, Korex y Huza participaron en la construcción de la red, así mismo los laboratorios de la Universidad del Valle, DAGMA e Hidroambiental, realizaron la actividad de monitoreo en los 56 piezómetros.

Con los resultados de las caracterizaciones llevadas a cabo en los 56 piezómetros, fueron elegidos aquellos parámetros que fueron analizados en todos los puntos y se construyeron los mapas los cuales nos permiten visualizar gráficamente las concentraciones de ciertos parámetros e identificar la calidad del agua subterránea en el área urbana del municipio de Santiago de Cali.

Los piezómetros también vienen siendo utilizados para la medición de niveles esta información nos permite determinar la fluctuación de los niveles del agua subterránea en las diferentes épocas del año.

Con la información recolectada de las diferentes campañas de medición de niveles se elaboro los mapas de isohipsas los cuales proporcionan una representación grafica del relieve y la pendiente del nivel freático. Además sirven de base para determinar la dirección la velocidad y la cantidad de agua subterránea en movimiento.

## 2 INTRODUCCIÓN

En el municipio de Santiago de Cali la disponibilidad de agua está cada vez más restringida por su calidad, la estacionalidad de la precipitación y la distribución de la población.

En Santiago de Cali el aumento de las lluvias produce cambios en la calidad del agua en las fuentes naturales. En la época lluviosa se producen las mayores variaciones en la calidad del agua de las fuentes superficiales, lo cual se traduce en los mayores niveles de turbidez y sedimentación causados por la erosión y el



arrastre del suelo. por otro lado durante la época de pocas lluvias el caudal de los ríos es relativamente bajo y aumentan las concentraciones de los contaminantes de aguas residuales domesticas e industriales.

Las aguas superficiales son más susceptibles a la contaminación que las aguas subterráneas. Sin embargo la contaminación de las aguas subterráneas es más difícil de remover cuando ésta ya ha ocurrido, debido a que el tiempo de renovación del agua en el subsuelo puede tardar decenas de años. La mala calidad del agua subterránea puede ser debida a causas naturales o a la actividad humana. En general, al hablar de contaminación nos referimos a esta última por ejemplo un derrame de hidrocarburos. En muchas ocasiones, la distinción no es fácil, pues una actividad humana no contaminante altera un equilibrio previo, provocando el deterioro de la calidad del agua.

La calidad del agua se mide a través de parámetros que la caracterizan física, química y biológica (Anaya y Martínez 2007). Los parámetros de calidad de agua son muy diversos y permiten detectar el grado de contaminación o pureza del agua y determinan si es apta para los diferentes usos.

Debido a los problemas mencionados anteriormente, en el municipio de Santiago de Cali la perforación y extracción de aguas subterráneas se ha convertido en una fuente de abastecimiento, la cual ha mejorado las condiciones de vida de las personas en ésta región. Sin Embargo si la construcción y operación de estos pozos no se realiza con las técnicas establecidas por la Autoridad Ambiental Urbana (DAGMA), esta se convierte en una amenaza que coloca en riesgo el recurso subterráneo.

El presente informe tiene como objetivo mostrar los beneficios de la construcción de la red de monitoreo, así como los resultados de la calidad del agua subterránea del área urbana del municipio de Santiago de Cali y las fluctuaciones de los niveles estáticos.

### **3 ANTECEDENTES**

Desde el año 1968 hasta el año 1995, el recurso hídrico subterráneo fue del manejo exclusivo del Corporación Autónoma Valle del Cauca (CVC), de forma acertada tanto en lo técnico como en lo administrativo. A partir del año 1995 y hasta el año 2002 El manejo de este recurso en el área urbana del municipio de Santiago de Cali, se llevo a cabo mediante la modalidad de convenio entre CVC y DAGMA; tiempo en el cual se realizo el traslado del inventario y se realizo la legalización de aquellos aprovechamientos que existían hasta el momento.

A partir del año 2003 y dada la importancia del recurso en la ciudad el Departamento Administrativo Del Medio Ambiente (DAGMA), realiza el inventario de puntos de agua, emite conceptos técnicos y de factibilidad para la construcción de nuevos piezómetros, elabora resoluciones de concesión de aprovechamientos, y brinda asesorías técnicas a los usuarios a través del Grupo Recurso Hídrico, así mismo durante este tiempo se han realizado estudios hidrogeológicos que han sido la base para la evaluación parcial del recurso y su uso racional.

Una de las recomendaciones de los estudios estuvo encaminada a la construcción de redes de monitoreo con el fin de monitorear los posibles cambios en cuanto a calidad y cantidad del agua subterránea; por esta razón desde el año 2010 se dio inicio la construcción de la Red local de Monitoreo de Aguas Subterráneas con el fin de determinar la calidad del agua en la unidad hidrogeológica (A) o acuífero superficial la cual alcanza una profundidad promedio de 80 metros, en el área urbana del municipio de Santiago de Cal, así mismo obtener información sobre la fluctuación de los niveles.

### 3.1 Red de Monitoreo

En el año 2006 el Grupo de Recurso Hídrico del DAGMA de esa época, realizó el diseño la red de monitoreo de aguas subterráneas para el área urbana del municipio de Santiago de Cali basados en la revisión de información como columnas litológicas, líneas de flujo vulnerabilidad y riesgos; definiendo la ubicación y el numero puntos a perforar.

En el año 2010, se inició la construcción de cinco (5) piezómetros en la Subcuenca hidrogeológica del río Cali. Continuando el proceso en el año 2011 se construyeron 13 piezómetros distribuidos de la siguiente manera siete (7) en la subcuenca Cauca y seis (6) en al subcuenca Meléndez. El proceso de construcción finalizó en los años 2013 y 2014 con la ejecución de los últimos 38 piezómetros en la Tabla 1. Se muestra el año de construcción y la Subcuenca.

La red de monitoreo como su nombre lo indica tiene la finalidad de proporcionar información sobre la calidad del agua subterránea e identificar posibles cambios que indiquen la alteración de las mismas. Este le permitirá a la autoridad ambiental establecer los correctivos necesarios para controlar o frenar el avance de posibles contaminantes que generan impactos negativos y colocan en riesgo la calidad

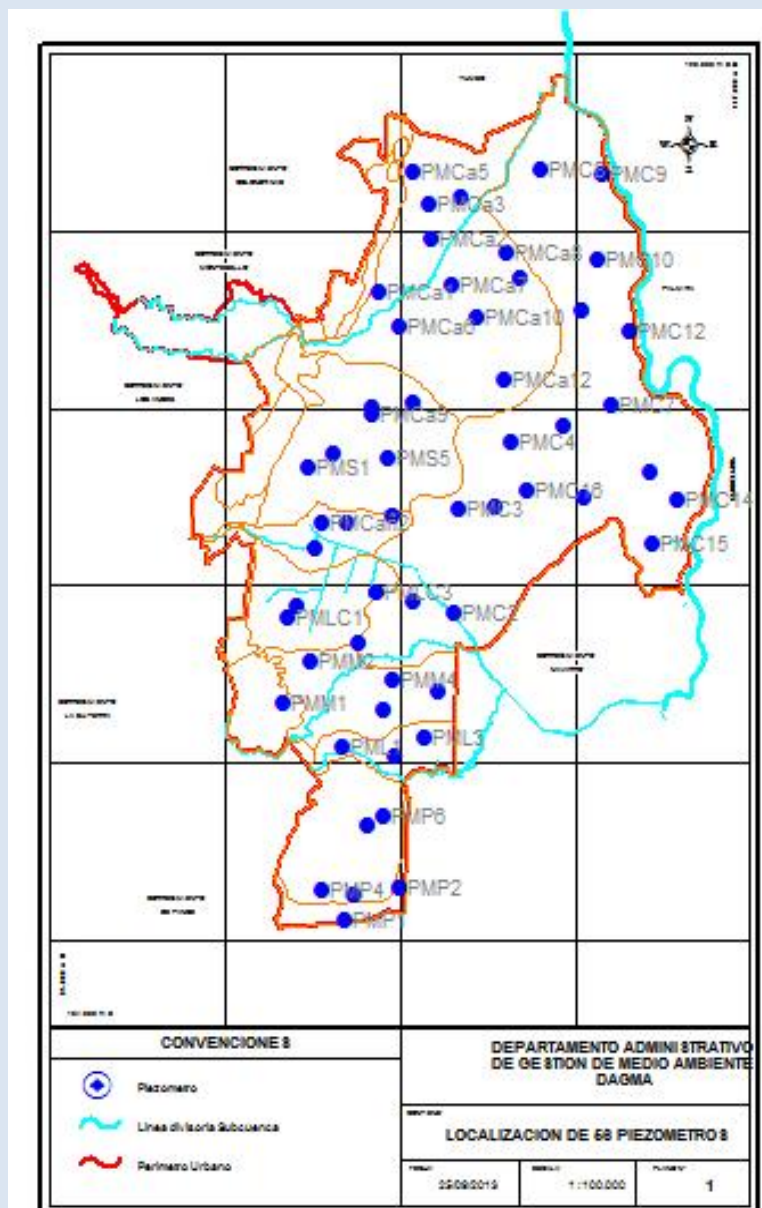
**Tabla 1 Ubicación de Piezómetros por Cuenca**

<div> <div> AÑO </div> </div>	<div> CUENCA </div>
-------------------------------	---------------------

	Cauca	Cali	Meléndez	Cañavalejo	San Fernando	Pance	Lili	Los Chorros
2010		5						
2011	7		6					
2012								
2013		3		4			3	3
2014	10	4			5	6		

Fuente: DAGMA 2014

En la Figura 1 se presenta la ubicación de los 56 piezómetros los cuales fueron objeto del monitoreo de calidad y medición de niveles. Se generaron diferentes tipos de mapas en los cuales se refleja calidad de las aguas subterráneas

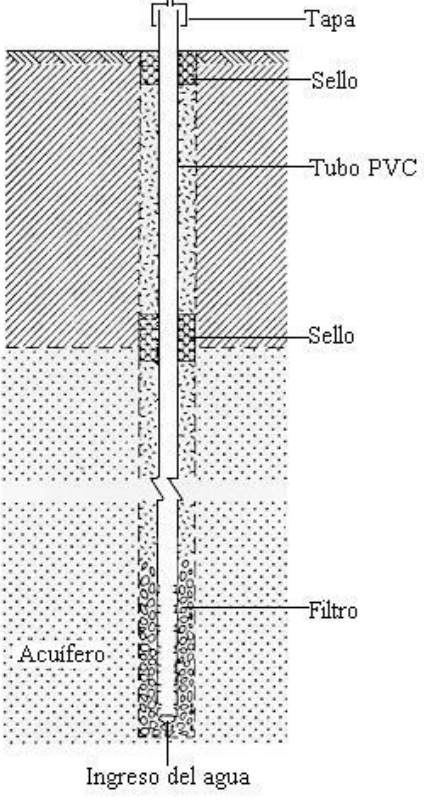


**Figura 1. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo de agua subterránea en el área urbana del municipio de Santiago de Cali.**

### 3.2 DISEÑO DE LA RED DE MONITOREO

La red de monitoreo de esta compuesta por 56 piezómetros con profundidades entre 10 y 30 metros, con diámetros de revestimiento entre 4 y 6 pulgadas, cada punto fue referenciado y nivelado; los piezómetros cuentan con un diseño que los hace especial lo cual solo les permite ser utilizados para obtener información sobre calidad y cantidad. cuentan con tapa de seguridad y sello sanitario y una nomenclatura que los identifica de acuerdo con la ubicación por subcuenca hidrogeológica en la Figura 2 se muestra el diseño del piezómetro.

**Figura 2** Diseño Del Piezómetro

Profundidad perforación:	de	15 - 30 metros	
Diámetro revestimiento:	de	4 a 6 pulgadas desde 0.0 m hasta el final	
Sistema perforación:	de	Rotación con circulación directa de fluido (lodo)	
Tubería revestimiento:	de	PVC RDE 21	
<b>Filtro:</b>		tubería ranurada	
Filtro estabilizador:		grava seleccionada y limpia	
Tapa metálica de seguridad	de		
Perfil litológico:		Descripción litológica completa de todas las capas atravesadas durante la perforación	

**Fuente: DAGMA 2013**



### **3.3 IMPORTANCIA DE LA RED DE MONITOREO**

La red de monitoreo es importante porque permite conocer el estado del agua subterránea teniendo en cuenta que este recurso se utiliza para diferentes usos.

Con la red podemos disponer de información confiable sobre el comportamiento de las aguas subterráneas, facilitando tomar acciones y decisiones frente a los posibles riesgos a los que está expuesto el recurso subterráneo por algunas de las actividades que desarrolla la población.

La red nos permite recolectar, procesar y analizar los datos sobre cantidad y calidad de las aguas subterráneas, como línea base para reconocer el estado y las tendencias a nivel de pronóstico debido a procesos antrópicos en tiempo y espacio.

Las inversiones del municipio deben ser evaluadas a través de indicadores de eficiencia que muestren los cambios presentados en el recurso subterráneo que ha sido objeto del gasto institucional en este sentido la red permite suministrar información sobre la efectividad de los proyectos ambientales.

La red nos permite obtener información para el mejoramiento en la planeación y diseño de políticas para la protección y conservación de las aguas subterráneas.

El sistema de análisis de la calidad del agua subterránea facilita la posibilidad de identificar claramente el estado del recurso y sus posibles cambios con relación a la presencia de contaminantes, las concentraciones y las tendencias en el tiempo.

### **3.4 MONITOREO DE LA RED**

El muestreo de la red de piezómetros se realizó en tres (3) épocas diferentes y por diferentes laboratorios la primera ronda de monitoreos se ejecutó en el mes de enero del año 2013, en trece (13) piezómetros, la segunda ronda se llevó a cabo en el mes de agosto para 25 piezómetros y la última se efectuó en el mes de diciembre para los últimos 18 piezómetros.

La selección de los parámetros de calidad de agua a analizar se basó en su importancia como indicadores de contaminación, de amenaza a la salud humana, las características de la zona y la disponibilidad de equipo y materiales para su análisis.

Para obtener la información sobre los niveles y la calidad del agua subterránea se realizaron monitoreos utilizando equipos como: sondas para medición de niveles, bomba para la extracción del agua a monitorear y sondas multiparámetros para Medición de parámetros en campo como: la temperatura, conductividad, PH y dureza del agua.

Los parámetros físicos químicos (temperatura, potencial de hidrógeno, turbidez) se midieron *in situ*, adicionalmente se recolectaron muestras para realizar los análisis en el laboratorio.

#### 4 JUSTIFICACIÓN

En Colombia se están contaminando las aguas subterráneas antes de utilizarlas. El agua subterránea es un tesoro escondido el cual se utiliza para diferentes usos por ello debemos protegerlas.

El aprovechamiento óptimo del agua puede generar riqueza, desarrollo, empleo y bienestar. Sin embargo, el agua por sí sola no es productiva: lo es solo cuando se controla y maneja adecuadamente. De lo contrario la disipación de su energía potencial puede generar pobreza y miseria, tal como ocurre cuando se presentan inundaciones y avalanchas, con pérdidas de cosechas, viviendas, vidas humanas (Rodríguez et al 2009).

En el municipio de Santiago de Cali, existen dos unidades acuíferas de muy buena calidad y generalmente no requieren tratamiento costoso. Estas constituyen una fuente importante de agua para diferentes usos tales como el consumo doméstico, industrial, recreativo y riego. Sin embargo en la ciudad existen algunos sectores que son altamente vulnerables, por el tipo de actividades que se desarrollan, la alta permeabilidad de la zona no saturada la poca profundidad del nivel freático, el cual se encuentra entre los 5 a 10 metros, y los inadecuados usos del suelo; genera riesgo de contaminación para el recurso subterráneo.

En cada una de las actividades se desarrollan acciones que generan riesgo potencialmente nocivos de contaminación para las aguas subterráneas, entre ellas se encuentran el cargue, descargue y almacenamiento de combustibles, la rotura de redes de alcantarillado sanitario, el inadecuado manejo de pozos y aljibes que no son utilizados; esta situación ha dado paso a la posibilidad que se altere la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua subterránea y por ende la calidad de vida de las personas que se abastecen de distintas formas de la unidad superficial.



Por esta razón la construcción de la red de monitoreo se convirtió en una necesidad sentida para la Autoridad Ambiental DAGMA. Actualmente se cuenta con un número con 56 piezómetros distribuidos en las ocho (8) subcuencas hidrogeológicas en el área urbana del municipio de Santiago de Cali, Construidos por las empresas: Perfovalle, Korex y Huza entre los años 2010 - 2014

## **5 MARCO TEORICO**

El hombre por naturaleza tiende a aprovechar los recursos que aparecen a primera vista y que, por una u otra razón, son económicamente explotables. Este último principio, sin embargo, no se ha aplicado en el caso de los recursos hídricos subterráneos de Colombia, aunque se posean grandes reservas que significarían la redención de muchos sectores abandonados en la solución de uno de sus problemas vitales el suministro de agua fresca y abundante.

Las razones por las cuales, en los países desarrollados, se prefiere el agua subterránea como principal fuente de agua potable están fundamentadas en sus bajos costos, pureza, permanencia en el tiempo, distribución en el espacio, enorme magnitud de los recursos, desarrollo progresivo de las inversiones y rapidez en la construcción de las obras.

Los recursos hídricos subterráneos no son aprovechados en Colombia, en proporción a sus reservas. El principal usuario es la empresa privada a manera de ejemplo vale la pena mencionar en el valle del Cauca hay más de 150.000 hectáreas irrigadas con agua subterránea en actividades azucareras cultivos transitorios, embotelladoras y actividad industrial. (Rodríguez et. al. 2009).

### **5.1 OBJETIVOS**

#### **5.2 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la información obtenida durante el monitoreo a la red de piezómetros del localizados en el área urbana del municipio de Santiago de Cali. En cuanto a calidad y cantidad, y determinar si existe la presencia de agentes contaminantes (Localización, Extensión dirección y grado de extensión).

### 5.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar los parámetros microbiológicos de las aguas subterráneas en el área de estudio
- Evaluar los parámetros fisicoquímicos de las aguas subterráneas en el área de estudio
- Determinar la calidad del agua para los diferentes usos.
- Identificar lugares impactados por agentes contaminantes.
- Diseñar estrategias para controlar sitios impactados.
- Determinar medidas de control a implementar para mejorar o prevenir la calidad del agua.

## 6 IMPORTANCIA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Actualmente el agua dulce se ha convertido en un recurso escaso, incluso en aquellos países que tienen ríos y climas templados. El aumento de la población en las ciudades, aunado al incremento del nivel de vida, obliga a canalizar cada vez más agua a los núcleos urbanos, controlar su salubridad y realizar tratamientos de aguas residuales procedentes del alcantarillado para que no contaminen los cursos de agua en los que desembocan.

La importancia de conocer la calidad del agua subterránea en el área urbana del municipio de Santiago de Cali es que esta se ha ido convirtiendo en la segunda fuente principal de abastecimiento domestico en la ciudad; sin embargo se debe tener en cuenta el balance del ciclo hidrológico para su mejor aprovechamiento y conservación, así como las consecuencias ambientales y sociales que acarrea la contaminación de los acuíferos

En el área urbana del municipio de Santiago de Cali, se aprovecha hasta 16.4 % del agua extraída de los dos (2) acuíferos que satisface las necesidades de 479 usuarios, aun así, el acuífero superficial (unidad A), es altamente vulnerable a la contaminación y esto puede tener efectos perjudiciales tales como: la disminución a la disponibilidad debido al riesgo a la que está expuesta el recurso hídrico subterráneo por algunos impactos generados en las estaciones de servicio, zonas industriales y cementerios, entre otras.

El desconocimiento adecuado frente al manejo y la debida protección que debe recibir el recurso subterráneo por parte de los actores involucrados, puede agravar las amenazas en cuatro aspectos fundamentales de la seguridad humana: la

producción de alimentos, la salud humana, el equilibrio de los ecosistemas y la estabilidad social, económica y política. Por ello es importante realizar y actualizar las investigaciones que definan mejor sus características en cuanto a calidad y cantidad, con el fin de realizar un mejor aprovechamiento.

En fin, en el subsuelo tenemos un gran tesoro, que es el agua subterránea, la cual es accesible, económica, de alta calidad, mediante un manejo adecuado, la población podrá tener acceso al agua potable durante un tiempo considerable para satisfacer sus principales demandas.

## **7 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA**

La composición de un agua puede contemplarse desde diferentes puntos de vista: químico, bacteriológico, isotópico etc. La composición química del agua subterránea natural se define a partir de los análisis de muestras recogidas adecuadamente y se cuantifica por medio de la concentración de cada constituyente analizado.

Los factores que condicionan la composición del agua subterránea natural son múltiples, entre ellos cabe citar: naturaleza y disposición espacial de los materiales con los que el agua entra en contacto, superficie y duración del contacto, temperatura, presión, existencia de gases, grado de saturación del agua en relación con las distintas sustancias incorporables.

En consecuencia, la composición del agua subterránea natural debe contemplarse con la perspectiva de su posible variación espacio-temporal, una composición química concreta por lo tanto no queda completamente definida si no se refiere a un lugar y momento determinado (Rigola 1999).

### **7.1 SUSTANCIAS QUE SE ENCUENTRAN DISUELTAS EN EL AGUA NATURAL SUBTERRÁNEA**

En el agua subterránea natural, la mayoría de las sustancias disueltas se encuentran en estado iónico; Los iones fundamentales son:

- Aniones: Cloruros  $\text{Cl}$ , Sulfatos  $\text{SO}_4$ , y Bicarbonatos  $\text{CO}_3\text{H}$
- Cationes: Calcio  $\text{Ca}$ , Sodio  $\text{Na}$ , Manganeso  $\text{Mg}$ , y Amonio  $\text{NH}_4$ .

Es importante que los aniones Nitratos  $\text{NO}_3$ , Carbonatos  $\text{CO}_3$  y el catión de Potasio K se consideren dentro del grupo de iones fundamentales aun cuando su proporción es pequeña. En ocasiones se debe incluir el ion ferroso Fe.

Entre los gases se deben considerar como fundamentales el anhídrido carbónico  $\text{CO}_2$  y el oxígeno disuelto  $\text{O}_2$  aunque no es frecuente que se analicen en aguas subterráneas.

El resto de los iones y sustancias disueltas se encuentran por lo general en cantidades notablemente más pequeñas que los anteriores y se denominan iones minoritarios. Los iones menores más importantes además de los ya citados son: los  $\text{NO}_2$ , el Flúor F y el Sr Estroncio suelen estar en concentraciones entre 0.01 y 10 ppm.

## 7.2 Aniones

### 7.2.1 Cloruros

- a) Características químicas. Sales en general muy solubles. Muy estable en disolución y muy difícilmente precipitable. No se oxida ni reduce en aguas naturales.
- b) Concentraciones. Entre 10y 250 ppm en aguas dulces. El agua de mar tiene entre 18000y 21000ppm. Las salmueras naturales pueden llegar a tener 220000 ppm (saturación).
- c) Nocividad y toxicidad. Más de 300 ppm comunican sabor salado al agua bebida, pero no es perjudicial por lo menos hasta algunos miles de ppm. Es esencial para la vida. En contenidos elevados son perjudiciales para muchas plantas y comunican corrosividad al agua.

### 7.2.2 Sulfatos

- a) Características químicas. Sales moderadamente solubles a muy solubles. Es difícilmente precipitable, pero puede separarse de la solución por concentración si existe una evaporación importante.
- b) Concentraciones. Entre 2 y 150 ppm en aguas dulces pudiendo llegar a 5000 ppm en aguas salinas si existe Ca y hasta 200000 si está asociado a Mg y Na en ciertas salmueras. El agua del mar contiene alrededor de 3000 ppm.
- c) Nocividad y toxicidad. Las aguas con elevado contenido de sulfato (selenitosas), no quitan la sed y tienen sabor poco agradable y amargo. Por sí mismo o si va asociado a Mg o Na en cantidades importantes puede

comunicar propiedades laxantes. En cantidades elevadas puede ser perjudicial a las plantas.

### 7.2.3 Bicarbonato y Carbonatos

- a) Características químicas. Estos iones comunican alcalinidad al agua en el sentido que dan capacidad de consumo de ácido al producir una solución tampón. Se pueden precipitar con mucha facilidad como  $\text{CO}_3\text{Ca}$ .
- b) Concentraciones. El ion bicarbonato varía entre 50 y 350 ppm en aguas dulces pudiendo llegar a veces hasta 800 ppm. El agua del mar tiene alrededor de 100 ppm. El ion carbonato está en concentraciones mucho menores que el ion de bicarbonato y el  $\text{pH} < 8.3$  se le considera cero. En aguas alcalinas con  $\text{pH} > 8.3$  puede haber cantidades importantes, hasta 50 ppm en algunas aguas naturales. El agua del mar tiene menos de 1 ppm.
- c) Nocividad y toxicidad. No presenta problemas de toxicidad. Las aguas bicarbonatadas sódicas son malas para riego, debido a la fijación del Na en el terreno y creación de un medio alcalino.

### 7.2.4 Nitratos

- a) Características químicas. Sales muy solubles y por lo tanto es muy difícilmente precipitable.
- b) Concentraciones. Normalmente entre 0.1 y 10 ppm pero en aguas polucionadas puede llegar a 200 ppm y en algún caso hasta 1000 ppm. El agua del mar tiene alrededor de 1 ppm o menos.
- c) Nocividad y toxicidad. Concentraciones elevadas en aguas de bebida puede producir cianosis en los niños y comunican corrosividad (oxidaciones) al agua y producen interferencias en fermentaciones.

### 7.2.5 Silice

- a) Características químicas. La hidroquinona del silicio no está del todo aclarada pero se cree que la mayoría de la sílice está como  $\text{SiO}_4\text{H}_4$ , en parte disuelta y en parte coloidal, y sólo una pequeña parte está ionizada ( $\text{SiO}_4\text{H}_3$ ) a pH normales.
- b) Concentraciones. La mayoría de las agua naturales tienen entre 1 y 40 ppm en  $\text{SiO}_2$  pudiendo llegar hasta 100, en especial en aguas bicarbonatadas sódicas. En aguas muy básicas se puede llegar a 1000 ppm.
- c) Nocividad y toxicidad. El mayor inconveniente está relacionado con su incrustabilidad en las tuberías.

## 7.3 Cationes

### 7.3.1 Sodio

- a) Características químicas. Solubilidad muy elevada y muy difícil de precipitar.
- b) Concentraciones. Entre 1 y 150ppm en aguas dulces, no siendo raro encontrar contenidos mucho mayores, hasta varios miles de ppm. En agua del mar tiene alrededor de 10000 ppm, las salmueras naturales pueden llegar a tener 100000 ppm.
- c) Nocividad y toxicidad. Las aguas con concentraciones elevadas en sodio son perjudiciales a las plantas al reducir la permeabilidad del suelo; son especialmente nocivas si las concentraciones de Ca y Mg son bajas

### 7.3.2 Potasio.

- a) Características químicas. Solubilidad muy elevada y difícil de precipitar.
- b) Concentraciones. Entre 0.1 y 10 ppm en aguas dulces. Extraordinariamente se pueden tener algunos cientos de ppm y sólo muy raramente se pueden tener salmueras de hasta 100000 ppm. El agua del mar tiene alrededor de 400 ppm.
- c) Nocividad y toxicidad. No presenta problemas especiales a las concentraciones habituales y es un elemento vital para las plantas.

### 7.3.3 Calcio

- a) Características químicas. Sales de moderadamente solubles a muy solubles. Es muy fácil de precipitar como  $\text{CO}_3\text{Ca}$ .
- b) Concentraciones Entre 10 y 250 ppm en aguas dulces, pudiendo llegar a 600 ppm en aguas selenitosas. El agua del mar contiene alrededor de 400 ppm. Excepcionalmente se puede tener 50000 ppm en salmueras de  $\text{Cl}_2\text{Ca}$ .
- c) Nocividad y toxicidad. El mayor inconveniente va asociado al aporte de dureza y producción de incrustaciones.

### 7.3.4 Magnesio

- a) Características químicas. Propiedades similares a las del ion calcio pero más soluble y algo más difícil de precipitar.
- b) Concentraciones. Entre 1 y 100 ppm en aguas dulces, pudiendo llegar a veces a algunos miles de ppm en aguas salinas o salmueras. El agua del mar contiene 1200 ppm.
- c) Nocividad y toxicidad. Propiedades laxantes y da sabor amargo al agua de bebida s hay algunos centenares de ppm. Contribuye a la dureza del agua



## 7.4 Principales Gases Disueltos

### 7.4.1 Anhídrido Carbónico

- a) Características químicas. Es un gas relativamente soluble y que al hidrolizarse produce ácido carbónico parcialmente disociado.
- b) Concentraciones. Frecuentemente se sitúa entre 1 y 30 ppm, correspondiendo los valores más bajos a aguas en contacto fácil con la atmósfera.
- c) Nocividad y toxicidad. Las aguas con un exceso de CO<sub>2</sub> son agresivas y las que pierden CO<sub>2</sub> Pueden convertirse en incrustantes.

### 7.4.2 Oxígeno Disuelto

- a) Características químicas. Produce un medio oxidante y juega un papel de gran importancia en la solubilización o insolubilización de iones que cambian con facilidad de valencia así como en la actividad de los microorganismos.
- b) Concentraciones. La concentración a saturación del oxígeno en el agua en contacto con el aire es del orden de 10 ppm. La mayoría de las aguas subterráneas tienen entre 0 y 5 ppm, frecuentemente por debajo de 2 ppm.
- c) Nocividad y toxicidad. El mayor problema que presenta el oxígeno disuelto en el empleo del agua es que produce corrosividad. Su ausencia puede ser origen de malos gustos.

## 7.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL AGUA SUBTERRÁNEA

El agua subterránea natural como consecuencia de su composición química y de acciones naturales externas presenta una serie de propiedades o características fisicoquímicas como: color, turbidez, sabor, temperatura, conductividad eléctrica, dureza, etc.

### 7.5.1 Turbiedad

La turbiedad en un agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían de tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos, entre otros (Glynn, Heinke 2000).



### 7.5.2 Color

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición. La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficacia del proceso usado para su remoción (Kiely 2003).

### 7.5.3 Potencial de Hidrogeno

Mide la acidez del agua. Es igual a  $\log (H^+)$ . Siendo  $(H^+)$  la actividad<sup>1</sup> de iones Hidrogeno.

Por ejemplo, un agua con pH=6 tienen 100 más  $H^+$  que un agua con pH=8 (las respectivas actividades de  $H^+$  serían  $10^{-6}$  y  $10^{-8}$ ).

En las aguas naturales oscila entre 5.5 y 8.5 en aguas subterráneas habitualmente entre 6.5 y 8.5.

### 7.5.4 Temperatura

La temperatura del agua subterránea, en un punto y momento determinado, representa un estado de equilibrio entre los "aportes" y las "extracciones" caloríficas en ese punto.

La distribución espacial de temperatura en un acuífero depende de la conductividad térmica e hidráulica del medio, de la relación longitud /profundidad de la cuenca, configuración del nivel freático, distribución de la temperatura ambiente respecto a las zonas de recarga y descarga etc.

En cualquier caso la temperatura de las aguas subterráneas es muy poco variable, sin embargo este es un parámetro importante en lo que se refiere al control del conjunto de transformaciones químicas (quimismo) de las aguas. en particular cuando entre área diferentes del acuífero existen notables diferencias de temperatura.

### 7.5.5 Conductividad y Sólidos Disueltos Totales

Facilidad del agua para conducir 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

El total de sólidos disueltos (SDT) mide el peso de todas las sustancias disueltas en el agua, sean o no volátiles.

Los valores de conductividad de las aguas subterráneas naturales varían considerablemente. Los valores normales en aguas dulces oscilan entre 100 y 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en aguas salmueras pueden alcanzar valores de 100.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### 7.5.6 Alcalinidad

La alcalinidad de un agua determina su capacidad para neutralizar ácidos, esta capacidad debe definirse para ciertos rangos de pH. Así la alcalinidad TAC mide la capacidad de neutralización hasta  $\text{pH} = 4.5$  y la alcalinidad TA hasta  $\text{pH} = 8.3$ .

En la mayoría de las aguas naturales la alcalinidad está producida prácticamente por los iones carbonato y bicarbonato aunque, en ocasiones, otros ácidos débiles como el silícico, fosfórico, bórico y ácidos orgánicos pueden contribuir de forma notable al desarrollo de esta propiedad (Glynn, Heinke 2000).

### 7.5.7 Dureza

La dureza de un agua mide la capacidad de ésta para consumir jabón o producir incrustaciones, Aunque en la reacción con jabón para producir compuestos insolubles puede intervenir Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Na, Zn, etc. actualmente la dureza se define en términos de contenido en Ca y Mg (dureza total) (Rigola 1999).

La dureza de las aguas subterráneas naturales varía generalmente entre 10 y 300  $\text{mg}/\text{l}$ ,  $\text{CaCO}_3$  pudiendo llegar hasta 2000y más.

Las aguas duras son, por lo general incrustantes en tanto que las blandas suelen ser agresivas.

## 7.6 PARAMETROS ANALIZADOS Y METODOS UTILIZADOS

En las caracterizaciones realizadas en el año 2013 a la red de piezómetros fueron analizados 14 parámetros en 38 puntos, en la Tabla 2 presentamos los métodos utilizados y los parámetros analizados.

**Tabla 2 Parámetros Analizados En El Agua Subterránea**

PARAMETROS	UNIDADES	METODOS UTILIZADOS
pH		4500-H+B. Método electrométrico
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	2550B Método de Laboratorio y Campo

PARAMETROS	UNIDADES	METODOS UTILIZADOS
Turbiedad	NTU	2130B. Nefelométrico
Sulfato	mg/L SO <sub>4</sub>	4500 E. Método Turbidimétrico
Nitritos	mg/L N-NO <sub>2</sub>	4500 B. Método Colorimétrico
Nitratos	mg/L NO <sub>3</sub>	Método Colorimétrico KIT MERCK
Fosfatos	mg/L PO <sub>4</sub>	4500-P E. Método del Ácido Ascórbico
Cloruros	mg/L Cl	4500 Cl B. Método Argentométrico
Hierro Total	mg/L Fe	3500-Fe D. Método Fenantrolina
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2320 B. Método de Titulación H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	23440 C Método Titulométrico de EDTA
Dureza Cálcica	mg/L CaCO <sub>3</sub>	23440 C Método Titulométrico de EDTA
Coliformes Totales	NMP/100 ml	9221 B Procedimiento de NMP Para Coliformes Totales
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	9221 B Procedimiento de NMP Para Coliformes Fecales.

Fuente: DAGMA 2013

Finalizando en el año 2013 mediante contrato N° xxxxxxxxxx llevado a cabo entre la Universidad del Valle y Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA), se realizó la caracterización de los 18 piezómetros más en la Tabla 3 presentamos los parámetros analizados

**Tabla 3 Parámetros Analizados Por La UNIVALLE**

ANALISIS	ANALISIS
Turbiedad	Sulfatos
Oxígeno Disuelto	Fenoles
DQO	Hidrocarburos Aromaticos
Solidos Totales	Hidrocarburos Totales
Dureza Total	Manganeso Total
Dureza Calcica	Hierro colorimetrico
Dureza Magnesica	Hierro (II)
Alcalinidad Total	Calcio
Carbonatos	Magnesio
COT	Sodio
Bicarbonatos	Potasio
Cloruros	Plomo
Nitrogeno Total	Cadmio
Nitrogeno Amonical	Niquel
Nitratos	Indice Langelier

<b>Nitritos</b>	Coliformes Fecales
<b>Fosfatos</b>	Coliformes Totales

## 7.7 CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

En los últimos años, la investigación hidrogeológica se ha centrado en los problemas de la calidad del agua subterránea. En la mayoría de los casos, no se trata ya de “encontrar agua” sino de estudiar cómo la calidad del agua subterránea se ha visto afectada por las actividades humanas, predecir la evolución del problema, intentar mitigarlo, o, en un caso más afortunado, simplemente adoptar las medidas oportunas para que estos problemas no lleguen a producirse.

### 7.7.1 INDICADORES DE CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA

Con el fin de determinar la calidad microbiológica de las aguas subterráneas en el área urbana del municipio de Santiago de Cali, se analizaron los resultados de las muestras presentados por los diferentes laboratorios y realizadas a los 56 piezómetros de la red. Encontrando que todas las muestras tienen presencia coliformes fecales.

La contaminación hallada influye en la calidad del agua subterránea. Una de las razones por las cuales se hizo efectiva la presencia de coliformes fecales se debe a las condiciones en las que se encontraban los pozos que han sido abandonados, otro aspecto tiene que ver con las malas condiciones en las que fueron construidos los aljibes, los cuales no presentan sellos sanitarios y las condiciones de la zona no saturada por la composición de los suelos las hacen propicias a ser vulnerables frente a los procesos de contaminación por diferentes eventos; Las fugas de los alcantarillados y las urbanizaciones de desarrollo incompleto en las zonas de ladera es otro de los factores que han influido en la presencia de contaminantes en las aguas subterráneas.

En Figura 3 se muestra los puntos monitoreados y con presencia de coliformes fecales y totales, se observan tres (3) zonas con contaminación fecal mayor o igual a 2.000 N.PM/100 ml (número más probable de bacterias) en el área de estudio Subcuenca Cali, Cañaveralejo, Los chorros distribuyéndose así:

- Zona Cali: Ubicada al Suroccidente de la Subcuenca Cali coincide en una extensión con el cono de deyección del río Cali y corresponde al 12% de la Subcuenca Cali.

- Zona Cañaveralejo: Corresponde al lado occidental y oriental de la Subcuenca Cañaveralejo representado en un 64 % de la Subcuenca.
- Zona Los Chorros: corresponde al 48 % de la Subcuenca Los Chorros

#### 7.7.2 INDICADORES DE CONTAMINACIÓN QUÍMICA

Los principales problemas de la calidad del agua subterránea, vienen causados por la dureza, hierro, manganeso, sulfuro de hidrógeno, sulfato y cloruro sódico (Kiely 2003).

**Dureza:** la dureza, debida a la presencia de sales disueltas de calcio y magnesio, mide la capacidad de un agua para producir incrustaciones. El agua subterránea que pasa a través de la caliza, disuelve los compuestos de calcio y magnesio que provocan la dureza. En consecuencia las aguas duras son comunes en las zonas calizas, con concentraciones de dureza totales que varían de doscientos a cuatrocientos miligramos por litro. Esto puede ser beneficioso para la salud.

Por el contrario, niveles muy altos pueden ser un problema, dando como resultado la formación de incrustaciones en tuberías (Rigola 1999).

**Hierro y Manganeso:** las concentraciones en exceso de hierro, no suelen causar problemas de salud, pero son preocupantes por razones estéticas y de gusto. Cuando se extrae de un pozo o del grifo, el agua puede ser incolora, pero al entrar en contacto con aire, el hierro precipita para formar un depósito rojizo marrón que recuerda a la herrumbre. Esto da un gusto metálico al agua y manga las tuberías y la ropa. El origen del hierro, puede ser minerales ferrosos en las rocas y suelos, la contaminación por residuos orgánicos u ocasionalmente la corrosión de los accesorios de hierro en el sistema de distribución de agua.

El manganeso produce una coloración negra del agua, se suele asociar frecuentemente con el hierro. También es un buen indicador de contaminación por residuos con alta DBO (Kiely 2003).

## 8 CONTROL DE CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

A causa de las enfermedades de origen hídrico y el interés de controlarlas, los estudios bacteriológicos del agua se han orientado, en su mayor parte, hacia sus aspectos sanitarios.



Uno de los criterios, utilizado para determinar la calidad sanitaria del agua, es la clase y número de bacterias que se encuentran presentes. En general, los métodos utilizados están diseñados para detectar el grado de contaminación del agua con desechos de origen humano y/o animal.





ALCALDÍA DE  
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO  
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

**CaliDA**  
una ciudad para todos



ALCALDÍA DE  
SANTIAGO DE CALI

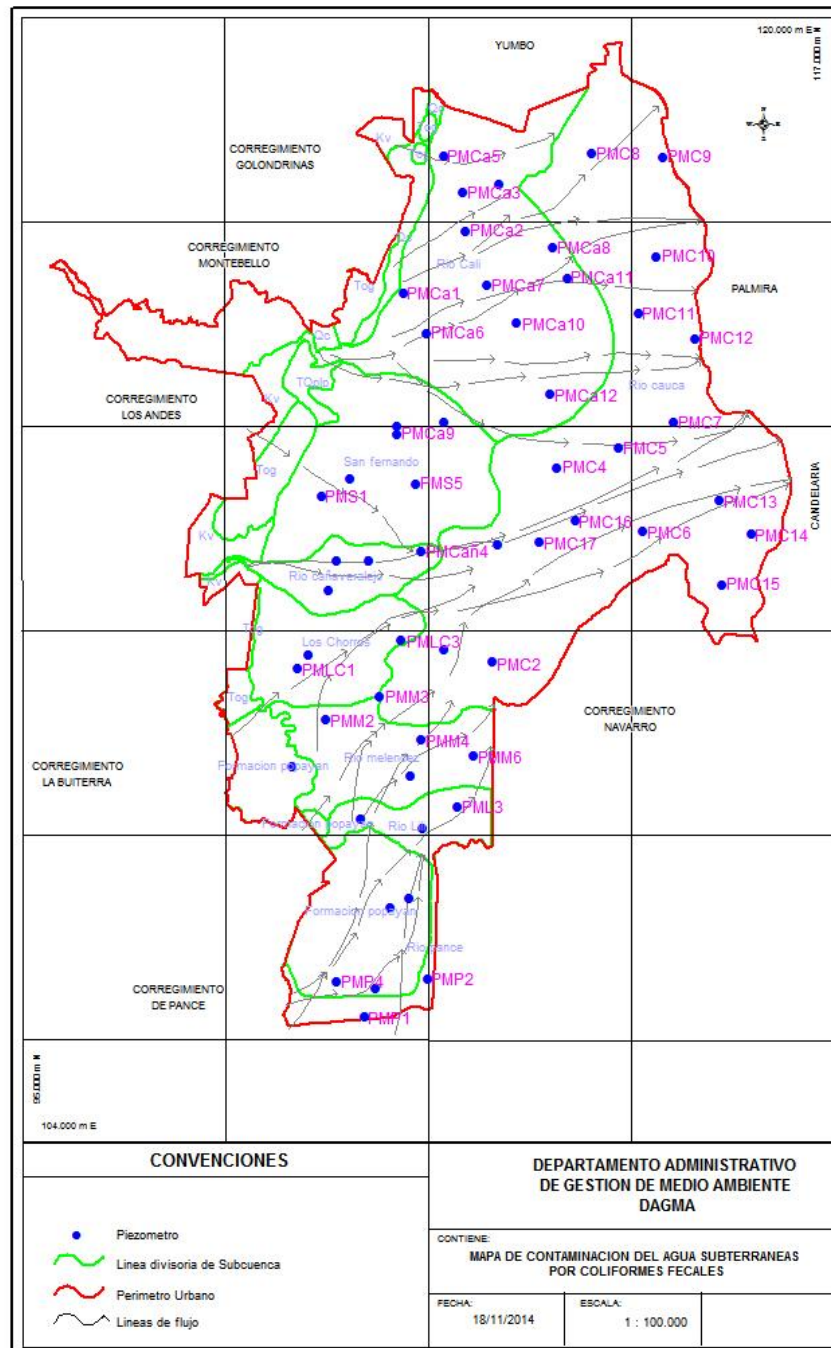


Figura 3 Mapa de calidad Microbiológica



## **8.1 SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA**

Es una herramienta usada para analizar y modelar datos y eventos que ocurren en nuestro planeta y producir mapas sobre ellos. Los SIG, permiten analizar operaciones de consulta y análisis sobre bases de datos, a la vez que presentan la posibilidad de visualización y realización de análisis geográficos sobre éstas (Software ArcGis 9 2006).

La validez y confiabilidad de los mapas dependen en gran medida de la disponibilidad de una cantidad importante de datos de gran calidad y de su posterior tratamiento. Integrar esta información en un Sistema de Información Geográfico (SIG) sirve para asegurar su representatividad, disponibilidad oportuna y manejo de la misma.

Utilizando la herramienta del SIG se elaboraron los mapas de conductividad eléctrica, dureza total, hierro más manganeso y calidad de agua, con los resultados de las caracterizaciones realizadas por los laboratorios contratados por las empresas perforadoras, la universidad del Valle y por el laboratorio Ambiental del DAGMA en diferentes épocas del año 2013.

Considerando que estos parámetros son los que más inciden en la calidad química del agua para sus diversos usos y que sirven de guías para conocer su procedencia e interrelaciones con el medio por donde circulan.

## **8.2 CARACTERISTICA DE LOS MAPAS DIGITALES**

Los mapas digitales permiten estimar información mediante visualización gráfica, estructurar la información basados en coordenadas geográficas y teniendo en cuenta atributos lógicos; facilita la integración proveniente de diferentes fuentes como son la digitalización, fotografías aéreas, imágenes de satélite, datos tabulares.

### **8.2.1 MAPA DE CONDUCTIVIDAD**

En el área urbana del municipio de Santiago de Cali las conductividades menores a 500 corresponden a los conos aluviales de los ríos Meléndez y Cali y a la llanura aluvial del río Cauca, se puede observar que la conductividad va aumentando en la misma dirección que las líneas de flujo, los valores más altos de conductividad están asociadas a las áreas con sedimentos más finos y velocidades de flujos más bajas especialmente en las cuencas de los ríos Cali y Cauca.

La salinidad es un parámetro que determina el uso del agua subterránea, debido a que es determinante para poder ser utilizada en riego, cultivos y como para abastecimiento público e industrial.

El mapa de conductividad se elaboró por el sistema de curvas de igual conductividad eléctrica que describen la intersección de una superficie mediante la interpolación de un plano horizontal, formando gradientes relativos del parámetro estimado, con el fin de interpretar gráficamente.

### 8.3 RANGOS DE CONDUCTIVIDAD

Con base en los valores de conductividad eléctrica reportados en los análisis, se establecieron rangos, que sirve para medir el grado real de aceptación de la salinidad del agua por parte de los diferentes usuarios de la ciudad de Cali. Los rangos establecidos para conductividad o contenidos de sales se presentan en la Tabla 4.

**Tabla 4 Rangos de Conductividad**

CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	CLASIFICACION
200–300 $\mu\text{s}/\text{cm}$	Agua de baja Salinidad
300-400 $\mu\text{s}/\text{cm}$	Agua moderadamente Salina
400-500 $\mu\text{s}/\text{cm}$	Agua de salinidad Media
500-800 $\mu\text{s}/\text{cm}$	Agua de salinidad Objetable.

El área de estudio donde se analizó este parámetro se localiza en las Subcuencas Meléndez, río Cali y río Cauca por los muestreos puntuales realizados. Del análisis del mapa de conductividad se concluye lo siguiente:

El sector con agua subterránea de menor salinidad se localiza principalmente en la Subcuenca Meléndez y parte baja de la Subcuenca del río Cauca de la ciudad. El sector de mayor conductividad eléctrica 500-800  $\mu\text{s}/\text{cm}$  con agua subterránea objetable, se encuentra en la Subcuenca de río Cali y parte central y noreste de la Subcuenca del río Cauca.



En el sector noroccidente de la Subcuenca del río Cali se observa una franja con líneas de isoconductividad con valores entre 400-500 y 300-400.

Se concluye que alrededor de 50% de la zona urbana de Cali objeto de estudio, tiene agua subterránea con características de salinidad objetable lo que le confiere restricción de usos agrícola y de abastecimiento. Figura 4. Mapa de Conductividad de la ciudad de Santiago de Cali.



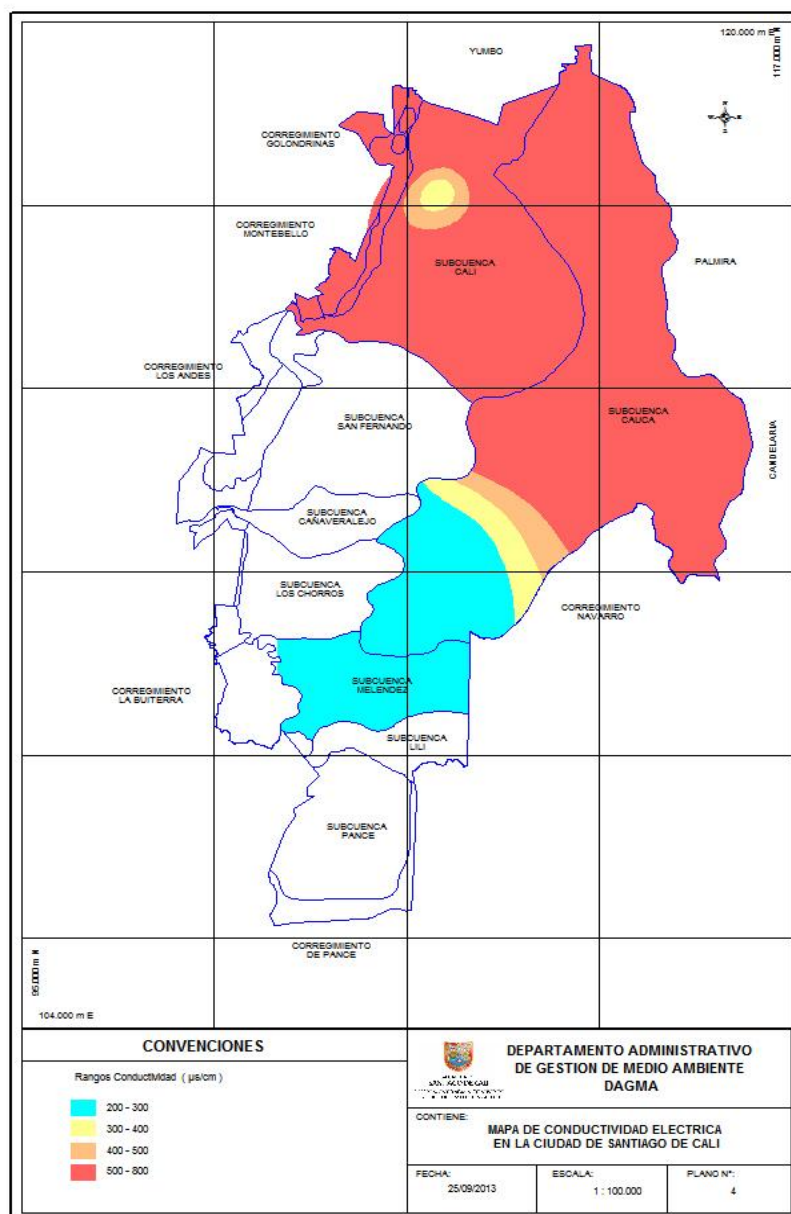
ALCALDÍA DE  
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO  
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

**CaliDA**  
una ciudad para todos



ALCALDÍA DE  
SANTIAGO DE CALI



**Figura 4 Mapa de Conductividad de agua subterránea en el área urbana del municipio de Santiago de Cali**

#### 8.4 MAPA DE DUREZA TOTAL

La dureza del agua subterránea es causada principalmente por los iones calcio y magnesio y es la propiedad del agua para consumir jabón o su incapacidad para producir espuma.

Existen dos tipos de dureza: la dureza carbonatada o temporal, en la cual el calcio y el magnesio están asociados con carbonatos, y puede ser eliminada por medio de ebullición; y, la dureza no carbonatada, en la cual el calcio y el magnesio están asociados con sulfatos, cloruros y nitratos, esta dureza no puede ser eliminada.

La dureza se expresa como el equivalente en carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y puede clasificarse como se indica en el Tabla 5

**Tabla 5 Rangos de Dureza Total**

DUREZA – mg/ L. de $\text{CaCO}_3$	CLASIFICACION DE LAS AGUAS
0 - 150	Blandas
150 - 250	Semiblandas
250 - 300	Moderadamente duras
300 - 350	Semiduras
350 - 400	Duras

El área de estudio se determinó que el 30% de las aguas se clasifican como blandas, 30.3% son seminblandas, el 16% moderadamente duras, 12.5% son semiduras y un 16% duras.

En el mapa se representa la clasificación por subcuencas es importante resaltar que la subcuenca de Cañaveralejo y Pance presentan aguas de tipo blandas las subcuencas de Los Chorros, Lili y San Fernando presentan un tipo de agua Seminblandas, por último el agua de las cuencas del Cauca y Cali fueron clasificadas entre moderadamente duras a duras pues los valores oscilan entre 250 y 520 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ .



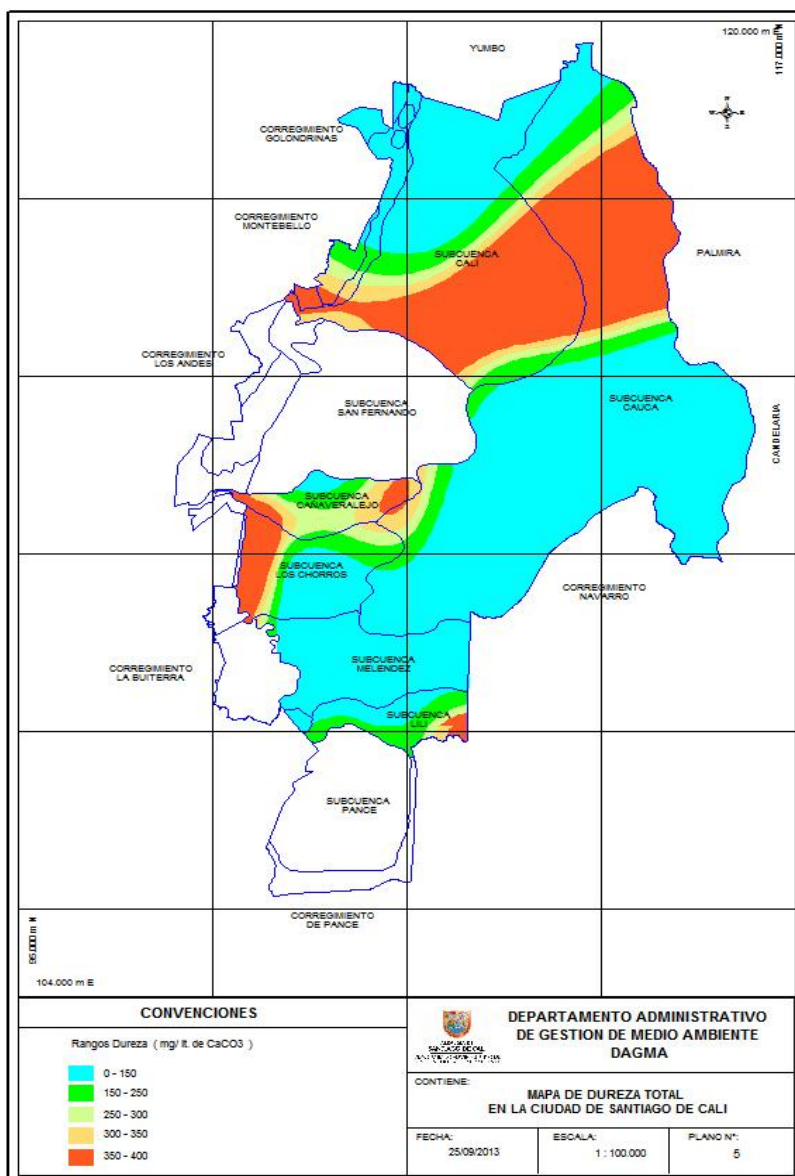
ALCALDÍA DE  
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO  
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

**CaliDA**  
una ciudad para todos



ALCALDÍA DE  
SANTIAGO DE CALI



**Figura 5 Mapa de Dureza Total de agua subterránea en el área urbana del municipio de Santiago de Cali**

Se concluye que, la Dureza Total del agua subterránea la ciudad de Cali aumenta hacia el norte, siendo las zonas del cono del río Cali y la llanura del río Cauca, las de más alta dureza. Figura 5. Mapa de Dureza total.

## 8.5 MAPA DE HIERRO + MANGANENSO

El hierro (Fe) y el manganeso (Mn) son los iones secundarios que tienen mayor concentración en el agua subterránea y se analizan simultáneamente por tener un origen y un comportamiento químico semejantes.

Estos iones son determinantes en la calidad del agua subterránea para abastecimiento público; aunque son inocuos para la salud, su presencia en cantidades que sobrepasen las normas de potabilidad, le confieren mal aspecto al agua y un sabor metálico desagradable.

Las aguas de pozos contienen mayores concentraciones de Fe y Mn que las aguas superficiales, debido al bajo valor de pH (alta concentración de CO<sub>2</sub>) y al escaso contenido de oxígeno disuelto.

Las aguas subterráneas con altos contenidos de hierro + manganeso no pueden ser utilizadas sin un tratamiento previo en algunos procesos industriales, especialmente en la fabricación de textiles y alimentos, porque producen manchas oscuras, mucha turbidez, y taponamiento en las tuberías a causa de la acumulación de los depósitos de hierro y manganeso. La concentración de hierro + manganeso en el agua subterránea, dentro de la zona de estudio, varía entre 0,0 y 5,0 mg/l. La clasificación del agua subterránea de acuerdo con el contenido de iones Fe y Mn se presenta en la Tabla 6.

**Tabla 6 Rangos de Hierro Manganeso**

Fe+Mn mg/L	CLASIFICACION
0.0 – 0.3	Adecuado para uso publico
0.3 – 0.5	Adecuado para uso público con algunas restricciones
0.5 – 1.0	Restringida para algunos usos
1.0 – 2.0	Restringida para algunos usos



Fe+Mn mg/L	CLASIFICACION
2.0 – 3.0	Objetable para todos los usos
3.0 – 4.0	Objetable para todos los usos
4.0 – 6.0	Objetable para todos los usos

Este parámetro se analizó en las siguientes Subcuencas de Lili, Meléndez, Los Chorros, Cañaveralejo y Cali y Cauca por los muestreos puntuales realizados.

De los puntos piezométricos caracterizados se deduce que la ciudad de Cali en la zona objeto de estudio, hay definidas dos (2) zonas que presentan altas concentraciones de hierro+ Manganeso las cuales son: el cono aluvial del río Cali y la parte oriental de la Subcuenca del río Meléndez. Con valores superiores a 6 mg/lit. Figura 6. Mapa de Hierro + Manganeso.

Las zona de menor contenido de Fe + Mn se ubican en la parte oriental de la Subcuenca de Los chorros en 2.36 km<sup>2</sup> y una extensión de 1,68 Km<sup>2</sup> en la zona nororiental de la Subcuenca Cañaveralejo



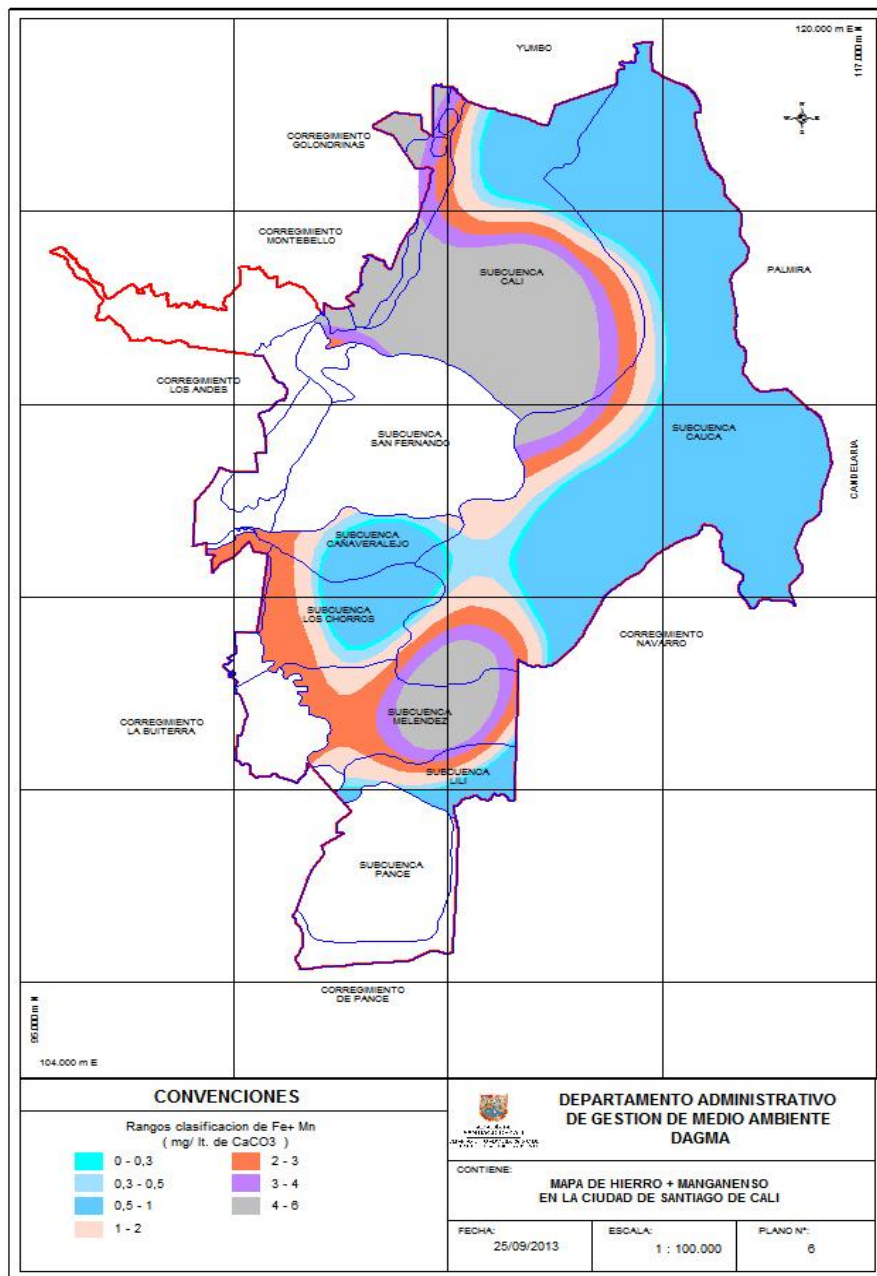
ALCALDÍA DE  
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO  
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

**CalidA**  
una ciudad para todos



ALCALDÍA DE  
SANTIAGO DE CALI



**Figura 6 Mapa de Hierro + Manganeso del agua subterránea en el área urbana del municipio de Santiago de Cali**

## 8.6 MAPA DE CLASIFICACION DEL AGUA SUBTERRANEA EN LA CIUDAD DE CALI

Este mapa, que resume la calidad del agua subterránea en sus aspectos físico-químicos, es el resultado de la superposición de los mapas de conductividad eléctrica, dureza total, hierro + manganeso. Como resultado de esta superposición se obtuvieron zonas comunes de bajas, medias y altas concentraciones, las cuales fueron agrupadas en cuatro (4) clases teniendo en cuenta la influencia ponderada de cada uno de los parámetros en la calidad, generando como resultado un mapa de clasificación del agua subterránea de la ciudad de Cali referido a la potabilidad en su aspecto físico-químico.

Tabla 7, muestra la clasificación del agua subterránea agrupadas por clase

**Tabla 7 Rangos de Clasificación Del Agua Subterránea**

CLASE DE AGUA	CONDUCTIVIDAD $\mu\text{cm}$	DUREZA $\text{mg/L}$	Fe + Mn $\text{mg/L}$	CALIFICACION
CLASE 1	0 – 300	0 – 250	0.1 – 0.5	Muy buena
CLASE 2	300 – 400	150 – 250	0.5 – 1.0	buena
CLASE 3	300 – 600	250 – 300	1.0 – 2.0	Regular
CLASE 4	600 - 800	300 - 400	2.0 - 4.0	Objetable

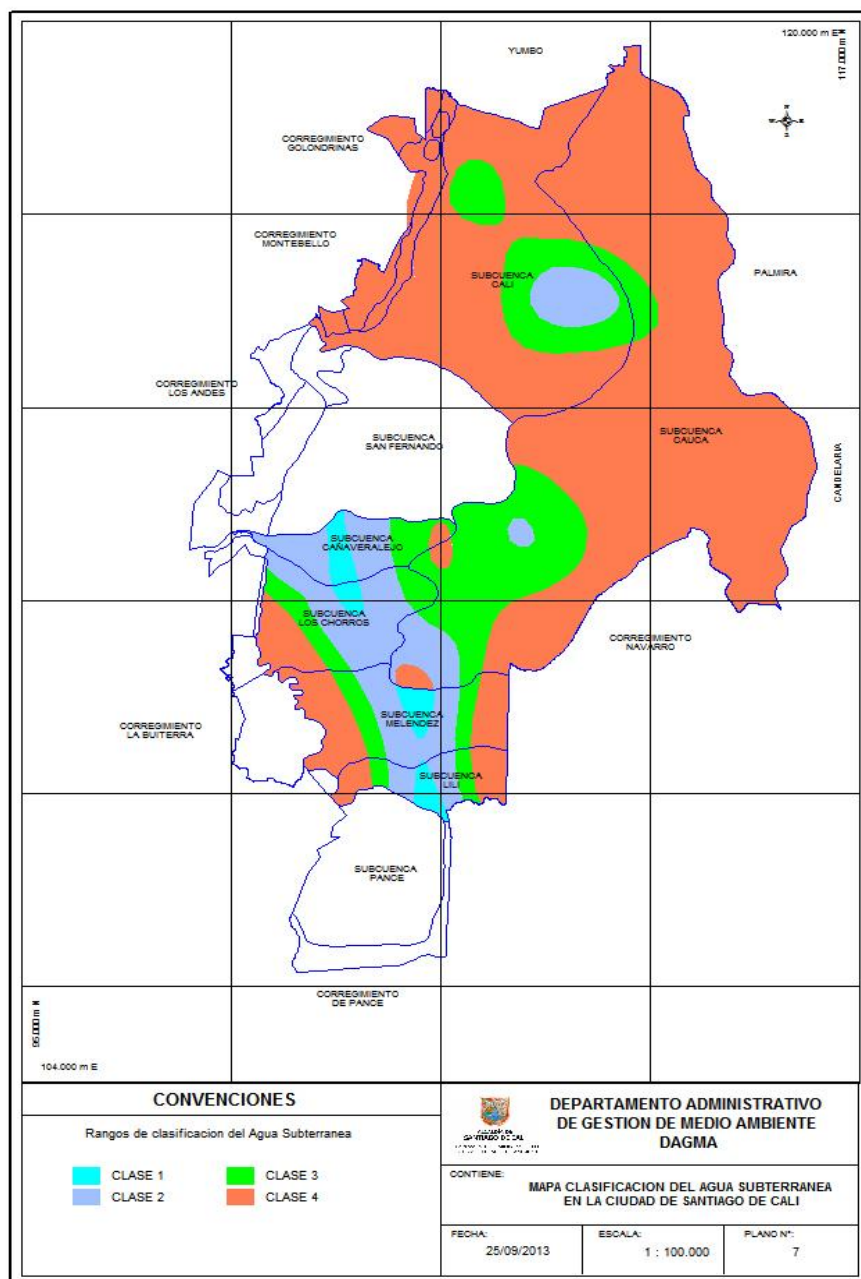
Del mapa resultante de la clasificación del agua subterránea se infiere lo siguiente:

En el 14% del área de estudio, se observa que predominan las aguas subterráneas

- clase 1 y 2 ubicados en la parte central de las Subcuenca Cañaveralejo, Los Chorros, Meléndez y Lili, son calificadas como muy buenas a buenas. Estas clases de aguas pueden utilizarse en la mayoría de los casos sin restricciones importantes.
- Clase 3 y 4: se localiza en la parte sur del abanico del río Cali y en gran parte de la Subcuenca del río Cauca, representa el 18.49% del área de estudio. Este tipo de agua requiere de algún tipo de tratamiento para ser



utilizada. figura N °7. Mapa de Clasificación del agua subterránea en el área urbana del municipio de Santiago de Cali.



**Figura 7 Mapa de Clasificación de las agua subterránea en el área urbana del municipio de Santiago de Cali**

:

## 9 RESULTADOS Y DISCUCIONES

Los parámetros que incumplen con los valores recomendados para agua potable en los pozos muestreados son nitritos, turbiedad, hierro total y coliformes totales y fecales; mientras que el pH, sulfatos, nitratos, y los cloruros cumplen los valores de la normativa vigente. En cuanto a la alcalinidad total y la dureza total están muy cerca de los límites permisibles, el pH, el promedio de todos los piezómetros está dentro de los valores recomendados, esto es un buen indicador, ya que los valores bajos de pH afectan negativamente la salud de las personas, aumenta la corrosividad en los metales y disminuye la eficiencia de la desinfección del agua (OMS 2003). En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observan los resultados.

**Tabla 8: Valores Medios Y Recomendados De Los Parámetros Analizados**

PARÁMETROS	UNIDAD MEDIDA	MEDIA	VALOR MAX ACEPTABLE Resolución 2115/2007
pH	-	6.85	6.5-9.0
Temperatura	°C	25,47	-
Turbiedad	NUT	61,00	2
Sulfato	mg/L	5,54	250
Nitritos	mg/L	0,32	0.1
Nitratos	mg/L	6,19	10
Fosfatos	mg/L	0,52	0.5
Cloruros	mg/L	37,57	250
Hierro Total	mg/L	5,90	0.3
Alcalinidad Total	mg/L	186,8	200
Dureza Total	mg/L	226,86	300
Dureza Cálcica	-	102,54	-
Coliformes Totales	UFC/100 cm <sup>3</sup>	943	0
Coliformes Fecales	UFC/100 cm <sup>3</sup>	643	0

Los valores recomendados para la alcalinidad del agua se cumplieron en 73 % de los piezómetros. Una causa de las fluctuaciones de alcalinidad, se debe a que este parámetro es afectado por el suelo y las rocas por las que el agua subterránea fluye.



En los casos de los piezómetros pertenecientes a las subcuencas hidrogeológicas de los ríos Cuaca identificados con los PMC 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 17; Cali PMCa 4, 5, 6, 9, 11, 12 San Fernando PMS 1, 4, 5; Cañaveralejo PMCañ. 2, 3, 4 y Lili PML 3 (promedio 261,43 mg/L como  $\text{CaCO}_3$ ) los altos niveles de alcalinidad pueden asociarse con la dureza del agua, lo que puede causar la acumulación de sedimento en los sistemas de conducción.

De igual manera, los valores bajos de alcalinidad pueden causar cambios en los niveles de pH y crear agua corrosiva, la cual puede conducir a la disolución de metales y dañar las tuberías de conducción del agua.

En los piezómetros de las subcuencas Meléndez PMM1, 2, 3, 4,; Cauca PMC 1 y 2, y Pance PMP 1, 2, 3, cuya agua presento valores menores a 100 mg/ L como  $\text{CaCO}_3$  también se observan valores bajos en la dureza y ese encuentran ubicados en la misma zona, esto puede ser indicativo de una condición propia del acuífero.

Al igual que pH y alcalinidad, el agua dura puede afectar el sistema de distribución de agua, ya que causa un mayor consumo de jabón y provoca la formación de incrustaciones en el sistema. También los valores muy altos de dureza disminuye la aceptabilidad de sabor del agua y los valores muy bajos tienen un efecto corrosivo en el agua, la cual es dañina para la salud (OMS 2011).

Los valores de dureza en el agua de los piezómetros no excedieron el valor máximo admisible para agua potable (300 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ) en 71 % de las muestras. Los altos valores de dureza en el agua de los piezómetros se deben principalmente a la presencia de calcio, así se evidencia en el informe realizado por la universidad del Valle donde se observa que las concentraciones de calcio en algunos sectores superan los 70 mg/L al igual que las concentraciones de magnesio. Figura 4.

La claridad es de gran importancia para el agua de consumo humano, por su medida de probables impurezas o patógenos en el agua y sus indicadores son la turbidez y el color (Wilson 2010).

Se encontró que un 28.5 % de los piezómetros muestreados cumplen con los valores recomendados de turbidez. En 40 de los 56 piezómetros se encontraron valores de turbidez altos hasta alcanzar 598 UNT respectivamente) se debe a las condiciones de las estructuras de protección del pozo o problemas en las tuberías.

El deterioro de las estructuras provoca infiltración de flujos preferenciales, los que transportan sustancias contaminantes hacia las aguas subterráneas a través del perfil del suelo, provocando deterioro de la calidad del agua en el subsuelo (Moral *et al.* 1996).

Los nutrientes que no se fijan en el suelo y no son utilizados por las plantas pueden filtrarse en el agua subterránea. Los resultados obtenidos de la concentración de nitratos, indican que 89.3% de los piezómetros cumplen con los valores recomendados para agua potable. Una de las fuentes principales de contaminación de nitratos para los piezómetros muestreados puede ser el uso de fertilizantes, residuos de animales y áreas con asentamientos urbanos. El frecuente consumo de agua con alta concentración de nitratos, crea problemas en la salud humana. Al igual que los nitratos, los fosfatos son arrastrados e infiltrados en el suelo por procesos de precipitación y escorrentía.

En este estudio se evaluaron los fosfatos y el 100% de los piezómetros se encuentran dentro de los valores recomendados.

Los valores recomendados para coliformes totales y fecales son poco permisivos (0 UFC/100 cm<sup>3</sup>) en agua potable destinada al consumo.

Los límites de estos parámetros microbiológicos en el agua no cumple en ninguno de los 56 piezómetros. La presencia de bacterias coliformes indica la influencia de desechos fecales de animales o humanos que pueden estar contaminando el agua.

El estado de las tuberías, el uso del suelo y actividades humanas son posibles factores contaminantes del agua, por lo que se aconseja su tratamiento antes de su consumo.

Finalmente A través de la herramienta ArcGIS 10.0 se elaboraron mapas interactivos en un SIG, empleando la información hidrogeológica, físico químico, bacteriológico y los datos digitales.

Se originó el mapa de calidad de las aguas subterráneas, dentro del cual se origina la clasificación para los diferentes usos.

## **10 MONITOREO DE NIVELES**

### **10.1 FRECUENCIA DE MUESTREO Y MEDICIÓN DE NIVELES**

El nivel freático reacciona con mayor o menor facilidad frente a los distintos componentes de la recarga y la descarga del sistema en estudio y por tanto cambia constantemente.

A partir de lo anterior, con la entrega de los primeros 18 piezómetros que constituyen la red de monitoreo se planteó, realizar mediciones de niveles estáticos bimensuales, registrándose datos en los meses de febrero, marzo, abril, mayo y diciembre del año 2012

Para el año 2013, a los siguientes 13 piezómetros entregados en enero del mismo año, para los meses de febrero, abril, mayo y julio. La Fotos 1 muestra las actividades que se realizan a los 56 piezómetros para el monitoreo.



Fotos 1 : Campaña de medición de Niveles.

## **11 RESULTADOS DEL MONITOREO DE NIVELES.**

A partir de los datos de mediciones estáticas se elaboró un mapa de Isohipsas para el sistema acuífero de la Unidad A en un periodo seco y otro mapa de Isohipsas para un periodo con lluvias; se trazaron líneas que unen puntos de igual cota del agua. Estas líneas isopiezas generaron entre ellas las superficies piezométricas.

Los planos de isohipsas proporcionan una representación gráfica del relieve y pendiente del nivel freático. Además, sirven de base para determinar la dirección,

velocidad y cantidad de agua subterránea en movimiento, las fuentes de recarga y descarga y las variaciones en la tasa de infiltración y permeabilidad de materiales aluviales.

**En áreas planas el nivel freático tiene pendientes suaves y de forma gradual hacia los puntos de menor cota donde se produce la descarga (Plano N°10 y 11). En áreas donde hay cambios de relieve se presentan elevaciones o depresiones locales del nivel freático, que pueden ser de origen natural o antrópicas (por el hombre). (Figura 8 Plano de líneas isohipsas mostrando zonas con elevaciones del Nivel freático**

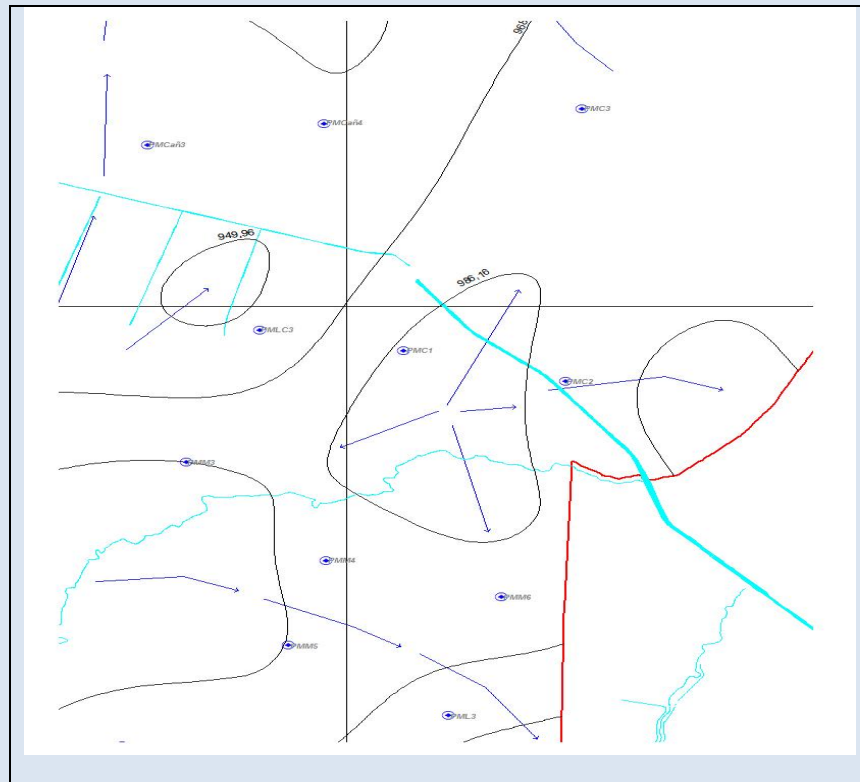
El flujo de agua subterránea (como sucede en la superficie del suelo) es siempre en la dirección de la pendiente. Al asumir que el suelo del área de estudio es homogéneo e isotrópico (igual conductividad vertical y horizontal), la mayor velocidad y cantidad de agua que fluye se moverá en el sentido de la máxima pendiente (Figura 9. Por consiguiente, isohipsas y líneas de flujo son perpendiculares entre sí (Salgado, 1974)<sup>1</sup>.

La forma del nivel freático puede ser tanto convexa como cóncava. Una elevación local del nivel freático puede deberse a una recarga local por riego o por flujo subterráneo (artesianos) ascendente. Depresiones locales del nivel freático pueden deberse a bombeo de pozos o filtraciones a estratos más profundos (falla geológica).

Según la Ley de Darcy, la velocidad del agua subterránea ( $V$ ) es directamente proporcional al gradiente ( $i=dh/dx$ ) y una constante de proporcionalidad conocida como conductividad hidráulica ( $K$ ).

---

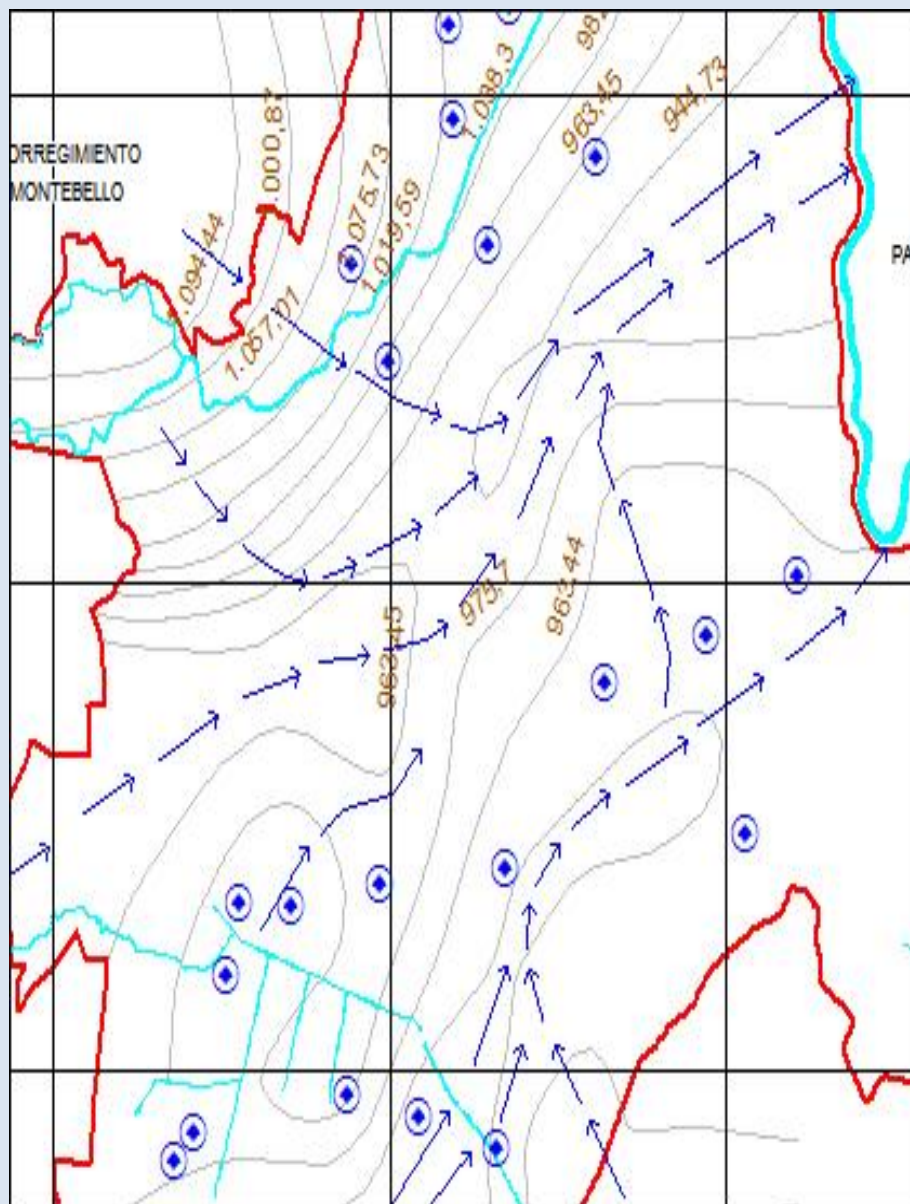
<sup>1</sup> Dr. Luis Salgado S.- ESTUDIO DE NIVELES FREATICOS Y PIEZOMETRICOS



**Figura 8 Plano de líneas isohipsas mostrando zonas con elevaciones del Nivel freático**

Con base en el plano de isohipsas, se obtuvo la dirección del flujo, el gradiente del agua subterránea y las áreas de recarga y descarga. A partir del plano de isohipsas se deduce que, en la medida que las curvas se acercan unas a otras, el gradiente es mayor y la conductividad hidráulica es menor y, cuando las curvas están separadas unas de otras el gradiente es menor y la conductividad hidráulica es mayor.





**Figura 9 Ejemplo de flujo subterráneo mostrando isohipsas y líneas de flujo**

En los planos de isohipsas Figura 10, Figura 11 se observa que las zonas de recarga de los acuíferos en la zona urbana de Cali se ubican en las partes altas de los conos aluviales de los ríos o afluentes del Cauca (Cali, Meléndez, Cañaveralejo y Pance) en estas zonas ocurre la mayor infiltración especialmente en el cono de Pance, y las curvas Isohypsas convergen hacia el río Cauca.





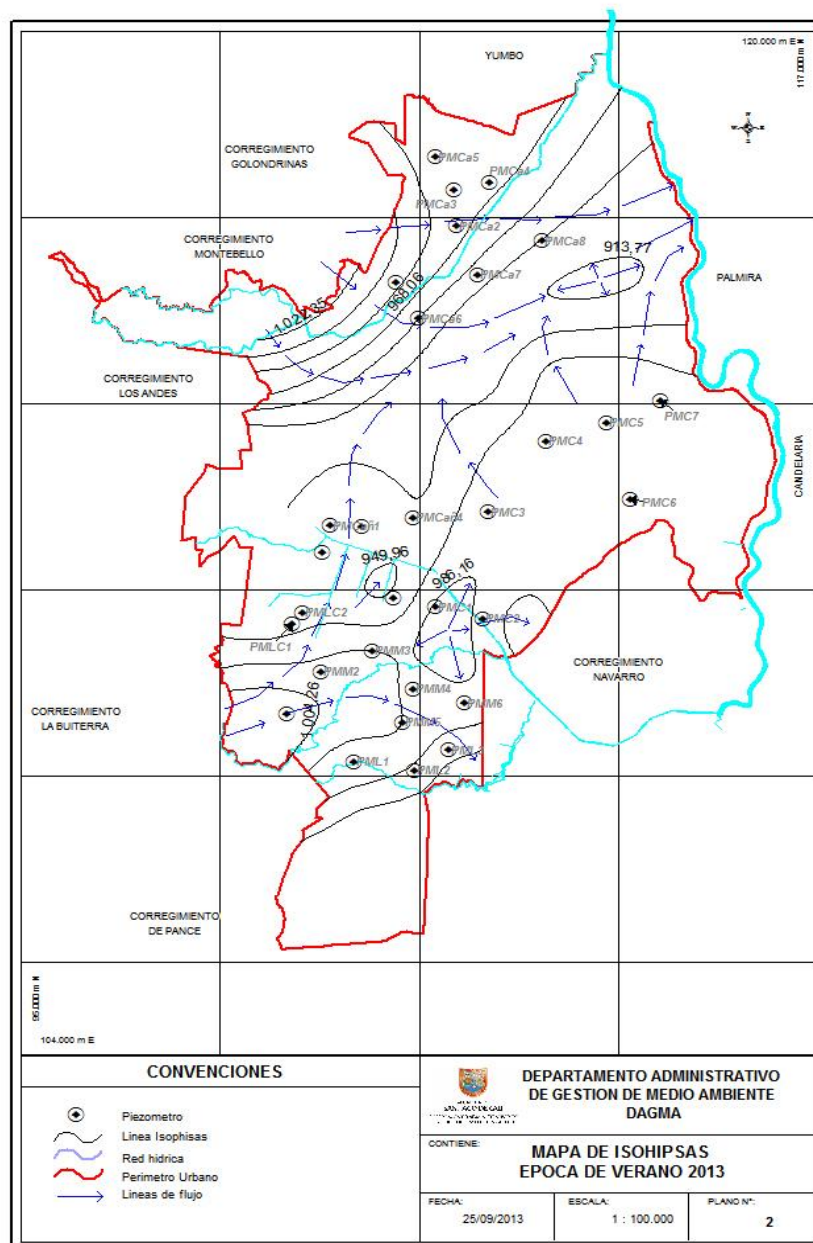
ALCALDÍA DE  
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO  
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

**CaliDA**  
una ciudad para todos



ALCALDÍA DE  
SANTIAGO DE CALI



**Figura 10 Mapa de isohipsas época de verano 2013**



## 12 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS MEDICIÓN DE NIVELES

La red de monitoreo provee datos acerca de las elevaciones y variaciones del nivel freático y superficies piezométricas, a continuación se representa en un hidrograma las fluctuaciones del nivel freático en cada uno de los piezómetros que componen la red de monitoreo versus el tiempo (Figura 12-42).

Se tienen registros de mediciones estáticas desde febrero de 2012 hasta julio de 2013. Los gráficos muestran cambios en el almacenamiento del agua subterránea; inmediatamente después de un período de lluvia (meses de abril y mayo), el nivel freático disminuye rápidamente y luego lo hace más lentamente en la medida que disminuyen tanto el gradiente hidráulico como la transmisividad.

Ante lo expuesto anteriormente, se debe tener presente que la infiltración de aguas lluvia, o filtraciones no son las únicas causantes de las fluctuaciones del nivel freático. La evapotranspiración puede ser también una causa importante que produzca la disminución del nivel freático dependiendo del clima vigente.

El piezómetro PMCa5 presenta un nivel estático alto que refiere una zona altamente vulnerable a la contaminación, requiere más control y pueden ser utilizados como fuente alterna para abastecer zonas que no cuenten con ningún recurso o servir de complemento.

El piezómetro de la subcuenca Cali PMCa5 no fue medido por obstrucción en el año 2013.

## 13 CONCLUSIONES

El monitoreo de las aguas subterráneas es una actividad fundamental en la Gestión y Protección del recurso subterráneo. Por la naturaleza del trabajo, el alto costo del muestreo y los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos se requiere de una cuidadosa programación de tal manera que el monitoreo obedezca a satisfacer una necesidad real como es conocer el impacto que las diferentes actividades humanas tienen sobre la calidad de las aguas subterráneas.

El programa de monitoreo es fundamental para evaluar los cambios relevantes y realizar un seguimiento al sistema acuífero especialmente a los aljibes, debido a que el tiempo de permanencia de los contaminantes en estas aguas puede variar desde meses hasta años. La zona no saturada es la principal ruta de recarga del acuífero y además es una zona que permite regular los diferentes contaminantes.

El DAGMA debe consolidar el programa de monitoreo del agua subterránea donde se realicen mediciones periódicos de niveles estáticos y seguimiento de la calidad del agua subterránea para detectar y evaluar su distribución espacial y cambio en el tiempo.

La frecuencia del monitoreo está determinada por el grado de significancia del aporte del contaminante. En el área urbana del municipio de Santiago de Cali con los monitoreos realizados nos han permitido establecer que el grado de significancia es bajo y por ello la frecuencia del monitoreo debe ser anual.

Como durante la actividad de seguimiento y control a las estaciones de servicio y lavaderos de vehículos se ha evidenciado la presencia de grasas y aceites e hidrocarburos en algunos sectores de la ciudad se requiere que el monitoreo se realice dos veces por año para el parámetro de hidrocarburos, plomo y grasas aceites con el fin de determinar el grado de significancia y determinar el nivel de contaminación igualmente determinar con qué frecuencia se debe llevar a cabo el monitoreo para estos parámetros.

El sector con agua subterránea de menor salinidad se localiza principalmente en la Subcuenca Meléndez y parte baja de la Subcuenca del río Cauca de la ciudad. El sector de mayor conductividad eléctrica 500-800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  con agua subterránea objetable, se encuentra en la Subcuenca de río Cali y parte central y al noreste de la Subcuenca del río Cauca.

La Dureza Total del agua subterránea la ciudad de Cali aumenta hacia el norte, siendo las zonas del cono del río Cali y parte nororiental de la Subcuenca del río Cauca, las de más alta dureza. Plano N° 2. Mapa de Dureza total.

De los puntos piezométricos caracterizados en la zona estudio, se definen dos (2) zonas que presentan altas concentraciones de hierro+ Manganeso las cuales son: el cono aluvial del río Cali y la parte oriental de la Subcuenca del río Meléndez. Con valores superiores a 6 mg/lit.

Las zonas de menor contenido de Fe + Mn se ubican en la parte oriental de la Subcuenca de Los chorros en 2.36  $\text{km}^2$  y una extensión de 1,68  $\text{Km}^2$  en la zona nororiental de la Subcuenca Cañaveralejo.

Otra zona que presenta bajo contenido de Fe + Mn, es la parte sur de la Subcuenca del río Cali con valores entre 0,3 – 0,5 mg/lit. Plano N° 3. Mapa de Fe + Mn.

El agua subterránea dentro de la zona objeto de estudio del Municipio de Cali puede clasificarse en términos generales como cálcico-magnésica y con presencia de Fe+Mn y requiere de tratamiento para ser usada en abastecimiento o algún proceso industrial.

El agua subterránea en la zona de estudio tiene presencia de coliformes fecales indicadores de contaminación lo que las hace no aptas para el consumo humano sin tratamiento previo.

Para llevar a cabo el análisis de los datos de niveles estáticos se tuvo en cuenta que el área de estudio, está definida por dos épocas de estaciones climáticas (seca - lluvias), las cuales se enmarcan dentro de las siguientes meses desde el 16 de diciembre hasta el 15 de marzo la primera época de verano desde el 16 de marzo hasta el 15 de junio la primera de invierno desde el 16 de junio hasta el 15 de septiembre la segunda temporada de verano y desde el 16 de septiembre hasta el 15 de diciembre la segunda temporada de invierno.

También es importante resaltar que la red de piezómetros se construyo en diferentes años, por lo tanto las mediciones solo se tiene completas para 31 de los piezómetros desde el año 2012 hasta el 2014, así mismo es de resaltar que las mediciones se han realizado en diferentes meses para lo cual se realizó análisis por subcuenca.

Realizado el análisis se observa que la subcuenca Meléndez presenta un leve descenso en el año 2013 y una recuperación para el año 2014. La cuenca del cauca solo cuenta con mediciones completas en 7 piezómetros por que los restantes 10 fueron terminados finalizando el año 2013. Para esta subcuenca se presenta el mismo comportamiento, sus niveles descendieron en el año 2013 y se recuperan en el año 2014.

Las mediciones en la cuenca de Cañaveralejo se iniciaron en año 2013 las gráficas muestran un leve descenso para el año 2014 en tres de los cuatro piezómetros.

La cuenca del río Lili muestra una leve recuperación para el año 2014 con relación al año inmediatamente anterior.

La cuenca los chorros se mantiene estable no se observan cambios representativos



Las cuencas Pance y San Fernando solo cuenta con dos mediciones realizadas para el año 2014 las cuales fueron realizadas en diferentes épocas estacionales allí se observa un leve descenso en la época seca.

Las mediciones de niveles estáticos en cada uno de los piezómetros muestran variaciones mínimas lo que se concluye en el establecimiento del equilibrio de la demanda y oferta de las aguas subterráneas en la ciudad de Santiago de Cali.

Los mapas de isohipsas en época de verano y en época de invierno del año 2013, muestra definidamente la dirección del flujo subterráneo hacia las corrientes superficiales y a escala general no se observan zonas de depresión por sobreexplotación del acuífero.

El monitoreo de niveles debe ser programado en dos épocas estacionales, seca y de lluvias y se debe llevar a cabo en las mismas fechas con el fin de consolidar los datos y establecer estadísticas sobre los descensos y recuperaciones y establecer las posibles causas que producen los leves descensos que se viene presentando.

De la contaminación por coliformes fecales presente en los piezómetros se puede inferir que posiblemente provienen del manejo que se le daba a los pozos que se encontraban fuera de uso. Otra de las causas puede ser las fugas de los alcantarillados; la mala terminación de los aljibes permite el ingreso de aguas de escurrimiento con bacterias producidas por las fecales de animales.

Una de las principales medidas para iniciar la descontaminación es realizar la identificación de las posibles fuentes contaminantes para ello se debe realizar un inventario.

Para poder utilizar el agua para consumo humano y domestico se debe realizar tratamiento atendiendo las recomendaciones del Ministerio de la Protección Social.

Con relación al tema de caracterización se deben programar muestreos realizando muestreos a los iones mayoritarios cloruros, sulfatos, bicarbonatos, nitratos, carbonatos, calcio, sodio, magnesio y potasio entre los gases se debe considerar el CO<sub>2</sub> y el oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>)



## 14 RECOMENDACIONES

Como primera medida se deberán identificar las actividades que implican alto riesgo para la contaminación de las aguas subterráneas, como las estaciones de servicio tanques de almacenamiento de sustancias tóxicas, vertimientos industriales, sistemas de tratamiento de aguas residuales etc.

Posteriormente el DAGMA se deberá exigir a los responsables de cada una de estas actividades, el muestreo y análisis periódico (la periodicidad dependerá de los resultados del primer muestreo) de la calidad del agua subterránea indicándole además los parámetros que debe determinar.

El DAGMA además deberá programar campañas de monitoreos en la red de piezómetros construidos con el fin de vigilar la calidad del agua subterránea esta programación se debe realizar dos veces al año. La primera fase se debe llevar a cabo en época de pocas lluvias y la segunda en temporada de lluvias

Con el fin de determinar los procesos básicos, la composición química y la dinámica obtener información que permita conocer el estado básico y la dinámica del agua subterránea se deben medir u observar las siguientes variables para obtener la información necesaria

Nivel Piezométricos (m).  
Espesor del Acuífero (m).  
Profundidad (m).  
Gradiente Hidráulico (m/m).  
Área del Acuífero ( $m^2$  o  $km^2$ ).  
Conductividad Hidráulica (m/día).  
Transmisividad ( $m^2/día$ ).

Ademas con el fin de comparar los resultados medidos en anteriores campañas se deben medir los siguientes parámetros físico químicos en aquellos piezómetros donde no se tiene esta información iones mayoritarios Calcio Magnesio, Sodio Potasio, Cloruros , Sulfatos Nitratos y Carbonatos.

pH.  
Temperatura.  
Conductividad Eléctrica.  
Coliformes Totales y Fecales.  
Potencial de oxidación – reducción.

En ocasiones se debe incluir el ion ferroso Fe, (II-III) Nitritos, Magnesio, Plomo, Arsénico.

Entre los gases se deben considerar como fundamentales el anhídrido carbónico  $\text{CO}_2$  y el oxígeno disuelto  $\text{O}_2$

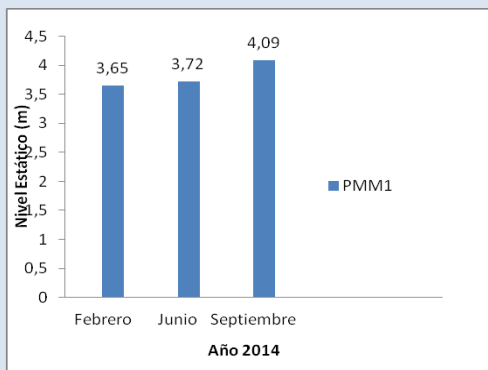
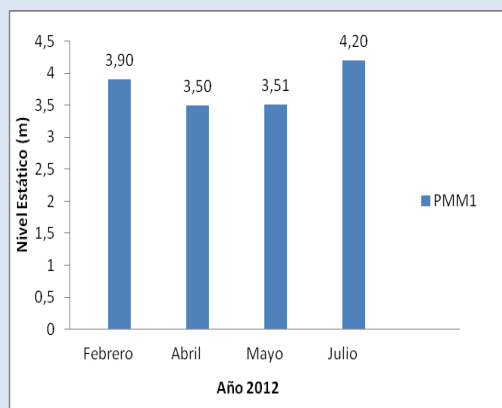
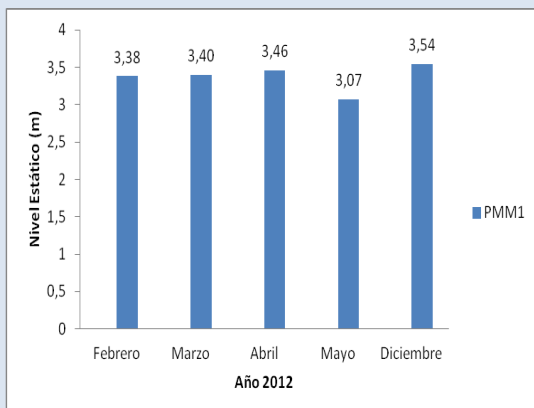
Parámetros fisicoquímicos color, turbidez, sabor, temperatura, conductividad eléctrica, dureza y pH, DQO, Sólidos Totales, Dureza Total, Alcalinidad, Fosfatos, Fenoles Hidrocarburos Totales, Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos

Dependiendo del tipo de uso se deberían considerar adicionalmente variables de calidad que establece el decreto 1594 de 1984.

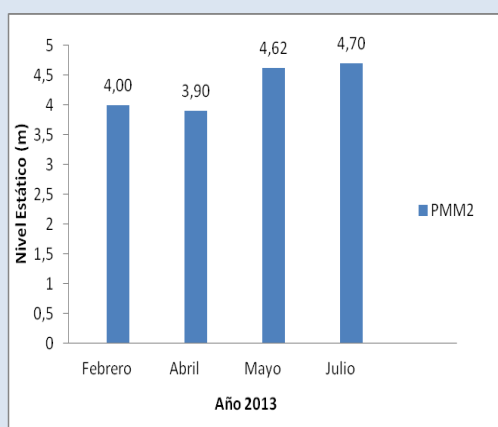
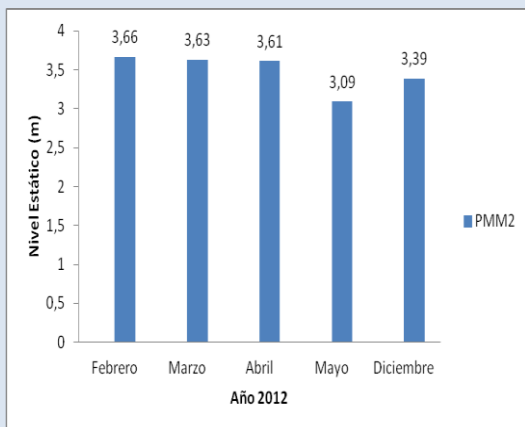
Toda la información recolectada por el DAGMA y suministrada por los usuarios una vez validada debe almacenarse en una base de datos para su evaluación y toma de decisiones.

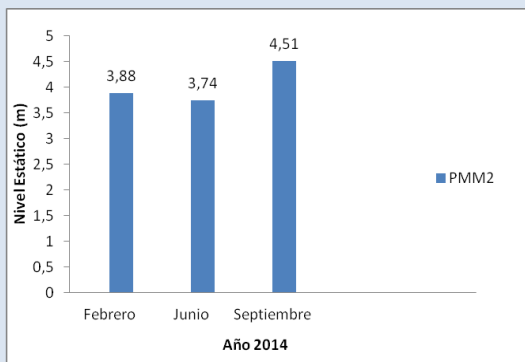
El trabajo de recolección, variación, procesamiento y evaluación de la información deberá ser realizado por personal capacitado en el tema.

## 15 HIDROGRAMAS MONITOREO DE NIVELES PIEZOMETRICOS 2012 -2014

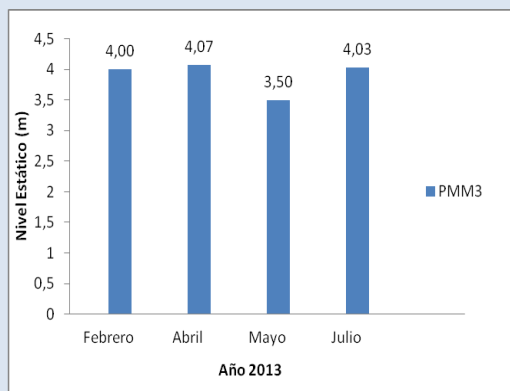
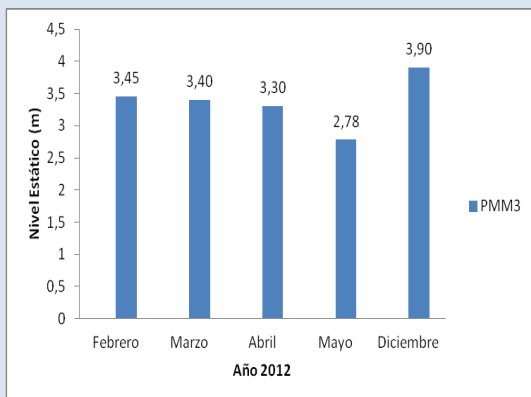


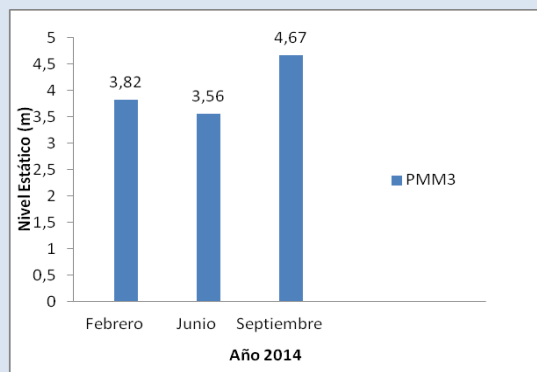
**Figura 12 Medición de Niveles Piezómetro Meléndez N° 1 - Carrera 93 Calle 2° C**



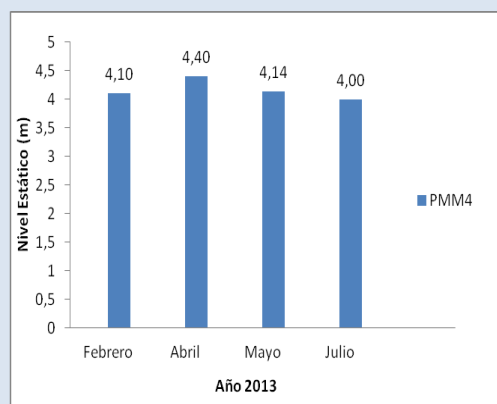
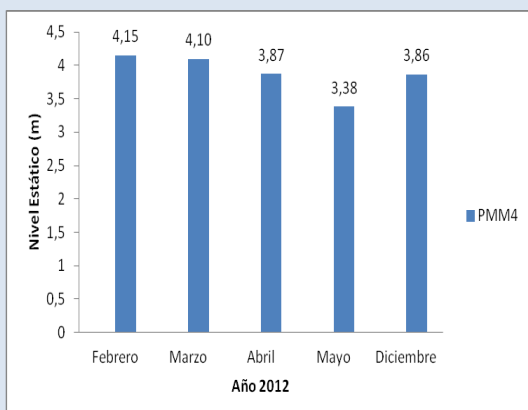


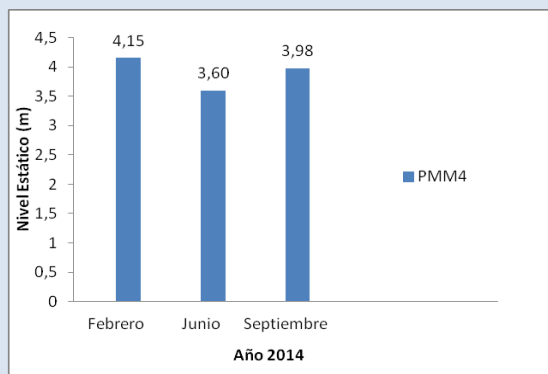
**Figura 13 Medición de Niveles Piezómetro Meléndez N° 2 – Calle 5 Carrera 80**



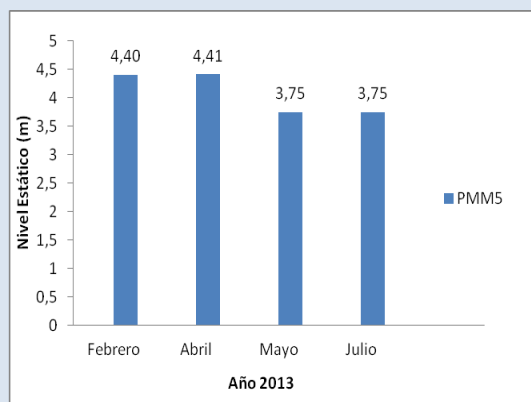
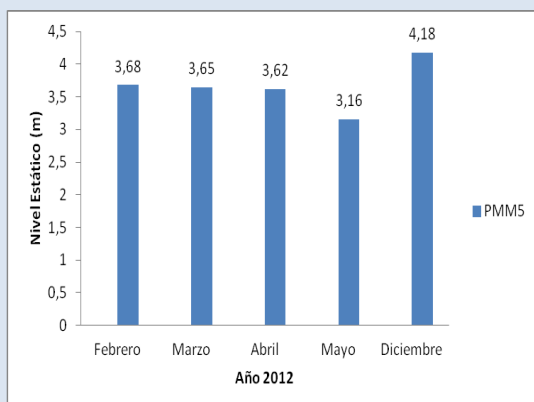


**Figura 14: Medición de Niveles Piezómetro Meléndez N° 3– Carrera 75 Calle**

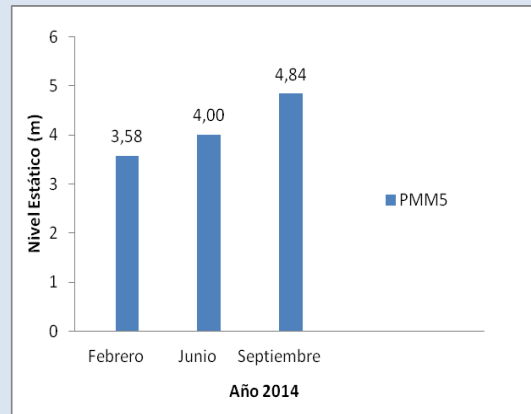




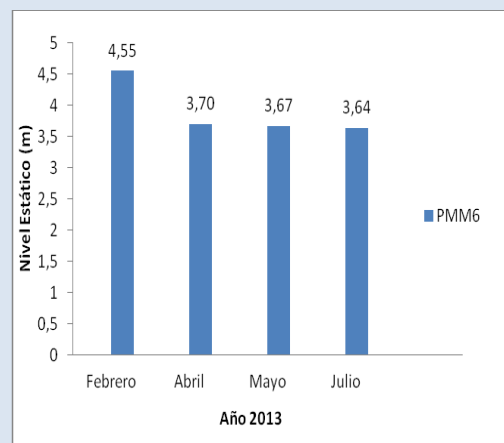
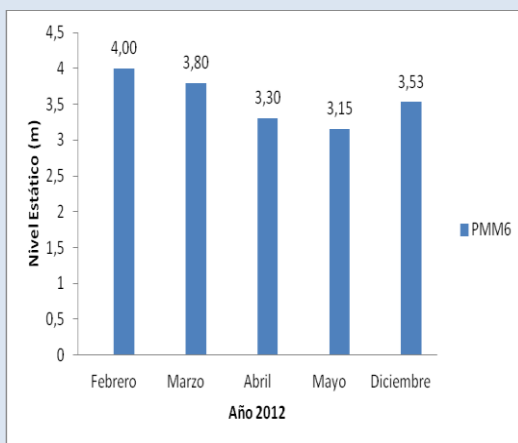
**Figura 15: Medición de Niveles Piezómetro Meléndez N° 4– Carrera 85 Calle 18**

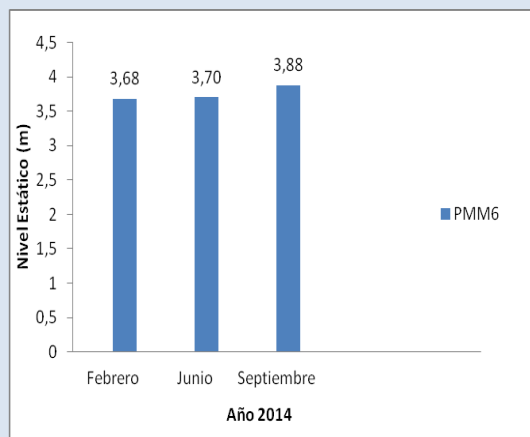




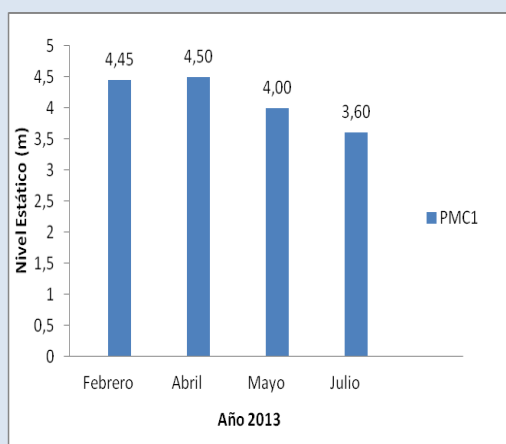
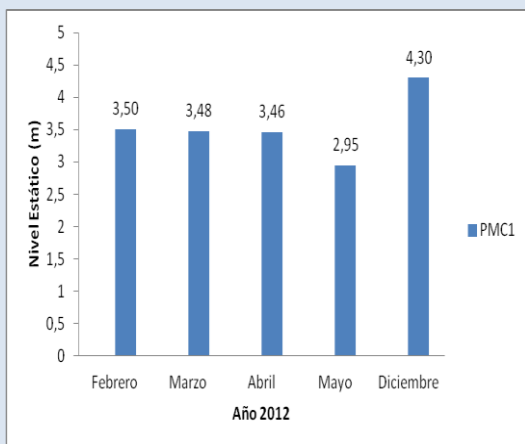


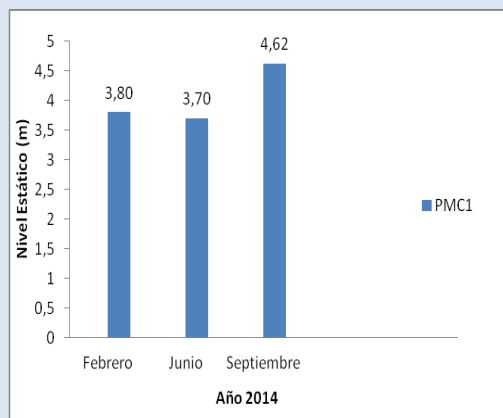
**Figura 16: Medición de Niveles Piezómetro Meléndez N° 5–Carrera 93 Calle 16**



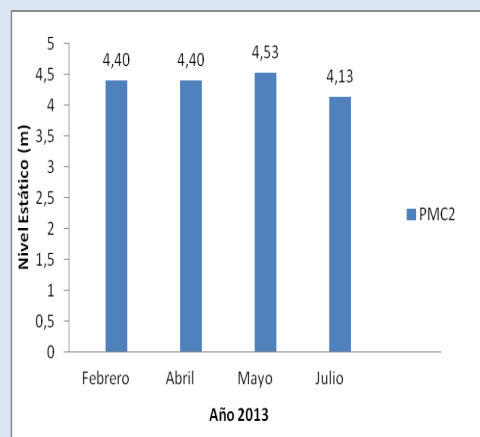
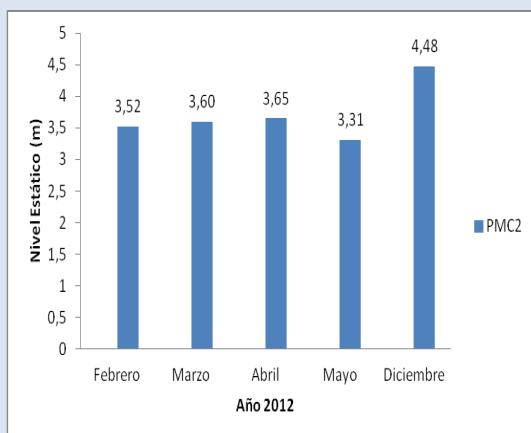


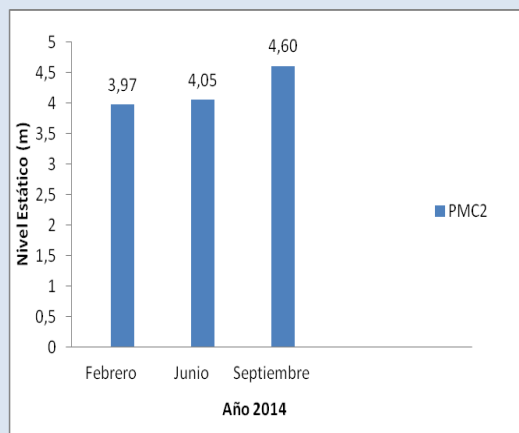
**Figura 17: Medición de niveles piezómetro Meléndez N° 6–Calle 46 Carrera 86**



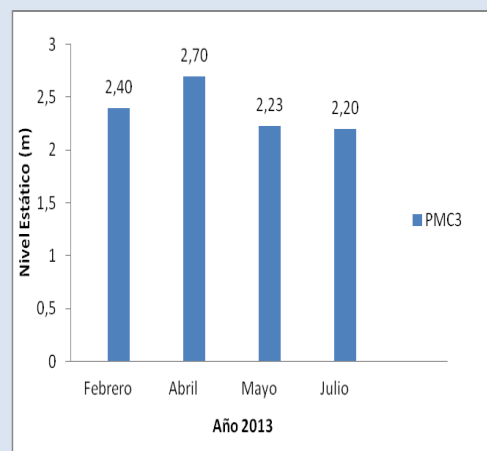
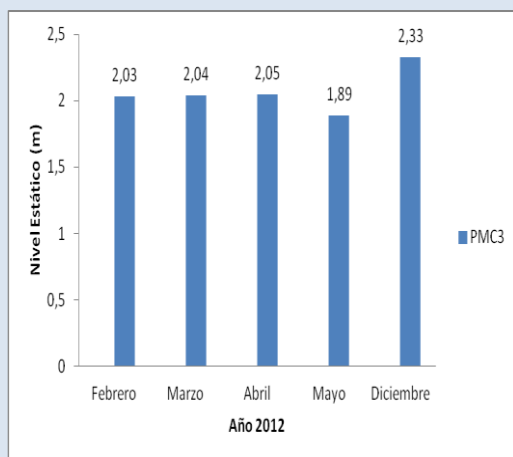


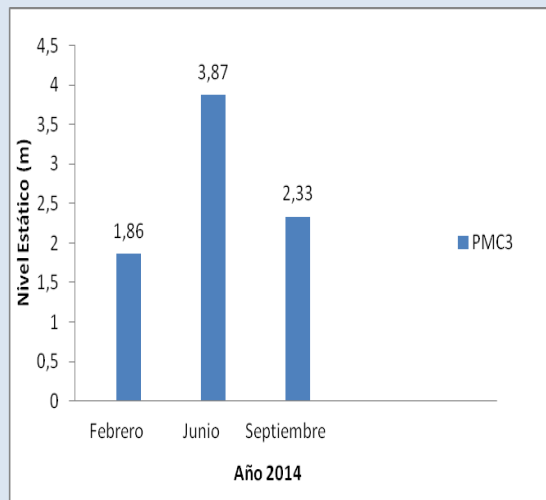
**Figura 18: Medición de Niveles Piezómetro Cauca N° 1 Carrera 67 Calle 25 bis**



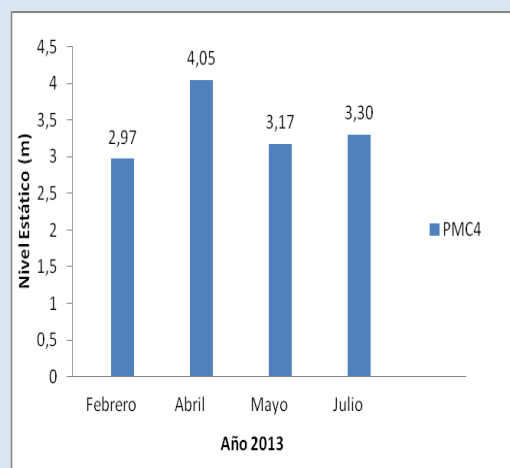
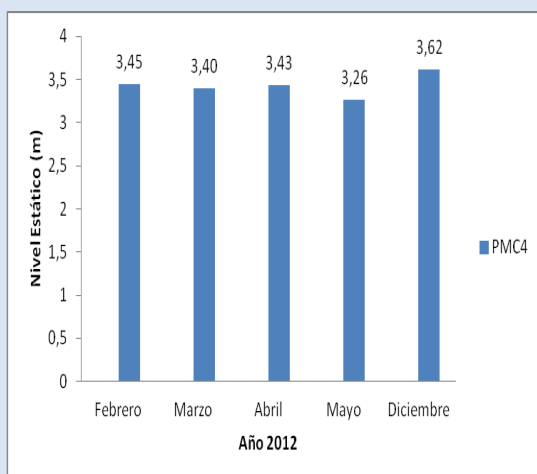


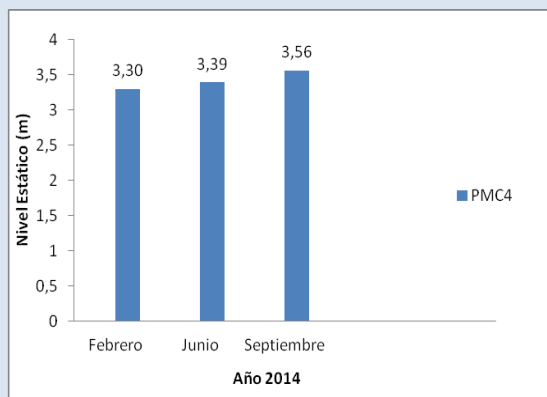
**Figura 19: Medición de Niveles Piezómetro Cauca N° 2– Calle 50 Carrera 50**



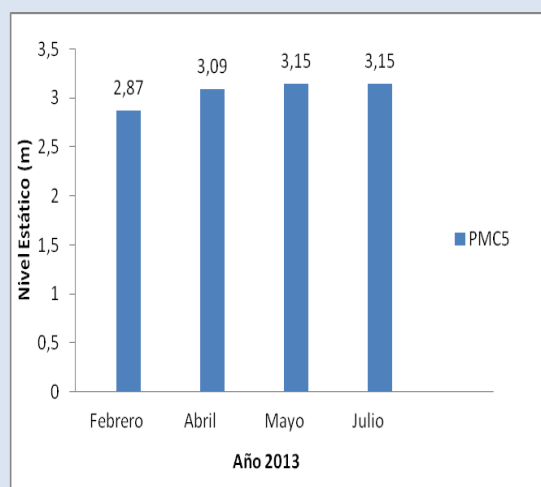
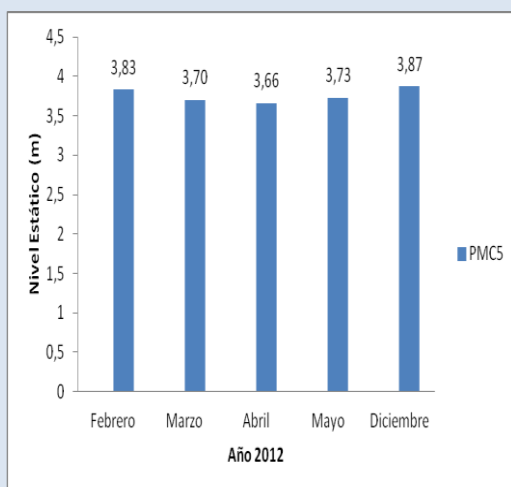


**Figura 20: Medición de Niveles Piezómetro Cauca N° 3– Carrera 41B Calle 30D**

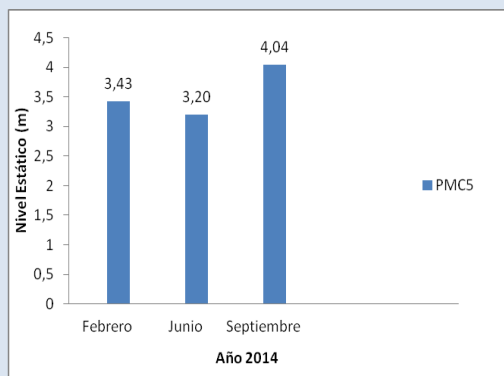




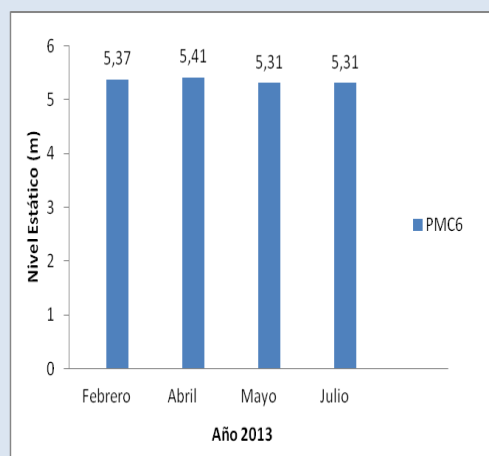
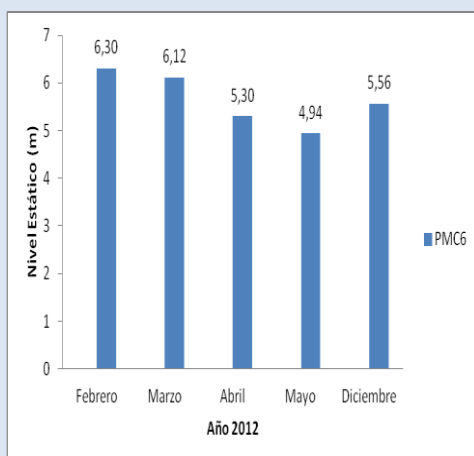
**Figura 21: Medición de Niveles Piezómetro Cauca N° 4 Carrera 28C Calle 44**

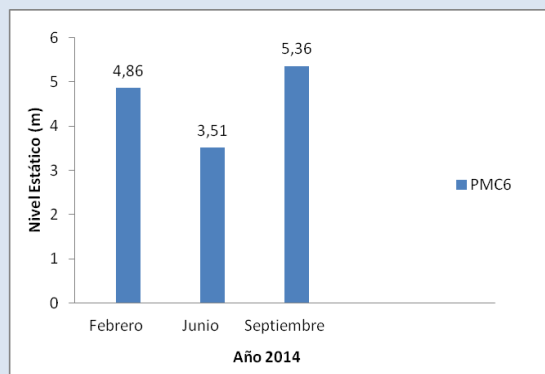




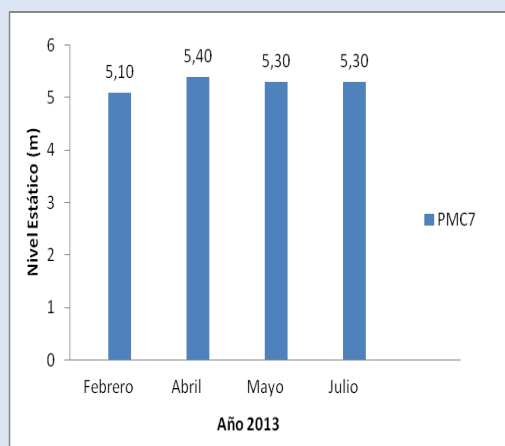


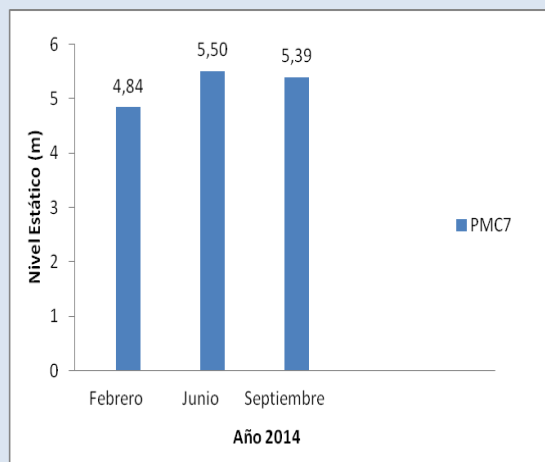
**Figura 22: Medición de Niveles Piezómetro Cauca N° 5 Diagonal 71E Calle 26E**



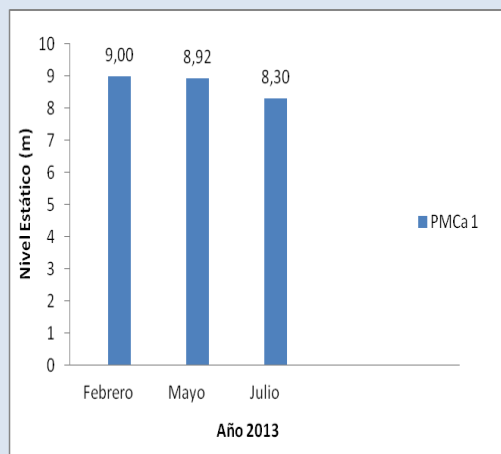
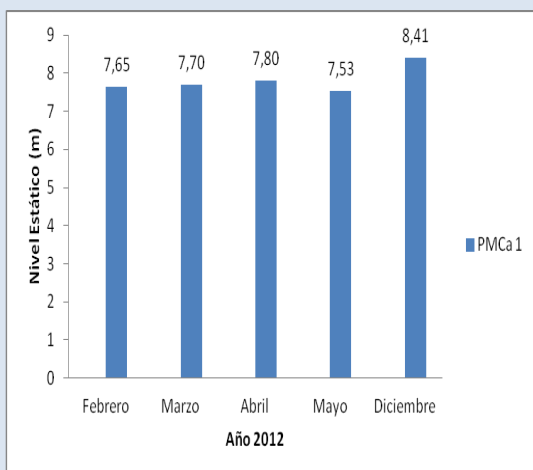


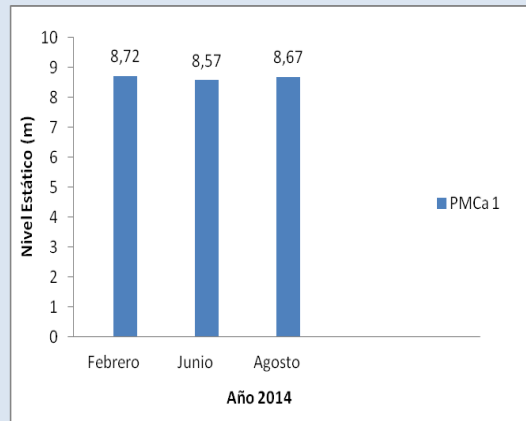
**Figura 23: Medición de Niveles Piezómetro Cauca N° 6 Calle 81 Carrera 28C**



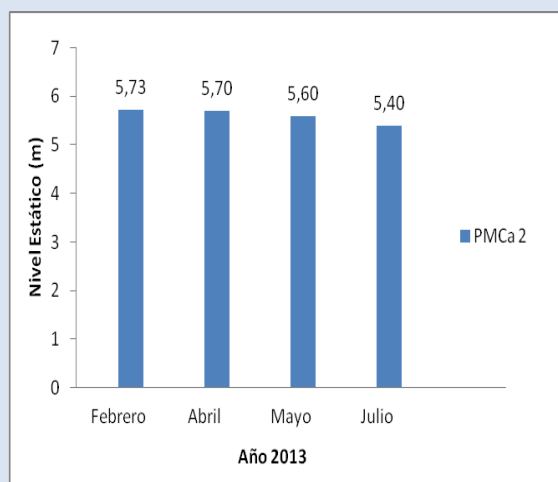
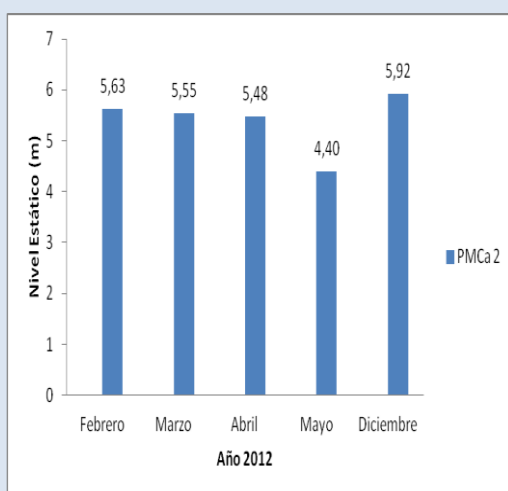


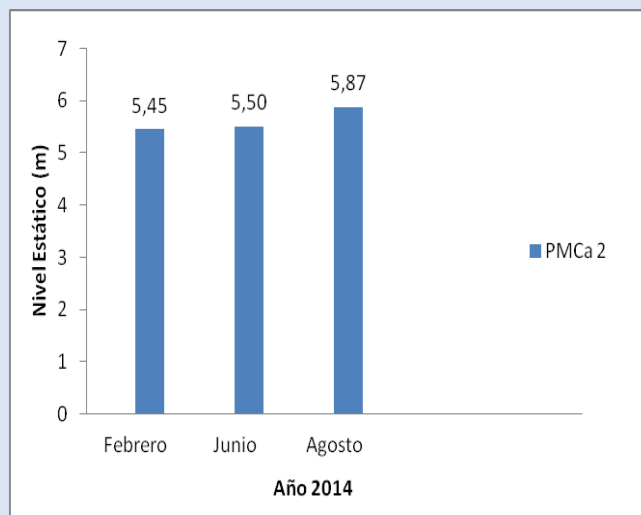
**Figura 24: Medición de Niveles Piezómetro Cauca N° 7 Calle 73A Diagonal 26C1**



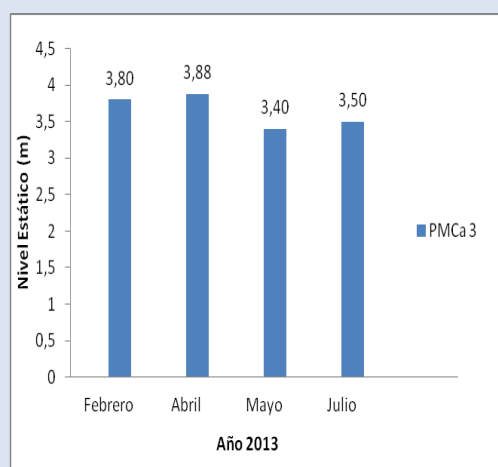
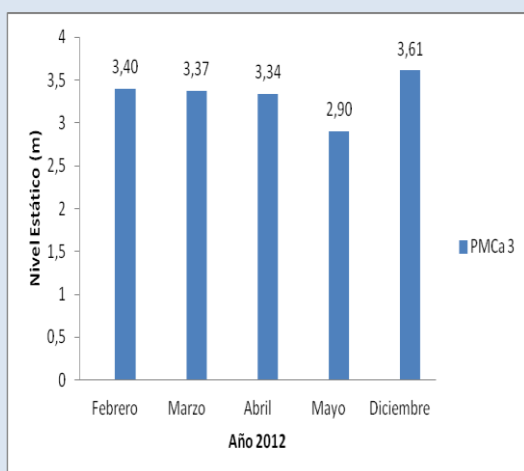


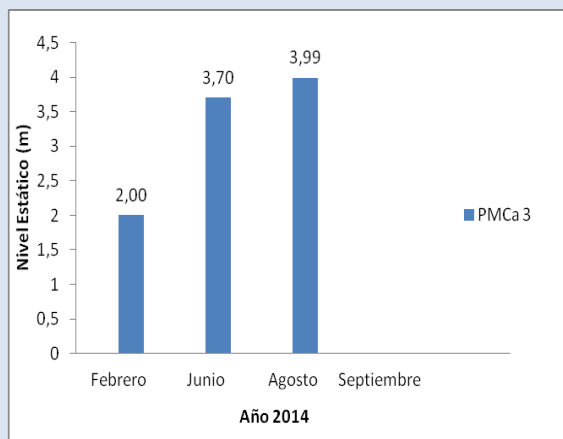
**Figura 25: Medición de Niveles Piezómetro Cali N°1 Avenida 5ANorte Calle 19N**



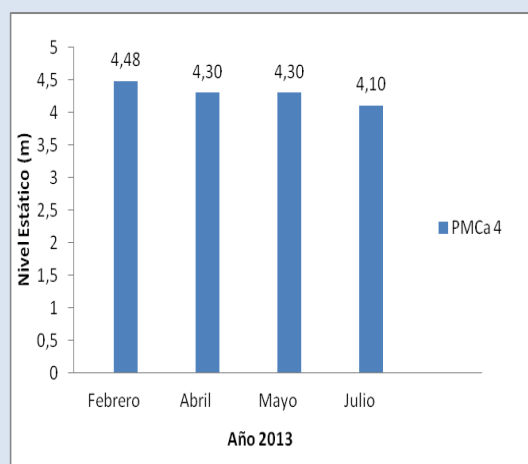
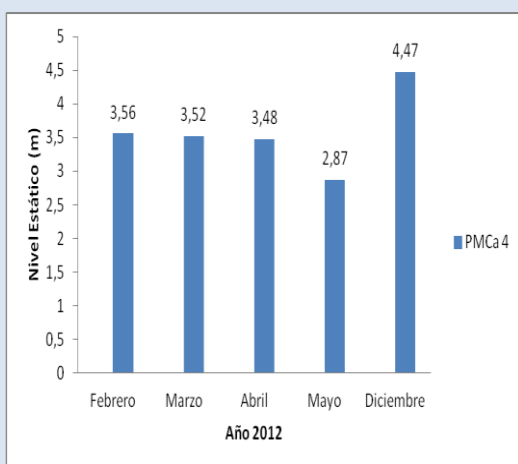


**Figura 26: Medición de Niveles Piezómetro Cali N°2 Avenida 2B Norte Calle 36N**

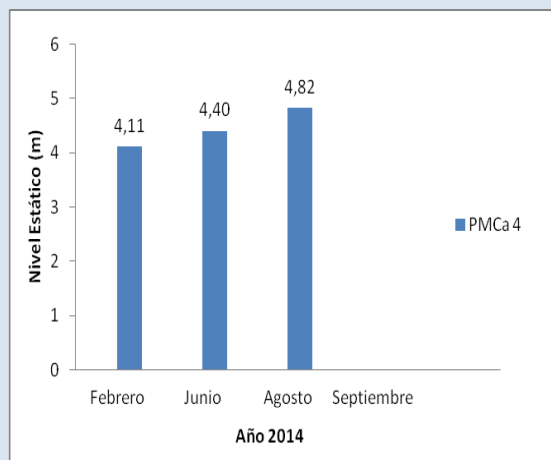




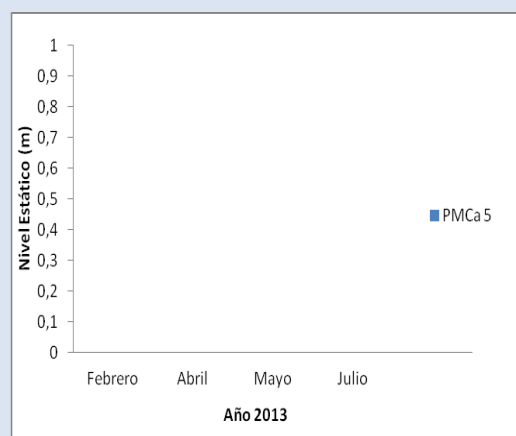
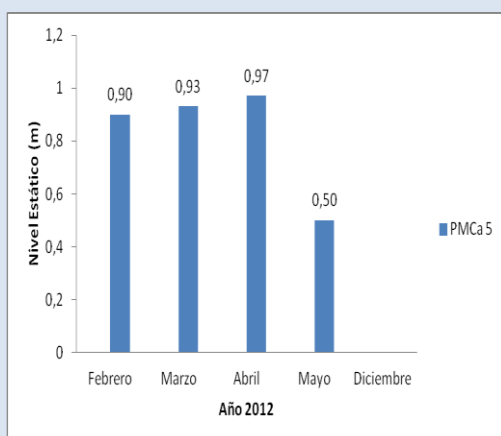
**Figura 27: Medición de Niveles Piezómetro Cali N°3 Avenida 3 Norte Calle 43**

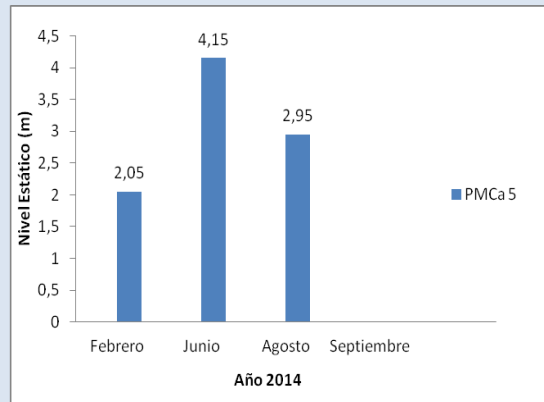




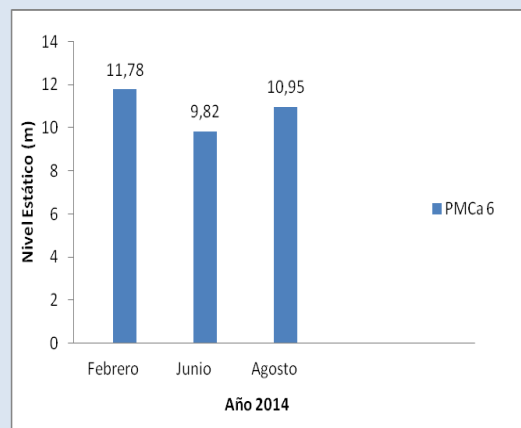
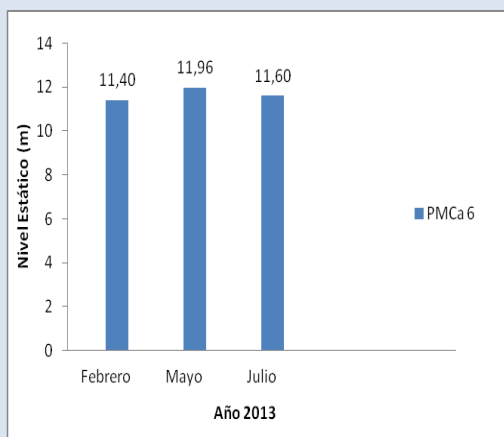


**Figura 28: Medición de Niveles Piezómetro Cali N°4 Avenida 2E Norte Calle 47 C Norte**

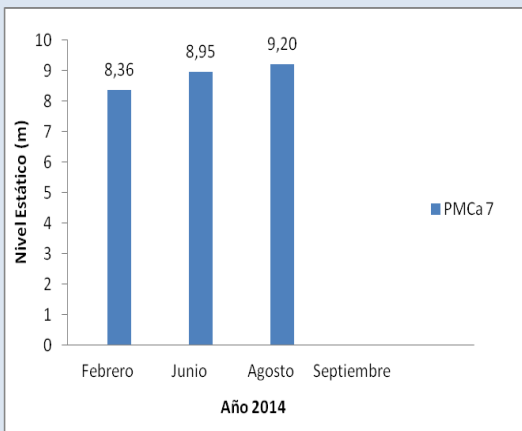
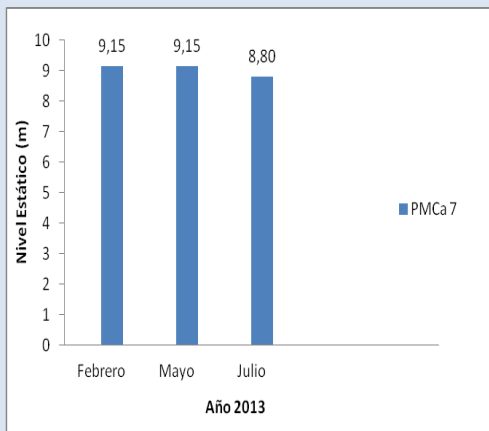




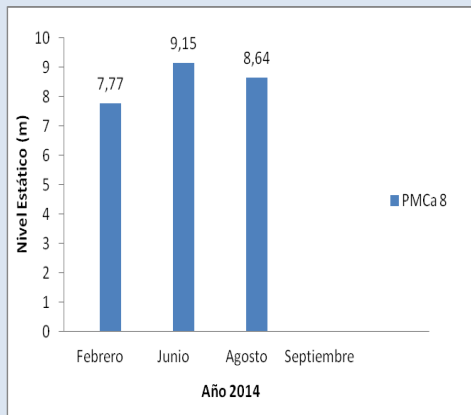
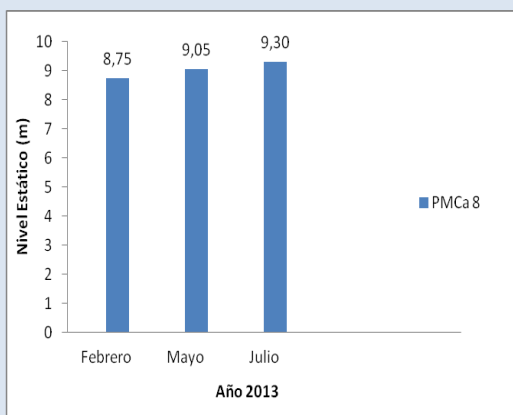
**Figura 29: Medición de Niveles Piezómetro Cali N°5 Avenida 5 Norte Calle 48 N**



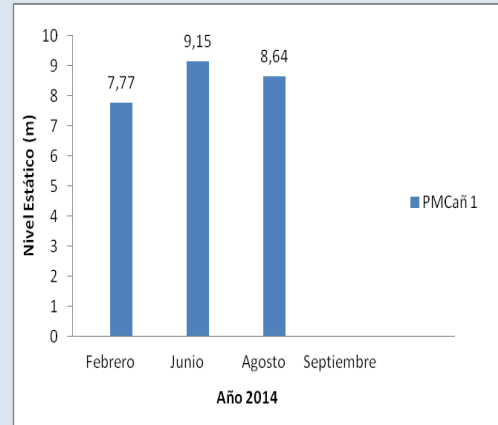
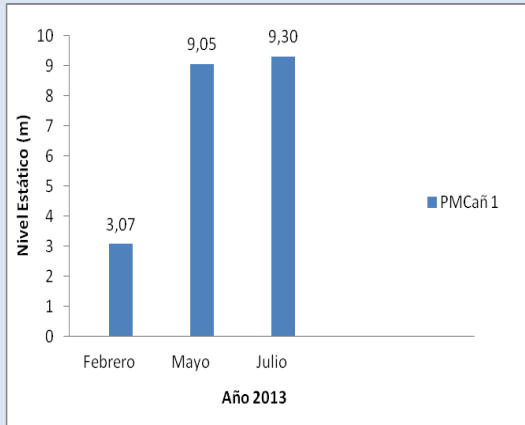
**Figura 30: Medición de Niveles Piezómetro Cali N°6 Calle 19 Carrera 5 Parque San Nicolás**



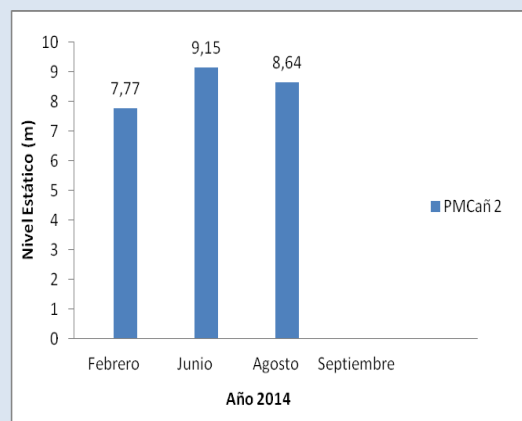
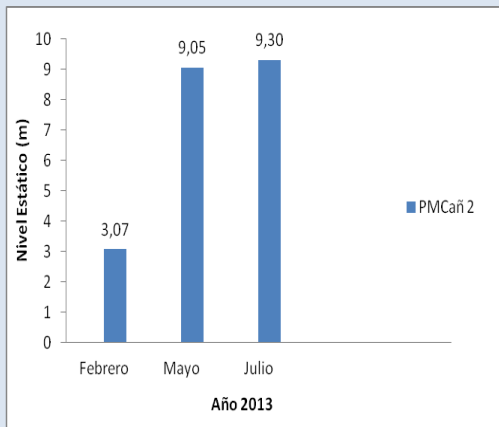
**Figura 31: Medición de Niveles Piezómetro Cali N°7 Calle 33 Carrera 2 Parque Del Barrio Santander**



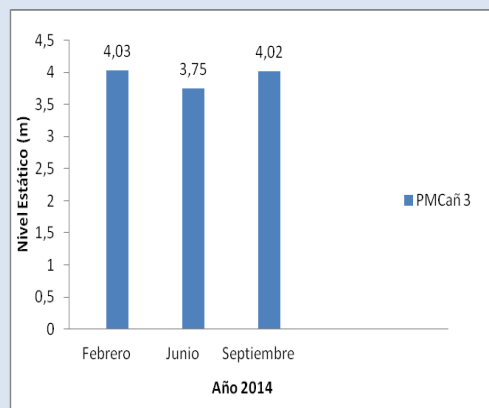
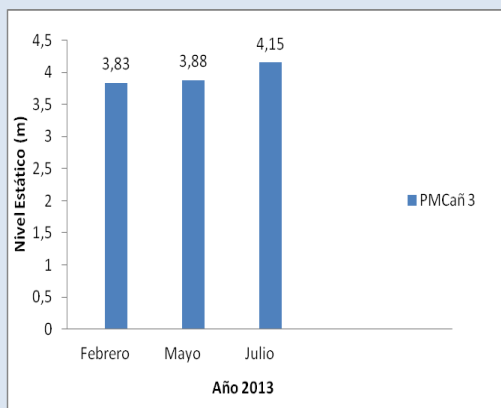
**Figura 32: Medición de Niveles Piezómetro Cali N°7 Calle 48 Carrera 1F Zona Verde Parque el Samán**



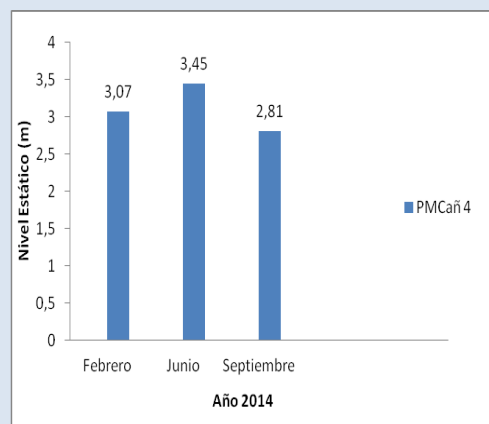
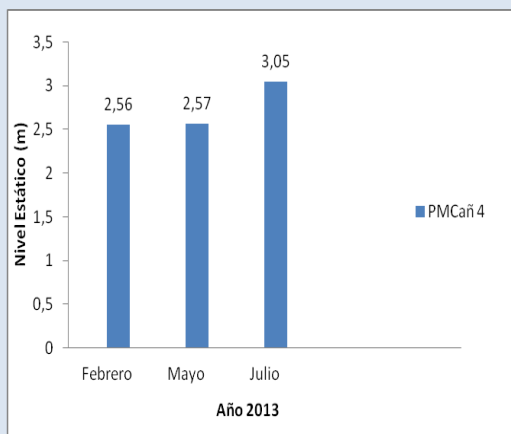
**Figura 33: Medición de Niveles Piezómetro Cañaveralejo N°1 Calle 8 carrera 55B**



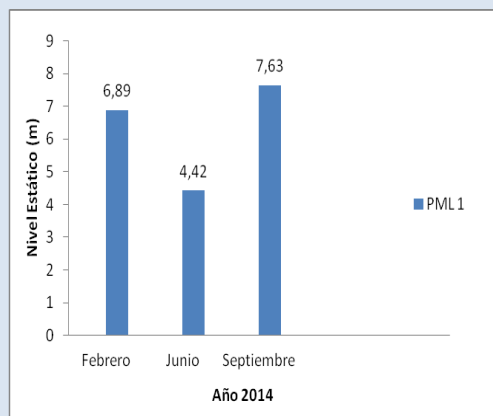
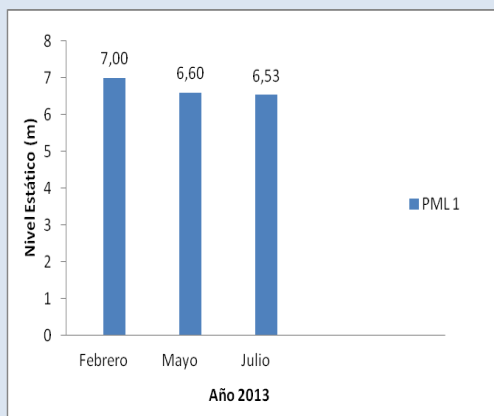
**Figura 34: Medición de Niveles Piezómetro Cañaveralejo N°2 Calle 8C Carrera 46**



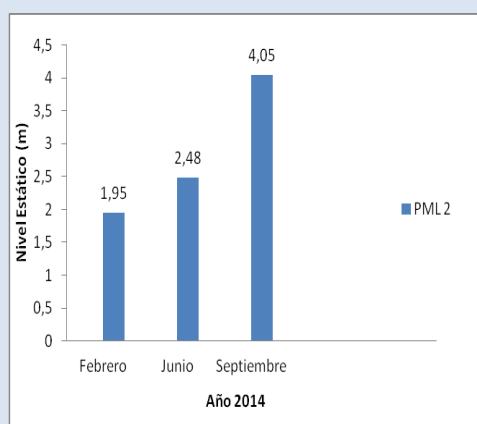
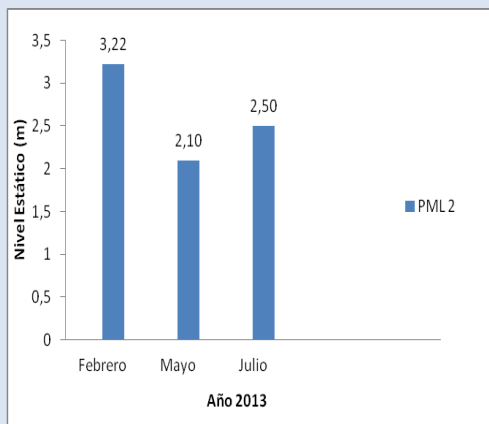
**Figura 35: Medición de Niveles Piezómetro Cañaveralejo N°3 Calle 11 Carrera 46**



**Figura 36: Medición de Niveles Piezómetro Cañaveralejo N°4 Calle 14 A Carrera 42 (CALI 10)**

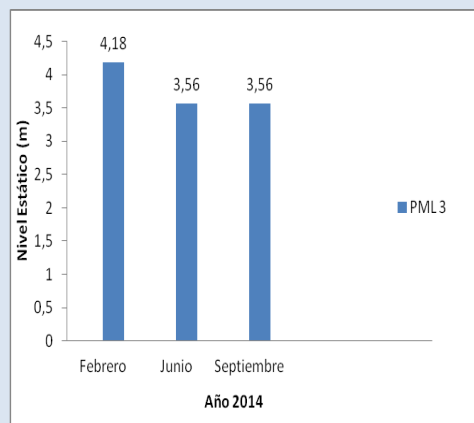
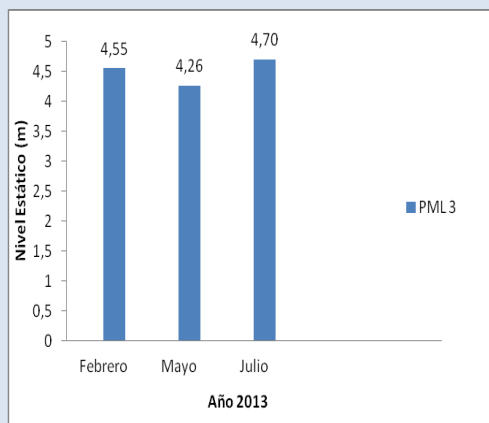


**Figura 37: Medición de Niveles Piezómetro Lili N°1 Calle 13 Carrera 102 Ciudad Jardín**

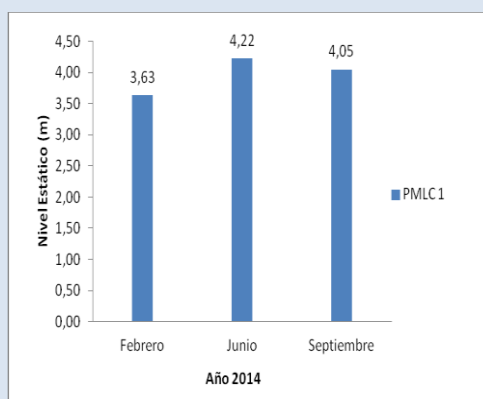
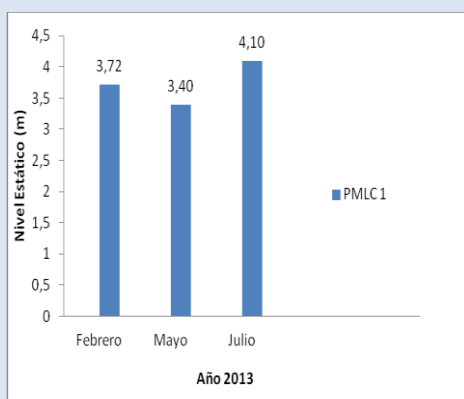


**Figura 38: Medición de Niveles Piezómetro Lili N°2 Calle 25 Carrera 100**

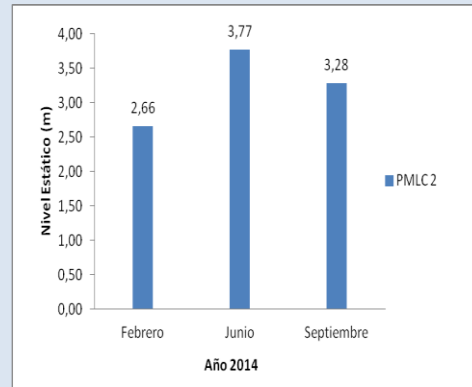
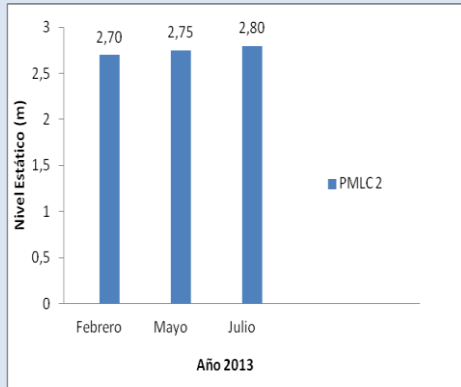




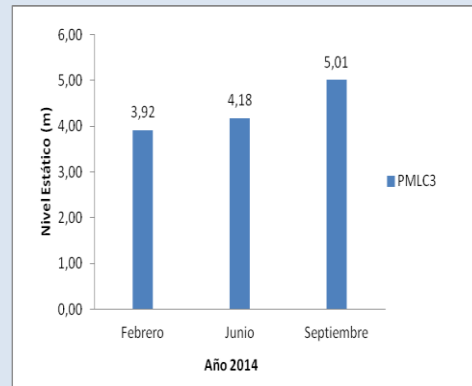
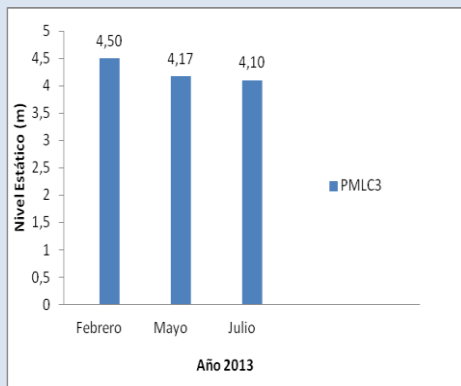
**Figura 39: Medición de Niveles Piezómetro Lili N°3 Calle 42 Carrera 98**



**Figura 40: Medición de Niveles Piezómetro Los Chorros N°1 Carrera 69 frente a 3-54**



**Figura 41: Medición de Niveles Piezómetro Los Chorros N°2 Calle 5° Carrera 66 B**



**Figura 42: Medición de Niveles Piezómetro Los Chorros N°3 B Calle 15 Carrera 58 (Parque Humedal el Limonar)**

## 16 BIBLIOGRAFIA

Banco Mundial, Gestión sustentable del agua subterránea concepto y herramientas: requerimientos de monitoreo del agua subterránea.

Banco Mundial, Protección de la Calidad del Agua subterránea.

CEPIS de calidad de aguas subterráneas una evaluación de métodos y costos



Salgado, (s.f) Luis S. Estudio de Niveles Freáticos Y Piezométricos. Recuperado el 6 de diciembre de 2012, de <http://es.scribd.com/doc/151657255/018-02-Estudio-de-Niveles-FreA%C2%A1ticos-y-PiezomA%C2%A9tricos>.

ACODAL. (1998). Estudio y Diseño de los procesos para la regulación y uso de las aguas subterráneas en el Municipio de Cali.

SAF Ltda. (2000). Estudio, Cantidad y Calidad. Acuíferos En El Área Urbana del Municipio de Cali.

CVC. (2006). Hidrogeoquímica e isotopía de los acuíferos en la zona sur del departamento del Valle del Cauca

Ministerio Del Medio Ambiente, (2002), Protección integrada del agua subterránea.

Ministerio de la Protección Social, Resolución 2115 de 2007 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