



BALANCE HÍDRICO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS



MUNICIPIO DE SANTIAGO
DE CALI

**Elaborado por: Marleny García - Ingeniera
Hidrogeóloga**

Contrato PS No. 0381 de 2010





TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	5
1 METODOLOGÍA	7
2 OBJETIVOS	9
2.1 OBJETIVO GENERAL	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	10
4 DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS DE AGUA POR CUENCA	13
4.1 CUENCA DEL RÍO CALI	13
4.2 CUENCA DEL RÍO CAUCA	14
4.3 CUENCA DEL RÍO SAN FERNANDO	15
4.4 CUENCA DEL RÍO PANCE	16
4.5 CUENCA QUEBRADA LOS CHORROS	16
4.6 CUENCA DEL RÍO MELÉNDEZ	17
4.7 CUENCA DEL RÍO CAÑAVERALEJO	18
4.8 CUENCA DEL RIO LILI	19
5 EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA	21
5.1 GEOLOGÍA	21





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

5.2 LITOESTRATIGRAFÍA.....	22
5.2.1 Rocas Ígneas.....	22
5.2.1.1 Formación Volcánica (Kv).....	22
5.2.2 Rocas y depósitos sedimentarios	24
5.2.2.1 Formación Guachinte (TOg).....	24
5.2.2.2 Formación Jamundí (TQj).....	24
5.2.2.3 Flujos de terrón colorado (TQtc).....	24
5.2.3 Unidades Geológicas Superficiales.....	24
5.2.3.1 Depósitos Cuaternarios.....	24
5.2.3.2 Formación Popayán (Qplp)	25
5.2.3.3 Flujos de Escombros (Qfe)	25
5.2.3.4 Conos o Abanicos Aluviales (Qca)	25
5.2.3.5 Cono Aluvial del Rio Pance.....	25
5.2.3.6 Cono Aluvial de Cañas Gordas	25
5.2.3.7 Cono Aluvial de Meléndez y Lili	26
5.2.3.8 Cono Aluvial de los Chorros y Cañaveralejo.....	26
5.2.3.9 Cono Aluvial de San Fernando	26
5.2.3.10 Cono Aluvial del Rio Cali	27
5.2.3.11. Cono Aluvial de Menga y el Bosque.....	27
5.2.3.12 Albardones semilunares (Q7)	27
5.2.3.13 Depósitos Aluviales Activos y Terrazas del Río Cauca (Q6).....	27
5.2.3.14 Zonas resecaadas y rellenos de cauces (Q5).....	28
5.2.3.15 Albardones Naturales (Q4)	28
5.2.3.16 Cauces antiguos abandonados y tapones arcillosos (Q3).....	28
5.2.3.17 Depósitos de pantanos aluviales (Q2)	28
5.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	28
5.3.1 Fallamiento.....	29
5.3.1.1 Sistema de Fallamiento N20° - 30°E.....	29
5.3.1.2 Sistema de Fallamiento de N40° - 50°W	29
5.4 INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA	29
6 HIDROCLIMATOLÓGIA Y BALANCE HÍDRICO	33
6.1 Ubicación General.....	33
6.2 Localización de Las Estaciones Hidroclimatológicas.....	33





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

6.3 Precipitación.....	34
6.4 Evapotranspiración	34
6.5 Caudal	35
7 BALANCE HÍDRICO.....	36
7.1 Análisis y Resultados.....	36
7.1.1 Precipitación.....	36
7.1.2 Evapotranspiración	38
7.1.3 Caudales	40
7.1.3.1. Calculo de Caudales	40
7.1.4 Balance Hídrico.....	41
7.1.5 Calculo de la Infiltración o Recarga	43
8 OFERTA DE AGUA.....	44
9 DEMANDA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	45
10 BALANCE OFERTA DEMANDA	49
11. CALCULO DEL ÍNDICE DE ESCASEZ	50
11. 1. Caudales captados en los acuíferos	50
11. 2 Volumen de agua subterránea otorgado.....	51
11. 3 Caudales explotables en los acuíferos.....	51
12 CONCLUSIONES.....	55
13 RECOMENDACIONES	57
14 BIBLIOGRAFÍA	58





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

INTRODUCCIÓN

Las aguas subterráneas constituyen un importante recurso hídrico, escondido en el subsuelo y accesible para aprovecharlo por medio de pozos y aljibes.

Los caudales de extracción son limitadas, apenas por la productividad de cada pozo o aljibe, la cual se ha definido por medio de las pruebas de bombeo y sin un adecuado conocimiento de las tasas de renovación del acuífero.

Las políticas de explotación de las aguas subterráneas, como complemento de los recursos hídricos superficiales, son frecuentemente basadas en planificación de corto plazo y pueden no ser sostenibles en el tiempo. Estas políticas son elaboradas para atender presiones por demandas para diversos usos (consumo domestico, industrial, agrícola y recreativo, etc.). El manejo sostenible de las aguas subterráneas, sin embargo tiene como objetivo usar el agua del subsuelo de tal manera que alcance un estado de equilibrio, tanto en calidad como en cantidad.

La disponibilidad de agua es un asunto vital para la planificación de cualquier desarrollo urbano, industrial o agrícola. La compatibilización de la demanda de agua para cada uso con la disponibilidad sostenible del recurso, es uno de los aspectos fundamentales en las políticas de desarrollo. El Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente DAGMA, necesita tener una base legal y la infraestructura necesaria para otorgar permisos de perforación y de extracción con la disponibilidad de agua en cada zona del acuífero, con base en datos técnicos confiables.

El agua subterránea ha ido adquiriendo vital importancia en la vida del hombre, teniendo en cuenta que estas vienen siendo utilizadas para diferentes usos tales como: consumo domestico, industrial, agrícola y recreativo de esta región.

Las aguas subterráneas se presentan como una alternativa viable, práctica y económica para satisfacer las necesidades de agua que demanda el municipio de Cali, para continuar con el desarrollo social económico creciente y constante.

El balance hídrico es la herramienta más importante para determinar el volumen de aguas subterráneas disponible y aprovechable de manera sostenible. Permite calcular el





**ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI**

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

volumen de recarga que reciben los acuíferos en un tiempo dado; y se considera como el volumen máximo a extraer para mantener el equilibrio en el sistema de aguas subterráneas. Generalmente, el volumen de agua almacenada en los acuíferos es mucho mayor que el volumen de recarga que reciben anualmente. Por lo tanto es muy importante tener bien claro, que el caudal o volumen máximo del agua disponible en una región a ser extraída, sin originar daños irreversibles al sistema y al medio ambiente, es el volumen de recarga anual que reciben los acuíferos; y esto depende en gran medida de las condiciones climáticas de la zona de extracción de los pozos existentes.





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

1 METODOLOGÍA

Durante el proceso de recolección de información para desarrollar el balance hídrico de la zona urbana del municipio de Santiago de Cali, no se encontró suficiente información dentro de la zona de estudio relacionada con estaciones hidroclimatológicas, por ello se optó por incluir dentro de este trabajo la clasificación y análisis de información de estaciones ubicadas por fuera del área de estudio.

Inicialmente se realizó un recorrido por las cuencas de los principales ríos Cali, Lili, Pance, Aguacatal, Cañaveralejo, Meléndez y la desembocadura de la quebrada Menga

El reconocimiento del área permite desde el punto de vista hidrológico, se traducen en una modificación importante de los cauces naturales de drenaje, la pérdida de capacidad de infiltración de los suelos, la disminución del almacenamiento superficial y el aumento de contaminantes del agua. De esta forma, el aumento constante de las áreas urbanizadas hace que las crecidas en zonas urbanas sean cada vez mayores, más violentas y más rápidas. (B. Fernández 2004).

Para el estudio del balance hídrico se seleccionaron seis (6) subcuencas; Cali, Cañaveralejo, Lili, Meléndez, Pance y Aguacatal teniendo en cuenta que se cuenta con la mayor cantidad de información necesaria para desarrollar este trabajo.

Del boletín hidroclimatológico preparado por la CVC se seleccionaron 23 estaciones y obtuvieron los datos de precipitación mensual multianual para cada estación; se eligió el periodo hidrológico de 24 años comprendidos entre 1985 y 2008. Posteriormente se calculó la media mensual para cada estación obteniendo finalmente la precipitación total para el área del municipio de Santiago de Cali contando con la información de 12 estaciones pluviográficas.

Para el cálculo de la evapotranspiración se tomaron como representativos solamente los datos de la estación climatológica de la universidad del Valle, con un periodo de 24 años; el método utilizado para el cálculo de la evapotranspiración fue el Tanque Evaporímetro clase A en el cual interactúan variables climatológicas (radiación solar, velocidad del viento, humedad relativa).

Para determinar el caudal de cada una de las corrientes que atraviesan el municipio de Santiago de Cali se requiere contar con información puntual de aforos tanto en la parte





**ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI**

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

alta, media y baja y en diferentes épocas del año a fin de determinar el volumen de cada una de ellas. Durante el desarrollo de este trabajo solo se conto con información de las estaciones limnigráficas ubicadas sobre los ríos Cali, Cañaveralejo, Meléndez y Pance.

Una de las herramientas utilizadas para el desarrollo del presente trabajo sin duda fue el inventario de puntos de agua, el cual nos permitió determinar el número de pozos, aljibes y manantiales que son utilizados para diferentes usos al igual que el volumen de agua concedido para las diferentes actividades





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el volumen de aguas subterráneas disponibles y aprovechables de manera sostenible. Calcular el volumen de recarga que reciben los acuíferos en un tiempo dado determinado el volumen máximo de agua disponible a fin de otorgar permisos de perforación y extracción sin causar daños irreversibles al sistema y al medio ambiente.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar, clasificar, analizar, procesar, e interpretar la información existente para determinar la oferta y demanda de aguas subterráneas, del municipio de Santiago de Cali.
- Determinar la oferta de aguas subterráneas.
- Calcular la demanda de agua subterránea de acuerdo a su uso.
- Establecer el balance oferta – demanda.
- Determinar las variables de precipitación y caudal.
- Recolectar información multianual de las estaciones que recargan los acuíferos.





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto Plan de Manejo Para La Protección De Aguas Subterráneas En El Municipio de Santiago de Cali, se trabaja en dos frentes uno que corresponde a la escala de investigación local (zona urbana y sus alrededores y otro que corresponde a la escala de investigación regional (**Tabla 1**).

Tabla 1. Información Cartográfica Consultada de Acuerdo a la Escala de Trabajo

Planos	Escala	Fuente de Información
Mapa Geológico	1:20.000	CVC
Subcuencas Hidrogeológicas	1:20.000	DAGMA
Capacidades Específicas	1.20.000	CVC

El municipio de Cali se ubica al suroccidente de Colombia en el departamento del Valle del Cauca (**Figura 1**), en las siguientes coordenadas:

- Latitud Norte: 3° - 27' - 26"
- Longitud Oeste: 76° - 31' - 42"

El municipio de Cali tiene una extensión de 560.3 Km², de los cuales 120.9 corresponden al área urbana y 16.5 a suelo de expansión en este caso el área total de estudio es de 137.4: el municipio de Santiago de Cali encuentra a una altura promedio de 1.070 metros sobre el nivel del mar, para el año 2009 contaba con una población de 2.219.633. En la cabecera municipal hay 2.183.042 habitantes y los 36.591 restantes se localizan en la zona rural.

Para el estudio del balance hídrico se seleccionaron seis (6) subcuencas; Cali, Cañaveralejo, Lili, Meléndez, Pance y Aguacatal.

Por medio del Acuerdo N° 15, de agosto 11 de 1988, se estableció La sectorización del municipio de Santiago de Cali, organizándose el área urbana en 20 comunas y el área rural en 15 corregimientos.

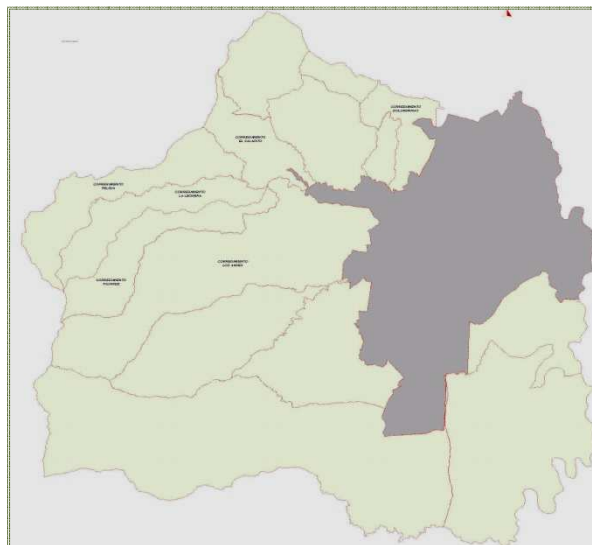
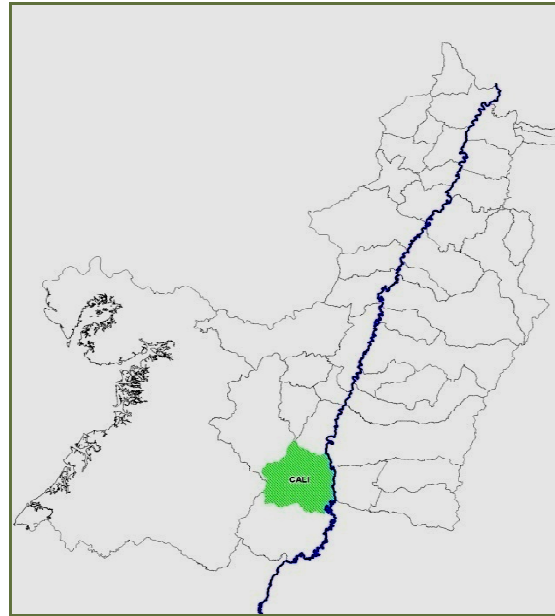
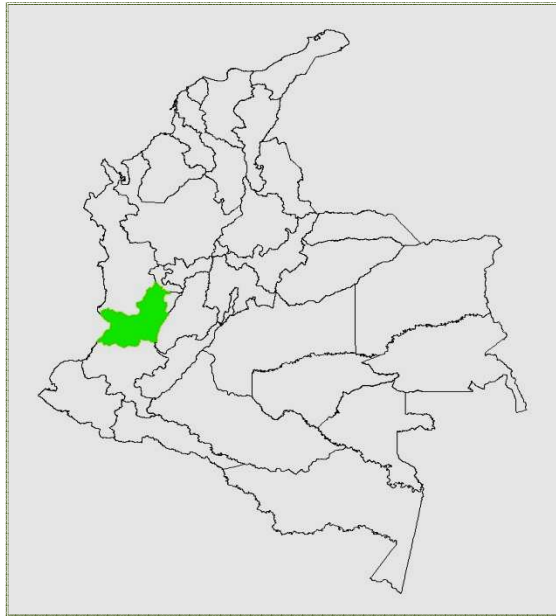
El Área urbana del municipio de Santiago de Cali, tiene una extensión de 120.9 Km² conformada por asentamientos, urbanizaciones y barrios ocupados por población de diferentes condiciones socioeconómicas.





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI
DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

Figura 1 Localización Zona De Estudio





**ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI**

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

Se distinguen como fuentes hídricas principales el río Cali, nace en la Cordillera Occidental, en el Parque Nacional Natural “Farallones de Cali” aproximadamente a 4000 msnm. y su cuenca está conformada por tres subcuencas: río Pichindé, río Felidia y río Cali. La unión de los ríos Pichindé y Felidia conforma el cauce del río Cali al cual tributan entre otras quebradas El Cabuyal, Normandía, El Buen vivir y el Río Aguacatal.

El río Cañaveralejo nace cerca del Alto del Faro (1800 msnm) en la Cuchilla de la Curtiembre mediante la unión de dos quebradas en el sector de la hacienda la Carolina. El río Cañaveralejo hace su recorrido en dirección occidente - oriente y su cauce es muy estrecho.

El río Aguacatal nace en los límites de los municipios de Dagua, La Cumbre, Yumbo y Cali y desemboca en el río Cali a la altura del barrio Normandía, tiene una longitud de 14.12 km., y abarca un área aproximada de 6179 Ha, distribuidas entre cinco corregimientos del municipio de Santiago de Cali (Golondrinas, La Castilla, La Paz, La Elvira y el Saladito) y el barrio Terrón Colorado (área urbana).

El río Lili, nace en las estribaciones de la cordillera Occidental a una altura 1700 msnm en el sector de Villa Carmelo y tributa sus aguas en el canal interceptor a los 950 msnm, desde su nacimiento hasta su desembocadura tiene una longitud de 20 km. La cuenca tiene un área de 1667 Ha.

El río Meléndez nace en la cordillera Occidental en la cota 2800 msnm dentro del Parque Nacional Natural Los Farallones de Cali, cuenta con una longitud aproximada de 25 km y un área estimada de 3.832 Ha.

El río Pance nace en el parque Nacional los Farallones a una altura de 4.200 msnm y desemboca en el río Jamundí.





ALCALDÍA DE SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

4 DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS DE AGUA POR CUENCA

Utilizando y procesando la información del inventario de puntos de agua se determino el número de pozos, aljibes existentes en cada una de las cuencas hidrogeológicas del municipio de Santiago Cali, igualmente se identifico que las aguas subterráneas se utilizan en mayor porcentaje para uso industrial, seguido del riego en actividades tales como prestación de servicios públicos, aseo de instalaciones, procesos industriales, lavado de vehículos refrigeración de equipos, riego de zonas verdes y aseo de áreas comunes.

4.1 CUENCA DEL RÍO CALI

Esta cuenca cuenta con 201 puntos de agua subterránea de los cuales 128 son aljibes, equivalentes a 63,7 %, 72 pozos equivalentes a 35,8% y una galería filtrante equivalente a 0,5 % El uso industrial ocupa el mayor porcentaje con de 58.5 en aljibes y 48.6 para los pozos. Así observa en la grafica No. 1,2 y 3

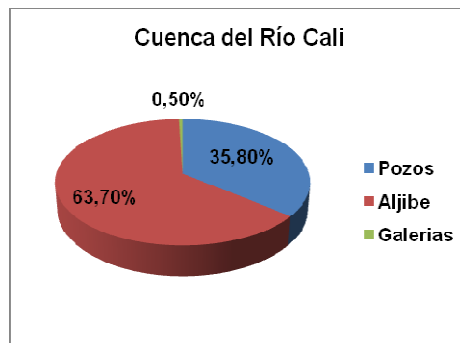


Grafico 1.

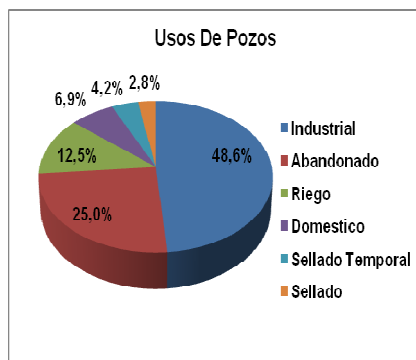


Grafico No 2

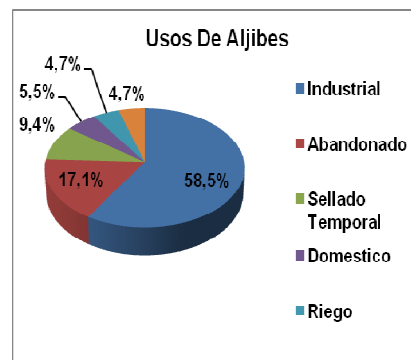


Grafico No 3.





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

4.2 CUENCA DEL RÍO CAUCA

La grafica Nos 4, 5, y 6 nos muestran que sobre esta cuenca se encuentra 78 pozos y 43 aljibes para un total de 121 puntos, de los cuales el 64,5 % son pozos y el 35,5 % son aljibes siendo el riego el que mayor porcentaje alcanza para los pozos y uso industrial para los aljibes. el mayor porcentaje; el riego ocupa el porcentaje más alto con un 39,7 para los pozos y para los aljibes el uso industrial ocupa el 60,5% en los aljibes, así queda plasmado en las graficas 4, 5 y 6.

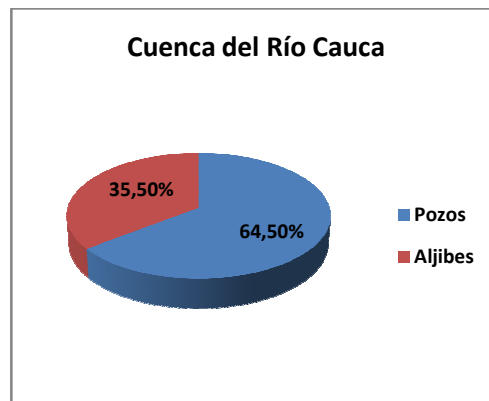


Grafico 4

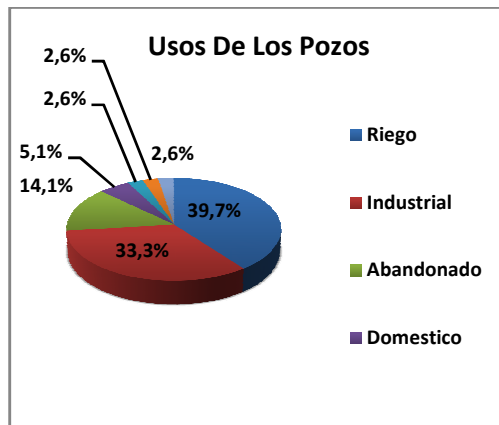


Grafico No 5.

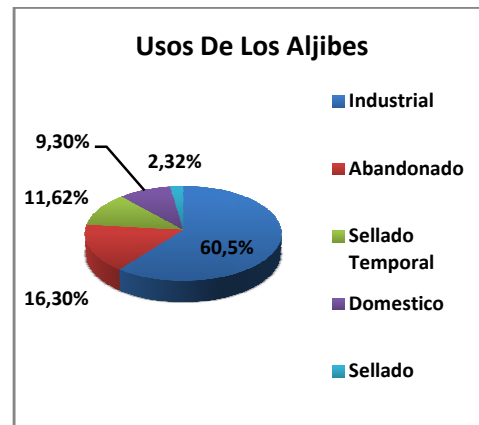


Grafico No 6.





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

4.3 CUENCA DEL RÍO SAN FERNANDO

La cuenca San Fernando cuenta con 53 puntos inventariados de ellos 27 son pozos que equivalen a 51 % y 49 % son los 26 aljibes. El porcentaje de pozos abandonados y el uso industrial ocupa el primer puesto en los pozos profundos, en los aljibes el 73,1% lo ocupa el uso industrial ver graficas 7, 8 y 9.

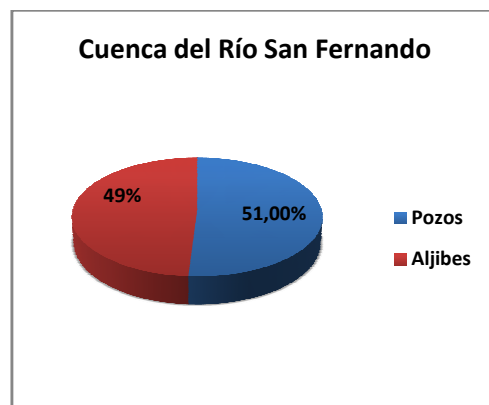


Gráfico No 7.

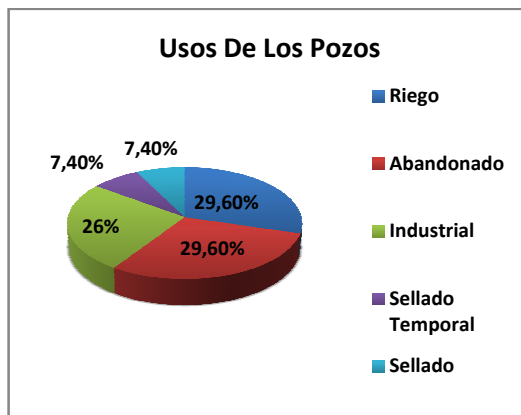


Gráfico No 8.

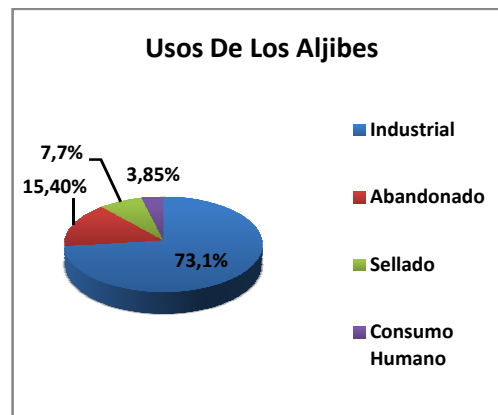


Gráfico No 9.





ALCALDÍA DE SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

4.4 CUENCA DEL RÍO PANCE

Esta cuenca tiene inventariado 51 puntos 46 aljibes, pozos 4 y una galería filtrante, El 50 % lo ocupa el uso domestico en los pozos y los aljibes del 60,9 % así se observa en las graficas 10, 11 y 12.

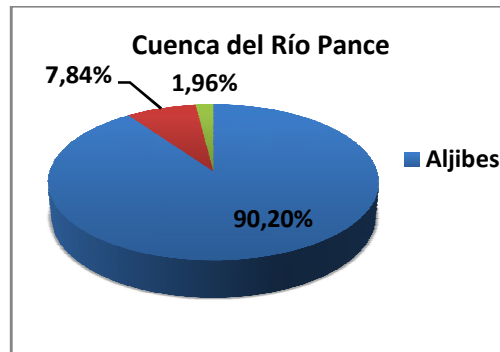


Gráfico No 10.

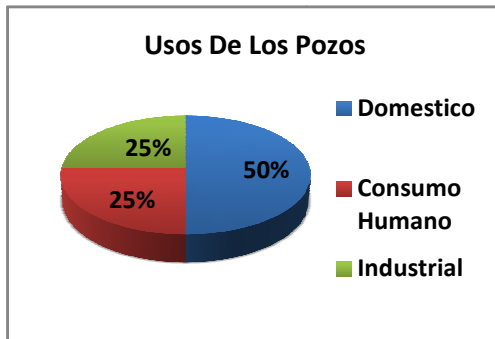


Gráfico No 11.

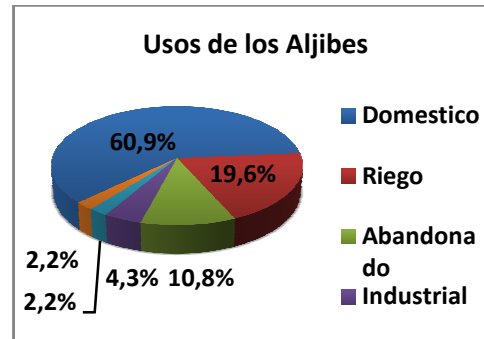
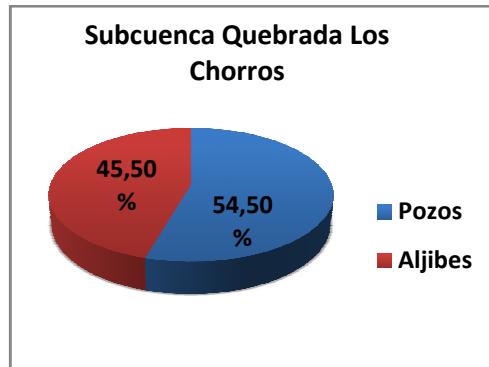


Gráfico No 12.

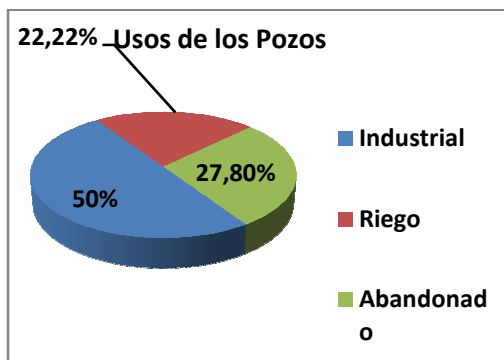
4.5 CUENCA QUEBRADA LOS CHORROS

La grafica No. 13 nos muestra que esta cuenca cuenta con 33 puntos inventariados, de los cuales 18 son pozos y 15 son aljibes. El uso industrial ocupa el porcentaje más alto tanto en aljibes del 90,3 % como en los pozos del 50 % así se observa en las graficas 14 y 15

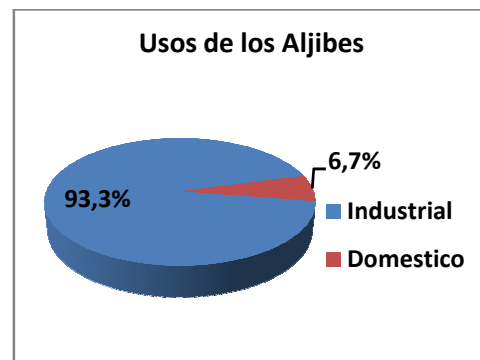




Grafica No. 13



Grafica No. 14

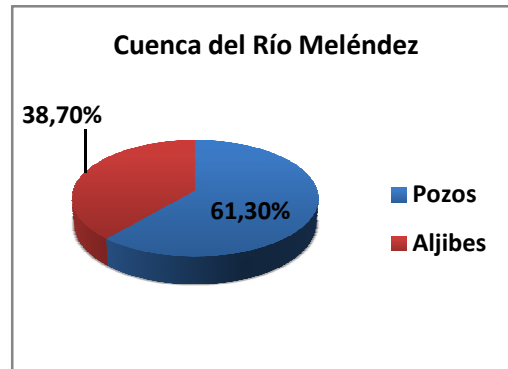


Grafica No. 15

4.6 CUENCA DEL RÍO MELÉNDEZ

Esta cuenca cuenta con 31 puntos de agua subterránea de los cuales 19 son pozos equivalentes al 61,3 % y 12 aljibes que equivalen al 38,7 son aljibes de los 19 pozos el 57,9 % se utilizan para riego y de los 12 aljibes el 46,1 % se utiliza para uso industrial, graficas 16 17 y 18





Grafica No 16

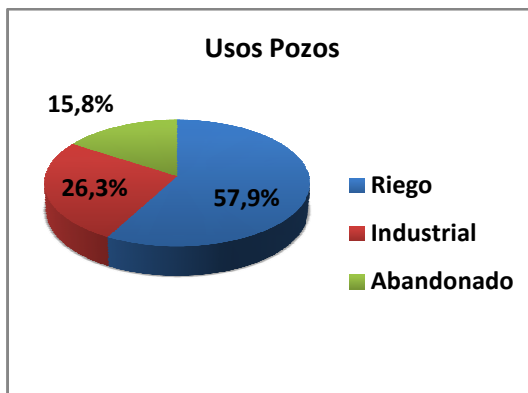


Grafico No 17.

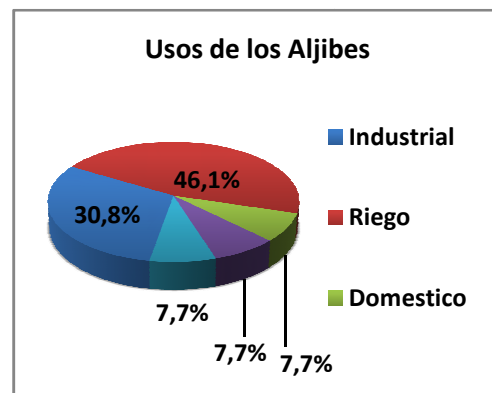


Grafico No 18.

4.7 CUENCA DEL RÍO CAÑAVERALEJO

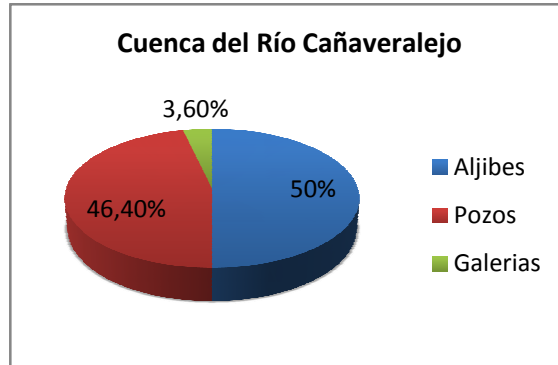
En la grafica 19 se aprecia el inventario de puntos de agua subterránea sobre la cuenca del Cañaveralejo, 28 puntos en total de los cuales son 14 aljibes equivalentes a 50 %, 13 pozos equivalentes 46,4 % y 1 galería que equivale al 3,6 %. Con relación al uso el mayor porcentaje lo ocupa el industrial con un 46,2 % para los pozos y el 57 % para los aljibes Ver gráficos 20 y 21.





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE



Grafica No. 19

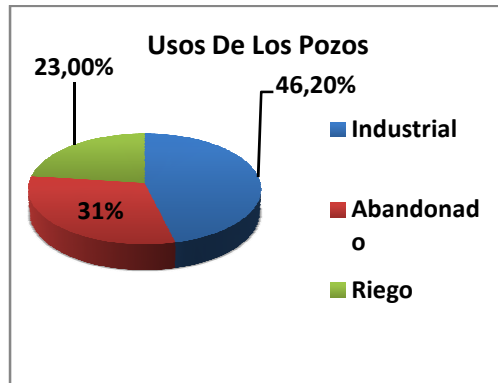


Grafico No 20

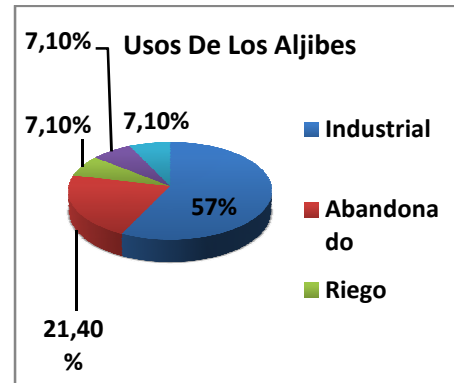


Grafico No 21

4.8 CUENCA DEL RIO LILI

La cueca del rio Lili es la que menor número de pozos y aljibes presenta en su inventario en total son 10 de los cuales 6 son aljibes y 4 son pozos, los usos son 50 % industriales y 50 % riego para los pozos en los aljibes el 50% es para riego y el otro 50 % están en abandono gráficos 22, 23 y 24





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI
DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

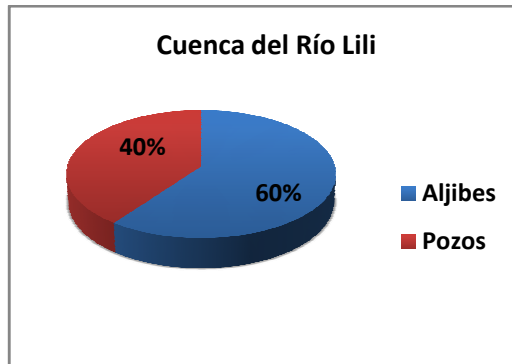


Grafico No. 22

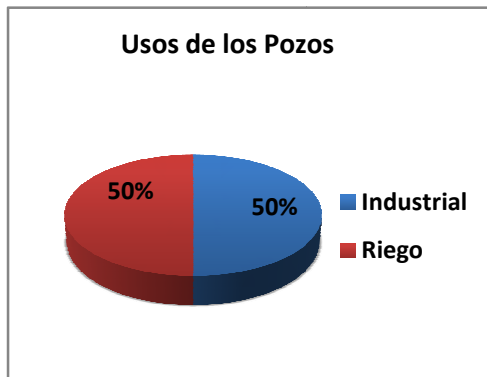


Grafico No. 23



Grafico No. 24





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

5 EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA

Para implementar el manejo sostenible del recurso hídrico subterráneo se deben realizar estudios que agrupen los siguientes componentes:

Disponibilidad: la cantidad de agua almacenada en el acuífero, su dinámica, fuentes de recarga, áreas y volúmenes de recarga, esta información es básica y se requiere para la selección y optimización de los sitios de perforación y volúmenes sostenibles de bombeo.

Demanda: La distribución geográfica de las demandas actuales de agua y las tendencias futuras, para los diversos usos, necesita ser estimada. Los recursos hídricos superficiales existentes en el área atienden parte de la demanda, las aguas subterráneas cubren actualmente los déficits.

Calidad: las consecuencias de la contaminación de las aguas subterráneas son serias. Debido a su dinámica lenta, una vez contaminadas, las acciones correctivas son muy costosas y de baja eficiencia. Es necesario por ello implementar medidas preventivas para determinar el riesgo la cual permite implementar medidas de protección de los acuíferos. Para desarrollar el siguiente trabajo se requiere evaluar la siguiente información:

- Identificación de las subcuencas del municipio de Cali
- Determinar la demanda de agua para los diferentes usos
- Geología
- Inventario de puntos de agua
- Hidrología
- Potencial acuífero existente
- Hidrogeología tipos de acuíferos y características
- Oferta de agua necesaria para diferentes usos

5.1 GEOLOGÍA

La zona de estudio se enmarca dentro de lo que han llamado diversos autores como el Graben del Cauca, limitado por las cordilleras central y Occidental, y en cuyo centro se encuentra el basamento hundido, formado por rocas ígneas básicas de edad Cretácea y rocas sedimentarias de edad Terciaria sobre las cuales se emplazaron los depósitos cuaternarios los cuales son catalogados hidrogeológicamente de gran importancia por ser almacenadores de agua.





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

Durante el desarrollo del estudio de Microzonificación Sísmica para el municipio de Santiago de Cali se identificaron y separaron unidades geológicas y geológicas superficiales basadas en las características geomorfológicas y geológicas de la zona. De esta manera fue dividida en dos grandes áreas: la primera correspondiente a la zona montañosa localizada al occidente del municipio, donde predominan rocas volcánicas cretácicas (Formación Volcánica), suprayacidas por rocas sedimentarias Terciarias (Formación Guachinte), depósitos Plio-Pleistocénicos (Formación Jamundí) y depósitos Fluvio-Volcánicos (Formación Terrón Colorado) y depósitos Cuaternarios recientes (coluviones y aluviones). La segunda zona, corresponde al valle aluvial del río Cauca, compuesta por depósitos cuaternarios recientes, que conforma una zona plana, la cual se extiende hacia el extremo oriental del área de estudio. Esta zona está cubierta parcialmente por abanicos aluviales sobre la cuales se ubica la mayor parte de la ciudad de Santiago de Cali.

5.2 LITOESTRATIGRAFÍA

Descripción de las unidades litoestratigráficas que afloran en el área de estudio de la más antigua a la más joven

5.2.1 Rocas Ígneas

5.2.1.1 Formación Volcánica (Kv)

Corresponde a diabasas y microgabros con intercalaciones menores de lavas almohadilladas, con abundantes fracturas y moderada a alta meteorización. También se presentan intercalaciones de niveles delgados de roca sedimentaria conformados por limonitas.

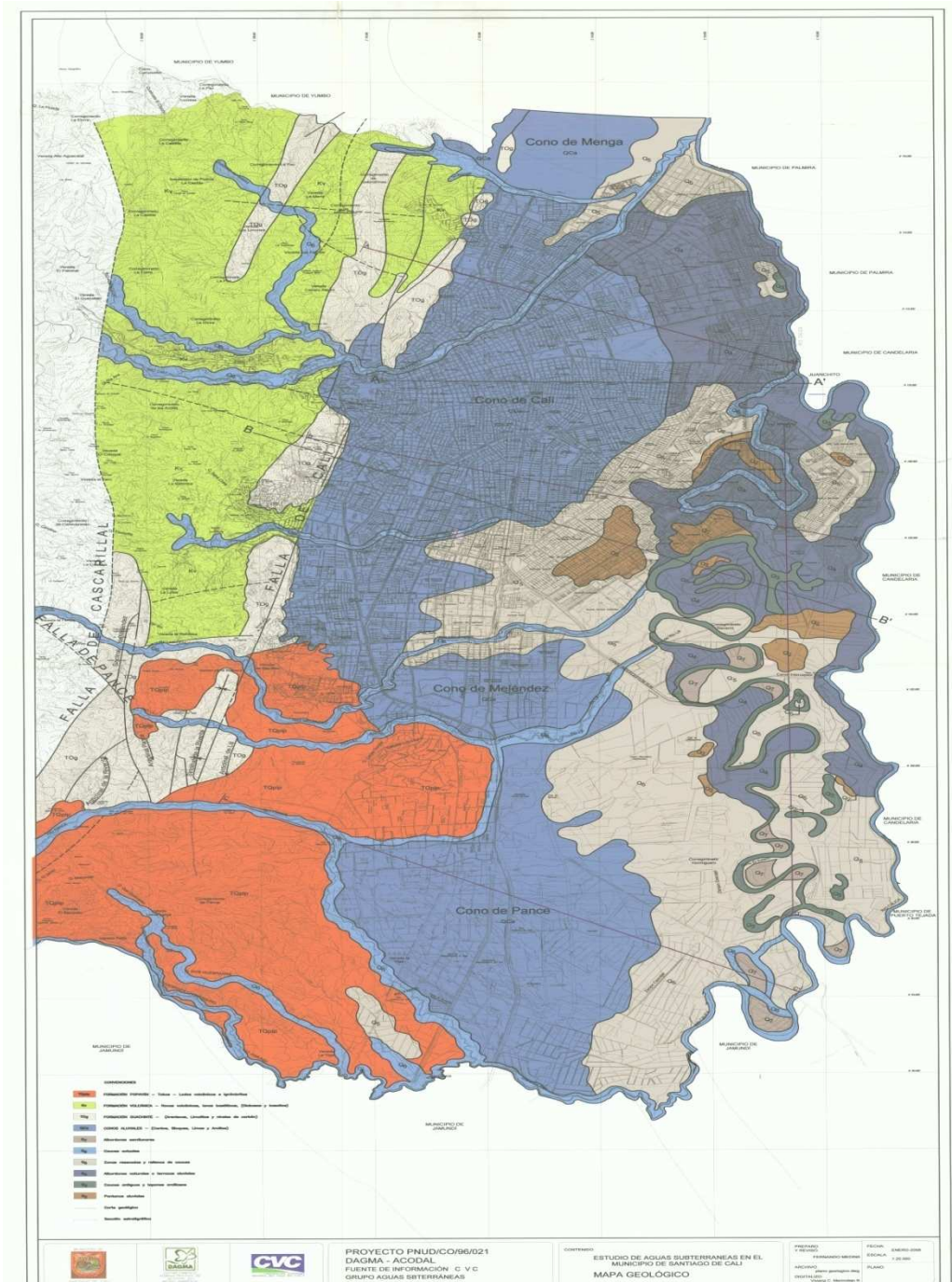
En la zona de estudio, la Formación Volcánica se extiende desde los terrenos localizados al límite norte de la zona de estudio en Menga, hasta la cuenca del río Cañaveralejo en el sur.

Estas Rocas aun no han sido estudiadas como posibles acuíferos pues su litología impermeable permite descartarla, pero dado su fracturamiento y alteración podrían presentar una permeabilidad secundaria.





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI
DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE



Avenida 5 AN No. 20N-08 Edificio Fuente Versailles / Piso 10 / P.B.X.: 668 0580-83-93 Teléfonos
660 5467-660 5519 Telefax: 660 5465 Vivero: Av. 2N No. 36ª - 40 / Teléfono 653 08 69

www.cali.gov.co





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

5.2.2 Rocas y depósitos sedimentarios

5.2.2.1 Formación Guachinte (TOg)

Compuesta por intercalaciones de areniscas, de grano fino a grueso, limolitas y arcillolitas areniscas conglomeráticas, conglomerados y algunos niveles de carbón. Los conglomerados se disponen en paquetes de poco espesor, son compactos y muy duros. Los paquetes de areniscas son los más frecuentes en esta unidad sus características los hacen favorable para el almacenamiento de agua, pero no constituyen acuíferos importantes debido a su poca permeabilidad y consolidación. Las limolitas son duras y compactas, aunque no tanto como las areniscas; las arcillolitas presentan fracturamiento laminar y denso que las hace altamente erosionables y disgregables, Los niveles de carbón están asociados a fenómenos de subsidencia de los terrenos, debido a las antiguas labores de minería subterránea realizadas en esta zona.

5.2.2.2 Formación Jamundí (TQj)

Correspondiente a los depósitos no consolidados afloran al suroccidente del municipio de Santiago de Cali, y suprayacen discordantemente al Grupo Cauca, se depositaron como abanicos fluviotorrenciales. Esta formación consiste en depósitos de gravas y cantos no consolidados, pobremente seleccionados, compuesta por materiales de derivación local como basaltos, chert, gabros, limolitas, conglomerados y areniscas; embebidos en matriz arcillosa.

5.2.2.3 Flujos de terrón colorado (TQtc)

Consiste en una secuencia de materiales depositados en un ambiente fluviotorrencial, formados por fragmentos de rocas ígneas básicas (predominantemente diabasas y gabros); embebidos en una matriz areno limosa.

5.2.3 Unidades Geológicas Superficiales

5.2.3.1 Depósitos Cuaternarios

Correspondiente a los materiales no consolidados que están recubriendo las unidades de roca entre la cuales se encuentran La formación Popayán (Qplp) flujos de escombros (Qfe), conos aluviales (Qca), sedimentos aluviales del río Cauca (Ql)





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

5.2.3.2 Formación Popayán (Qlp)

Esta formación yace discordante sobre los sedimentos terciarios y cretácicos, litológicamente está conformada por una secuencia de materiales depositados en un ambiente fluviotorrencial, de tobas cenizas, lavas, aglomerados, bloques de diabasas gabros, basaltos, gravas y areniscas esporádicas altamente meteorizadas embebidas dentro de una matriz areno limo arcillosa. Dado su predominio arcilloso sus condiciones acuíferas son pobres sin embargo es posible que los horizontes conglomeráticos intercalados constituyan acuíferos de mayor producción.

5.2.3.3 Flujos de Escombros (Qfe)

Son el resultado de movimientos de material heterogéneo, conformado por suelo roca y restos vegetales, muy saturados, formados por fragmentos subangulares y subredondeados principalmente de diabasas embebidos en matriz arcillo arenosa.

5.2.3.4 Conos o Abanicos Aluviales (Qca)

Son sedimentos recientes que han sido transportados y depositados por los ríos Cali, Cañaveralejo, Meléndez y Pance, conformando cauces activos y abandonados, llanuras de inundación, terrazas bajas y medias. Estos depósitos aluviales múltiples que tienen en general poca o ninguna estratificación, están compuestos principalmente de bloques, cantos y gravas con cantidades menores de arcilla y limos. Los abanicos más importantes que se encuentran en la zona de estudio son: Pance Cañas Gordas, Meléndez, Cañaveralejo, San Fernando Cali, El Bosque y Menga.

5.2.3.5 Cono Aluvial del Rio Pance

Situado al sur de Cali, limitado al este por la zona de inundación del río Cali, por el norte con el cono de Meléndez y por el sur con el cono de Jamundí. Está constituido por sedimentos transportados y depositados por el río Pance este cono de deyección es quizá el más amplio y promisorio para el aprovechamiento del acuífero más superficial del agua subterránea. Está constituido principalmente por bloques, cantos, gravas y arenas embebidos en matriz arcillosa de origen volcánico (diabasas y basaltos) provenientes de la cordillera Occidental. Así lo demuestra la perforación de la Universidad Autónoma de Occidente la cual alcanzó una profundidad de 160 metros.

5.2.3.6 Cono Aluvial de Cañas Gordas

Incluye los depósitos de la formación Jamundí, genéticamente de origen fluvial de baja energía compuesto por niveles horizontales a sub horizontales de limos arenosos y arcilla





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

laterítica arcillosos con esporádicos niveles de flujos torrenciales intercalados de poco espesor

5.2.3.7 Cono Aluvial de Meléndez y Lili

La geología de estas subcuencas es muy similar por lo que se trata conjuntamente. Los conos están constituidos por sedimentos transportados depositados por los ríos Meléndez y Lili. La degradación de los sedimentos del subsuelo es normal, encontrándose gravas gruesas hasta cantos con algunas intercalaciones de arcilla, hasta una profundidad de 70 a 80 metros a partir de la cual aparece la formación terciaria de altísima dureza. Hacia la parte distal del cono de gradación de gravas y arenas es predominante y se encuentran alternadas con arcillas y limos, correspondiendo a los espesores más potentes.

5.2.3.8 Cono Aluvial de los Chorros y Cañaveralejo

La geología de la parte alta y media de estas subcuencas corresponde a las rocas de origen sedimentario, terciarias, que se desarrollan generando lomas alargadas de poca elevación, correspondientes a la Formación Guachinte, conformadas por mantos de areniscas limolitas, lutitas y mantos de carbón, en contacto fallado y discordante con rocas del grupo diabásico. Los aportes de los sedimentos de ésta formación son de granulometría media-fina consistente en arcillas y limos hacia la parte superior o techo, los que se interdigitan con arenas y gravas de poco espesor hacia la profundidad; aumentando la potencia de arenas y gravas hacia la parte distal de los conos. Las condiciones hidrogeológicas son relativamente favorables para el aprovechamiento del agua subterránea a través de pozos de baja producción. El mejor nivel acuífero se localiza a una profundidad de 20 a 24 metros de profundidad constituyéndose en un acuífero de tipo semiconfinado. Según lo indica la columna litológica levantada al pozo perforado en Cosmocentro.

5.2.3.9 Cono Aluvial de San Fernando

La parte media-alta de esta subcuenca está conformada por rocas terciarias de la Formación Guachinte, en contacto discordante con rocas diabásicas hacia la parte más alta (Cerro Cristo Rey); en la parte norte de la subcuenca afloran aglomerados y conglomerados fluvio volcánicos de la formación Popayán, en contacto discordante suprayacen la formación terciaria. Esta influencia geológica genera hacia la parte media-baja una formación estratigráfica particular de alternancia heterogénea de estratos: arcillas y limos hacia el techo estratigráfico, limos arenosos y gravas oxidadas hacia la parte media, arenas y gravas más gruesas en profundidad, evidencia de esto son las





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

columnas litológicas de algunos de los pozos perforados como el de Globollantas, Polideportivo barrio San Cristóbal, Lavadero la 14 y lubritax.

5.2.3.10 Cono Aluvial del Rio Cali

Formado principalmente por los sedimentos transportados y depositados por el río Cali, Cañaveralejo y Aguacatal, desde el punto de vista hidrogeológico es la segunda subcuenca en importancia después de la de Pance, En la parte alta y media de la subcuenca predominan las rocas de origen volcánico y sedimentario encontrando depósitos muy heterogéneos regularmente permeables, incluyendo cantos y bloques de diferentes formas y tamaños alcanzando profundidades de 100 metros, información pozo Uniroyal.

En la parte baja aparece una zona de transición donde predominan los materiales impermeables en el techo y permeables hacia la base además presenta capas interdigitadas propias del cono aluvial del río Cali y los depósitos del relleno aluvial del río Cauca. Información del pozo Fabrica Nacional de Cartón.

5.2.3.11. Cono Aluvial de Menga y el Bosque

Son los de menor extensión y están conformados principalmente por materiales provenientes de rocas sedimenta y volcánicas que están presentes en las cuencas tributarias. Compuestas predominante por secuencia de arcillas y limos cuya consistencia va aumentado en profundidad

5.2.3.12 Albardones semilunares (Q7)

Se refieren a los bancos de arena que se desarrollan en el lado interno de la curva de un meandro y crecen por la adicción lenta de sedimentos, se desarrollan a medida que se presenta la migración del meandro. Estos materiales se encuentran fundamentalmente asociados al antiguo cauce del rio Cauca. Está constituido generalmente por intercalaciones de arena, grava, y arcillas.

5.2.3.13 Depósitos Aluviales Activos y Terrazas del Río Cauca (Q6)

Son depósitos aluviales recientes y actuales, sueltos acumulados en las llanuras y márgenes de los ríos y arroyos encontrados a manera de barras playas y terrazas, con tamaños de grano arena, grava, cantos y bloques, cuya composición corresponde a rocas ígneas y sedimentarias provenientes de la cordillera occidental.

Algunas corrientes principales entre las que sobre salen el río Meléndez Lili, Cali, Cañaveralejo y Aguacatal que cortan los abanicos depositan este tipo de material. Esto también se observa en algunas corrientes que disectan la llanura aluvial del rio Cauca. En





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

los sectores cercanos a la cordillera, correspondientes a los ríos Pance, Meléndez, Aguacatal y Cali, estos depósitos han dejado al menos dos niveles de terrazas.

5.2.3.14 Zonas resecaas y rellenos de cauces (Q5)

Corresponden a sectores de antiguos pantanos, resecaas e inundados durante varios períodos y finalmente secados artificial o naturalmente. Rellenos de cauces se denominan a los depósitos de los cauces secos abandonados sus sedimentos están constituidos principalmente por limos y arcillas intercalados por niveles arcillosos

5.2.3.15 Albardones Naturales (Q4)

Debido a la coalescencia entre los abanicos aluviales y la llanura aluvial es importante establecer una zona de transición entre estas dos unidades. En los perfiles levantados para el estudio de microzonificación sísmica se observaron intercalaciones de materiales gruesos y finos provenientes de los abanicos, con materiales arenosos de color gris propios de la llanura aluvial.

5.2.3.16 Cauces antiguos abandonados y tapones arcillosos (Q3)

Corresponden a cauces de ríos y arroyos, que por procesos naturales de dinámica y divagación del cauce, o en ocasiones por acción del hombre, con el objeto de aprovechar la mayor extensión de la planicie aluvial para fines agropecuarios son aislados o abandonados. En algunos sectores estos cauces abandonados se encuentran cubiertos por agua y en otros, rellenos por materiales predominantemente arcillosos o naturales son abandonados de la dinámica de divagación del cauce activo, y que se han relleno con sedimentos arcillosos solo en épocas de crecientes inundan las construcciones que se han desarrollado sobre ellos.

5.2.3.17 Depósitos de pantanos aluviales (Q2)

Corresponde a depósitos principalmente arcillo-limosos acumulados en zonas de inundación, caracterizados por presentar un relieve suave y deprimido, con redes de drenaje que reflejan la posición de líneas antiguas de drenaje. Eventualmente borradas durante inundaciones sucesivas.

5.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las estructuras geológicas son de gran importancia en el área de estudio ya que contribuyen a la recarga de los acuíferos Regionalmente las estructura presentes en el suroccidente colombiano son el resultado de la acción compresiva de las placas de Nazca y





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

Cocos contra la placa Suramericana como resultado de los esfuerzos ocasionados se originaron los plegamientos y fallamientos con una marcada orientación NS (Acosta 1997). Adicionalmente se originaron depresiones tectónicas dentro de las que se destaca la depresión Cali- Patía.

5.3.1 Fallamiento

En general las rocas se encuentran afectadas por un sistema complejo de fallas de fallas regionales donde predominan tres direcciones de fallamiento N20° - 30°E, N60° - 70°E y N40° - 50°W.(Nivia et al.,1997).

5.3.1.1 Sistema de Fallamiento N20° - 30°E

Dentro de este sistema se encuentra la falla de Golondrinas, que la zona de estudio se localiza hacia la parte occidental del Terrón Colorado, afectando rocas de la formación Volcánica (Kv) y los depósitos sedimentarios de Formación Guachinte

5.3.1.2 Sistema de Fallamiento de N40° - 50°W

Este tipo de falla se presenta en trazos segmentados dispuestos a manera de “Elechon”. Se observan como indicios algunos tramos de cauce controlados entre los que están las fallas de río Cali, Meléndez y Lili. Según (Nivia 2001).

5.4 INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

El área de recurso hídrico del DAGMA cuenta con una base de datos en la cual se consigna información general de los usuarios del agua subterránea, de la zona urbana del municipio de Santiago de Cali, en la base de datos cuenta con información relacionada con datos generales de los usuarios, características generales de construcción de los pozos y aljibes, características hidráulicas, usos. La Base de Datos se debe actualizar y complementar para hacerla más funcional a la hora de presentar informes relacionados con el tema del recurso hídrico subterráneo, información que debe ser suministrada por los usuarios, perforadores y por la CVC entidad que hasta el año 2002 era la encargada de administrar este recurso en todo el municipio de Cali. En la actualidad el DAGMA cuenta con un inventario de 535 puntos de agua ubicados en el área urbana del municipio de Santiago de Cali de los cuales se tiene identificados 235 pozos, 297 aljibes y 3 galerías filtrantes. En el plano N° 2 se observa la localización de los puntos de agua inventariados hasta septiembre de 2010.

De los 235 pozos 3 se utilizan para consumo humano, 11 para uso doméstico, 91 para uso industrial, 68 para riego, 6 se encuentran sellados definitivamente, 7 con sellamiento



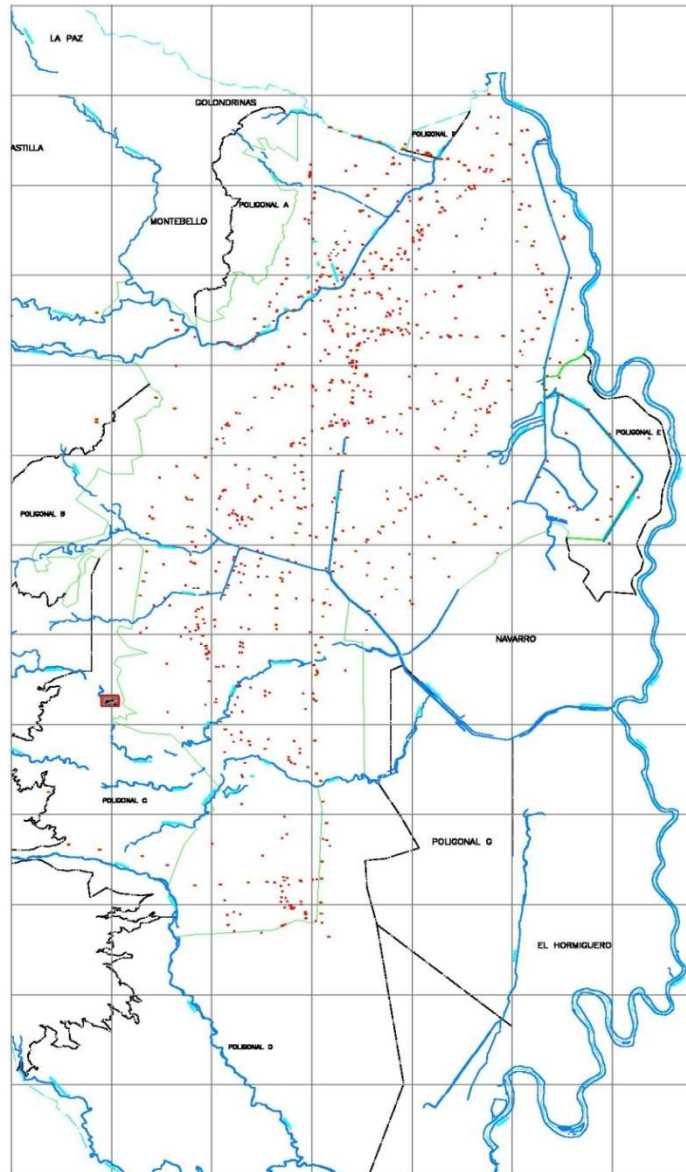


ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

temporal y 49 no son utilizados, así solo 173 son los pozos que se encuentran en operación. En la tabla N°2 se observa el inventario de los pozos profundos según su uso.

Plano 2 Localización de Puntos de Agua Subterránea Zona Urbana Municipio de Santiago de Cali





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

Tabla 2. Inventario de Pozos Profundos de Acuerdo Según Su Uso

Usos	No de Pozos	% del Total
Consumo Humano	3	1,28
Domestico	11	4,69
Industrial	91	38,8
Riego	68	28,9
Sellado	6	2,56
Sellado Temporal	7	2,97
Abandonado	49	20,8
Total	235	100

El 38.8% son pozos de uso industrial con profundidades que oscilan entre 20 y 350 metros y caudales de operación entre 1 y 30 LPS, siendo los más comunes 0.1 y 1 LPS el 28.9% corresponde a pozos para riego; un 4.69% corresponde a pozos para el abastecimiento domestico y el 1.28% de los pozos son utilizados para el consumo humano finalmente el 2.56% de los pozo se encuentran sellados definitivamente, el 2.97% se encuentran sellados temporalmente y 20.8% de los pozos están abandonados.

Los 297 aljibes 2 para consumo humano, 41 para consumo doméstico 148 para uso industrial 27 para riego 12 sellados 18 con sellado temporal y 49 que no están en uso en la tabla N° 3 se observa el inventario de los aljibes de acuerdo a su uso

Tabla 3. Inventario de Aljibes Según Su Uso en el Municipio de Santiago de Cali

Usos	No de Pozos	% del Total
Consumo Humano	2	0.7
Domestico	41	13.8
Industrial	148	49.8
Riego	27	9.09
Sellado	12	4.05
sellado temporal	18	6.06
Abandonado	49	16.5
Total	297	100

El 0.7% de los aljibes se utilizan para el consumo humano, mientras que el 49.8% de los aljibes son utilizados para uso industrial en las estaciones de servicio en su gran mayoría, 13.8% de ellos se utilizan en labores domesticas, el 9.09% en labores de riego,





**ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI**

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

actualmente 4.05% de los aljibes se encuentran sellados definitivamente; mientras que el 6.06% de los aljibes están sellados temporalmente y el 16.5 % están abandonados.

Las profundidades de los aljibes oscilan entre 6 y 20 metros los cuales son revestidos con tubería de cemento de 39” a 42” de diámetro. Actualmente y siguiendo las recomendaciones de ley cada aljibe y pozo deben cumplir con medidas de protección para evitar la contaminación los pozos y aljibes deben estar dotados de tapas además los sellos sanitarios se deben levantar como mínimo 10 centímetros por encima de la superficie del terreno para evitar el ingreso de cualquier tipo de sustancia contaminante al acuífero superficial.





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

6 HIDROCLIMATOLÓGIA Y BALANCE HÍDRICO

6.1 Ubicación General

El área de estudio incluye las cuencas de los ríos principales del municipio de Santiago de Cali Pance, Lili, Meléndez, Cañaveralejo, Aguacatal y Cal.

6.2 Localización de Las Estaciones Hidroclimatológicas

Para desarrollar el balance se analizo la información de las estaciones ubicadas dentro de la zona de estudio. Del boletín hidroclimatológico preparado por la CVC se seleccionaron las estaciones y obtuvieron los datos de precipitación mensual multianual para cada estación y se eligió el periodo hidrológico de 24 años comprendidos entre 1985 y 2008, para la realización del balance hídrico, se conto con 23 estaciones ubicadas dentro y fuera del área de estudio las cuales se relacionan en la tabla N° 3

Tabla 3. Ubicación De Estaciones Hidroclimatológicas

ESTACIÓN	TIPO	CUENCA	MUNICIPIO	LONGITUD	LATITUD
El Topacio	CO	Pance	Cali	76:39	3:19
Universidad del Valle	CO	Meléndez	Cali		3:27
Calle Quinta	LG	Meléndez	Cali	76:33	3:22
Paso ancho	LOG	Lili	Cali	76:32	3:22
El Jardín	LOG	Cañaveralejo	Cali	76:34	3:25
Bocatoma	LOG	Cali	Cali	76:34	3:27
ESTACIÓN	TIPO	CUENCA	MUNICIPIO	LONGITUD	LATITUD
Aguacatal	PG.	Aguacatal	Cali	76:37	3:29
Alto Iglesias	PG.	Meléndez	Cali	76:38	3:22
La Argentina	PG.	Pance	Cali	76:40	3:20
Brasilia	PG.	Cali	Cali	76:39	3:26
Cañaveralejo	PG.	Cañaveralejo	Cali	76:35	3:25
Colegio San Juan Bosco	PG.	Cañaveralejo	Cali	76:32	3:27
Colegio San Luis	PG.	Cali	Cali	76:33	3:28
Edificio CVC	PG.	Cañaveralejo	Cali	76:33	3:24
Ladrillera	PG.	Lili	Cali	76:35	3:22
Peñas Blancas	PG.	Pichindé	Cali	76:40	3:25
Planta Rio Cali	PG.	Cali	Cali	77:03	3:26
Villa Aracelly	PG.	Aguacatal	Cali	76:37	3:31





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

Montebello	PM	Aguacatal	Cali	76:33	3:29
San Pablo	PM	Aguacatal	Cali	76:37	3:31
Vivero Cali	PM	Cali	Cali	76:31	3:28
Agua Blanca	PM	Canal de Navarro	Cali	76:29	3:25
Brisas	PM	Cañaveralejo	Cali	76:36	3:24
Cristales	PM	Cañaveralejo	Cali	76:35	3:26
La Fonda	PM	Meléndez	Cali	76:36	3:23

6.3 Precipitación

La precipitación es, normalmente, la única fuente de humedad que tiene el suelo y por eso conviene que su medida y cálculo se hagan con gran precisión, pues de ello depende, en gran manera, la exactitud de todos los cálculos del balance hídrico.

6.4 Evapotranspiración

Se define la evapotranspiración como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Se expresa en mm por unidad de tiempo.

Para el cálculo de la evapotranspiración se tomaron como representativos solamente los datos de la estación climatológica de la universidad del Valle, con un periodo de 24 años; el método utilizado para el cálculo de la evapotranspiración fue el Tanque Evaporímetro clase A en el cual interactúan variables climatológicas (radiación solar, velocidad del viento, humedad relativa). La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$EVT = Kc * Kp * EV$$

Donde:

EVT: Evapotranspiración (mm/mes)

Kc Coeficiente de Cultivo permite relacionar la transpiración del cultivo y la evaporación de la superficie del suelo.

Kp Coeficiente del Tanque

EV Evaporación del Tanque Clase A (mm/mes)





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

El valor utilizado de K_p es de 0.30, (teniendo en cuenta la velocidad del viento fue de 30 Km/h durante la época analizada y la humedad relativa media se encuentra entre 60 y 80%), y el de K_c es de 0.85 (teniendo que la humedad relativa cuenta con un valor mayor a 70% y la velocidad del viento entre 5y 8 m/s.

6.5 Caudal

Se denomina caudal al volumen de agua que arrastra un río, o cualquier otra corriente de agua para preservar los valores ecológicos en el cauce de la misma. Se mide en metros cúbicos por segundo.

El área de estudio la atraviesan innumerables corrientes superficiales entre ríos y quebradas como son: Cali, Meléndez, Cañaveralejo, Lili, Pance, Aguacatal y las quebradas de Menga y Chorros.

La CVC cuenta con estaciones limnigráficas en los siguientes ríos Lili, Cañaveralejo, Cali y Meléndez de esta solo se encuentran en operación tres.





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

7 BALANCE HÍDRICO

Para calcular el balance hídrico anual, es necesario tener datos sobre las variaciones del volumen de agua almacenada en las cuencas. Estos datos se obtienen de las mediciones estacionales en los pozos, a fin de observar las fluctuaciones de los niveles estas mediciones se vienen realizando desde el año 2005, dos veces al año teniendo en cuenta que no ha habido continuidad. Durante el desarrollo del estudio se determinaron las siguientes variables precipitación, evapotranspiración y caudal, utilizando el siguiente modelo.

$$P - Es - Ev - I = 0$$

Donde:

P= Precipitación media mensual multianual (mm)

Es: Escorrentía

Ev Evapotranspiración

I: Infiltración

7.1 *Análisis y Resultados*

7.1.1 Precipitación

En las tablas 4 muestra los valores de precipitación media mensual multianual para el área urbana del municipio de Santiago de Cali.

El área urbana del municipio de Santiago de Cali presenta un comportamiento bimodal típico del régimen tropical o ecuatorial de montaña caracterizado por pequeñas variaciones de temperatura y presencia de dos periodos de lluvia y dos de verano.

Así se observa en la figura N° 4. Un primer periodo corto de lluvias moderadas no muy marcado que inicia en el mes de enero y febrero, para entrar al segundo periodo de lluvias con un invierno fuerte y prolongado durante los meses de marzo, abril y mayo aunque este periodo se encuentra el valor más alto de precipitación de todo el año abril (193.62 mm).





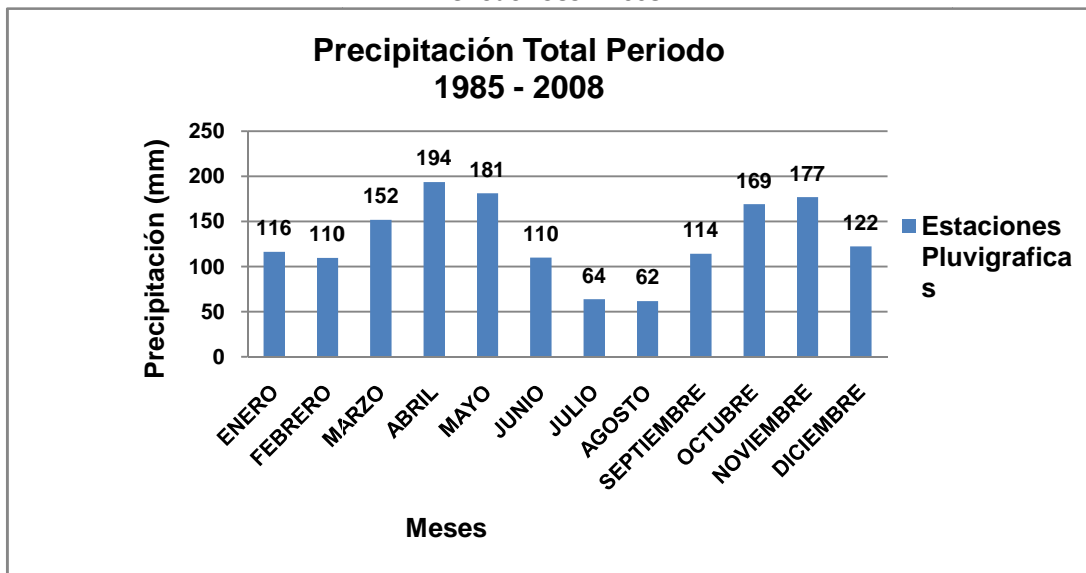
ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

Tabla 4 Precipitación Media Mensual 1985 - 2008

Estación	Enero	Febr.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Aguacatal	21,50	19,67	26,17	37,96	35,88	28,71	23,04	18,79	28,58	30,83	28,46	21,30
Alto Iglesias	187,29	182,76	236,58	287,17	259,67	151,17	87,88	87,17	161,83	260,68	283,83	187,54
Argentina	243,75	213,38	312,79	352,13	315,46	184,04	123,67	118,13	206,08	337,00	354,21	254,25
Brasilia	93,25	99,46	129,08	192,88	186,50	116,63	64,21	74,79	106,17	143,71	148,47	91,04
Cañaveralejo	118,17	115,54	152,38	174,79	180,47	104,50	64,04	48,58	102,63	163,71	179,04	142,33
CVC	107,33	102,63	136,46	164,04	162,08	95,88	52,92	39,42	97,83	151,21	169,46	125,33
Ladrillera	121,71	131,47	157,82	192,12	195,18	111,29	49,47	55,94	129,71	167,88	191,12	105,53
Peñas Blancas	158,33	149,17	197,92	256,30	270,29	175,96	94,21	98,13	162,83	224,38	198,88	141,21
Planta Río Cali	99,88	91,29	129,75	179,08	160,71	101,83	55,92	51,21	99,71	149,58	162,33	101,17
Colegio San Juan Bosco	84,75	70,58	105,33	159,83	124,21	81,79	46,17	45,58	81,21	122,58	133,04	91,67
Colegio San Luis	81,81	68,25	105,17	161,75	132,96	75,04	45,33	40,38	78,96	130,13	126,54	90,17
Villa Aracelly	77,79	72,58	132,67	165,38	152,13	91,83	58,00	63,58	113,63	148,75	146,17	117,50
Promedio	116,30	109,73	151,84	193,62	181,29	109,89	63,74	61,81	114,10	169,20	176,80	122,42

**Figura N°4 Hietograma Área Urbana del Municipio de Santiago de Cali
Periodo 1985 – 2008**





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

El tercer periodo es un verano más largo y fuerte correspondiente a los meses de junio, julio y agosto, siendo agosto el mes más seco de todo el año con un registro de (61.81 mm), luego entra el cuarto y último periodo de invierno durante los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre para reiniciar el ciclo a finales de diciembre.

Los meses de transición entre la temporada seca y la época de lluvia son marzo con un valor de precipitación de 151.84 mm/mes en el segundo periodo y septiembre con 114.10 mm/mes en el cuarto periodo.

Los meses de transición entre la temporada de lluvias y la época seca son mayo con un valor de 181.29 mm/mes en el segundo periodo y diciembre con 122,42 mm/mes cerrando el ciclo en el cuarto periodo.

En general la precipitación media del área urbana del municipio de Santiago de Cali varía entre los 800 y 2300 mm anuales, con un valor promedio 1570,73 mm/año.

7.1.2 Evapotranspiración

La evapotranspiración dentro del área de urbana no es muy alta pues el porcentaje de zonas verdes del 2% (137.4 Km²) no es lo suficientemente grande para que se realice una alta transpiración es por este motivo que se puede decir que toda el agua que cae al área se evapora inmediatamente, por lo cual se toma un valor de Kc inferior a uno (1), sin embargo en la figura 5 se observa el valor más bajo en el mes de octubre (25,49 mm/mes) el cual coincide con la época más lluviosa, al igual que el mes de agosto se presenta el valor más alto de evapotranspiración con (35,46 mm/mes).

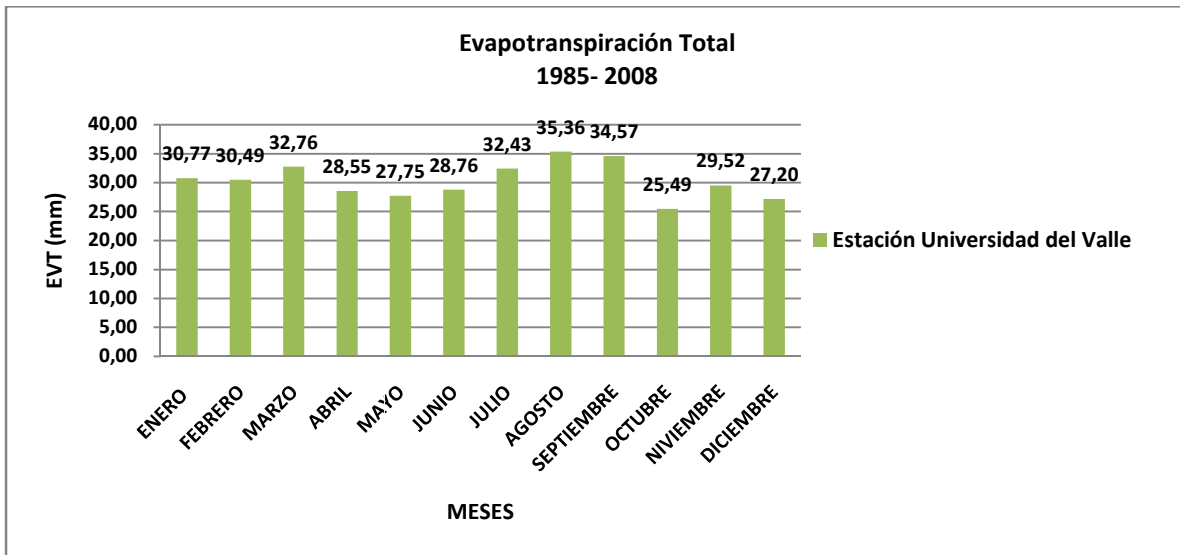




ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

Figura 5 Evapotranspiración Área Urbana Del Municipio De Santiago De Cali
1985 – 2008



Siendo consecuencia de los vientos fuertes que arrastran las nubes y permiten una mayor radiación solar en el área. Ver tabla N°5

Tabla N°5 Calculo de la Evapotranspiración Método del Tanque Evaporímetro
Clase A

Tiempo Meses	Kp	Kc	EV mm/día	EV mm/mes	EVT mm/mes
Enero	0,3	0,85.	3,89	120,66	30,77
Febrero	0,3	0,85	4,12	119,58	30,49
Marzo	0,3	0,85	4,14	128,49	32,76
Abril	0,3	0,85	3,73	111,95	28,55
Mayo	0,3	0,85	3,51	108,81	27,75
Junio	0,3	0,85	3,76	112,78	28,76
Julio	0,3	0,85	4,10	127,19	32,43
Agosto	0,3	0,85	4,47	138,67	35,36
Septiembre	0,3	0,85	4,52	135,56	34,57
Octubre	0,3	0,85	3,23	99,98	25,49
Noviembre	0,3	0,85	3,86	115,76	29,52
Diciembre	0,3	0,85	3,44	106,68	27,20
Total	0,3	0,85	3,90	1426,10	363,65



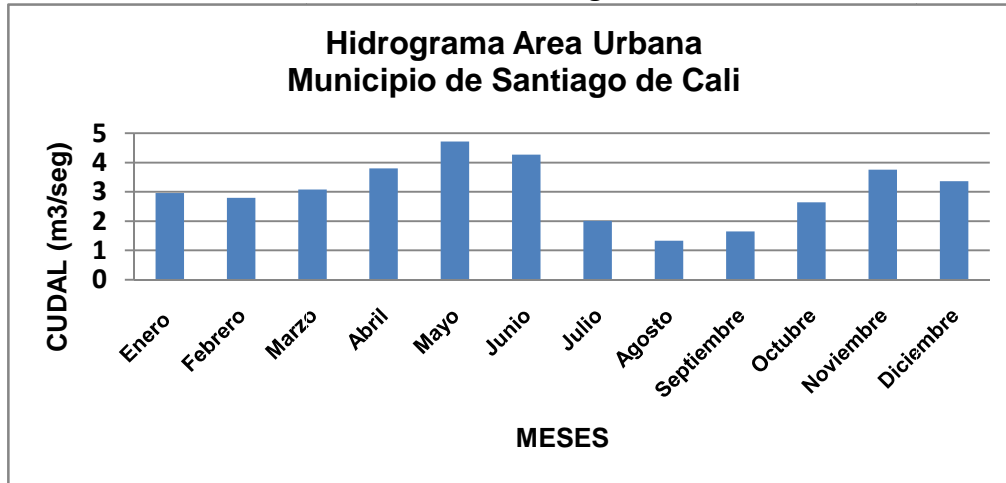


ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

7.1.3 Caudales

Figura 6



En la grafica N° 6 se aprecia un descenso suave en el primer trimestre del año con valores promedios 2,94 m³/seg coincidiendo con la primera época de pocas lluvias.

En los meses de Abril Mayo y Junio se observa una muy buena recuperación lo que indica que en este periodo donde se presenta el mayor caudal de todo el año con 4,72 m³/seg del mes de mayo. La temporada más seca del año coincide con los valores más bajos, los cuales se presentan en los meses de julio, agosto y septiembre siendo el mes de agosto el más crítico con respecto al caudal con un valor de 1,33 m³/seg.

En la última temporada se presenta una recuperación lenta de caudales en los meses de octubre noviembre presentando un valor de 3,76 m³/seg, diciembre se presenta como el mes de la transición con el cual se da inicio a un nuevo ciclo ver tabla N° 6

7.1.3.1. Calculo de Caudales

Tabla 6 Calculo de Caudales

Tiempo Meses	Caudal Q1	Caudal Q 2	Área 1 Km ²	Área 2 Km ²	Q Total m ³ /seg
Enero	3,56	2,36	100,31	69,14	2,96
Febrero	3,28	2,33	100,31	69,14	2,80
Marzo	3,48	2,69	100,31	69,14	3,08





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

Abril	4,61	2,99	100,31	69,14	3,80
Mayo	5,90	3,55	100,31	69,14	4,72
Junio	4,62	3,92	100,31	69,14	4,27
Julio	2,38	1,64	100,31	69,14	2,01
Agosto	1,56	1,10	100,31	69,14	1,33
Septiembre	2,12	1,18	100,31	69,14	1,65
Octubre	3,39	1,90	100,31	69,14	2,64
Noviembre	4,68	2,84	100,31	69,14	3,76
Diciembre	4,05	2,68	100,31	69,14	3,36
Total	3,63	2,43	100,31	69,14	3,03

- Q1: Caudal correspondiente a la estación del río Cali en el sector de la Bocatoma.
- Q2: Sumatoria de los caudales de los ríos Meléndez Cañaveralejo y Lili correspondiente a las estaciones Calle Quinta, Jardín y Pasoancho.
- Area1: Zona de Influencia Río Cali
- Area2: Zona de influencia de los ríos Meléndez Cañaveralejo y Lili.

7.1.4 Balance Hídrico

La tabla N° 7 muestra los resultados obtenidos del balance hídrico en el área del municipio de Santiago de Cali para el periodo hidrológico de 1985 – 2008

Tabla N° 7 Balance Hídrico

Tiempo Meses	Precipitación (mm)	EVT (mm)	Excedentes (mm)	Caudal (mm)	Carga y Descarga
Enero	116,30	30,77	85,53	34,25	51,28
Febrero	109,73	30,49	79,24	32,40	46,84
Marzo	151,84	32,76	119,08	35,64	83,44
Abril	193,62	28,55	165,07	43,98	121,09
Mayo	181,29	27,75	153,54	54,62	98,92
Junio	109,89	28,76	81,13	49,42	31,71
Julio	63,74	32,43	31,31	23,26	8,05
Agosto	61,81	35,36	26,45	15,39	11,06
Septiembre	114,10	34,57	79,53	19,09	60,44
Octubre	169,20	25,49	143,71	30,55	113,16
Noviembre	176,80	29,52	147,28	43,51	103,77
Diciembre	122,42	27,20	95,22	38,88	56,34
Total	1570,74	363,65	1121,56		



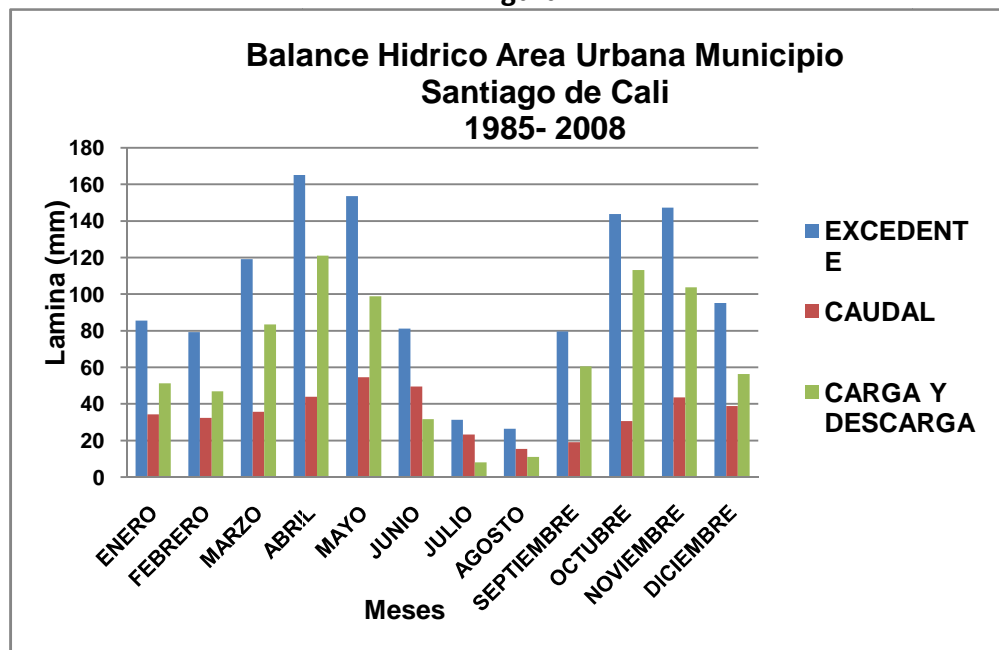


ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

Basados en los resultados presentes en la tabla N°8 y en la figura N°7, se pueden considerar épocas de almacenamiento marzo, abril y mayo con un valor total 303,45 mm al igual que los meses de septiembre, octubre y noviembre con un total de 277,37 mm, así como épocas de descarga los meses de diciembre, enero y febrero con un total de 154,46 mm, y junio, julio y agosto con un total de 50,82 mm.

Figura 7



Primer Trimestre (Enero, Febrero y marzo), se da comienzo a una época de estiaje no muy marcada pues los caudales no superan las excedencias, aunque la precipitación supera la evaporación, así en el mes de marzo se presenta un incremento suave en las excedencias pues se da inicio a la temporada de lluvias, siendo el sistema recargado con un valor de 83,44 mm.

Segundo Trimestre (Abril, Mayo, Junio). En el primer mes de este periodo se presenta un pico en el almacenamiento gracias a las altas precipitaciones de abril el mes más lluvioso de todo el año, es así como se sigue con el descenso en el almacenamiento para llegar a la descarga en el mes de junio, que coincide con la temporada de verano, se aprecia aquí la buena capacidad reguladora del sistema.





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

Tercer Trimestre (Julio, Agosto, Septiembre) las excedencias llegan a sus mínimos niveles en los meses de julio y agosto con valores de 57,76 mm, siendo en estos momentos los meses más críticos de verano, por lo tanto vuelve a mostrar el sistema su alta capacidad reguladora. Luego en el mes de septiembre se muestra una recuperación paulatina en las excedencias.

Cuarto Trimestre (octubre, noviembre, diciembre). Coincide con el segundo periodo de lluvias por lo tanto existe una recuperación de los caudales y las excedencias, en esta época también encontramos los meses de octubre y noviembre con el mayor valor de almacenamiento con valores de 113,16 y 103,77 mm.

7.1.5 Calculo de la Infiltración o Recarga

El sistema acuífero del municipio de Santiago de Cali recibe una recarga natural del orden de 590,78 mm (carga 688,44 mm – descarga 97,66) que corresponde a un 78% de la precipitación media anual. Luego el volumen de recarga que reciben los acuíferos en todo el área es de $81 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ que equivalen a un caudal de 2.604 LPS por año.

- I = Infiltración 590.78mm equivalente $5.907,8 \text{ m}^3/\text{Ha}$
- A = Área = $137,4 \text{ Km}^2$
- V = Volumen de Recarga = $5.907,8 \text{ m}^3/\text{Ha} \cdot 137,4 \text{ Ha}$
- V = $81 \cdot 10^6 \text{ m}^3$





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

8 OFERTA DE AGUA

El balance hídrico realizado en el área urbana del municipio de Santiago de Cali dio como resultado que la infiltración que ocurre en toda su extensión es del orden de $81 * 10^6 \text{ m}^3$; que equivalen 590,78 mm de lamina de agua, el 78 % de la precipitación media anual. Esta infiltración es el volumen de recarga que reciben los acuíferos del municipio de Santiago de Cali que en caudal equivalen a una disponibilidad de $2,60 \text{ m}^3/\text{seg}$. Por año.

El volumen real de recarga de los acuíferos se deben calcular de manera más precisa estableciendo como base el modelo de la conexión hidráulica entre los acuíferos y los ríos para establecer la verdadera recarga procedente de los ríos.

Si bien se tiene estudios hidrogeológicos de los acuíferos es necesario realizar investigaciones hidrogeológicas con el fin de determinar la verdadera recarga que reciben los acuífero, por parte de los ríos que existen en la zona es por ello que se requiere tener datos precisos de los caudales y las descargas para lo cual se deben instalar sistemas de medición continua. Por ello se requiere la construcción de pozos exploratorios de bombeo y observación para determinar sus parámetros hidráulicos y efectuar la medición de parámetros hidráulicos, otro de los métodos es la utilización de técnicas isotópicas.

En total como una primera aproximación, se deduce que la oferta de agua subterránea en el área urbana del municipio de Santiago de Cali es de $81 * 10^6 \text{ m}^3$, que equivalen a un caudal disponible por año de 2.604 LPS.





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

9 DEMANDA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Como resultado de la revisión del inventario realizado por el DAGMA se puede establecer que la capacidad instalada para extraer agua subterránea en la zona urbana de la ciudad de Cali, es de 822,26 LPS, que pueden ser bombeados en un momento dado por 391 pozos que actualmente se encuentran en funcionamiento. De estos 391 pozos, 173 son profundos y bombean 77,05 % de la demanda total (633,61 LPS), los 218 pozos restantes son los aljibes de poca profundidad y extraen caudales del orden de 188,65 LPS, con un promedio de 0,5 a 1,0 LPS por pozo que son utilizados en un 74,6 para el uso industrial. Esta capacidad instalada no es la demanda real efectiva puesto que el volumen bombeado depende del caudal y tiempo de operación de cada pozo (régimen de operación).

Los pozos de acuerdo a su uso tienen diferentes regímenes de operación, los de uso industrial se utilizan en promedio 12 horas/día, los de consumo humano 5 horas/día, los de riego 6 horas/día y los de uso domestico 5 horas/día.

En la tabla No. 8 se observa el inventario de pozos profundos según su uso y su capacidad instalada

Tabla 8.

Usos	Numero de Pozos	Caudal LPS	% Demanda Total
Consumo Humano	3	146,33	23,1
Domestico	11	28,33	4,47
Industrial	91	419,49	66,20
Riego	68	39,46	6,23
Sellado	6	0	0
Sellado Temporal	7	0	0
Abandonados	49	0	0
Total	235	633,61	100%

Pozos en operación 173

De los 235 pozos profundos construidos, 62 han sido abandonados sellados definitivamente o temporalmente en total hay 173 en producción que bombean 633,61 LPS. El sector que mayor capacidad de bombeo tiene es el industrial con 91 pozos que suplen las necesidades de las industrias, el caudal instalado 419,49 LPS siendo los mayores usuarios las industrias de producción de alimentos y papeleras existen 66 pozos que se utilizan para el lavado de vehículos; sector que ha tenido un aumento progresivo en la demanda agua subterránea en los últimos años la demanda de cada lavadero va desde 0,5 a 3,0 LPS.





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

Existen sectores como residencias, amoblados entre otros que se abastecen de 11 pozos con una capacidad de bombeo de 28,33 LPS para uso domestico el cual incluye actividades tales como aseo de sus instalaciones.

Hay 3 pozos para consumo humano que pueden bombear 146,33 LPS (23,1 del total), dentro de los cuales se destacan 2 pozos de 179 metros de profundidad de propiedad de PTAR – EMCALI con capacidad de extracción total de 140 LPS (70 LPS por pozo).

En la tabla No. 9 se puede observar el inventario de aljibes según su uso y capacidad de bombeo instalada en LPS. Se denominan aljibes a los pozos construidos manualmente con profundidades que van desde los 5 hasta los 30 metros y diámetros de perforación de 1,2 a 2 metros.

Existen 297 aljibes que tienen capacidad para extraer 188,65 LPS, con promedio de 1,5 LPS por aljibe. De los cuales 148 aljibes son de uso industrial y se localizan principalmente en la zona urbana de Cali. Zona donde existe un número importante de estaciones de servicio y lavaderos de autos.

Tabla 9

Usos	Numero de Pozos	Caudal LPS	% Demanda Total
Consumo Humano	2	3,5	1,86
Domestico	41	16,69	8,84
Industrial	148	140,795	74,6
Riego	27	27,67	14,7
Sellado	12	0	0
Sellado Temporal	18	0	0
Abandonados	49	0	0
Total	297	188,655	100 %

Aljibes en operación 218

41 de los aljibes construidos son utilizados para el consumo domestico y se localizan principalmente en la zona de Pance con consumos del orden de 27,67 LPS, actualmente esta zona cuenta con un sistema de acueducto pero se continua con aquella tradición de utilizar el agua de los aljibes para satisfacer las labres domesticas.

Existen 27 aljibes utilizados para las labores de riego de condominios y conjuntos residenciales que bombean 27,67 LPS. Finalmente existen 2 aljibes utilizados para consumo humano con un caudal de 3,5 LPS. Utilizados en labores de cafetería.





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

En la tabla No 10 se muestra el inventario y los usos de las galerías filtrantes en total las tres galerías se utilizan para uso domestico, industrial y riego en total la capacidad instalada es de 2,30 LPS.

Tabla 10

Usos	Número de Galerías	Caudal LPS	% Demanda Total
Domestico	1	0,80	34,77
Industrial	1	0,50	21,74
Riego	1	1,00	43,49
Total	3	2,30	100 %

En la tabla No. 11 se sintetiza el inventario total de puntos de agua de la zona urbana del municipio de Santiago de Cali donde se establece una capacidad instalada de 822,265 LPS en 391 pozos de producción.

Tabla 11

Usos	Numero de Pozos	Caudal LPS	% Demanda Total
Consumo Humano	5	149,83	18.19
Domestico	53	45,02	5,55
Industrial	240	560,285	68,00
Riego	96	67,13	8,26
Sellado	18	0	0
Sellado Temporal	25	0	0
Abandonados	98	0	0
Total	535	822,265	100 %

Pozos en producción 391

Para el cálculo del volumen real bombeado de cada pozo en un periodo de tiempo dado, para nuestro caso anual, se debe tener en cuenta el régimen de operación de cada pozo. El volumen real bombeado por uso es el siguiente:

Industrial:

$$V = 560,285 \text{ LPS} * 12 \text{ horas/día} * 30 \text{ días/1mes} * 12 \text{ meses/1año}$$

$$V = 2.017 \text{ m}^3/\text{hora} * 4.320 \text{ horas/año}$$

$$V = 8,71 * 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

Consumo Humano:

$$V = 149,83 \text{ LPS} * 5 \text{ horas/día} * 30 \text{ días/1 mes} * 12 \text{ meses/año}$$

$$V = 539,39 \text{ m}^3/\text{hora} * 1.800 \text{ horas/año}$$

$$V = 0,97 * 10^6 \text{ m}^3$$

Riego:

$$V = 67,13 \text{ LPS} * 6 \text{ horas/día} * 30 \text{ días/1mes} * 12 \text{ meses/año}$$

$$V = 242 \text{ m}^3/\text{hora} * 2.160 \text{ horas/año}$$

$$V = 052 * 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

Domestico:

$$V = 45,02 \text{ LPS} * 5 \text{ horas/día} * 30 \text{ días /mes} * 12 \text{ meses/año}$$

$$V = 162 \text{ m}^3/\text{hora} * 1800 \text{ horas/año}$$

$$V = 0,29 * 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

Demanda Real Total Anual:

$$Dr = (8,71 + 0,97 + 0,52 + 0,29) * 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$Dr = 10,49 * 10^6 \text{ m}^3/\text{año} = 291,38 \text{ LPS/año.}$$

La demanda real total anual promedio en el área urbana del, municipio de Santiago de Cali es del orden de $10,49 * 10^6 \text{ m}^3$ que equivalen a un caudal continuo de aprovechamiento anual de 291,38 LPS, bastante distinto de la capacidad instalada de 822,265 LPS debido a que los regímenes de operación de los pozos no son continuos.





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

10 BALANCE OFERTA DEMANDA

A nivel regional el balance oferta – demanda anual es positivo puesto que la oferta, sin causar problemas de sobreexplotación sobre los acuíferos, es del orden de $81 * 10^6 \text{ m}^3$ (2604 LPS), y la demanda de $10,49 * 10^6 \text{ m}^3$ (291,38 LPS) con un remanente de 2.312,62 LPS para distribuir en el futuro, es decir que la demanda real es el 11.17 % de la oferta, luego los aprovechamientos son racionales consecuentes con la reservas disponibles. Solo se está aprovechando 0,55 % del volumen total de agua almacenada de $1906 * 10^6 \text{ m}^3$. Pero a nivel local podría haber problemas de sobreexplotación, en razón a esto se debe analizar el balance a nivel de acuífero y de cada cuenca.





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

11. CALCULO DEL ÍNDICE DE ESCASEZ

Mediante la resolución N° 0872 de mayo 18 del 2006 se estableció la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas subterráneas.

El índice de escasez es uno de los componentes de la ecuación para la determinación de la TASA POR USO DE AGUA (TUA), Con el cobro de la TUA el estado busca adquirir recursos económicos que puedan brindar una renovación del recurso hídrico subterráneo; garantizar que este recurso no se vea explotado de manera excesiva provocando un agotamiento a largo plazo, y garantizar programas de reinversión en el mismo.

El índice de escasez en aguas subterráneas está definido como la relación entre la sumatoria de los caudales captados en el acuífero y los caudales explotables del mismo y se calculo mediante la siguiente fórmula:

$$I_{EG} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{ci}}{Q_{ce}}$$

Donde:

I_{EG} : Índice de escasez para aguas subterráneas

Q_{ci} : Caudal captado en la i-énésima captación, expresado en m³/ año

Q_{ce} : Caudal explotable del acuífero, expresado en m³/ año.

n: Numero de captaciones

11. 1. Caudales captados en los acuíferos

Estos caudales corresponden a los extraídos por pozos, aljibes y galerías filtrantes en cada una de las zonas hidrogeológicas delimitadas por la autoridad ambiental (DAGMA) competente para recaudar las tasas de utilización del aguade acuerdo con lo dispuesto con el artículo 3 del decreto 155 de 2004 del MAVDT.

Existe captaciones que no cuentan con ningún sistema de medición de caudal, en este caso se deben estimar los caudales captados en el acuífero realizando la sumatoria de los volúmenes mediante las concesiones otorgadas. Se hace necesario incluir el programa de implementación de medidores como parte del de los instrumentos del Plan de Manejo Para La Protección De Las Aguas Subterráneas.





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

Además de lo anteriormente mencionado la precisión y exactitud en la estimación de caudales captados del acuífero dependerá de varios factores:

Un inventario actualizado de los puntos de agua: Permite alimentar tanto los modelos hidrogeológicos conceptuales como los modelos numéricos o matemáticos para la toma de decisiones, el DAGMA actualiza mensualmente el inventario con la información reportada a través de los seguimientos que realiza el grupo de aguas subterráneas.

Legalización de los puntos de agua inventariados debe ser sujeto de cobro de tasa por uso del agua: en este aspecto se debe hacer mucho énfasis en el uso ilegal del recurso a demás se debe tener en cuenta que existen pozos que están en trámite de legalización.

Implementación de medidores de caudal en pozos con concesión de aguas subterráneas: un inventario de puntos de agua con información sistematizada, jerarquizada y procesada alimenta el modelo hidrogeológico conceptual de manera adecuada para futuras aplicaciones de manera adecuada para futuras aplicaciones y toma de decisiones.

En este caso y basado en lo mencionado anteriormente se tiene datos recientes recopilados por el grupo de aguas subterráneas del DAGMA de los volumen de agua captado para diferentes usos en el año 2010 los cuales se ilustran en la tabla

11. 2 Volumen de agua subterránea otorgado

El volumen actualmente concesionado depende de las condiciones de disponibilidad del recurso y de la interferencia de los pozos existentes, situaciones que son evaluadas por los profesionales del grupo de aguas subterráneas en el momento de otorgar una concesión
Tabla 12

Tabla 12

Caudal Litros /seg	Volumen Diario en metros	Volumen Anual en metros
822.265	71.043,696	25.930.949,04

11. 3 Caudales explotables en los acuíferos

La evaluación de la cantidad de agua subterránea disponible para explotación en un acuífero es uno de los problemas que mayor polémica suscitan a la hora de operacionalizar instrumentos que legitimen el dominio jurídico establecido para la gestión del recurso hídrico.





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

Sin embargo es claro que esta oferta está relacionada con los recursos y reservas, y aquí es donde se busca una aproximación conceptual y una forma práctica de cuantificar esa cantidad de agua disponible para efectos de la tasa por uso del agua subterránea.

En este sentido, se parte del reconocimiento que la capacidad de un acuífero es una función de su volumen útil y, por lo tanto, su estimación atiende los determinantes que condicionan ese volumen. En otras palabras, la oferta está relacionada con las condiciones geológicas del acuífero, sus propiedades hidráulicas y las condiciones de recarga de almacenamiento.

Así pues, es fácil entender que puede estimarse un volumen de almacenamiento estático que tiene en cuenta las características intrínsecas del embalse subterráneo y un volumen dinámico que considera la distribución espacio temporal de la alimentación o recarga.

Los recursos explotables Q_E representan el volumen de agua, expresado en forma de caudal que se puede captar de un acuífero a largo plazo, sin causar alteraciones indeseables en el régimen de aguas subterráneas, teniendo en cuenta condiciones técnicas y económicas. En general, los recursos explotables no deben exceder la recarga asegurada del acuífero o sea los recursos disponibles.

Por tal motivo se adopta la metodología para acuíferos con recarga positiva en este caso correspondiente a acuíferos libres, semiconfinados o confinados el Caudal Explotable se define, se define como:

$$Q_E = \infty * Q_N$$

En donde:

∞ = Representa un coeficiente de utilización de las reservas naturales, que toman valores entre 0.3 a 1, definido por las autoridades y legitima la definición expresada en el Art.2 del decreto 155 de 2004, cuando se refiere al caudal que se puede extraer de los recursos disponibles de un acuífero, sin alterar el régimen de explotación establecido la autoridad ambiental competente.

Q_N =representa los recursos naturales que corresponden a la recarga del acuífero en condiciones naturales.

Los valores de recarga del acuífero en los estudios del DAGMA se estimaron mediante el método de balance hídrico, con las pérdidas y las entradas de agua a la zona, este realizo el análisis con los valores de precipitación, evapotranspiración, escorrentía evaporación, etc., de la zona urbana del municipio de Santiago de Cali, durante un tiempo de 24 años con los datos de las variables se calculo el valor de la recarga del acuífero, valor esencial para el DAGMA para el cálculo del caudal explotable del acuífero.

Basándome en lo anteriormente mencionado y teniendo en cuenta los valores de:





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

Precipitación: 1570.73 mm/año
Evapotranspiración: 363.65 mm
Infiltración Potencial: 590.78 mm/año
Infiltración Real: 2604 litros /segundo

Se obtuvo el valor estimado de la recarga por medio del método balance hídrico, el cual es de:

$$R = 2604 \text{ Litros/Seg.}$$

Los cálculos de la recarga del acuífero del área urbana del municipio de Santiago de Cali, fueron calculados con datos de varias estaciones hidroclimatológicas. La tabla 13 muestra el comportamiento del índice de escasez en función del alfa.

Tabla 13 Comportamiento del índice de escasez en función del alfa

Caudal Captado L/seg	Caudal Explotable L/seg	Alfa α	Recarga L/seg	Índice de Escasez
822.265	781	0,3	2604	1,05
	1041	0,4		0.78
	1302	0.5		0.63
	1562.4	0.6		0.52
	1822.8	0.7		0.45
	2083.2	0.8		0.39
	2343.6	0.9		0.35
	2604	1		0.31

Validación de la metodología para el cálculo del índice de escasez de aguas subterráneas, propuesto por el IDEAM en Bogotá





Figura 8

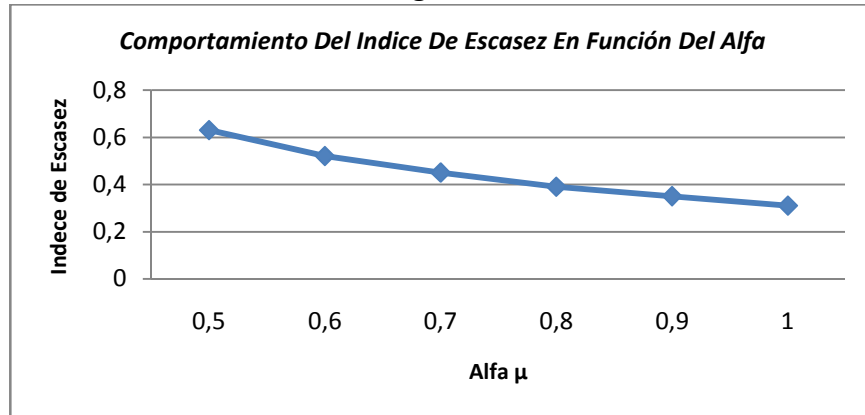


Figura 8

La grafica nos muestra que entre mayor es el valor del coeficiente de utilización de las reservas naturales Alfa (∞), el índice de escasez disminuye.





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

12 CONCLUSIONES

El área de recurso hídrico del DAGMA cuenta con una base de datos en la cual se consigna información general de los usuarios del agua subterránea, de la zona urbana del municipio de Santiago de Cali, la base de datos cuenta con información relacionada con datos generales de los usuarios, características generales de construcción de los pozos y aljibes, características hidráulicas, usos.

En la actualidad el DAGMA cuenta con un inventario de 535 puntos de agua ubicados en el área urbana del municipio de Santiago de Cali de los cuales se tiene identificados 235 pozos, 297 aljibes y 3 galerías filtrantes.

Finalmente el inventario de puntos nos muestra que el mayor uso que se le da al recurso hídrico subterráneo lo ocupa el industrial con un 44.9%, seguido 17.9% para riego 9.76% para uso domestico y finalmente 0.94% para consumo humano

Como resultado de la revisión del inventario realizado por el DAGMA se puede establecer que la capacidad instalada para extraer agua subterránea en la zona urbana de la ciudad de Cali, es de 822,26 LPS, que pueden ser bombeados en un momento dado por 391 pozos que actualmente se encuentran en funcionamiento.

Los resultados del Balance hídrico nos dejaron los siguientes resultados:

La precipitación media del área urbana del municipio de Santiago de Cali varía entre los 800 y 2300 mm anuales, con un valor promedio 1570,73 mm/año.

La evapotranspiración dentro del área de urbana no es muy alta pues el porcentaje de zonas verdes del 2% (137.4 Km²) no es lo suficientemente grande para que se realice una alta transpiración es por este motivo que se puede decir que toda el agua que cae al área se evapora inmediatamente.

El balance hídrico entonces nos muestra que las épocas de almacenamiento son marzo, abril y mayo con un valor total 303.45 mm al igual que los meses de septiembre, octubre y noviembre con un total de 277,37 mm, así como épocas de descarga los meses de diciembre, enero y febrero con un total de 154,46 mm, y junio, julio y agosto con un total de 50,82 mm.

En consecuencia se determino que el sistema acuífero del municipio de Santiago de Cali recibe una recarga natural del orden de 590,78 mm (carga 688,44 mm – descarga 97,66) que corresponde a un 78% de la precipitación media anual. Luego el volumen de recarga que reciben los acuíferos en todo el área es de $81 \cdot 10^6$ m³/año que equivalen a un caudal de 2.604 LPS por año.





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

En total como una primera aproximación, se deduce que la oferta de agua subterránea en el área urbana del municipio de Santiago de Cali es de $81 * 10^6 \text{ m}^3$, que equivalen a un caudal disponible por año de 2.604 LPS.

La demanda real total anual promedio en el área urbana del, municipio de Santiago de Cali es del orden de $10,49 * 10^6 \text{ m}^3$ que equivalen a un caudal continuo de aprovechamiento anual de 291,38 LPS, bastante distinto de la capacidad instalada de 822,265 LPS debido a que los regímenes de operación de los pozos no son continuos.

A nivel regional el balance oferta – demanda anual es positivo puesto que la oferta, sin causar problemas de sobreexplotación sobre los acuíferos, es del orden de $81 * 10^6 \text{ m}^3$ (2604 LPS), y la demanda de $10,49 * 10^6 \text{ m}^3$ (291,38 LPS) con un remanente de 2.312,62 LPS para distribuir en el futuro, es decir que la demanda real es el 11.17 % de la oferta, luego los aprovechamientos son racionales consecuentes con la reservas disponibles. Solo se está aprovechando 0,55 % del volumen total de agua almacenada de $1906 * 10^6 \text{ m}^3$.

Para realizar el cálculo del índice de escasez se adopto la metodología propuesta por el IDEAM, aprobada por el Ministerio del Medio Ambiente mediante Resolución N° 0872 de mayo 18 del 2006 obteniéndose los siguientes resultados:

El Caudal Captado es del orden de 822,265 lps, teniendo en cuenta que solo el 4 % de los pozos cuenta con un sistema de medición; por ello se llevo a cabo la sumatoria de los caudales otorgados a 391 concesiones otorgadas.

El Caudal Explotable se determino aplicando la fórmula propuesta en la metodología donde alfa tomo valores de 0.3 a 1 lo que dio como resultado que entre más grande es el valor de alfa menor es el índice de escasez en nuestro caso el caudal explotable es del orden de 2604 lps lo que equivale a 0.31 para el índice de escasez en consecuencia se puede decir que el cobro que se realiza por la utilización de las aguas subterráneas en el municipio de Santiago de Cali es muy bajo y por ende esto no garantiza el Ahorro y uso eficiente del agua.





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

13 RECOMENDACIONES

Las aguas subterráneas no están exentas de problemas de calidad como cantidad por ello se hace necesario implementar acciones que permitan desarrollar una buena gestión y la protección del recurso hídrico subterráneo para que las generaciones futuras puedan heredar un recurso en cantidad y calidad; por ello es necesario implementar actividades que al final permitan realizar una reglamentación para el correcto aprovechamiento de este recurso.

En consecuencia se recomienda implementar una red de monitoreo de 50 puntos en las diferentes cuencas de los siete (7) ríos para la medición de **Niveles Estáticos** la cual se debe realizar cuatro (4) veces al año, para ello es necesario realizar la nivelación topográfica de la red que se diseñe; con la medición de estos se pueden obtener los siguientes productos: **Plano de Variación** de Niveles el cual permite determinar la variación de las reservas, **Piezometría del Acuífero** este plano suministra información sobre la dirección del flujo subterráneo, los gradientes hidráulicos y las zonas de depresión por sobre explotación del acuífero.

Otra actividad que se debe iniciar es el **Monitoreo de las Aguas Subterráneas** para iniciar el monitoreo se debe realizar una revisión de la información hidrogeoquímica existente en otras entidades la cual permitirá realizar una caracterización preliminar de la calidad del agua subterránea.

Para ello es necesario diseñar una red y tener los equipos necesarios (bomba sumergible, Planta eléctrica para operar la Bomba y todo el equipo de laboratorio disponible para desarrollar esta actividad, la cual se debe llevar a cabo dos veces por año, los parámetros a monitorear deben ser establecidos de manera consistente con la actividad que se desarrolla y siguiendo los recomendados por ley por ejemplo para las estaciones de servicio se debe determinar hidrocarburos totales, grasas contenido de gases.

Con el propósito de determinar los volúmenes de agua utilizados por los usuarios y controlar el caudal concedido se debe exigir la instalación de medidores a todas las concesiones otorgadas por la entidad esta información nos permite calcular con mayor exactitud los caudales explotados necesarios para determinar con precisión el índice de escasez.





ALCALDÍA DE
SANTIAGO DE CALI
DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO
DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTE

14 BIBLIOGRAFÍA

Curso Internacional De Aguas Subterráneas, Bogotá D.C julio 3 al 27, 2001.

Plan de Manejo Integrado de Aguas Subterráneas En Pereira y Dosquebradas. Julio, 2007.

Boletín Hidroclimatológico. Corporación Autónoma Regional Del Valle Del Cauca, CVC. 2008.

Mijailov. I. 1985. Hidrogeología.

Cali En Cifras, Anuario Estadístico, Alcaldía De Santiago De Cali, Departamento Administración De Planeación. 2009.

Estudio, Cantidad y Calidad. Acuíferos En El Área Urbana Del Municipio De Santiago De Cali. SAF Ltda. 2000

Estudio y Diseño De Los Procesos Para La Regulación y Uso De Las Aguas Subterráneas En El Municipio De Cali. ACODAL. 1998.

Estudio De Microzonificación Sísmica De Santiago De Cali INGEOMINAS. 2005.

Diagnostico Del Impacto De Las Escorrentías Naturales y Artificiales En La Comuna 22 De Santiago De Cali. DAGMA, Universidad ICESI. 2010.

Balance Oferta -Demanda De Agua Superficial De La Cuenca Del Río Meléndez. CVC. 2007.

Balance Oferta -Demanda De Agua Superficial De La Cuenca Del Río Pance. CVC. 2007.

Estudio De Hidrogeología – Área Con Régimen Diferido De Navarro (ARDN) Departamento Administrativo De Planeación, Alcaldía De Santiago De Cali, 2005.

