

CARACTERIZACIÓN DE LOS NIVELES DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL ÁREA METROPOLITANA DE
BUCARAMANGA – FASE 1

OSCAR FERNANDO LÓPEZ SERRANO
ID: 000198011
SERGIO AUGUSTO DELGADO MARTÍNEZ
ID: 000211216

ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
2019

**CARACTERIZACIÓN DE LOS NIVELES DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL ÁREA METROPOLITANA DE
BUCARAMANGA – FASE 1**

OSCAR FERNANDO LÓPEZ SERRANO
ID: 000198011
SERGIO AUGUSTO DELGADO MARTÍNEZ
ID: 000211216

SANDRA ROCÍO VILLAMIZAR AMAYA
DIRECTORA

ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
2019

Nota de aceptación:

Firma Presidente del Jurado

Firma Jurado N°1

Firma Jurado N°2

Bucaramanga, julio de 2019

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis Padres, que son mi mayor inspiración para seguir adelante en mi sueño de ser un ingeniero civil y poder lograr esta meta para mi futuro.

Oscar F. López Serrano

Primero que todo quiero dedicar este proyecto a Dios nuestro creador, que sin el nada sería posible.

También lo quiero dedicar a mi querido abuelo Ambrosio Delgado Hernández que en paz descanse el cual fue un gran apoyo y siempre me alentó a continuar aprendiendo.

Sergio A. Delgado Martínez

AGRADECIMIENTOS

Sinceros agradecimientos a nuestra directora del proyecto la ingeniera Sandra Rocío Villamizar por confiar en nosotros este proyecto. También queremos agradecerles a nuestros queridos padres por el constante apoyo y excelentes consejos que siempre nos han brindado.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN-----	12
2. OBJETIVOS -----	13
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS -----	13
3. MARCO CONCEPTUAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS-----	14
3.1. LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DENTRO DEL CICLO HIDROLÓGICO -----	14
3.2. ACUÍFEROS -----	15
Acuífero libre-----	15
Acuífero confinado o artesiano-----	15
Acuífero semi-confinado -----	16
Acuitardo-----	16
3.3. PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE LOS ACUÍFEROS-----	16
Porosidad (n o ϕ)-----	16
Conductividad hidráulica (K)-----	17
Coeficiente de Almacenamiento – Storage coefficient (S) y almacenamiento específico – Specific storage (Ss)-----	17
Transmisividad - Transmissivity (T)-----	19
3.4. MODELAMIENTO DEL FLUJO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS SOBRE SUELO SATURADO. -----	20
3.5. MODELAMIENTO DEL FLUJO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS SOBRE SUELO NO SATURADO. ---	21
4. METODOLOGÍA -----	22
5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO -----	25
5.1. HIDROCLIMATOLOGÍA DE LA ZONA-----	26
5.2. GEOLOGÍA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA -----	27
5.3. PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA DURANTE EL PERÍODO DE TRABAJO (DATOS IDEAM)-----	28
6. DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO. -----	30
6.1. POZO NÚMERO 1 – BGA 1-----	30
6.2. POZO NÚMERO 2 – BGA 2-----	31
6.3. POZO NÚMERO 3 - BGA 3 -----	32
6.4. POZO NÚMERO 4 - BGA 4 -----	32
6.5. POZO NÚMERO 5 - BGA 5 -----	33
6.6. POZO NÚMERO 6 - BGA 6 -----	33

6.7. POZO NÚMERO 7 - GON 7-----	34
6.8. POZO NÚMERO 8 - GON 8-----	35
7. INFORMACIÓN SECUNDARIA SOBRE CAPTACIONES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.-----	35
7.1. TEMPERATURAS DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN 1989 (UIS, Agua subterránea como posibilidad de consumo en la Meseta de Bucaramanga, 1989).-----	35
7.2. ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA, 2002 (CAMB, Modelo Hidrogeológico Básico de Bucaramanga, 2002)-----	36
7.3. EVALUACIÓN DE NUEVAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO EN EL PERÍODO 2003 – 2004 (CAMB, Programa de Investigación de Aguas Subterráneas, 2003) -----	37
7.4. ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA, 2004 (Reyes, 2004)-----	38
7.5. NIVELES DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL PERÍODO 1996 – 2011 (Rodríguez, 2011)-----	38
8. PARÁMETROS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.-----	39
9. dinámica de las aguas subterráneas-----	41
9.1. ANÁLISIS DE TEMPERATURA-----	43
9.2. ANÁLISIS DE NIVELES DEL AGUA SUBTERRÁNEA-----	45
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES-----	47
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	49
12. ANEXO 1 – FORMULARIO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN EN CAMPO -----	52

TABLA DE FIGURAS

FIGURA 1. ESQUEMA DEL CICLO HIDROLÓGICO (USGS, U.S.GEOLOGICAL SURVEY, 2007)-----	14
FIGURA 2. ESQUEMA DE UN ACUÍFERO LIBRE (VÉLEZ, 2011). -----	15
FIGURA 3. ESQUEMA DE UN ACUÍFERO CONFINADO (VÉLEZ, 2011). -----	15
FIGURA 4. ESQUEMA DE UN ACUÍFERO SEMICONFINADO (VÉLEZ, 2011). -----	16
FIGURA 5. VALORES TÍPICOS DE PERMEABILIDAD PARA DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES (CUSTODIO, 1983). -----	17
FIGURA 6. VALORES DE COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (MARTÍNEZ A. I., 1984). -----	19
FIGURA 7. CLASIFICACIÓN DE TERRENOS POR SU TRANSMISIVIDAD (CUSTODIO, 1983).-----	19
FIGURA 8. REDES DE FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA (GALVIS, 2011). -----	21
FIGURA 9. FORMULARIO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN EN CAMPO -----	22
FIGURA 10 IMAGEN DEL GPS MARCA TRIMBLE UTILIZADO PARA LA RECOLECCIÓN DE LOS PUNTOS X,Y,Z DE CADA POZO. -----	24
FIGURA 11. IMAGEN DEL EQUIPO SOLINST WATER LEVEL METER, MODELO 101 UTILIZADO PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE PROFUNDIDAD DEL NIVEL DEL AGUA SUBTERRÁNEA.-----	24
FIGURA 12 INTEGRANTES DEL PROYECTO REALIZANDO TOMA DE DATOS DE CAMPO. -----	25
FIGURA 13 LOCALIZACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO. -----	26
FIGURA 14 UBICACIÓN DEL LISTADO DE PUNTOS DE ESTUDIO. -----	30
FIGURA 15 DESCRIPCIÓN DEL POZO NÚMERO 1 – BGA 1. -----	31
FIGURA 16 DESCRIPCIÓN DEL POZO NÚMERO 2 – BGA 2. -----	31
FIGURA 17 DESCRIPCIÓN DEL POZO NÚMERO 3 – BGA 3. -----	32
FIGURA 18 DESCRIPCIÓN DEL POZO NÚMERO 4 – BGA 4. -----	32
FIGURA 19 DESCRIPCIÓN DEL POZO NÚMERO 5 – BGA 5. -----	33
FIGURA 20 DESCRIPCIÓN DEL POZO NÚMERO 6 – BGA 6. -----	34
FIGURE 21 DESCRIPCIÓN DEL POZO NÚMERO 7.-----	34
FIGURA 22 DESCRIPCIÓN DEL POZO NÚMERO 8. -----	35
FIGURA 23 VARIACIÓN TEMPORAL DE LA TEMPERATURA DEL NIVEL FREÁTICO EN LOS POZOS ESTUDIADOS. -----	43
FIGURA 24 PERFIL TIPO DE TEMPERATURA EN LA COLUMNA DE AGUA.-----	44
FIGURA 25A VARIACIÓN TEMPORAL DE LOS NIVELES FREÁTICOS EN LOS PUNTOS DE BUCARAMANGA.-----	45
FIGURA 25B VARIACIÓN TEMPORAL DE LOS NIVELES FREÁTICOS EN LOS PUNTOS DE GIRÓN. -----	46

LISTADO DE TABLAS

TABLA 1. VALORES TÍPICOS DE POROSIDAD PARA ROCAS Y SEDIMENTOS (FREEZE, 1979).....	16
TABLA 2. DESCRIPCIÓN DEL RÉGIMEN DE LLUVIAS EN LA MICROCUENCA RÍO DE ORO BAJO BASADO EN DATOS DE LAS ESTACIONES CP UIS Y CO LLANOGRANDE. (CDBM, POMCA RIO DE ORO, 2007).....	27
TABLA 3. PRECIPITACIÓN ACUMULADA (28 DÍAS) PARA ESTACIONES DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	29
TABLA 4 TEMPERATURA PROMEDIO (28 DÍAS) PARA ESTACIONES DE LA ZONA DE ESTUDIO.	29
TABLA 5. TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL AÑO 1989 PARA PUNTOS LOCALIZADOS EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA.	36
TABLA 6. POZOS PROFUNDOS ESTUDIADOS POR EL AMB EN EL AÑO 2002.....	36
TABLA 7 UBICACIÓN DE LOS POZOS DE EXPLORACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA.	37
TABLA 8. INFORMACIÓN DE TASAS DE BOMBEO DE LOS 4 POZOS DE BOMBEO DE AGUA SUBTERRÁNEA. ...	37
TABLA 9 RESUMEN DEL MUESTREO PILOTO PERÍODO 2004.	38
TABLA 10 RESUMEN DE LAS CONCESIONES DE AGUA SUBTERRÁNEA OTORGADAS POR LA CDBM EN EL PERÍODO 1996-2010.	38
TABLA 11 CONCESIONES DE AGUA 2011 (UIS) (RODRÍGUEZ, 2011).	39
TABLA 12. DISTRIBUCIÓN DE SISTEMA ACUÍFERO POR ÁREA HIDROGRÁFICA, PROVINCIA HIDROGEOLÓGICA Y SISTEMA ACUÍFERO.	40
TABLA 13. DESCRIPCIÓN DE LOS 4 POZOS EXPLORATORIOS. (CAMB, PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN DE AGUAS SUBTERRANEAS, 2003)	40
TABLA 14. CARACTERÍSTICAS DE LAS CUENCAS HIDROGEOLÓGICAS MONTANAS E INTRAMONTANAS DE COLOMBIA (IDEAM, RED NACIONAL DE AGUAS SUBTERRANEAS, 2009).	41
TABLA 15. INFORMACIÓN GENERAL DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.	42
TABLA 16. DATOS DE NIVELES DE AGUA Y TEMPERATURA PARA OCHO POZOS.	42
TABLA 17 INFORMACIÓN DE TEMPERATURA 1989 (UIS, AGUA SUBTERRÁNEA COMO POSIBILIDAD DE CONSUMO EN LA MESETA DE BUCARAMANGA, 1989).....	44
TABLA 18 INFORMACIÓN DE TEMPERATURA 2019.	44
TABLA 19. PORCENTAJE DE CAMBIO DE NIVELES DE AGUA CON RESPECTO A LA LECTURA ANTERIOR.....	46
TABLA 20 TABLA COMPARATIVA DE NIVELES FREÁTICOS.....	47
TABLA 21 TABLA COMPARATIVA DE NIVELES FREÁTICOS.....	47

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: CARACTERIZACIÓN DE LOS NIVELES DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA – FASE 1

AUTOR(ES): Sergio Augusto Delgado Martínez
Oscar Fernando López Serrano

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): SANDRA ROCÍO VILLAMIZAR AMAYA

RESUMEN

Las aguas subterráneas pueden ser un recurso suplementario en ciudades de Colombia. Para esto es necesario que se conozcan su disponibilidad y potencial futuro. El monitoreo de los acuíferos y el conocimiento de sus propiedades son elementos importantes en el proceso. Este estudio buscó implementar la Fase 1 de la construcción de un modelo conceptual de la dinámica de los niveles del agua subterránea del área metropolitana de Bucaramanga a partir de información primaria y secundaria. Inicialmente, el documento presenta la información secundaria existente sobre los niveles del agua subterránea del área metropolitana de Bucaramanga, a partir de la revisión de fuentes bibliográficas pertinentes; se consolidó un inventario de parámetros y características del acuífero subyacente que puede servir para la implementación futura de esfuerzos de modelación de aguas subterráneas de la zona. Finalmente, se realiza un análisis de la dinámica de los niveles del agua subterránea en el área metropolitana de Bucaramanga mediante el monitoreo de los niveles de agua en puntos específicos del área durante el período de duración del proyecto. Este estudio presenta un valor agregado en cuanto a que podría ser usado por entidades ambientales de la zona como punto de partida para el estudio de este preciado recurso.

PALABRAS CLAVE:

Agua subterránea, nivel freático, propiedades del acuífero, Bucaramanga

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: CHARACTERIZATION OF THE LEVELS OF UNDERGROUND WATER OF THE METROPOLITAN AREA OF BUCARAMANGA - PHASE 1

AUTHOR(S): Sergio Augusto Delgado Martínez
Oscar Fernando López Serrano

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Sandra Rocío Villamizar Amaya

ABSTRACT

Groundwater may be a supplementary resource in Colombian cities. Therefore, it is required to evaluate its availability for present and future conditions. Groundwater level monitoring and the study of aquifer properties are vital for this process. This study attempted to develop phase 1 of the construction of a conceptual model of the groundwater levels in the metropolitan area of Bucaramanga, based on secondary and primary information. This document first presents the already existent studies related to groundwater levels in the area, then focuses on aquifer parameters and characteristics based on local and national studies. These may be used in future groundwater modeling efforts for the area. Finally, the document presents the data collected during the study period and analyses the dynamics of the groundwater levels and water temperature. This study offers an added value in that it could be used by environmental entities in the area as a starting point for the study of this precious resource.

KEYWORDS:

Ground water, groundwater levels, aquifer properties, Bucaramanga

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso hídrico más importante para los seres humanos; lo podemos encontrar de manera superficial o subterránea. Las aguas subterráneas son un recurso muy valioso para algunas comunidades dado que, en general, estas son menos susceptibles a ser contaminadas comparadas con las aguas superficiales, y pueden ser una fuente fundamental en épocas de extrema sequía. En zonas donde el agua superficial es abundante, generalmente se desconoce la dinámica de las aguas subterráneas. Sin embargo, el crecimiento poblacional y la incertidumbre asociada a la variabilidad climática, hace necesario investigar nuevas opciones de abastecimiento. Este es el caso de la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana.

En Colombia existe documentación que caracteriza los sistemas de acuíferos principales del país (IDEAM, Principios básicos para el conocimiento y monitoreo de las aguas subterráneas - Contenidos del Taller de Formación, 2015) y algunos departamentos han avanzado significativamente en el estudio de sus aguas subterráneas, aunque, en general, el conocimiento que existe sobre ellos es insuficiente como para ser aprovechados. Para el caso de Santander, existe poco conocimiento (ver Estudio Nacional del Agua, 2014 (IDEAM, IDEAM, Estudio Nacional del Agua ENA 2014, 2015)) dado que no se han formalizado campañas continuas de monitoreo de este valioso recurso. En el área metropolitana de Bucaramanga se han hecho algunos esfuerzos por conocer el origen de las aguas subterráneas (UIS, Implementación de una red de muestreadores de isotopos estables en la precipitación para obtener la recta meteorica local, 2005) y evaluar su potencial como reserva hídrica. Otros estudios han buscado inventariar el uso de las aguas subterráneas y la dinámica de los niveles de los acuíferos (Rodríguez, 2011). Sin embargo, no existe información oficial actualizada que presente una síntesis de la información disponible y de lo que falta, a pesar de que el agua subterránea es un recurso que continuamente es utilizado en esta zona, particularmente, por pequeñas industrias y establecimientos de lavado de automóviles dado que, por ley, este tipo de negocio no puede usar agua potable para el ejercicio de su actividad comercial (CDMB, Resolucion No 0671, 11 Agosto 2017).

Este documento presenta el resultado de la fase 1 de un proyecto orientado a caracterizar los niveles de agua subterránea en el área metropolitana de Bucaramanga. Muestra un consolidado de los estudios realizados en la zona y extrae de ellos algunas propiedades existentes que permiten caracterizar, de manera general, el acuífero subyacente. Para puntos de monitoreo localizados en las ciudades de Bucaramanga y Girón, presenta un análisis de la dinámica de los niveles de las aguas subterráneas y su temperatura para las campañas realizadas durante la duración del proyecto, que se llevó a cabo entre los meses de Febrero a Junio de 2019. A partir de la información recolectada, se producen conclusiones y recomendaciones que pueden ser tenidas en cuenta para fases futuras del proyecto.

2. OBJETIVOS

Implementar la Fase 1 de la construcción de un modelo conceptual de la dinámica de los niveles del agua subterránea del área metropolitana de Bucaramanga a partir de información primaria y secundaria.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Sintetizar información secundaria existente sobre los niveles del agua subterránea del área metropolitana de Bucaramanga, a partir de la revisión de fuentes bibliográficas pertinentes.
- Consolidar un inventario de parámetros y características del acuífero subyacente que sirvan para la implementación futura de esfuerzos de modelación de aguas subterráneas de la zona.
- Analizar la dinámica de los niveles del agua subterránea en el área metropolitana de Bucaramanga mediante el monitoreo de los niveles de agua en puntos específicos del área durante el período de duración del proyecto.

3. MARCO CONCEPTUAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

3.1. LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DENTRO DEL CICLO HIDROLÓGICO

Se denomina ciclo hidrológico a la circulación del agua a través del sistema tierra-atmósfera, en sus diferentes estados (sólido, líquido y gaseoso), que son definidos por las variaciones de la energía solar disponible en el punto de evaluación (USGS, U.S.GEOLOGICAL SURVEY, 2007) (ver **Figura 1**). Este ciclo tiene cinco procesos principales: evaporación, condensación, precipitación, escorrentía y transporte. La precipitación ingresa el agua a la fase terrestre del ciclo hidrológico y ocurre cuando la humedad relativa del vapor de agua presente en la atmósfera es mayor al 100% y existe una renovación constante de aire húmedo que resulta en cantidades hidrológicamente significativas de precipitación (en sus diferentes modos). Dependiendo de la pendiente, el tipo de suelo y la cobertura vegetal, un porcentaje de la precipitación escurre superficialmente o por flujos laterales en el suelo hasta llegar a cuerpos de agua superficial. Un porcentaje de la fracción restante se infiltra hasta formar parte de las reservas de los acuíferos en el sistema hidrogeológico de la zona (IDEAM, Principios básicos para el conocimiento y monitoreo de las aguas subterráneas - Contenidos del Taller de Formación, 2015). El agua subterránea fluye a través del suelo poroso en condición saturada hacia los niveles más bajos del proceso de infiltración y su salida a la superficie de manera natural puede ser en forma de manantial y caudal base para ríos. En su gran mayoría el agua es devuelta al mar o es llevada a cuencas cerradas donde el líquido se evapora (Galvis, 2011).



Figura 1. Esquema del ciclo hidrológico (USGS, U.S.GEOLOGICAL SURVEY, 2007)

El agua subterránea representa una fracción importante de la masa de agua dulce presente en el mundo (1,7%) [(USGS, U.S.GEOLOGICAL SURVEY, 2007)]. Este líquido se encuentra almacenado en acuíferos ubicados a varios metros por debajo de la superficie terrestre y puede ser extraído de manera natural por medio de manantiales o filtraciones de cursos fluviales, o en forma artificial mediante perforaciones, túneles o sistemas de drenajes (Galvis, 2011).

3.2. ACUÍFEROS

Los acuíferos son rocas o sedimentos que acumulan agua pero también permiten transmitirla. Se entienden como un sistema que involucra las zonas de recarga, tránsito y descarga, así como sus interacciones con otras unidades similares y con aguas superficiales (ríos, quebradas, lagunas, etc.) y marinas (IDEAM, IDEAM, Estudio Nacional del Agua ENA 2014, 2015). Los tipos de acuíferos se clasifican dependiendo de las condiciones de presión a la que está sometida el agua almacenada por ellos, condiciones que varían según la posición estructural de las rocas (Maria Victoria Vélez Otalvaro, 2011).

Acuífero libre

Es aquel que se encuentra sometido a condiciones de presión atmosférica. Entre la superficie del terreno y el nivel freático existe una estructura de suelo permeable que permite el flujo libre del agua (ver **Figura 2**). El espesor saturado es muy variable porque este tipo de acuífero depende de la precipitación de la zona de recarga del mismo (Maria Victoria Vélez Otalvaro, 2011).

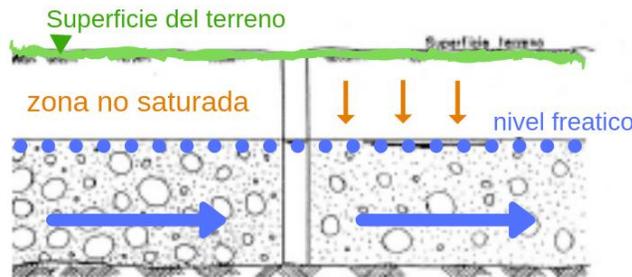


Figura 2. Esquema de un acuífero libre (Vélez, 2011).

Acuífero confinado o artesiano

En este acuífero la presión es superior a la atmosférica y está conformado por un sistema de rocas permeables en condiciones de saturación, acotado por capas de muy baja permeabilidad (ver **Figura 3**). Aunque no existe en este caso una superficie libre, sí puede hablarse de una superficie piezométrica, que es una superficie imaginaria coincidente con el nivel hidrostático del agua en el acuífero si no existieran condiciones de confinamiento por la capa impermeable superior (Maria Victoria Vélez Otalvaro, 2011).

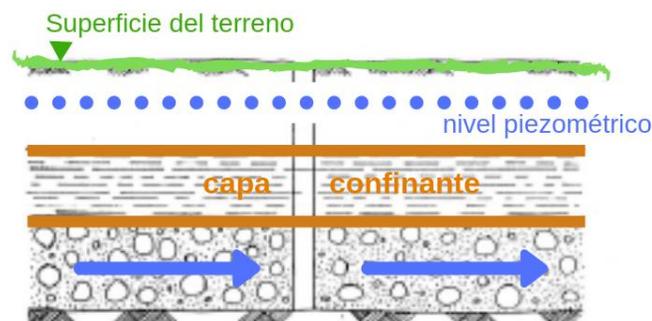


Figura 3. Esquema de un acuífero confinado (Vélez, 2011).

Acuífero semi-confinado

Este acuífero es aquel que por su base, su techo, o por los dos, está acotado por una capa semipermeable denominada acuitardo (ver **Figura 4**). Esta condición permite que haya un flujo entre acuíferos que se encuentren separados por el acuitardo, flujo que puede efectuarse en dirección de la diferencia de niveles piezométricos existente entre estos (Maria Victoria Vélez Otalvaro, 2011).

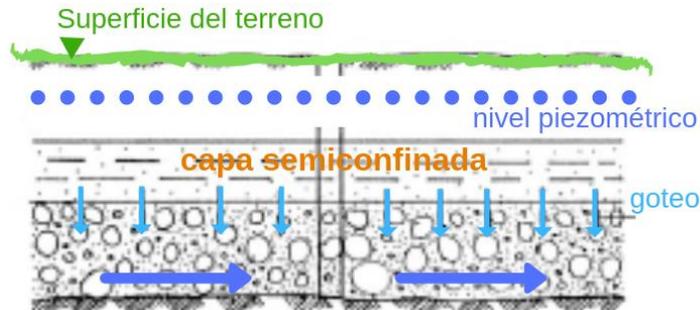


Figura 4. Esquema de un acuífero semiconfinado (Vélez, 2011).

Acuitardo

Son rocas o sedimentos semipermeables que almacenan agua y que permiten un flujo, que es muy lento comparado con el de los acuíferos. Este tipo de sistema no es apto para hacer captaciones de agua subterránea, pero en algunos casos específicos permite recargar verticalmente otros acuíferos (Maria Victoria Vélez Otalvaro, 2011).

3.3. PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE LOS ACUÍFEROS

Porosidad (n o ϕ)

Se refiere a la cantidad de espacios vacíos o poros existentes en el suelo, que pueden ser ocupados por agua (OMM, 2012). La porosidad es una propiedad asociada a las diferentes texturas de los suelos (ver Tabla 1):

Tabla 1. Valores típicos de porosidad para rocas y sedimentos (Freeze, 1979).

Valores de porosidad	
Materiales	ϕ (%)
Depósitos no consolidados	
Gravas	25-40
Arenas	25-50
Limos	35-50
Arcillas	40-70
Rocas	
Basalto fracturado	5-50
Calizas Kársticas	5-50

Areniscas	5-30
Caliza dolomita	0-20
Pizarra	0-10
Rocas cristalinas fracturadas	0-10
Rocas cristalinas compactas	0-5

Conductividad hidráulica (K)

Se define como la tasa volumétrica de flujo por unidad de área que se transmite a través del medio poroso por un cambio unitario en el gradiente hidráulico. Indica la facilidad con que se puede extraer o introducir agua en el acuífero. De acuerdo a la Ley de Darcy, este valor de permeabilidad “ K ” es la constante de proporcionalidad entre la velocidad de movimiento de las aguas subterráneas en el acuífero y la cabeza hidráulica:

$$q = -K * \left(\frac{\Delta h}{\Delta l}\right) \quad \text{Ecuación 1}$$

$$Q = -K * A * \left(\frac{\Delta h}{\Delta l}\right) \quad \text{Ecuación 2}$$

donde:

q = Velocidad de Darcy [L/T]

Q = Caudal [L^3/T]

$\Delta h / \Delta l$ = Gradiente hidráulico (el signo menos en la ecuación se debe a que el nivel disminuye en el sentido del flujo, es decir, que Δh o $d\Delta$ son negativos y el signo menos hace que el caudal sea positivo) [-],

A = Área de la sección transversal a través de la cual fluye el agua [L^2],

K = Conductividad hidráulica [L/T].

Es posible caracterizar los acuíferos de acuerdo a sus valores de permeabilidad o conductividad hidráulica (ver **Figura 5**):

permeabilidad (m/día)	10^4	10^3	10^2	10^1	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
Tipo de terreno	Grava limpia		Arena limpia		Arena fina, Arena arcillosa			Arcillas no meteorizadas			
Calificación	Buenos acuíferos				Acuíferos pobres			Impemeables			
Capacidad de drenaje	Drenan bien				Drenan mal			Drenan mal			

Figura 5. Valores típicos de permeabilidad para diferentes tipos de materiales (CUSTODIO, 1983).

Coefficiente de Almacenamiento – Storage coefficient (S) y almacenamiento específico – Specific storage (S_s)

El volumen de agua almacenada en una unidad de volumen de medio poroso puede cambiar en respuesta a cambios en la cabeza hidráulica. Se denomina **almacenamiento específico** (S_s , [L^{-1}]) al

aumento o reducción del volumen de agua almacenado bajo una unidad de área de acuífero, por un aumento o disminución en una unidad de la cabeza hidráulica:

$$S_s = \frac{\text{volumen de agua que entra o sale del volumen de control } [L^3]}{\text{aumento o disminución de la cabeza } [L] \cdot \text{volumen de control } [L^3]} \quad \text{Ecuación 3}$$

El **coeficiente de almacenamiento** (S [–]) es la expresión adimensional de almacenamiento, definido como el cambio en el volumen de agua almacenada por unidad superficial de área del acuífero, en respuesta a un cambio unitario de la cabeza hidráulica:

$$S = \frac{\text{aumento o disminución del volumen de agua almacenado } [L^3]}{\text{aumento o disminución de la cabeza } [L] \cdot \text{área superficial del acuífero } [L^2]} \quad \text{Ecuación 4}$$

Estos dos términos están relacionados de la siguiente manera:

$$S = B \cdot S_s \quad \text{Ecuación 5}$$

donde B [L] es el espesor saturado del acuífero ubicado bajo el área de estudio.

En un **acuífero no confinado** un cambio en cabeza hidráulica resulta en un cambio en el volumen de agua en el medio poroso. La cantidad de cambio en el contenido de humedad se caracteriza por la porosidad eficaz – *Specific yield* (S_y , [–]) que se define como el volumen de agua liberado por unidad de área superficial, por unidad de cambio en el nivel freático. En este caso solo se libera agua del volumen unitario superior. Para acuíferos no confinados:

$$S = S_y \quad \text{Ecuación 6}$$

En un **acuífero confinado** una disminución de la cabeza hidráulica resulta en la disminución de la superficie piezométrica pero el acuífero bajo la unidad de área superficial permanece saturado. El almacenamiento específico (S_s , [L⁻¹]) en un acuífero confinado es la suma de los cambios en el volumen de agua por compactación/expansión del medio poroso y del agua (debido a los cambios de presión):

$$S_s = (\alpha + \phi\beta) \cdot \gamma \quad \text{Ecuación 7}$$

donde:

α = Compresibilidad del acuífero [L²/F]

ϕ = Porosidad [–],

β = Compresibilidad del agua [L²/F],

γ = Peso específico del agua [F/L³].

Como en la Ecuación 5, el coeficiente de almacenamiento elástico - *Storativity* (S) se obtiene de multiplicar el almacenamiento específico con el espesor del acuífero confinado. La **Figura 6** muestra valores típicos de coeficientes de almacenamiento de acuerdo con tipos de materiales y de acuíferos.

Valores de coeficiente de almacenamiento(S)		
Tipo de material permeable	formasde funcionamiento del acuífero	Valores de S (medio)
Kárstico:		
Calizas y dolomitas jurásicas	Libre	2×10^2
	Semiconfinado	5×10^4
	Confinado	5×10^5
Calizas y dolomitas cretácicas	Libre	$2 \times 10^2 - 6 \times 10^2$
	Semiconfinado	$10^3 - 5 \times 10^4$
	Confinado	$10^4 - 5 \times 10^5$
Poroso intergranular:		
Gravas y arenas	Libre	$5 \times 10^2 - 15 \times 10^2$
	Semiconfinado	10^3
	Confinado	10^4
Kárstico y porosos:		
Calcarenitas marinas	Libre	$15 \times 10^2 - 18 \times 10^2$

Figura 6. Valores de coeficiente de almacenamiento (Martínez A. I., 1984).

Transmisividad - Transmissivity (T)

Mide la cantidad de agua, por unidad de ancho, que puede ser transmitida horizontalmente por el espesor saturado de un acuífero. La transmisividad (T) es el producto de la conductividad hidráulica (K) y el espesor saturado del acuífero (B) (Escobar, 2017):

$$T = K * B$$

Ecuación 8

Donde,

T = Transmisividad [L^2/T],

K = Permeabilidad o conductividad hidráulica del medio poroso [L/T],

B = Espesor saturado [L].

De acuerdo a su transmisividad, las áreas de estudio pueden clasificarse por su potencial de producción hídrica (ver **Figura 7**).

Clasificación de terrenos por su transmisividad ($m^3/día$)					
Clasificación	Impermeables	Poco permeable	Algo permeable	Permeable	Muy permeable
Clasificación del acuífero	Sin acuífero	Acuífero muy pobre	Acuífero pobre	Acuífero regular	Acuífero Excelente
Tipos de materiales			Arena fina	Arena limpia	
	Arcilla compacta	Limo arenoso	Arena limosa	Grava y arena	Grava limpia
	Pizarra	Limo	Caliza poco	Arena fina	Dolomias
	Granito	Arcilla limosa	Fracturada	Caliza	Muy fracturadas
			Basaltos	Fracturada	

Figura 7. Clasificación de terrenos por su transmisividad (CUSTODIO, 1983).

3.4. MODELAMIENTO DEL FLUJO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS SOBRE SUELO SATURADO.

El modelamiento del flujo en aguas subterráneas en suelo saturado se implementa a través de la combinación entre la Ley de Darcy (Ecuaciones 1 y 2 y 9) y el principio de conservación de masa, que modela el cambio en el almacenamiento en un volumen de control $dx dy dz$ (Ecuación 10).

La Ley de Darcy, aplicada para las direcciones x , y y z , se escribe de la siguiente manera:

$$q_x = -Kx \cdot \frac{\partial h}{\partial x}, \quad q_y = -Ky \cdot \frac{\partial h}{\partial y}, \quad q_z = -Kz \cdot \frac{\partial h}{\partial z} \quad \text{Ecuación 9}$$

El cambio en el almacenamiento (ΔM), usando el principio de conservación de masa, se escribe como:

$$\Delta M = \rho * S_s * \frac{\partial h}{\partial t} * (dx dy dz) dt \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde, de acuerdo con las ecuaciones presentadas en la sección 3.3, S_s es el almacenamiento específico, h es la cabeza hidráulica ($h = z + p/\gamma$) y ρ es la densidad del agua para las condiciones de temperatura y salinidad en el medio.

La **ecuación general de flujo saturado** que describe el flujo en un medio poroso donde la cabeza hidráulica y la conductividad varían en el espacio es:

$$\frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(Kx \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \cdot \left(Ky \cdot \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \cdot \left(Kz \cdot \frac{\partial h}{\partial z} \right) = -S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad \text{Ecuación 11}$$

Al incorporar algunas consideraciones, se puede obtener versiones simplificadas de esta ecuación.

- Flujo estacionario: $\frac{\partial h}{\partial t} = 0$

$$\frac{\partial}{\partial x} * \left(Kx * \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} * \left(Ky * \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} * \left(Kz * \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0 \quad \text{Ecuación 12}$$

- Medio isotrópico y homogéneo: $Kx = Ky = Kz = K$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S_s}{K} \frac{\partial h}{\partial t} \quad \text{Ecuación 13}$$

- La combinación de las dos condiciones anteriores (flujo estacionario y medio isotrópico y homogéneo) genera la llamada Ecuación de Laplace:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad \text{Ecuación 14}$$

El modelamiento del flujo en medio saturado en dos dimensiones, es decir, el uso de la Ecuación 14 para la dirección vertical y transversal, permite generar las redes de flujo como se ilustran en la Figura 8.

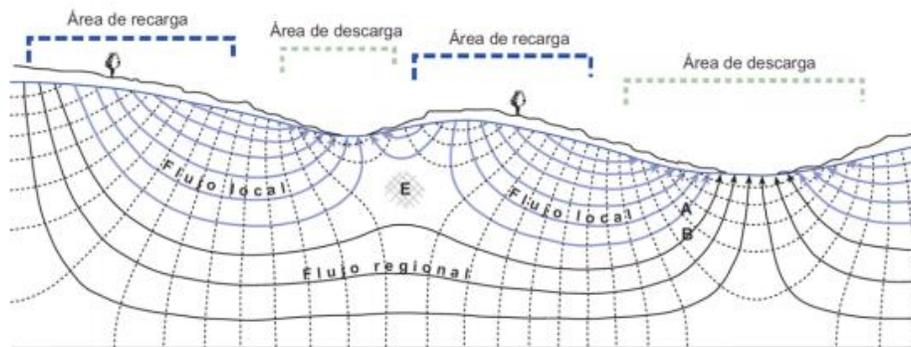


Figura 8. Redes de flujo de agua subterránea (Galvis, 2011).

3.5. MODELAMIENTO DEL FLUJO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS SOBRE SUELO NO SATURADO.

El modelamiento del flujo en aguas subterráneas en suelo no saturado se implementa a través de la combinación entre la Ley de Darcy (Ecuaciones 1 y 2 y 15) y el principio de conservación de masa, que modela el cambio en el almacenamiento en un volumen de control $dx \, dy \, dz$ (Ecuación 15).

La Ley de Darcy, aplicada para las direcciones x , y y z , se escribe de la siguiente manera:

$$\mathbf{q}_x = -Kx \cdot \frac{\partial h}{\partial x}, \quad \mathbf{q}_y = -Ky \cdot \frac{\partial h}{\partial y}, \quad \mathbf{q}_z = -Kz \cdot \frac{\partial h}{\partial z} \quad \text{Ecuación 15}$$

Para este caso, el coeficiente de almacenamiento “ S_s ” se debe al cambio de contenido de agua en el volumen de control como respuesta a un cambio de cabeza hidráulica (Ecuación 16).

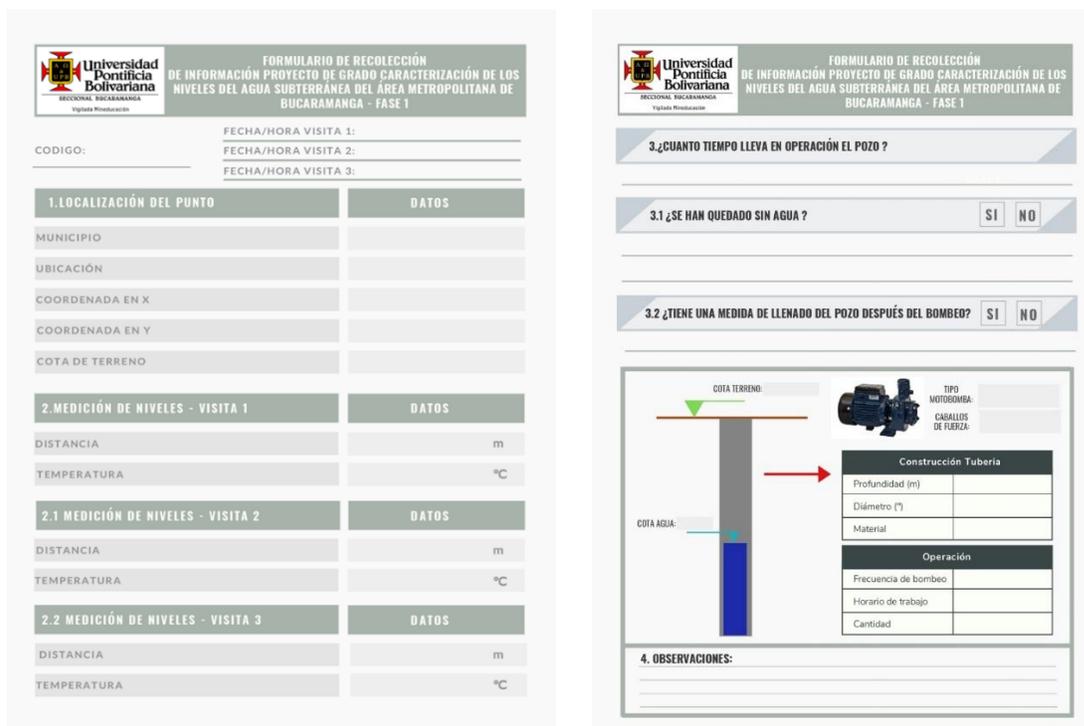
$$S_s = \frac{\partial \theta}{\partial h} \quad [L^{-1}] \quad \text{Ecuación 16}$$

Sustituyendo la ecuación de Darcy para condiciones de suelo no saturado y teniendo en cuenta que el valor de K es isotópico, se tiene la ecuación de Richard (1931), ya que en su mayoría esta ecuación se utiliza para estudiar el flujo vertical hacia abajo, para cuantificar la infiltración y redistribución en la zona no saturada (Ecuación 17).

$$\frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(K(\theta) \cdot \frac{\partial \Psi(\theta)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \cdot \left(K(\theta) \cdot \frac{\partial \Psi(\theta)}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \cdot \left(K(\theta) \cdot \frac{\partial \Psi(\theta)}{\partial z} + 1 \right) = -\frac{\partial h}{\partial t} \quad \text{Ecuación 17}$$

4. METODOLOGÍA

La metodología de trabajo se organizó en tres fases orientadas al cumplimiento de los objetivos del trabajo propuesto. **Primero**, se consideró una fase de revisión de información secundaria y planificación del trabajo de campo. En esta fase se realizó una serie de revisiones a la documentación sobre proyectos e investigaciones relacionados con el tema de aguas subterráneas en el Área Metropolitana de Bucaramanga; adicionalmente se realizaron visitas a las diferentes entidades gubernamentales encargadas de administrar y generar información relacionada con este recurso como la CDMB (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga), el AMB (Área Metropolitana de Bucaramanga), IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) y las empresas prestadoras del servicio de acueducto. El objetivo fue recolectar información con la intención de nutrir nuestra base preliminar de información y obtener un listado de puntos de monitoreo y extracción de este recurso. Simultáneamente, se desarrolló un cuestionario con preguntas cualitativas y cuantitativas, que permitieron obtener información en campo sobre el uso de las aguas subterráneas en los puntos donde se hizo la recolección de los datos de campo (ver Figura 9 y Anexo No. 1)



FORMULARIO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PROYECTO DE GRADO CARACTERIZACIÓN DE LOS NIVELES DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA - FASE 1

FECHA/HORA VISITA 1: _____
FECHA/HORA VISITA 2: _____
FECHA/HORA VISITA 3: _____

CODIGO: _____

1. LOCALIZACIÓN DEL PUNTO	DATOS
MUNICIPIO	
UBICACIÓN	
COORDENADA EN X	
COORDENADA EN Y	
COTA DE TERRENO	

2. MEDICIÓN DE NIVELES - VISITA 1	DATOS
DISTANCIA	m
TEMPERATURA	°C

2.1 MEDICIÓN DE NIVELES - VISITA 2	DATOS
DISTANCIA	m
TEMPERATURA	°C

2.2 MEDICIÓN DE NIVELES - VISITA 3	DATOS
DISTANCIA	m
TEMPERATURA	°C

3. ¿CUANTO TIEMPO LLEVA EN OPERACIÓN EL POZO ?

3.1 ¿SE HAN QUEDADO SIN AGUA ? SI NO

3.2 ¿TIENE UNA MEDIDA DE LLENADO DEL POZO DESPUÉS DEL BOMBEO? SI NO

COTA TERRENO: _____ TIPO MOTOBOMBA: _____
CABALLOS DE FUERZA: _____

COTA AGUA: _____

Construcción Tubería	
Profundidad (m)	
Diámetro (")	
Material	

Operación	
Frecuencia de bombeo	
Horario de trabajo	
Cantidad	

4. OBSERVACIONES:

Figura 9. Formulario de recolección de información en campo

La **segunda fase** consistió en la toma de datos de campo. Inició con la identificación de los puntos donde se iría a recolectar la información. En primera instancia, se intentó trabajar con la CDMB para acceder a su sistema de piezómetros e información sobre concesiones, pero según el funcionario Henry Herrera Romero, en respuesta a un derecho de petición realizado el 30 de enero de 2019, la CDMB actualmente no está haciendo monitoreo de información de aguas subterráneas y muchos de sus puntos de monitoreo están sellados o fuera de servicio. Tampoco proveyeron un listado de concesiones de agua subterránea. Igualmente, se indagó en la subdirección ambiental del Área

Metropolitana de Bucaramanga (**amb**) pero esta entidad no está haciendo el ejercicio de monitoreo de información de aguas subterráneas. La decisión entonces fue identificar lavaderos de carros que usaran las aguas subterráneas para llevar a cabo su actividad comercial. Inicialmente, se visitaron establecimientos donde se tenía algún contacto conocido y, a partir de estas personas, se logró acceso a nuevos establecimientos que permitieran el desarrollo de la actividad de toma de datos. Por lo tanto, la consecución del acceso a los diferentes sitios fue a través de recomendaciones de los propietarios o administradores de los locales visitados. Una vez localizados los puntos que utilizan agua subterránea se solicitó el acceso de manera verbal o escrita dependiendo el protocolo que maneja cada empresa. Se consultaron diferentes establecimientos de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Piedecuesta y Girón encontrando que, en los municipios de Floridablanca y Piedecuesta, para los establecimientos consultados, no hay uso de las aguas subterráneas dado que hay suficiente acceso a fuentes superficiales que proveen el recurso. El trabajo de recolección de información se centró entonces en las ciudades de Bucaramanga y Girón. Vale la pena resaltar que, dado que el uso del agua subterránea por parte de estos establecimientos es un tema sensible, no se pudo obtener una respuesta positiva masiva para la solicitud de recolección de la información. Se obtuvo permiso de ingreso para la toma de datos en 6 establecimientos comerciales de Bucaramanga y 2 de Girón.

Para los sitios autorizados se programó una ruta de trabajo teniendo en cuenta su localización y la dinámica de trabajo en cada uno de los establecimientos (esto se determinó a partir de los cuestionarios realizados) y durante cada evento de recolección de datos, fue necesario realizar el trámite de préstamo de equipos (Formato AF-FO-075 For Salida Act Fijos o Acc fuera de la Univ). Se llevaron a cabo cinco jornadas de muestreo con un intervalo promedio de un mes entre cada evento, iniciando en el mes de Febrero de 2019 y finalizando en el mes de Junio. En algunos puntos solo fue posible recolectar información para los tres o cuatro primeros eventos dado que el ingreso a dichos establecimientos dependió de la buena voluntad de los administradores o propietarios.

Para cada punto de monitoreo, en cada visita, se recolectó información de localización geográfica del punto (coordenadas x , y , z) con un GPS marca *Trimble* (ver Figura 10). Esta información de localización permitió la georreferenciación de todos los puntos y la determinación de la cota del nivel del agua a partir de la resta entre la cota de la superficie del pozo (cota z del GPS) y la profundidad del nivel del agua medida con el equipo Solinst WTL "Water Level Meter" modelo 101 (ver Figura 11), que fue recientemente adquirido por la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad.



Figura 10 Imagen del GPS marca Trimble utilizado para la recolección de los puntos x,y,z de cada pozo.



Figura 11. Imagen del equipo Solinst Water Level Meter, modelo 101 utilizado para la recolección de información de profundidad del nivel del agua subterránea.

El equipo Solinst WTL 101 tiene una cinta plana graduada con longitud de 100 metros que en su extremo está amarrada a un sensor que activa un sonido una vez entra en contacto con el agua. De esta manera, es posible medir la distancia desde la superficie del terreno hasta la superficie del agua dentro del pozo (en condiciones de no-bombeo). Adicionalmente, el equipo mide la temperatura del agua, permitiendo así realizar perfiles de temperatura para la columna de agua.

Para un pozo específico, el procedimiento de recolección de información fue el siguiente (ver Figura 12):

- Notificar llegada al establecimiento a la persona encargada del lugar,
- Seguir protocolos de seguridad de acuerdo a las indicaciones dadas por el encargado,
- Preparar equipos en el punto de monitoreo,
- Retirar la tapa de inspección e introducir lentamente la cinta métrica del equipo Solinst Water Level esperando la emisión del sonido que alerta el contacto con el agua,
- Recolectar la información de localización geográfica con el GPS,
- Diligenciar en el formato respectivo los siguientes datos:
 - Fecha
 - Hora
 - Código del lugar
 - Coordenadas GPS
 - Profundidad del nivel de agua subterránea
 - Temperatura del agua en la superficie.

- En algunos casos, realizar toma de perfiles de temperatura en la columna de agua del pozo,
- Retirar equipos y cerrar puntos de acceso al pozo.



Figura 12 Integrantes del proyecto realizando toma de datos de campo.

La **tercera** fase del proyecto consistió en el análisis de la información recolectada en campo, la integración con la información secundaria analizada, y la identificación de posibles relaciones entre esta información y la dinámica del ciclo hidrológico regional, aunque por falta de datos de caudal en las fuentes hídricas del área, nos enfocamos en el análisis de la relación entre los niveles de agua subterránea y las precipitaciones regionales (información del IDEAM).

5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área metropolitana de Bucaramanga (AMB) se encuentra conformada actualmente por la capital del departamento de Santander y sus municipios aledaños (Floridablanca, Piedecuesta y Girón), teniendo un área aproximada de 380 km², enmarcada en un cuadrante con coordenadas planas X = 1.099.000 m a 1.110.500 m y Y = 1.270.500 m a 1.285.000 m. El territorio metropolitano se encuentra insertado en la cuenca del Río Lebrija (zona hidrográfica del Magdalena Medio), específicamente dentro de la subcuenca del Río de Oro Bajo.

Bucaramanga está localizada sobre una meseta a 980 msnm, en la zona de la cordillera Oriental de Colombia. Se delimita al Oriente por el Macizo de Santander que supera los 2600 msnm; al Sur se encuentra el Valle de río Frío, la Mesa de Ruitoque y el municipio de Floridablanca; al Occidente se encuentra el río de Oro y el municipio de Girón; y al Norte de la ciudad se encuentra el río Suratá, ubicando las cotas de terreno más bajas. Para la ciudad de Bucaramanga existen dos subcuencas de gran importancia: la del río Suratá y la del río de Oro (EAFIT, 2007) (ver Figura 13).

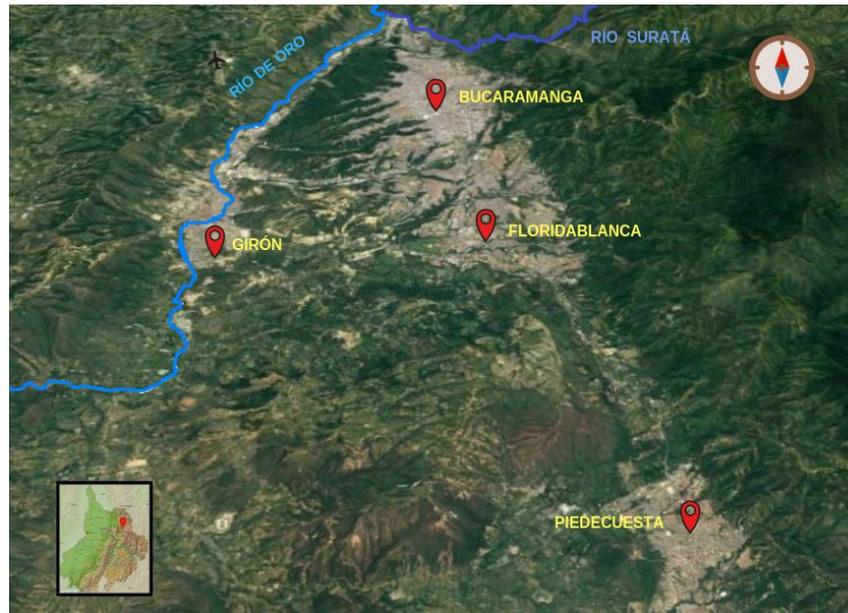


Figura 13 Localización general del área de estudio.

En el municipio se encuentran ubicados tres sistemas de acuíferos de los cuales dos de ellos tienen relación con rocas del Neis de Bucaramanga, con permeabilidades en el rango de bajas a muy bajas, pero con una buena porosidad; el tercer acuífero hace referencia a la sección gravosa de la formación de Bucaramanga en donde su nivel freático tiende a extenderse por toda la meseta, y algunas ocasiones se le llega a dar con el nombre de Acuífero Superior de la Meseta de Bucaramanga, dando lugar a la perforación de pozos profundos o cisternas para el abastecimiento de industrias o lavaderos de automóviles.

Los sistemas de recarga y flujo de los acuíferos, no se dan producto de las lluvias que son generadas en la zona aluvial pues la urbanización y el endurecimiento de la superficie de la Meseta no favorecen la infiltración del agua proveniente de la precipitación directa sobre la Meseta. Estudios realizados usando isótopos estables determinaron que las lluvias que ocurren en las zonas montañosas localizadas al Oriente de la Meseta, entre elevaciones 1700 a 2200 msnm, son las que fluyen y alimentan las aguas subterráneas de nuestra área de estudio (UIS, Implementación de una red de muestreadores de isótopos estables en la precipitación para obtener la recta meteorica local, 2005; RPGA, 2015).

5.1. HIDROCLIMATOLOGÍA DE LA ZONA

La parte baja de la cuenca del río de Oro abarca un área de 95 km², tiene un perímetro de 46.6 km y coeficiente de compacidad de 1.35 que la clasifica en cuanto a su forma como oval redonda a oval oblonga; por lo tanto, tiene un tiempo de concentración intermedio y mediana susceptibilidad a crecidas. Esta microcuenca tiene un patrón de drenaje asimétrico con la mayoría de tributarios ocurriendo en su margen derecha. (CDMB, Plan de ordenamiento y manejo ambiental Subcuenca Río de Oro, 2007).

La zona cuenta con una dinámica de precipitación bimodal con dos períodos de lluvia y dos períodos secos. El primer período de lluvias inicia a mediados del mes de marzo y va hasta las dos primeras

semanas de junio (esta temporada coincide con nuestro periodo de recolección de datos); la segunda temporada de lluvias oscila entre mediados del mes de Septiembre e inicio de Diciembre. Las temporadas secas abarcan el período de Diciembre a inicios de Marzo (más fuerte) y el período de mediados de Junio a mediados de Septiembre (más débil). La Tabla 2 presenta una caracterización de la dinámica de las lluvias en la zona de estudio, usando datos de las estaciones climatológica principal UIS y climatológica ordinaria Llanogrande. Los colores azules muestran la ocurrencia de precipitaciones (en azul oscuro el mayor valor), y los colores amarillos muestran los períodos de sequía (en gris el menor valor).

Tabla 2. Descripción del régimen de lluvias en la Microcuenca Río de Oro Bajo basado en datos de las estaciones CP UIS y CO Llanogrande. (CDMB, POMCA RIO DE ORO, 2007)

		PERIODO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ZONA BAJA	Lluvias													
	Seco													
														35.4 mm

5.2. GEOLOGÍA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA

La meseta de Bucaramanga es una depresión tectónica y su origen se debe a una zona deprimida relacionada con la falla de Bucaramanga – Santa Marta y la falla del río Suárez – río de Oro. La falla de Bucaramanga- Santa Marta es una falla de transformación, cuya profundidad llega hasta el manto. Se encuentra delimitada por el este y el oeste por fallas de trazo normalmente verticales, igualmente en la parte sur se presentan fallas transversales que la separan de la Mesa de Ruitoque. Esta zona decaída se fue rellenado por material aluvial en su mayoría. Gran porcentaje de la meseta de Bucaramanga corresponde a rellenos aluviales de las quebradas aferentes a la cordillera oriental y afluentes del río de Oro. Gracias al cambio de pendiente de estas quebradas formaron una serie de abanicos, que unidos por la base construyeron una bajada denominada por la geomorfología (UIS, Agua subterránea como posibilidad de consumo en la Meseta de Bucaramanga, 1989).

La falla del Río Suárez - Río de Oro, al occidente de Girón, afecta capas de la formación Girón; estas se pliegan por arrastre llegando a posiciones verticales y en otros casos invertidas. Se observa cerca de la falla un fracturamiento bastante fuerte y una meteorización de las rocas que alcanzan un alto grado, tanto que se llegan a confundir con depósitos cuaternarios (CAMB, Estudio Geoelectrico realizado en el Area Metropolitana en el proyecto "Modelo hidrogeologico basico de Bucaramanga", 2003)

La meseta de Bucaramanga fue formada por depósitos aluviales y sus límites geológicos se presentan de la siguiente forma:

- ❖ El límite oriental de la meseta de Bucaramanga es en su mayoría un contacto fallado y sucede principalmente con rocas ígneas – metamórficas del macizo Santander.

- ❖ El límite occidental de la meseta de Bucaramanga y el contacto que se encuentra debajo ocurren con rocas sedimentarias, en su mayoría arenosas de edad jurásico y triásico como la formación tambor. También es contacto fallado.
- ❖ El límite norte es discordante y ocurre principalmente en rocas de la formación tiburón y bocas del triásico y la formación Diamante del Devónico.
- ❖ El límite sur se hace con rocas del cretáceo y jurásico como son la formación Girón y Jordán.

Las formaciones que se encuentran en el mapa hidrogeológico son:

- ❖ Neis de Bucaramanga: secuencia de rocas estratificadas de rocas meta-sedimentarias de alto grado de metamorfismo orogénico que se componen principalmente de cuarcitas, anfibolitas, migmatitas, neis calcáreo, neis hornbléndico y neis qz-feldespáticos.
- ❖ Formación Silgará: compuesta por filitas, esquistos y cuarcitas.
- ❖ Rocas ígneas del triásico y jurásico: cuarzo manzonita y granito, biotítica, color gris y de grano fino.
- ❖ Formación Diamante: formado por caliza gris o parda rojiza; geomorfológicamente presenta un relieve de colinas bajas, con pendientes moderadas a suaves.
- ❖ Formación bocas: conformada por areniscas y lutita gris y gris parduzca.
- ❖ Formación Tiburón: geomorfológicamente consiste en colinas suaves a moderadamente abruptas hacia el sector del valle del río Suratá; compuesta por conglomerados con guijarros de caliza gris.
- ❖ Formación Jordán: localizada a 1 kilómetro al oeste del pueblo Jordán, sobre la pendiente norte del cañón del río Chicamocha; geomorfológicamente presenta una morfología suave formada por limolita, arenisca de grano fino, de color parda rojiza, poco calcárea en las partes más duras
- ❖ Formación Girón: su morfología corresponde a escarpes fuertes, colinas y cerros aislados conformados por areniscas conglomerática y conglomerado gris amarillento a pardo rojizo masivos y lenticulares con limolita parda rojiza
- ❖ Formación tambor: está conformada por areniscas cuarzo feldespáticas.

5.3. PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA DURANTE EL PERÍODO DE TRABAJO (DATOS IDEAM)

Con el ánimo de proveer referencia sobre las condiciones de precipitación y temperatura en la zona durante el período de duración del proyecto, se descargaron datos diarios de precipitación y temperatura de la página web del IDEAM (dhime.ideam.gov.co). Para el caso de la precipitación, las estaciones utilizadas fueron Berlín, Neomundo, Aeropuerto PaloNegro, Floresta, y Bucaramanga-IDEAM (ver Tabla 3). Se descargaron datos diarios (día pluviométrico) que se acumularon por un período de 28 días, terminando en la fecha en que se realizó la medición de nivel de las aguas subterráneas. A pesar de las diferencias en precipitación entre estaciones, en todas se aprecia el

impacto del primer período de lluvias del año, reflejado en los mayores valores de precipitación para los meses de Marzo y Abril.

Tabla 3. Precipitación acumulada (28 días) para estaciones de la zona de estudio.

Código	Estación	Fecha inicio	Fecha final	Precipitación acumulada (mm)
37015020	Berlín	01/02/2019	28/02/2019	18,50
		01/03/2019	28/03/2019	59,70
		13/04/2019	10/05/2019	95,10
23195230	Neomundo	01/02/2019	28/02/2019	7,50
		01/03/2019	28/03/2019	11,80
		13/04/2019	10/05/2019	16,10
		01/06/2019	30/06/2019	12,30
23195502	Aeropuerto PaloNegro	01/02/2019	28/02/2019	20,83
		01/03/2019	28/03/2019	76,76
		01/04/2019	26/04/2019	104,58
		01/06/2019	30/06/2019	0,00
23190590	Floresta	01/02/2019	28/02/2019	66,80
		01/03/2019	28/03/2019	116,60
		13/04/2019	10/05/2019	100,10
		01/06/2019	30/06/2019	25,20
23190830	B/manga IDEAM	01/02/2019	28/02/2019	23,20
		01/03/2019	28/03/2019	181,80
		13/04/2019	10/05/2019	123,90
		01/06/2019	30/06/2019	57,40

Para el caso de la temperatura, las estaciones utilizadas fueron Aeropuerto PaloNegro, Neomundo, y Berlín (ver Tabla 4). Se descargaron datos diarios (media diaria a 2 metros de la superficie del suelo) que se promediaron por un período de 28 días, terminando en la fecha en que se realizó la medición de nivel de las aguas subterráneas. La temperatura promedio en cada estación correspondió a su ubicación espacial y altura sobre el nivel del mar, y no se aprecia una tendencia general en cuanto a las variaciones de temperatura a lo largo del período de estudio.

Tabla 4 Temperatura promedio (28 días) para estaciones de la zona de estudio.

Código	Estación	Fecha inicio	Fecha final	Temperatura promedio (C)
23195502	Aeropuerto	01/02/2019	28/02/2019	22,86
		01/03/2019	28/03/2019	22,77
		15/04/2019	10/05/2019	22,73
		01/06/2019	30/06/2019	22,79
23195230	Neomundo	01/02/2019	28/02/2019	24,50
		01/03/2019	28/03/2019	24,38
		15/04/2019	12/05/2019	24,13
		01/06/2019	30/06/2019	24,22

37015030	Berlín	01/02/2019	28/02/2019	8,98
		01/03/2019	28/03/2019	9,66
		15/04/2019	10/05/2019	9,95
		01/06/2019	30/06/2019	9,97

6. DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.

Como se describió en la metodología, el estudio realizó muestreo en un total de ocho puntos, localizados en las ciudades de Bucaramanga (6 puntos) y Girón (2 puntos). Los puntos de monitoreo son pozos de agua subterránea utilizados para bombear agua a tanques de almacenamiento en lavaderos de carros. La Figura 14 muestra la ubicación geográfica de cada uno de los puntos y el código asignado para su identificación dentro de este documento. El Anexo 1 muestra el listado de los puntos con su nombre comercial y dirección.



Figura 14 Ubicación del listado de puntos de estudio.

6.1. POZO NÚMERO 1 – BGA 1

El pozo número 1 se encuentra ubicado en el municipio de Bucaramanga, en las coordenadas N: 7°06'53.24" y E: 73°07'10.71", a una elevación de 979.9 metros. Este pozo se encuentra en servicio con el fin de abastecer el lavadero de autos que se encuentra en la estación de servicio, que tiene un horario de trabajo de 24 horas. El bombeo del pozo se presenta en horarios variables, dependiendo del ritmo de trabajo que se presente; por lo general esta labor la realizan en horas de la tarde. El pozo tiene una longitud construida aproximada de 5 metros con una profundidad del nivel freático, desde la superficie del terreno, que varía entre 2.63 y 3.16 metros. El rango de temperatura registrada en las visitas de campo varía entre 27.04 y 27.73 °C (ver Figura 15).

CODIGO: BGA 1



Municipio : **Bucaramanga**

Coordenadas : **N 7°06'53,24" - E 73°07'10,71"**

Cota de Terreno : **979,9 metros**

Actividad: **Estación de Servicio**
Horario de trabajo : **24 Horas**
Profundidad del pozo: **5 metros**
Material del pozo: **Concreto**
Tipo captación : **Cisterna**
Tipo Bomba : **Motor**
Diámetro tubería : **1,1/2"**

FECHAS	28/02/2019	28/03/2019	10/05/2019
Nivel Freatico	2,68	3,16	2,63
Temperatura	27,47	27,73	27,04

Figura 15 Descripción del pozo número 1 – BGA 1.

6.2. POZO NÚMERO 2 – BGA 2

El pozo número dos se encuentra ubicado en el municipio de Bucaramanga, en las coordenadas N: 7°06'53,06" y E: 73°07'10,11", a una elevación de 984.2 metros. Este pozo se encuentra en servicio con el fin de abastecer la zona de monta llantas y otras dependencias propias de la estación de servicio, con un horario de trabajo de 12 horas. El bombeo del pozo se presenta en horarios de la tarde, dos veces por semana. El pozo tiene una longitud construida aproximada de 5 metros con una profundidad del nivel freático, desde la superficie del terreno, que varía entre 3.12 y 3.44 metros. El rango de temperatura registrada en las visitas de campo varía entre 27.46 y 28.14 °C (Ver Figura 16).

CODIGO: BGA 2



Municipio : **Bucaramanga**

Coordenadas : **N 7°06'53,06" - E 73°07'10,11"**

Cota de Terreno : **984,2 metros**

Actividad: **Estación de Servicio**
Horario de trabajo : **24 Horas**
Profundidad del pozo: **5 metros**
Material del pozo: **Concreto**
Tipo captación : **Cisterna**
Tipo Bomba : **Motor**
Diámetro tubería : **1,1/2"**

FECHAS	28/02/2019	28/03/2019	10/05/2019
Nivel Freatico	3,38	3,44	3,12
Temperatura	28,14	27,46	27,66

Figura 16 Descripción del pozo número 2 – BGA 2.

6.3. POZO NÚMERO 3 - BGA 3

El pozo número tres se encuentra ubicado en el municipio de Bucaramanga, en las coordenadas N: 7°06'50,94" y E: 73°07'39,73", a una elevación de 963.2 metros. Este pozo anteriormente prestaba los servicios como lavadero de automóviles, pero actualmente no se encuentra en servicio por el cambio de uso y estructura que se le dio al lugar. El pozo tiene una longitud construida aproximada de 18 metros con una profundidad del nivel freático, desde la superficie del terreno, que varía entre 8.53 y 9.68 metros. El rango de temperatura registrada en las visitas de campo varía entre 26.37 y 27.79 °C (ver Figura 17).



Figura 17 Descripción del pozo número 3 – BGA 3.

6.4. POZO NÚMERO 4 - BGA 4

El pozo número cuatro se encuentra ubicado en el municipio de Bucaramanga, en las coordenadas N: 7°06'25,60" y E: 73°07'14,50", a una elevación de 943.36 metros. Este pozo se encuentra en servicio con el fin de abastecer el lavadero de autos que se encuentra en la Lubriteca, con un horario de trabajo de 24 horas. El bombeo del pozo se presenta en horarios variables, dependiendo del ritmo de trabajo que se presente; por lo general esta labor la realizan en horas de la tarde. El pozo tiene una longitud construida aproximada de 15 metros con una profundidad del nivel freático, desde la superficie del terreno, que varía entre 11.53 y 12.35 metros. El rango de temperatura registrada en las visitas de campo varía entre 26.24 y 26.38 °C (ver Figura 18).



Figura 18 Descripción del pozo número 4 – BGA 4.

6.5. POZO NÚMERO 5 - BGA 5

El pozo número cinco se encuentra ubicado en el municipio de Bucaramanga, en las coordenadas N: 7°07'31,01" y E: 73°07'45,82", a una elevación de 955,4 metros. Este pozo se encuentra en servicio con el fin de abastecer el lavadero de vehículos que se encuentra en la estación de servicio, con un horario de trabajo de 24 horas. El bombeo del pozo se presenta en horarios variables, casi siempre en horas de la mañana dependiendo de qué tan bajo se encuentre el nivel del pozo. La ubicación del pozo está muy por debajo del nivel de la vía, ya que para poder acceder a él, se tiene que bajar a un parqueadero subterráneo de la misma estación de servicio. El pozo tiene una longitud construida aproximada de 4 metros con una profundidad del nivel freático, desde la superficie del terreno, que varía entre 2.78 y 3.03 metros. El rango de temperatura registrada en las cinco visitas de campo varía entre 27.46 y 28.22 °C (ver Figura 19).

CODIGO: BGA 5



Municipio : **Bucaramanga**

Coordenadas : **N 7°07' 31,01" - E 73°07' 45,82"**

Cota de Terreno : **953,26 metros**

Actividad : **Estación de Servicio**
Horario de trabajo : **24 Horas**
Profundidad del pozo: **4 Metros**
Material del pozo: **Concreto**
Tipo captación : **Cisterna**
Tipo Bomba : **Motor**
Diámetro tubería : **1,1/4"**

FECHAS	28/02/19	28/03/19	10/05/19	31/05/19	27/06/19
Nivel Freatico	2,9	3,03	2,85	2,82	2,78
Temperatura	28,00	28,22	28,16	27,48	27,46

Figura 19 Descripción del pozo número 5 – BGA 5.

6.6. POZO NÚMERO 6 - BGA 6

El pozo número seis se encuentra ubicado en el municipio de Bucaramanga, en las coordenadas N: 7°06'45,76" y E: 73°07'16,72", a una elevación de 953.23 metros. Este pozo se encuentra en servicio con el fin de abastecer el lavadero de autos que se encuentra en la estación de servicio, con un horario de trabajo de 12 horas. El bombeo del pozo se lleva a cabo según la demanda de trabajo; por lo general esta labor la realizan día por medio en horario diurno. El pozo tiene una longitud construida aproximada de 15 metros, con una profundidad del nivel freático, desde la cota del terreno, que varía entre 9.57 y 10.63 metros. El rango de temperatura registrada en las visitas de campo varía entre 27.36 y 28.12 °C (ver Figura 20).

CODIGO: BGA 6



Municipio : **Bucaramanga**

Coordenadas : **N 7°06´45,76" - E 73°07´16,72"**

Cota de Terreno : **952,23 metros**

Actividad: **Estación de Servicio**
Horario de trabajo : **12 Horas**
Profundidad del pozo: **15 metros**
Material del pozo: **Concreto**
Tipo captación : **Pozo profundo**
Tipo Bomba : **Motor**
Diámetro tubería : **1,1/2"**

FECHAS	28/02/2019	28/03/2019	10/05/2019
Nivel Freatico	10,12	10,63	9,57
Temperatura	27,53	28,12	27,36

Figura 20 Descripción del pozo número 6 – BGA 6.

6.7. POZO NÚMERO 7 - GON 7

El pozo número siete se encuentra ubicado en el municipio de Girón, en las coordenadas N: 7°05´43,02" y E: 73°10´10,70", a una elevación de 682.2 metros. Este pozo se encuentra en actividad, como lavadero de vehículos pesados en su mayoría. El bombeo del pozo se realiza aproximadamente cada 7 horas, dependiendo del ritmo de trabajo que se presente. Este establecimiento tiene un horario diurno de 12 horas de trabajo. El pozo tiene una longitud construida aproximada de 10 metros con una profundidad del nivel freático, desde la cota del terreno, que varía entre 6.87 y 7.52 metros. El rango de temperatura registrada en las visitas de campo varía entre 28.29 y 28.53 °C (ver Figura 21).

CODIGO: GON 7



Municipio : **Girón**

Coordenadas : **N 7°05´43,02" - E 73°10´10,70"**

Cota de Terreno : **682,32 metros**

Actividad: **Lavadero de autos**
Horario de trabajo : **12 Horas**
Profundidad del pozo: **10 metros**
Material del pozo: **Concreto**
Tipo captación : **Pozo profundo**
Tipo Bomba : **Motor**
Diámetro tubería : **1,1/2"**

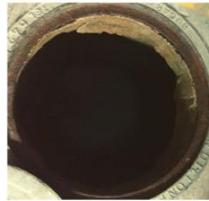
FECHAS	28/02/19	28/03/19	10/05/19	31/05/19	27/06/19
Nivel Freatico	7,36	7,52	6,87	7,32	6,87
Temperatura	28,41	28,57	28,43	28,36	28,29

Figure 21 Descripción del pozo número 7.

6.8. POZO NÚMERO 8 - GON 8

El pozo número ocho se encuentra ubicado en el municipio de Girón, en las coordenadas N: 7°03'58,32" y E: 73°09'51,31", a una elevación de 700.12 metros. Este pozo se encuentra en servicio con el fin de abastecer el lavadero de autos que se encuentra en la estación de servicio, con un horario de trabajo de 24 horas. El bombeo del pozo se realiza en dos jornadas, una en la mañana antes de empezar el turno de trabajo y la otra se lleva a cabo en la noche cuando se empieza el turno nocturno. El pozo tiene una altura aproximada de 12 metros con una longitud construida del nivel freático, desde la cota del terreno, que varía entre 6.92 y 7.15 metros. El rango de temperatura registrada en las visitas de campo varía entre 28.18 y 28.36 °C (ver Figura 22).

CODIGO: GON 8



Municipio : **Girón**

Coordenadas : **N 7°03'58,32" - E 73°09'51,31"**

Cota de Terreno : **700,12 metros**

Actividad : **Estación de Servicio**
Horario de trabajo : **24 Horas**
Profundidad del pozo : **12 Metros**
Material del pozo : **Concreto**
Tipo captación : **Pozo profundo**
Tipo Bomba : **Motor**
Diámetro tubería : **1,1/2"**

FECHAS	28/02/19	28/03/19	10/05/19	31/05/19	27/06/19
Nivel Freatico	7,02	7,15	6,92	7,09	6,93
Temperatura	28,25	28,36	28,18	28,31	28,34

Figura 22 Descripción del pozo número 8.

7. INFORMACIÓN SECUNDARIA SOBRE CAPTACIONES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.

El ejercicio de recolección de información secundaria sobre captaciones de agua subterránea en el área metropolitana de Bucaramanga inició con la consulta sobre concesiones realizada en la CDMB, mediante derecho de petición, para la que la respuesta fue negativa en cuanto a la disponibilidad de dicha información. Por lo tanto, esta sección se limita a presentar la información encontrada en estudios previos. Se reporta aquí la información de estudios realizados entre 1989 y el año 2002. Desafortunadamente, en la actualidad, ninguna de las entidades ambientales del área (CDMB o amb) está haciendo un ejercicio formal de recolección de información de aguas subterráneas.

7.1. TEMPERATURAS DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN 1989 (UIS, Agua subterránea como posibilidad de consumo en la Meseta de Bucaramanga, 1989).

La Universidad Industrial de Santander (UIS), realizó un análisis físico-químico de algunos puntos de agua subterránea en el municipio de Bucaramanga en el año 1989. El estudio, titulado "Agua subterránea como posibilidad de consumo en la Meseta de Bucaramanga", fue desarrollado por

Carlos Alberto López Truco y Carlos Alberto Duarte Lizcano, La Tabla 5 muestra los datos de temperatura reportados en dicho estudio.

Tabla 5. Temperatura del agua subterránea en el año 1989 para puntos localizados en la ciudad de Bucaramanga.

Ubicación	Tipo de recolección	Fecha Recolección	Hora de recolección	Temperatura del agua	Temperatura ambiente
Barrio Transición	Dren	Junio 26/89	10:15 AM	26 °C	27 °C
		Junio 19/89	11:00 AM	25 °C	29 °C
Barrio Independencia	Dren	Junio 26/89	10:00 AM	26 °C	26 °C
		Junio 19/89	10:40 AM	26 °C	26 °C
Cl. 55 #14 -26	Cisterna	Junio 26/89	9:20 AM	25 °C	24 °C
		Junio 19/89	10:00 AM	25 °C	25 °C
Cra 23 no 46-43	Cisterna	Junio 26/89	9:00 AM	25 °C	26 °C
		Junio 19/89	9:30 AM	24 °C	24 °C
Cabecera del Llano	Cisterna	Junio 26/89	8:40 AM	20.5 °C	20.4 °C
		Junio 19/89	9:10 AM	24 °C	23 °C

7.2. ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA, 2002 (CAMB, Modelo Hidrogeológico Básico de Bucaramanga, 2002)

El estudio titulado “Modelo Hidrogeológico Básico de Bucaramanga” fue solicitado por el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P (amb) y desarrollado por Ingeniería de Suelos Ltda. Este estudio implementó un modelo hidrogeológico básico del municipio de Bucaramanga en el año 2002, con el fin de tener un punto de partida sobre la exploración y explotación de aguas subterráneas en el Área Metropolitana de Bucaramanga. Para ello recopilamos información de 15 pozos profundos existentes. Los pozos estudiados tenían profundidades entre 30 a 190 metros y caudales aproximados entre 0.06 a 10 litros/seg. La Tabla 5 muestra el registro detallado de localización, profundidad y caudal aproximado para cada uno de los pozos (CAMB, Modelo Hidrogeológico Básico de Bucaramanga, 2002).

Tabla 6. Pozos profundos estudiados por el amb en el año 2002.

Pozo No.	Localización	Profundidad (m)	Caudal aproximado
1	Asovicrist	125	Sin dato
2	Portería Ruitoque Condominio	190	Menos de 1 l/s
3	Coca-Cola	170	Mínimo
4	Freska Leche	65	1.0 l/s
5	Terpel – Chimitá	Desconocido	1.5 l/s

Pozo No.	Localización	Profundidad (m)	Caudal aproximado
6	Santandereana de Aceites	60	1.8 l/s
7	Metrocentro (Éxito)	125	7.5 l/s
8	La Aurora	48	1.5 l/s
9	La Pedregosa	50	Seco
10	Calle 48 carrera 32	30	Sin dato
11	Palenque	50	Sin dato
12	Estación Ciudad Bonita	60	Hasta 10 l/s
13	Terminal de Transportes	60	0.15 l/s
14	Parqueadero El Palenque	47	0.06 l/s
15	Jardín de los Césares	50	2.5 l/s

7.3. EVALUACIÓN DE NUEVAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO EN EL PERÍODO 2003 – 2004 (CAMB, Programa de Investigación de Aguas Subterráneas, 2003)

El Programa de Investigación de Aguas Subterráneas del **amb** llevó a cabo en el año 2003 el estudio “Programa de investigación de aguas subterráneas”. El objeto del proyecto fue la perforación de cuatro (4) pozos de 250 m de profundidad en los sectores de San Pío, Bucarica, Llano Grande y Chimitá (la Tabla 7 presenta la localización de los pozos) con el fin de evaluar la posibilidad de encontrar nuevas fuentes de agua para el abastecimiento del sistema. El estudio pudo obtener tasas de bombeo de agua subterránea entre 0.33 y 3.76 l/s (ver Tabla 8). Dado que las tasas de bombeo fueron bajas, el **amb** no continuó trabajando en este aspecto para nuevos abastecimientos.

Tabla 7 Ubicación de los pozos de exploración del agua subterránea.

Pozo	Localización	Norte	Este
Pozo San Pío	Esquina nordeste del cruce de la carrera 36, Parque San Pío.	1'279.042	1'279.042
Pozo Bucarica	Extremo occidental de la cancha de fútbol del club Deportivo Bucarica – carretera Bucarica.	1'273.735	1'273.735
Pozo Llano Grande	Vereda Llano Grande, margen izquierdo del Río de Oro.	1'267.610	1'100.780
Pozo Chimitá	Esquina suroeste de lote que alindera en el costado oriental a las instalaciones de ALMACAFÉ.	1'278.435	1'100.976

Tabla 8. Información de tasas de bombeo de los 4 pozos de bombeo de agua subterránea.

Descripción	San Pío	Bucarica	Llano grande	Chimitá
Profundidad del pozo (m)	180	222.5	248	245
Nivel Estático (m)	0.20	5.7	7.0	0.20
Caudal máximo (l/s)	0.93	0.33	3.76	2.35

7.4. ANALISIS Y CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE AGUAS SUBTERRANEAS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA, 2004 (Reyes, 2004)

La tesis de grado titulada “Análisis y caracterización hidroquímica de aguas subterráneas en el Área Metropolitana de Bucaramanga” presenta un muestreo piloto, definiendo una red de 50 puntos que incluyen cisternas, pozos profundos, manantiales, drenes y piezómetros, localizados en el área metropolitana de Bucaramanga. De estos 50 puntos, el autor realizó un muestreo de 17 puntos tipificados como pozos profundos (11 puntos) y cisternas (6 puntos). La Tabla 9 muestra el resumen de la información de estos puntos (cota del terreno, profundidad de la perforación del pozo y el tipo de acuífero).

Tabla 9 Resumen del muestreo piloto período 2004.

Ítem	Número de puntos con información	Observaciones
Cota del terreno	17	Oscila entre 650 y 1080 msnm
Profundidad de la perforación del pozo	17	Oscila entre 3.28 y 24 m
Tipo de captación	17	Pozo profundo o cisterna

7.5. NIVELES DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL PERÍODO 1996 – 2011 (Rodríguez, 2011)

La tesis de grado titulada “Inventario de puntos de agua subterránea y distribución espacial de niveles de acuíferos en la parte aluvial y sedimentaria de la región de Bucaramanga” presenta una lista de 63 captaciones de aguas subterráneas localizadas en el área metropolitana de Bucaramanga, cuyas concesiones fueron otorgadas por la CDMB en el período entre 1996 y 2010. Esta información fue otorgada al autor del trabajo por la CDMB (vale la pena aclarar que los funcionarios actuales de la CDMB desconocen el origen de esta información). Del total de 63 captaciones, el documento presenta información de 47 de ellas en alguna manera. La Tabla 10 resume los tipos de información disponible para estas concesiones.

Tabla 10 Resumen de las concesiones de agua subterránea otorgadas por la CDMB en el período 1996-2010.

Ítem	Número de concesiones con información	Observaciones
Cota del terreno	47	Oscila entre 650 y 1697 msnm
Profundidad del nivel freático	29	Oscila entre 0.5 y 81 m
Tipo de captación	47	Pozo profundo o cisterna
Profundidad de la perforación del pozo	28	Oscila entre 3.6 y 196 m
Demanda de uso	47	Lavado de autos, industria, doméstico y riego

De estos 47 puntos, el autor realizó un monitoreo de 32 puntos tipificados como pozos profundos (18 puntos) y cisternas (14 puntos). El uso del agua en la totalidad de puntos fue el lavado de vehículos en estaciones de servicio (EDS). La Tabla 11 muestra el resumen de la información de estos pozos (cota del nivel freático, profundidad del nivel freático desde la cota del terreno, tipo de captaciones existentes, profundidad de la perforación del pozo y uso del recurso).

Tabla 11 Concesiones de agua 2011 (UIS) (Rodríguez, 2011).

Ítem	Número de concesiones con información	Observaciones
Cota freática	32	Oscila entre 647.02 y 996.72 msnm
Profundidad del nivel freático	32	Oscila entre 0.5 y 81 m
Tipo de captación	32	Pozo profundo y cisterna
Profundidad de la perforación del pozo	15	Oscila entre 3.6 y 89 m
Demanda de uso	32	Lavado de autos

Nota: En este documento de proyecto de grado los autores trataron de actualizar la información de los niveles del agua subterránea para la totalidad de los puntos trabajados en la tesis de Rodríguez (2011) pero no fue posible debido a que algunos de los pozos o negocios asociados a los mismos estaban fuera de servicio y a que el acceso a los puntos dependió de la voluntad de cooperación de los administradores y/o propietarios de las instalaciones.

8. PARÁMETROS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.

El éxito del modelamiento hidrológico depende en gran manera de la adecuada parametrización del modelo trabajado. Las propiedades del suelo y del subsuelo, y la geología juegan un papel fundamental pues determinan los procesos de infiltración, escorrentía, transporte y distribución del agua. Esta sección presenta la información de parámetros y características de los acuíferos del área metropolitana de Bucaramanga que se han obtenido en estudios previos realizados en el área. Sin embargo, es importante aclarar que muy poco se sabe de las aguas subterráneas en el área metropolitana de Bucaramanga debido a la ausencia de programas formales y continuos que monitoreen el recurso. El diario local Vanguardia Liberal realizó una nota periodística en el año 2010 donde entrevistó a expertos locales (doctora Sully Gómez Isidro, ingeniero Jaime Suárez Díaz y geólogo Juan Diego Colegial) que expresaron su preocupación por la falta de conocimiento sobre las aguas subterráneas de la zona (Martínez É. J., 2010). Siete años después, un nuevo artículo en este diario local reafirma que, a pesar del paso del tiempo y de reconocer que es un recurso valioso que debe estudiarse, las entidades a cargo no han hecho esfuerzos por caracterizar o cuantificar este recurso (Yenny Rodriguez Barajas, 2017).

El Estudio Nacional del Agua (ENA 2014) (IDEAM, IDEAM, Estudio Nacional del Agua ENA 2014, 2015) presenta una caracterización de los sistemas de acuíferos de Colombia. Para el caso del sistema de acuífero Bucaramanga-Piedecuesta, que está conformado por los municipios de Floridablanca, Girón, Lebrija, Piedecuesta, y Bucaramanga, y codificado como SAM 4.2, lo resalta como un acuífero

libre con área superficial de 172 Km² y un espesor saturado estimado (*B*) de 250 m. La conductividad hidráulica (*K*) para este sistema varía entre 0.015 y 0.45 m/d y su transmisividad (*T*) varía entre 10 y 25 m²/d. El almacenamiento específico (*S_s*) para este acuífero se estima en 0.0085 l/s/m (ver Tabla 12). El ENA 2014 realiza una clasificación de los sistemas de acuíferos por disponibilidad de información. El sistema SAM 4.2 se enmarca en el grupo de sistemas de acuíferos que no tienen suficiente información hidrogeológica (solo 16 de 60 sistemas acuíferos en Colombia cuentan con información adecuada para la construcción de un modelo hidrogeológico aceptable). La falta de información de este sistema previno el reporte de volúmenes de agua concesionadas para la zona o del número de puntos de agua subterránea dentro de este estudio. El informe de avance del Estudio Nacional del Agua (ENA 2018) no evidencia un avance en la información disponible para la zona del acuífero de Bucaramanga (IDEAM, Reporte de avance del Estudio Nacional del Agua, 2018).

Tabla 12. Distribución de sistema acuífero por área hidrográfica, provincia hidrogeológica y sistema acuífero.

Provincia hidrogeológica	Sistema acuífero	Unidad hidrogeológica	Tipo de acuífero	Parámetro hidráulico	Área superficial
Cordillera Oriental	Bucaramanga - Piedecuesta	Acuífero Bucaramanga	Libre	B =250 m K =0.015 a 0.45 m/d T =10 a 25 m ² /d SS =0.0085 l/s/m	172 Km ²

B: Espesor saturado, **K:** Conductividad hidráulica, **T:** Transmisividad hidráulica, **Ss:** Almacenamiento específico. **Fuente:** ENA 2014 (Tabla 3.3).

Los estudios realizados en el marco del programa de evaluación de nuevas fuentes de abastecimiento del **amb**, proveen información importante sobre las diferentes texturas y conformación del subsuelo del área metropolitana de Bucaramanga, a partir del desarrollo de estudios geoelectrónicos en 40 puntos (CAMB, Programa de Investigación de Aguas Subterráneas, 2003). A partir de este estudio inicial, se construyeron cuatro pozos exploratorios en los que se realizaron pruebas de bombeo para así conocer las características de transmisibilidad de la formación y la capacidad productora de los acuíferos. Para los cuatro pozos estudiados, existe la información presentada en la Tabla 13 (CAMB, Programa de Investigación de Aguas Subterráneas, 2003). Las producciones obtenidas con dicha investigación no superaron los rendimientos esperados en comparativa con otros pozos construidos en la terraza de Bucaramanga, con caudales cuyo rango está entre ½ l/s y los 8 l/s, perforados en los depósitos típicos de la formación.

Tabla 13. Descripción de los 4 pozos exploratorios. (CAMB, Programa de Investigación de Aguas Subterráneas, 2003)

Descripción	San Pío	Bucarica	Llano grande	Chimitá
Nivel Estático (m)	0.20	5.7	7.0	0.20
Caudal máximo (l/s)	0.93	0.33	3.76	2.35
Abatimiento obtenido (m)	72.5	99.42	22.0	63.31

Descripción	San Pío	Bucarica	Llano grande	Chimitá
Profundidad del pozo (m)	180.0	222.5	248.0	245.0
Permeabilidad K (m/día)	5.0×10^{-5}	2.3×10^{-3}	5.0×10^{-1}	1.7×10^{-2}
Transmisividad T (m ² /día)*	5.0×10^{-3}	2.3×10^{-1}	50.34	1.74

*El cálculo de la transmisividad en este estudio asumió un espesor de acuífero de 100 m.

Finalmente, el documento sobre red nacional de aguas subterráneas realizado por el IDEAM (IDEAM, Red Nacional de Aguas Subterráneas, 2009), presenta una caracterización de las cuencas hidrogeológicas montañas e intramontañas de Colombia. Para este caso su ubicación corresponde a la extensión hacia el norte del valle superior del río Magdalena, abarcando gran parte de los departamentos de Santander. Los puntos de agua que se encuentran en esta zona cuentan con profundidades entre los 40 y 350 m, con caudales que varían entre los 3 y 50 l/s. Los valores de transmisividad (T) se encuentran en un rango entre 17 y 450 m²/día. El almacenamiento específico (S_s) se encuentra en un rango de valores que varía entre 3 y 4,51 l/s/m (ver Tabla 14).

Tabla 14. Características de las Cuencas Hidrogeológicas Montañas e Intramontañas de Colombia (IDEAM, Red Nacional de Aguas Subterráneas, 2009).

Cuenca hidrogeológica	Unidades geológicas de importancia hidrogeológicas	Puntos de agua	Propiedades hidráulicas	Uso	Producción 10 ⁶ m ³ /año
Valle Medio del Magdalena	Depósitos de origen fluvial a lacustre (30% de estratos arenosos) del terciario detrítico que forman acuíferos libres a confinados.	Pozos con profundidades entre 40 y 350 metros.	Caudales: entre 3 y 50 l/s, transmisividad: entre 17 y 450 m ² /día, capacidades específicas: 3 y 4,51 l/s/m.	Abastecimiento público e industria petrolera.	20

9. DINÁMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

En esta sección se presentan los datos recolectados durante la duración del proyecto y se analizan en el contexto de los estudios previos y las condiciones climáticas de la época. Como se describió en la metodología, se recolectó información de niveles de agua y temperatura para ocho pozos localizados en los municipios de Bucaramanga y Girón. El período de muestreo inició a finales del mes de febrero del 2019, correspondiente con una época seca en la dinámica bimodal del clima de la zona, y se extendió hasta finales del mes de junio, abarcando la primera temporada de lluvias del año. La Tabla 15 muestra la información general de los pozos de muestreo y la Tabla 16 muestra los datos recolectados durante las campañas en cada punto.

Tabla 15. Información general de los puntos de muestreo.

Código	Municipio	Norte	Este	Cota terreno (m)
BGA1	BUCRAMANGA	7°06'53,24"	73°07'10,71"	979,90
BGA2	BUCRAMANGA	7°06'53,06"	73°07'10,11"	984,20
BGA3	BUCRAMANGA	7°06'50,94"	73°07'39,73"	963,20
BGA4	BUCRAMANGA	7°06'25,60"	73°07'14,50"	943,36
BGA5	BUCRAMANGA	7°07'31,01"	73°07'45,82"	953,26
BGA6	BUCRAMANGA	7°06'45,76"	73°07'16,72"	952,23
GON7	GIRON	7°05'43,02"	73°10'10,70"	682,32
GON8	GIRON	7°03'58,32"	73°09'51,31"	700,12

Tabla 16. Datos de niveles de agua y temperatura para ocho pozos.

Ítem	Municipio	Nivel freático (m)	Temperatura (°C)	Fecha de visita
BGA1	Bucaramanga	2,68	27,47	28/02/2019
		3,16	27,73	28/03/2019
		2,63	27,04	10/05/2019
BGA2	Bucaramanga	3,38	28,14	28/02/2019
		3,44	27,46	28/03/2019
		3,12	27,66	10/05/2019
BGA3	Bucaramanga	9,22	26,63	28/02/2019
		9,98	27,00	28/03/2019
		8,68	27,79	10/05/2019
		8,66	26,37	31/05/2019
		8,53	26,43	27/06/2019
BGA4	Bucaramanga	11,53	26,32	28/02/2019
		12,02	26,38	28/03/2019
		12,35	26,25	10/05/2019
BGA5	Bucaramanga	0,76	28,00	28/02/2019
		0,89	28,22	28/03/2019
		0,71	28,16	10/05/2019
		0,68	27,48	31/05/2019
		0,64	27,46	27/06/2019
BGA6	Bucaramanga	10,12	27,53	28/02/2019
		10,63	28,12	28/03/2019
		9,57	27,36	10/05/2019
		7,32	28,36	31/05/2019
		6,87	28,29	27/06/2019
GON7	Girón	7,36	28,41	28/02/2019
		7,52	28,57	28/03/2019

Ítem	Municipio	Nivel freático (m)	Temperatura (°C)	Fecha de visita
		6,87	28,43	10/05/2019
		7,09	28,31	31/05/2019
		6,93	28,34	27/06/2019

9.1. ANÁLISIS DE TEMPERATURA

Valores de temperatura en la superficie del nivel freático

La temperatura del nivel freático de todos los pozos durante el período de estudio (finales de Febrero a finales de Junio de 2019) tuvo un valor promedio de $27.60 \pm 0.76^\circ\text{C}$. Sin embargo, al separar los puntos por municipio, es clara la diferencia entre las temperaturas del nivel freático para el municipio de Bucaramanga ($27.27 \pm 0.69^\circ\text{C}$, $n=33$) y Girón ($28.35 \pm 0.11^\circ\text{C}$, $n=10$). El pozo con temperaturas más bajas fue el BGA4, lo que se espera dado que tiene las profundidades de nivel freático más altas. Con respecto al tiempo, no hubo una tendencia clara de la variación de la temperatura del nivel freático para los pozos estudiados, pero sí se aprecia mayor variabilidad temporal para los pozos BGA3 y BGA5 (ver Figura 23).

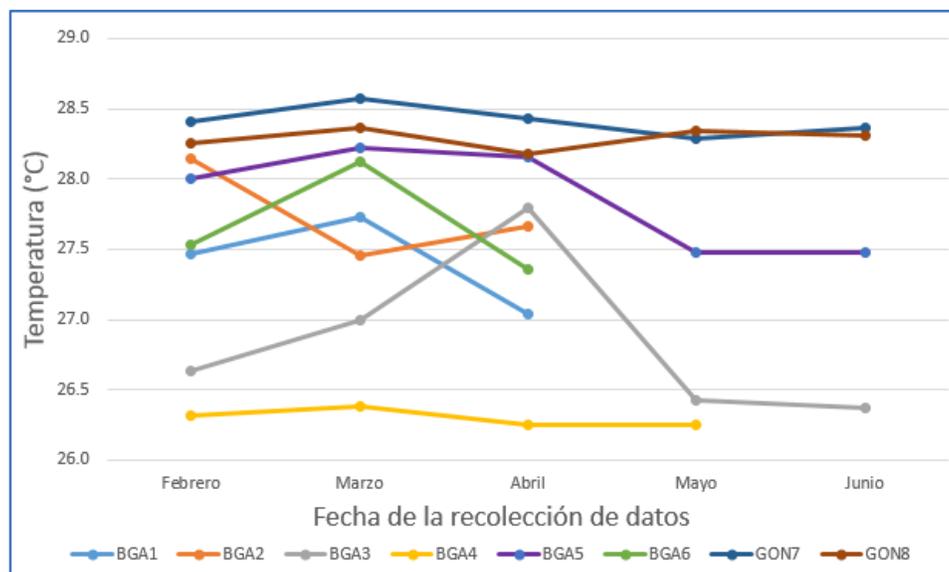


Figura 23 Variación temporal de la temperatura del nivel freático en los pozos estudiados.

En los archivos recolectados como información secundaria se evidencia un análisis de temperatura de aguas subterráneas realizada por la Universidad Industrial de Santander (UIS) en el año 1989, para puntos localizados en la ciudad de Bucaramanga, con esta información se realizó una comparativa en la temperatura registrada para los años 1989 y 2019 con el fin de analizar el mes de junio, ya que los valores de registro para los dos archivos se hicieron para esta fecha (Ver tabla 17 y 18). Aunque solo se cuenta con datos para dos puntos en la ciudad de Bucaramanga en el mes de Junio de 2019, los promedios calculados sugieren un aumento mayor a 2°C entre los dos períodos. Se hace necesario entonces, recolectar más información de temperatura que soporte la hipótesis de que ha habido un aumento en la temperatura de las aguas subterráneas con el paso de los años.

Tabla 17 Información de temperatura 1989 (UIS, Agua subterránea como posibilidad de consumo en la Meseta de Bucaramanga, 1989).

Datos 1989	Transición	Independencia	Cl.55 # 14-26	Cra 23 # 46-43	Cabecera del Llano	Promedio
Junio	25,5	26	25	24,5	22,25	24,65

Tabla 18 Información de temperatura 2019.

Datos 2019	BGA3	BGA5	Promedio
Junio	26,33	27,43	26,93

Perfiles de temperatura en la columna de agua.

Para los perfiles de temperatura desarrollados, se evidenció una tendencia general a la disminución de la temperatura con la profundidad. Esta tendencia se apreció en la mayoría de los pozos y eventos de monitoreo, aunque la definición del perfil dependió del número de puntos realizados en la columna de agua. La Figura 24 muestra un perfil típico de temperatura en la columna de agua para el pozo BGA3. Este pozo, como se describe en la Figura 17, no está siendo usado por lo que los datos recolectados podrían ser considerados como las condiciones naturales para la zona donde se ubica.

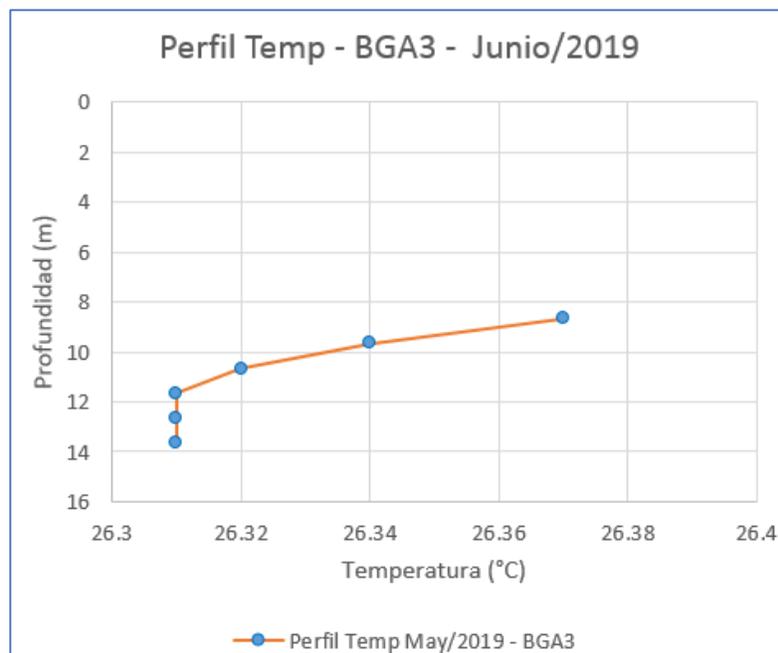


Figura 24 Perfil tipo de temperatura en la columna de agua.

En dos ocasiones (Febrero 28 y Mayo 10), el pozo BGA5 tuvo un comportamiento inverso del perfil de temperatura, es decir, la temperatura aumentó con la profundidad. No es claro para los autores

de este documento la razón para ello. Se hace necesario seguir tomando datos para evaluar si este comportamiento fue un caso de error en la toma de datos o si existe alguna tendencia particular de la operación del pozo que resulte en estas condiciones.

9.2. ANÁLISIS DE NIVELES DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Las cotas de los niveles freáticos entre puntos localizados en la ciudad de Bucaramanga estuvieron en el rango de 931 msnm (BGA4) y 981 msnm (BGA2), mientras que para el municipio de Girón estuvieron entre 674 (GON7) y 693 (GON8) (ver Figura 25). Esto se espera dada la topografía de la zona y que el sentido de flujo del agua subterránea que se infiltra en el sistema montañoso oriental y drena hacia el occidente, contribuyendo a los caudales del río de Oro.

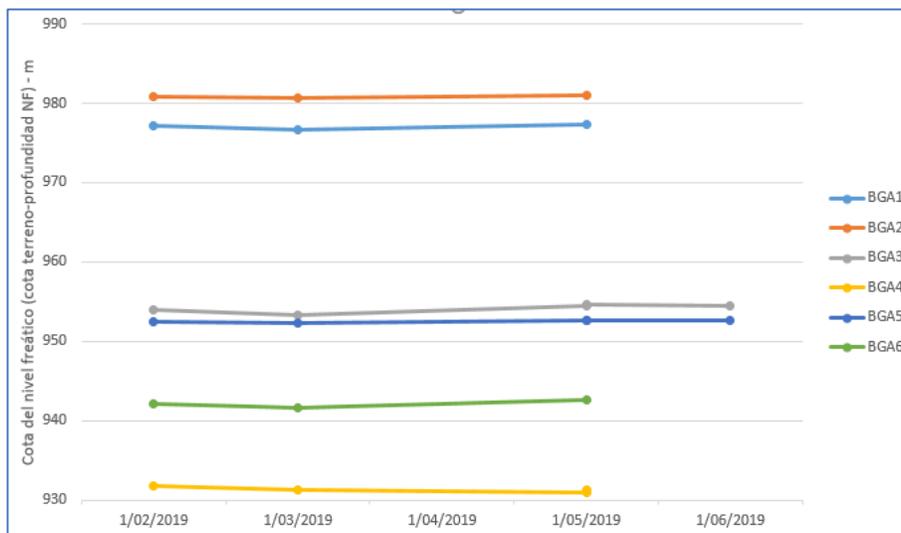


Figura 25a Variación temporal de los niveles freáticos en los puntos de Bucaramanga.

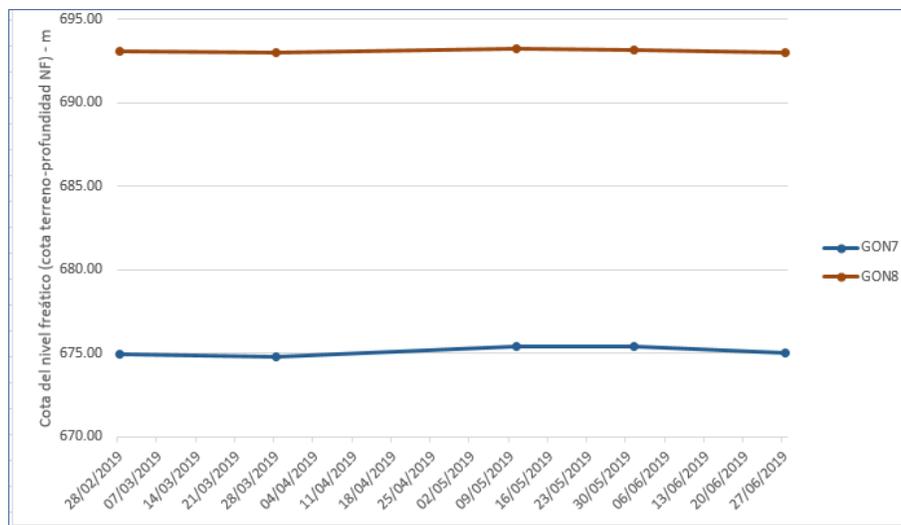


Figura 26b Variación temporal de los niveles freáticos en los puntos de Girón.

Aunque los cambios observados fueron menores, se pudo determinar algunas tendencias en la dinámica de los niveles de agua subterránea durante el período de estudio (ver Tabla 19). La comparación de cambios en los niveles con respecto a la observación previa indica que hubo una disminución general en los niveles de agua subterránea en el período entre el 28 de Febrero y el 28 de Marzo. Aunque no se conocen datos previos al 28 de Febrero, es posible que los niveles freáticos estuvieran en una tendencia al descenso debido a la ausencia regional de lluvias (por consiguiente de recarga) en los meses anteriores a la toma de datos.

Tabla 19. Porcentaje de cambio de niveles de agua con respecto a la lectura anterior.

Fecha	BGA1	%	BGA2	%	BGA3	%	BGA4	%
28/02/19	977,22		980,82		953,98		931,83	
28/03/19	976,40	0,049	980,76	0,006	953,22	0,079	931,34	0,052
10/05/19	977,27	-0,054	981,08	-0,033	954,52	-0,136	931,01	0,035
31/05/19	Sin dato		Sin dato		954,67	-0,016	931,27	-0,027
27/06/19	Sin dato		Sin dato		954,54	0,013	Sin dato	

Fecha	BGA5	%	BGA6	%	GON7	%	GON8	%
28/02/19	952,50		942,11		674,96		693,10	
28/03/19	952,37	0,013	941,60	0,054	674,80	0,023	692,97	0,018
10/05/19	952,55	-0,018	942,66	-0,113	675,45	-0,096	693,20	-0,033
31/05/19	952,62	-0,007	Sin dato		675,45	0,000	693,19	0,001
27/06/19	952,58	0,004	Sin dato		675,00	0,066	693,03	0,023

COLOR	Positivo	se redujo el nivel del agua subterránea con respecto a la lectura anterior.
	Negativo	aumentó el nivel del agua subterránea con respecto a la lectura anterior.

Exceptuando el punto BGA4, hubo un incremento general de los niveles de agua subterránea en el período comprendido entre el 28 de Marzo y 10 de Mayo. Los puntos donde se evidenció un mayor aumento en los niveles freáticos fueron BGA3 (inactivo) y BGA6. Este aumento puede estar relacionado con el incremento de las precipitaciones de los meses de marzo y Abril (ver Tabla 3), aunque esto se formula en forma de hipótesis y se requerían estudios más avanzados para determinar los tiempos de viaje y la correlación entre las lluvias de la zona de recarga y los cambios en los niveles de agua subterránea en los puntos de monitoreo. La razón por la que el punto BGA4 no forma parte de esta tendencia general puede atribuirse a que la actividad comercial en el establecimiento asociado es continua lo que puede estar evitando la recarga completa del pozo. En la campaña de recolección de datos de Mayo 31 solo se pudo recolectar información para tres pozos de Bucaramanga y los dos pozos de Girón. El análisis de cambio en los niveles para el período del 10 al 31 de Mayo mostró aumento en los niveles del agua para pozos en Bucaramanga y no cambio (GON7) o reducción mínima (GON8) para los pozos de Girón. Finalmente, todos los pozos que se pudieron monitorear el 27 de Junio evidenciaron una reducción en los niveles del agua para el

período del 31 de Mayo al 27 de Junio. Estos resultados son interesantes en la medida en que se pudieron detectar tendencias generales (aunque menores en términos de los porcentajes de cambio calculados) y que permiten comprobar que efectivamente hay un desplazamiento temporal entre la caída de la precipitación y los cambios observados en los niveles del agua subterránea. Se podría proponer que para este caso, el desplazamiento temporal es de aproximadamente un mes.

Finalmente, la comparativa de los niveles freáticos para puntos coincidentes entre este estudio (2019) y los realizados en el 2004 y 2011 por (Reyes, 2004) y (Rodríguez, 2011) resaltan la necesidad de propender por un monitoreo continuo de dichos niveles mediante piezómetros, al menos para algunos puntos dentro del área metropolitana de Bucaramanga, de tal manera que realmente se puedan derivar conclusiones sobre la dinámica de las aguas subterráneas. El punto BGA6 de nuestro estudio evidencia una variación negativa en el nivel freático de 0.51 m cuando se compara la lectura realizada en el mes de Marzo de 2019 con respecto a la realizada en el mes de Marzo de 2011 (ver Tabla 20). Por otra parte, el punto BGA1 de nuestro estudio evidencia una variación positiva en el nivel freático promedio de 0.41 m, cuando se comparan las profundidades medidas a finales de Marzo e inicios de Mayo de 2019 con la medida en el mes de Abril de 2004 (ver Tabla 21).

Tabla 20 Tabla comparativa de niveles freáticos.

Código	Localización	Fecha	Profundidad del nivel freático	Variación
BGA 6	Bucaramanga	Marzo 2019	10.63 m	-0.51 m
Pozo inventario		Marzo 2011	10.12 m	

Tabla 21 Tabla comparativa de niveles freáticos.

Código	Localización	Fecha	Profundidad del nivel freático	Variación
BGA 1	Bucaramanga	Marzo 2019	3.16 m	+0.14 m
		Mayo 2019	2.63 m	+0.67 m
Pozo inventario		Abril 2004	3.33 m	

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El trabajo realizado permitió cumplir con los objetivos propuestos en cuanto a que (1) se sintetizó información secundaria existente sobre los niveles del agua subterránea del área metropolitana de Bucaramanga, a partir de la revisión de fuentes bibliográficas pertinentes; (2) se consolidó un inventario de parámetros y características del acuífero subyacente que sirven como semilla para la implementación futura de esfuerzos de modelación de aguas subterráneas de la zona; (3) se analizó la dinámica de los niveles del agua subterránea en Bucaramanga y Girón mediante el monitoreo de los niveles de agua en puntos específicos del área durante los meses de febrero, marzo, abril, mayo y junio de 2019.

Tal y como lo refleja el Estudio Nacional del Agua (ENA 2014), el departamento de Santander y para este caso particular, el área metropolitana de Bucaramanga, no ha realizado un monitoreo continuo de los niveles del agua subterránea de la zona y por lo tanto, aparte de algunos estudios particulares

que capturan condiciones puntuales en el espacio y tiempo, no existe una caracterización profunda de los niveles ni de las propiedades del acuífero subyacente. Se hace necesario que las entidades ambientales pertinentes realicen inversión en la recuperación de la red de monitoreo de aguas subterráneas en la zona. Este estudio utilizó pozos de bombeo para el levantamiento de la información de campo. Esto no es ideal pues los niveles se pueden ver afectados por las dinámicas particulares de bombeo de cada establecimiento comercial.

El levantamiento de información de niveles de agua subterránea se realizó únicamente en puntos de los municipios de Bucaramanga y Girón donde los establecimientos comerciales de lavado de autos usan este recurso para su función. En los municipios de Floridablanca y Piedecuesta, para los establecimientos donde se pudo obtener la información, los gerentes y administradores manifestaron que sus establecimientos se sirven de agua superficial. Sin embargo, la existencia de un listado formal de concesiones hubiese podido ayudar a verificar la veracidad de dicha información. Los estudiantes acudieron a las entidades ambientales de la zona (CDBM y AMB) y en ninguna de las dos entidades se pudo obtener dicha información.

El trabajo realizado permitió realizar comparaciones de profundidad del nivel freático y temperatura entre datos recolectados en estudios anteriores y este proyecto. Para el caso de la temperatura, la comparación sugiere un aumento en los valores observados en la superficie del agua subterránea y para el caso de los niveles del agua, no fue posible deducir una tendencia general por la imposibilidad de comparar un número significativo de puntos.

Este proyecto recolectó información de la dinámica de los niveles del agua subterránea y temperatura para el período de Febrero a Junio de 2019, que incluyó condiciones regionales secas y húmedas. Aunque los resultados no son concluyentes debido a que sería necesario aumentar la cobertura en espacio y tiempo de los puntos de muestreo, estos sugieren aspectos importantes que merecen ser estudiados en mayor profundidad:

- Diferencia en los valores de la temperatura del agua subterránea dependiente de la localización geográfica de los mismos.
- Existencia de un gradiente de temperatura en la columna de agua que podría estudiarse a futuro para identificar interacciones entre las aguas subterráneas superficiales y profundas.
- Variación de los niveles del agua subterránea con respecto a la dinámica de precipitación regional.

La fase II de este estudio requiere una integración institucional que involucre a la(s) universidad(es) con las entidades territoriales que tienen obligación de monitorear y reportar el uso y dinámica de las aguas subterráneas de la zona. Se requiere hacer monitoreo continuo de los niveles piezométricos mediante la reactivación de la red de monitoreo de las aguas subterráneas y realizar estudios adicionales como pruebas de bombeo que puedan ofrecer información sobre la conductividad hidráulica y la transmisividad del acuífero subyacente. Adicionalmente, se requiere la incorporación de información hidroclimatológica de alta resolución para así poder definir las condiciones de frontera en los esfuerzos de modelación del recurso hídrico subterráneo

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alberto, D. L. (1989). *Agua subterránea como posibilidad de consumo en la Meseta de Bucaramanga*. Bucaramanga: UIS.
- AMB. (2016 - 2023). Plan integral de desarrollo metropolitano. En A. M. Bucaramanga, *características generales del clima del AMB* (pág. 195). Bucaramanga: AMB.
- CAMB. (2002). Modelo Hidrogeológico Básico de Bucaramanga. En I. d. Ltda. Bucaramanga: CDMB.
- CAMB. (2003). *Estudio Geoeléctrico realizado en el Área Metropolitana en el proyecto "Modelo hidrogeológico básico de Bucaramanga"*. Bucaramanga.
- CAMB. (2003). Programa de Investigación de Aguas Subterráneas. En A. M. Bucaramanga. Bucaramanga : CAMB.
- Carlos Alberto Duarte Lizcano, C. A. (1989). *Agua subterránea como posibilidad de consumo en la Meseta de Bucaramanga*. Bucaramanga: UIS .
- CDMB. (11 Agosto 2017). *Resolución No 0671*. Bucaramanga,Santander.
- CDMB. (2007). Plan de ordenamiento y manejo ambiental Subcuenca Río de Oro. En G. a. territorial, *documento técnico de soporte* (pág. 177). Bucaramanga.
- CDMB. (2007). POMCA RÍO DE ORO. En CDMB, *Plan de ordenamiento y manejo ambiental subcuenca Río de Oro* (pág. 214). Bucaramanga: CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL.
- CUSTODIO, E. M. (1983). *Hidrología subterránea 2 Vol.* Barcelona.: Omega.
- EAFIT, u. (2007). *Entorno natural de 17 ciudades de Colombia*. Medellín: Michel Hermelin.
- Escobar, G. D. (2017). *Manual de Geología para Ingenieros*. Manizales.
- Freeze, R. A. (1979). *Groundwater*. Englewood USA: Prentice-Hall.
- Galvis, J. J. (2011). *Cartilla técnica Aguas Subterráneas - Acuífero*. Lima,Perú: Sociedad Geográfica de Lima.
- Hidrotec,S.A.* (2 de Febrero de 2016). (Aqua Corp) Recuperado el 18 de 1 de 2019, de <http://hidrotec.com.sv>
- IDEAM. (2009). Red Nacional de Aguas Subterráneas. En *Taller sobre Planes de Manejo de Aguas Subterráneas-MAVD* (pág. 46). Bogotá: Ministerio de Ambiente ,Vivienda y Desarrollo Territorial.
- IDEAM. (2013). *Aguas Subterráneas en Colombia: una Visión General*. Bogotá, D.C.
- IDEAM. (2015). *IDEAM, Estudio Nacional del Agua ENA 2014*. Bogotá,D.C: Panamericana.
- IDEAM. (2015). *Principios básicos para el conocimiento y monitoreo de las aguas subterráneas - Contenidos del Taller de Formación*. Bogotá, D. C., Colombia: Instituto de Hidrología,Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.

- IDEAM. (2018). Reporte de avance del Estudio Nacional del Agua. En *ENA*. Bogotá, D.C.: IDEAM.
- IDEAM. (noviembre de 2013). *Zonificación y Codificación de Cuencas Hidrográficas*. Bogotá, D.C., Colombia: Publicación aprobada por el Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM.
- INGEOMINAS. (s.f.). *Las aguas subterráneas : un enfoque practico*. Imprenta Nacional de Colombia.
- Isidro, S. G. (2014). *Aguas subterráneas en zonas de montaña y trazadores ambientales*. Bucaramanga: UIS.
- Maria Victoria Vélez Otalvaro, C. O. (2011). *Las Aguas Subterráneas , un enfoque práctico*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- Martínez, A. I. (1984). *POZOS Y ACUÍFEROS. TÉCNICAS DE EVALUACIÓN MEDIANTE ENSAYOS DE BOMBEO*. Madrid: IBERGESA.
- Martínez, É. J. (02 de septiembre de 2010). No se sabe cuánta agua subterránea tiene la ciudad. *No se sabe cuánta agua subterránea tiene la ciudad*, pág. 1.
- Meinzer. (1923). *The occurrence of ground water in the United States with a Discussion of Principles*. USA: Geological Water-Supply Paper.
- OMM, O. M. (2012). *Glosario Hidrogeológico Mundial*. Suiza.
- Reyes, A. y. (2004). *ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Rodríguez, J. &. (2011). *Inventario de puntos de aguas subterráneas y distribución espacial de niveles de acuíferos en la parte aluvial y sedimentaria de la región de Bucaramanga*. Bucaramanga: Tesis de Ingeniería Civil. UIS.
- RPGA. (2015). Estudio hidrodinámico, geoquímico e isotópico de las formaciones acuíferas de Bucaramanga (Colombia). *Revista peruana Geo - Atmosférica RPGA*, 44-61.
- Solinst. (2019, enero 10). *Solinst Canada Ltd*. Retrieved Noviembre 25, 2018, from <https://www.solinst.com/products/level-measurement-devices/101-water-level-meter/operating-instructions/101-water-level-meter.php>
- UIS. (1989). Agua subterránea como posibilidad de consumo en la Meseta de Bucaramanga. En C. A. Carlos Alberto López Truco, *Tesis de grado* (pág. 344). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- UIS. (2005). Implementación de una red de muestreadores de isótopos estables en la precipitación para obtener la recta meteorica local. En G. y. Camacho. Bucaramanga: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- USGS. (4 de April de 2007). *U.S.GEOLOGICAL SURVEY*. Obtenido de water.usgs: <https://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>

USGS. (2007, april 4). *U.S.GEOLOGICAL SURVEY*. Retrieved from water.usgs:
<https://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>

Vélez, M. (2011). *Hidráulica de Aguas Subterráneas*. Bogota: Facultad de Mina.Escuela de Geociencia y Medio Ambiente.UNAL.

Yenny Rodriguez Barajas, V. L. (22 de Enero de 2017). Aguas subterráneas. *Aguas subterráneas*, pág. 1.

12. ANEXO 1 – FORMULARIO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN EN CAMPO

 FORMULARIO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PROYECTO DE GRADO CARACTERIZACIÓN DE LOS NIVELES DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA - FASE 1	
CODIGO: _____	FECHA/HORA VISITA 1: _____ FECHA/HORA VISITA 2: _____ FECHA/HORA VISITA 3: _____
1. LOCALIZACIÓN DEL PUNTO	DATOS
MUNICIPIO	
UBICACIÓN	
COORDENADA EN X	
COORDENADA EN Y	
COTA DE TERRENO	
2. MEDICIÓN DE NIVELES - VISITA 1	DATOS
DISTANCIA	m
TEMPERATURA	°C
2.1 MEDICIÓN DE NIVELES - VISITA 2	DATOS
DISTANCIA	m
TEMPERATURA	°C
2.2 MEDICIÓN DE NIVELES - VISITA 3	DATOS
DISTANCIA	m
TEMPERATURA	°C

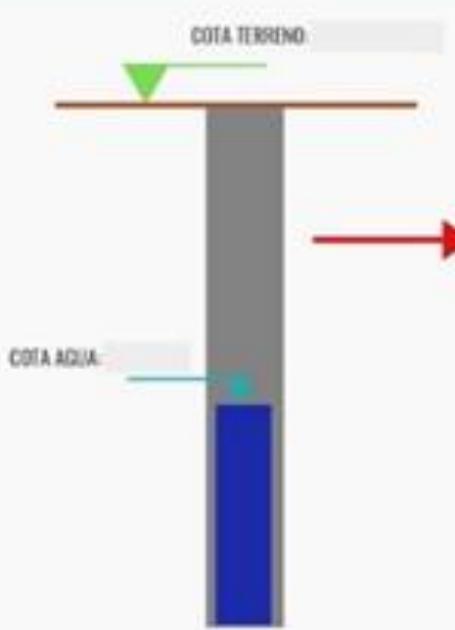


FORMULARIO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PROYECTO DE GRADO CARACTERIZACIÓN DE LOS NIVELES DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA - FASE 1

3. ¿CUANTO TIEMPO LLEVA EN OPERACIÓN EL POZO ?

3.1 ¿SE HAN QUEDADO SIN AGUA ? SI NO

3.2 ¿TIENE UNA MEDIDA DE LLENADO DEL POZO DESPUÉS DEL BOMBEO? SI NO



TIPO MOTORBOMBA: _____
CABALLOS DE FUERZA: _____

Construcción Tubería	
Profundidad (m)	
Diámetro (")	
Material	

Operación	
Frecuencia de bombeo	
Horario de trabajo	
Cantidad	

4. OBSERVACIONES:
