

**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y pH EN EL  
ACUÍFERO SUPERIOR DE LA MESETA DE BUCARAMANGA**

**IVETTE KATHERINE LÓPEZ MARTÍNEZ  
JAVIER ORLANDO TORRADO CARVAJAL**

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

**2014**

**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y pH EN EL  
ACUÍFERO SUPERIOR DE LA MESETA DE BUCARAMANGA**

**IVETTE KATHERINE LÓPEZ MARTÍNEZ  
JAVIER ORLANDO TORRADO CARVAJAL**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
INGENIEROS CIVILES**

**Directora  
SULLY GÓMEZ ISIDRO  
Ingeniera Civil, Ph.D.**

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

**2014**

## DEDICATORIA

*A Dios por darme la sabiduría para culminar mis estudios y por permitirme disfrutar de estos años de pregrado junto a las personas que amo.*

*A mi madre quién me dio su apoyo, cariño y amor en este caminar, y en cada momento que lo necesite estuvo a mi lado enseñándome a seguir adelante.*

*A mi padre que desde la eternidad siempre me acompaña.*

*A mis hermanos y sobrinos quienes alegraron y llenaron cada día de mi vida.*

*A mi esposo por entregarme todo su amor y comprensión en cada instante; y ser ese complemento de mi vida.*

*A mi hija Sara Sofía que se está formando en mi vientre quién me ha hecho la mujer más feliz del mundo y quién muy pronto llegara para regalarme momentos inolvidables.*

*A mis amigos y compañeros de carrera que hicieron de esta etapa de mi vida uno de los mejores recuerdos.*

GRACIAS A TODOS.

**IVETTE KATHERINE LÓPEZ MARTÍNEZ**

## DEDICATORIA

Dedicado a Dios y la Santísima Virgen María Auxiliadora que me han dado mucha salud, una familia que me apoya siempre y unas ganas inmensas de hacer las cosas bien y salir adelante.

A mis padres Orlando Torrado y Gladys Carvajal quienes me han apoyado durante toda mi vida, han sabido aconsejarme y guiarme en los diferentes retos que tuve que enfrentar.

A mis hermanas, Carol, Norma, Catherine y mis sobrinos que significan todo para mí.

A mi hermano David Bejarano Carvajal quien es una persona fundamental en mi vida, por su ejemplo y su compañía.

A toda mi familia quienes creen en mí y siempre me apoyaron.

A mi novia Tatiana Hernández quien me apoyó siempre y estuvo todo el tiempo a mi lado.

A mis amigos que siempre supieron brindar una mano cuando más lo necesite.

**JAVIER TORRADO CARVAJAL**

## **AGRADECIMIENTOS**

Sinceros agradecimientos a nuestra directora de proyecto Sully Gómez Isidro, por brindarnos ayuda en todo lo que necesitamos.

A nuestros compañeros Andrés, Viviana, Luis Mario y María Fernanda por todo el apoyo y la ayuda brindada.

Sinceros agradecimientos al Ingeniero Walter Antolínez Quijano por la ayuda brindada.

Agradecemos infinitamente a la Universidad Industrial de Santander, por permitirnos estudiar y ser mejores personas en nuestro paso por esta grandísima institución.

A todas y cada una de las personas que hizo parte de este proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. OBJETIVOS	20
1.1. OBJETIVO GENERAL	20
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
2. GENERALIDADES	21
2.1. GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA DE BUCARAMANGA	21
2.1.1. Rocas Metamórficas: Neis de Bucaramanga (PEb)	21
2.1.2. Rocas Sedimentarias: Formación Bucaramanga	22
2.2. ACUÍFEROS	23
2.2.1. Acuíferos de la Región de Bucaramanga: Acuífero Superficial (Gravoso)	23
2.2.2. Acuífero Profundo Formación Bucaramanga (Órganos)	24
2.3. ZONA DE RECARGA	24
3. METODOLOGÍA	26

3.1.	TRABAJO DE CAMPO	26
3.2.	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	27
3.2.1.	Conductivímetro (SevenGo™ Conductivity meter SG3).	28
3.2.2.	PHmetro (SevenGo™ pH metro SG2)	29
3.2.3.	GPS Trimble	30
3.3.	SOFTWARE UTILIZADO	30
3.4.	PROTOCOLOS UTILIZADOS EN CAMPO	31
4.	RESULTADOS	33
4.1.	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)	33
4.2.	pH	35
4.3.	TEMPERATURA (T)	38
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	42
5.1.	ANÁLISIS DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	42
5.2.	ANÁLISIS DEL pH	43
5.3.	ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA	44

6.	CONCLUSIONES	46
7.	RECOMENDACIONES	48
	CITAS BIBLIOGRAFICAS	49
	BIBLIOGRAFÍA	50
	ANEXOS	51

## LISTAS DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación geográfica de los puntos de agua subterránea.	19
Figura 2. Conductivímetro (SevenGo™ Conductivity meter SG3).	28
Figura 3. PHMETRO (SevenGo™ pH metro SG2).	29
Figura 4. GPS Trimble.	30
Figura 5. <i>Distribución espacial de Conductividad Eléctrica (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>), JULIO 2014.</i>	34
Figura 6. <i>Distribución espacial de Conductividad Eléctrica (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>), SEPTIEMBRE 2014.</i>	35
Figura 7. <i>Distribución espacial de pH, JULIO 2014.</i>	37
Figura 8. <i>Distribución espacial de pH, SEPTIEMBRE 2014.</i>	38
Figura 9. <i>Distribución espacial de Temperatura, JULIO 2014.</i>	40
Figura 10. <i>Distribución espacial de Temperatura, SEPTIEMBRE 2014.</i>	41
Figura 11. <i>Conductividad Eléctrica, Julio y Septiembre 2014.</i>	43
Figura 12. <i>pH, Julio y Septiembre 2014.</i>	44

Figura 13. *Temperatura, Julio y Septiembre 2014.*

45

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Clasificación de los Puntos de agua subterránea, según el uso y el tipo de captación.</i>	26
Tabla 2. <i>Localización de los Puntos de agua subterránea.</i>	27
Tabla 3. <i>Datos de Conductividad Eléctrica (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>) en JULIO y SEPTIEMBRE de 2014.</i>	33
Tabla 4. <i>Datos de pH en JULIO y SEPTIEMBRE de 2014.</i>	36
Tabla 5. <i>Datos de Temperatura (<math>^{\circ}\text{C}</math>) en JULIO y SEPTIEMBRE de 2014.</i>	39

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. <i>Inventario de pozos de agua subterránea en el Acuífero Superficial en Julio de 2014</i>	52
Anexo B. <i>Inventario de pozos de agua subterránea en el Acuífero Superficial en Septiembre de 2014</i>	53
Anexo C. <i>Mapa de Conductividad Eléctrica Julio 2014</i>	54
Anexo D. <i>Mapa de Conductividad Eléctrica Septiembre 2014</i>	55
Anexo E. <i>Mapa de pH Julio 2014</i>	56
Anexo F. <i>Mapa de pH Septiembre 2014</i>	57
Anexo G. <i>Mapa de Temperatura Julio 2014</i>	58
Anexo H. <i>Mapa de Temperatura Septiembre 2014</i>	59

## RESUMEN

### **TITULO:**

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y pH EN EL ACUÍFERO SUPERIOR DE LA MESETA DE BUCARAMANGA\*

### **AUTORES:**

IVETTE KATHERINE LÓPEZ MARTÍNEZ  
JAVIER ORLANDO TORRADO CARVAJAL\*\*

**PALABRAS CLAVES:** ACUÍFERO, AGUAS SUBTERRÁNEAS, DISTRIBUCIÓN, IRREGULARIDADES, CONTAMINACIÓN.

### **DESCRIPCIÓN:**

Este trabajo presenta la distribución espacial de la Conductividad Eléctrica, el pH y la Temperatura de las aguas subterráneas del acuífero superficial de la meseta de Bucaramanga. Los 24 puntos se localizan en una formación de origen aluvial caracterizando el acuífero superficial. Para medir estos parámetros se realizaron dos salidas de campo con una duración de cuatro días cada una, donde se tomó una muestra en cada uno de los puntos del inventario, se utilizaron equipos como: un medidor de conductividad eléctrica y un medidor de pH. Ambos equipos miden temperatura, obteniendo así los datos para realizar los mapas de distribución espacial de la Conductividad Eléctrica, pH y la Temperatura, durante dos periodos climáticos representativos del año, como son la época seca (Julio 2014) y lluviosa (Septiembre 2014), permitiendo observar, la variación de estos parámetros durante estas dos épocas. En el software Surfer 10 se generó los mapas de distribución espacial, posteriormente se realizó el análisis de los mapas, para identificar el comportamiento de los tres parámetros establecidos, en forma distribuida en el acuífero superficial. Se observan condiciones especiales en el agua subterránea de este acuífero, que pueden representar anomalías como un posible fenómeno de dilución de las aguas subterráneas al entrar en la zona urbanizada del acuífero y posibles fuentes de contaminación al avanzar en sentido de la línea de flujo (Oriente a Occidente). Este trabajo generó nuevos interrogantes para futuros estudios sobre el comportamiento de las aguas subterráneas en el acuífero superior de la meseta de Bucaramanga.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Sully Gómez Isidro

## ABSTRACT

### TITLE:

SPATIAL DISTRIBUTION OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND PH IN THE UPPER AQUIFER PLATEAU BUCARAMANGA\*

### AUTHORS:

IVETTE KATHERINE LÓPEZ MARTÍNEZ  
JAVIER ORLANDO TORRADO CARVAJAL\*\*

**KEYWORDS:** AQUIFER, GROUNDWATER, DISTRIBUTION, IRREGULARITIES, CONTAMINATION.

### DESCRIPTION:

This paper presents the spatial distribution of electrical conductivity, pH and temperature of the groundwater from the shallow aquifer Bucaramanga Plateau. The 24 points are located on an alluvial formation characterizing the shallow aquifer. To measure these parameters, two field trips were conducted with duration of four days each, where a sample was taken at each of the points inventory, equipment as used: electrical conductivity meter and a pH meter. Both instruments measure temperature, obtaining data for spatial distribution maps of Electrical Conductivity, pH and Temperature, two representative climatic periods during the year, such as the dry season (July 2014) and rainy (September 2014), allowing to observe the variation of these parameters during these two periods. The Surfer 10 software spatial distribution maps were generated; further analysis of the maps was performed to identify the behavior of the three parameters of, as distributed in the shallow aquifer. Special conditions are observed in groundwater from this aquifer, which may represent anomalies as a possible phenomenon of dilution of groundwater upon entering the urbanized area of the aquifer and potential sources of contamination to move in the direction of the flow line (East West). This work generates new questions for future studies on the behavior of groundwater in the upper aquifer Bucaramanga Plateau.

---

\* Graduation Project: research work

\*\* Department of Physical and Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Thesis Advisor: Sully Gómez Isidro

## INTRODUCCIÓN

El agua subterránea es un recurso hídrico fundamental, pues representa en el planeta un 95% del agua dulce, dando un indicio de la trascendencia que esta tiene. Cabe destacar que en volumen, el agua subterránea es mucho menor al agua contenida en los glaciares, pero las extensiones de agua subterránea se contabilizan por millones de kilómetros cuadrados, siendo la fuente que abastece la tercera parte de la población mundial. Lo único preocupante frente a este recurso es la sensibilidad que tiene ante la sobreexplotación y la contaminación.

En los últimos años se viene presentando un debate sobre la utilización de este recurso respecto de otros medios de obtención, como lo son las aguas superficiales. Es cierto, que existen tanto ventajas como desventajas para la existencia y utilización del agua subterránea. Pero, los estudios y los análisis ya empezaron, en un futuro se tendrá mejores herramientas y mayor conocimiento sobre este tema, lo cual permitirá tomar decisiones y actuar de la mejor manera, para preservar este recurso.

La zona de estudio se encuentra ubicada en la ciudad de Bucaramanga, que es la capital del departamento de Santander, se localiza al noreste colombiano en medio de la cordillera oriental a los 7° 08' de latitud norte con respecto al Meridiano de Bogotá y 73° 08' de longitud al Oeste de Greenwich. Está limitada al Norte con el municipio de Rionegro; al Oriente por los municipios de Matanza, Charta, Tona; al Sur con el municipio de Floridablanca y por el Occidente con el municipio de Girón. El área municipal abarca una extensión de 165 kilómetros cuadrados, con una altura promedio sobre el nivel del mar de 959 metros. Su temperatura media es 23°C y su precipitación media anual es de 1.041 mm [1]. Tiene tres grandes cerros que se destacan en la zona oriental relacionados con la falla de Bucaramanga que atraviesa el Área Metropolitana de norte a sur

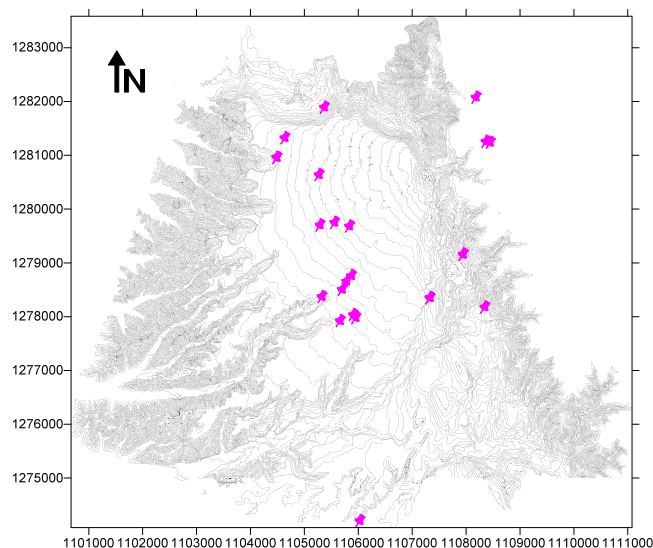
aproximadamente. Su hidrografía se divide en dos principales ríos: El Río de Oro y el Suratá.

Durante este trabajo se identificaron 24 puntos de agua subterránea distribuidos en toda el área metropolitana de Bucaramanga, entre los cuales 14 se tomaron del inventario realizado en el trabajo de grado [2] y los 10 puntos restantes pertenecen al inventario del Grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático GPH.

La toma de los datos se realizó en forma directa en cada uno de los puntos identificados previamente, donde se miden los parámetros de conductividad eléctrica, pH y temperatura, durante los meses Julio (época seca) y Septiembre (época lluviosa) de 2014, con el fin de observar el comportamiento del agua subterránea del acuífero superficial de la meseta de Bucaramanga, teniendo en cuenta la hidrología, geología e hidrogeología de la zona de estudio.

La ubicación espacial y geográfica de los puntos del Acuífero Superior de la Meseta de Bucaramanga esta dado por la **FIGURA 1**.

**FIGURA 1. Ubicación geográfica de los puntos de agua subterránea.**



## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar y analizar la distribución espacial de los parámetros fisicoquímicos del agua en el acuífero superior de Bucaramanga, mediante la toma de datos y su posterior modelación.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar las muestras obtenidas en dos épocas climáticas representativas del año en el acuífero superior de Bucaramanga, para medir los parámetros fisicoquímicos como el pH, la conductividad eléctrica y temperatura.
- Revisar la información cartografía y topográfica en escala 1:10000 para la realización de los mapas de distribución espacial de los parámetros fisicoquímicos del agua en el acuífero superior de Bucaramanga, basados en los documentos existentes de los modelos digitales de elevación de la meseta.
- Caracterizar y ajustar los datos obtenidos de los parámetros fisicoquímicos del agua subterránea a un modelo de distribución espacial de flujo en el acuífero superior de Bucaramanga.
- Realizar un análisis de los resultados obtenidos en el modelo conceptual de flujo, orientado a observar el comportamiento del agua en el acuífero superior de Bucaramanga.

## 2. GENERALIDADES

### 2.1 GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA DE BUCARAMANGA

La estructura geológica está dada por uno de los mayores accidentes estructurales del país, como es la falla de Bucaramanga – Santa Marta y sus fallas asociadas debido a que genera condiciones y sistemas hidrogeológicos complejos. La zona de Bucaramanga se divide en dos regiones: la zona Oriental que presenta un relieve montañoso y pronunciado, compuesto por rocas ígneas y metamórficas del macizo de Santander (Cuarzomonzonita, granito y Neis respectivamente); la zona Occidental posee un relieve más suave con formaciones denominadas “mesas”, correspondientes a depósitos cuaternarios y rocas sedimentarias. Estas dos zonas se encuentran separadas por la falla de Bucaramanga la cual pasa por los costados orientales de los cascos urbanos de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Piedecuesta. Al nororiente de Bucaramanga, las unidades litoestratigráficas más antiguas, que han sido reconocidas a través del tiempo en el conocido Neis de Bucaramanga (PEb), son de origen ígneo- metamórfico, tipo neis, esquisto, migmatita y pequeños intrusivos de granodiorita; aparecen también allí rocas metamórficas en pequeñas franjas, asociadas al sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta [2].

**2.1.1 Rocas Metamórficas: Neis de Bucaramanga (PEb).** Son rocas meta-sedimentarias de alto grado de metamorfismo comprendido principalmente en neis biótico y anfibólico y en menor proporción neis cuarzofeldespático y migmatitas. Su nombre fue dado por Ward y Goldsmith [3]. La mayoría de afloramientos del Neis de Bucaramanga se encuentran parcialmente saprolitizados, en estado de meteorización entre moderada y alta. Esta formación litológica, en especial dentro de una franja de unos 500 metros paralela al sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta, se presenta intensamente fracturada y es altamente susceptible a fenómenos de remoción en masa que involucran saprolito y fragmentos de roca de

tamaño diverso. Se localizan al oriente del sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta, y sobre las cotas alrededor de 1400 y 1600 m.s.n.m. y tiene una extensión de 153 Km<sup>2</sup> [1].

**2.1.2 Rocas Sedimentarias: Formación Bucaramanga.** Es un depósito sedimentario de edad Cuaternaria que morfológicamente corresponde a un abanico aluvial erosionado, sobre el cual se ubica el casco urbano de la Ciudad de Bucaramanga. Limita al nororiente y oriente con el Macizo de Santander, al noroccidente y occidente con el cerro de Palonegro y el río de Oro, y al sur con la Mesa de Ruitoque abarcando una extensión aproximada de 60 a 80 Km<sup>2</sup> [1].

La formación Bucaramanga se divide en los siguientes miembros:

- **Miembro Órganos (Qbo).** Definido por Hubach (1952). Tiene niveles de aspecto conglomerático conforman depósitos de gravas, bloques débilmente consolidados, clastos soportados y grano soportados, dispuestos en forma de capas gruesas a muy gruesas, con espesores de hasta 15 m, se caracteriza por erosionar fácilmente, formando surcos, cárcavas y tierras malas que dan formas de estoraques. Se encuentran localizados en las laderas y escapes de la parte occidental de la Meseta de Bucaramanga y el Área Metropolitana [3]. Sobre la escarpa occidental del abanico de Bucaramanga su espesor podría supera los 180m [1].
- **Miembro Finos (Qbf).** Este nivel fue definido por Hubach (1952). Los miembros finos se caracterizan por tener miembros arcilloso el cual está localizado hacia la base y se caracteriza por ser arcillo-limoso, masivo, de colores grises a verdes, con estratificación plana paralela, y un miembro Arenoso el cual se localiza hacia el techo, donde muestra una alternancia de niveles areno-limosos con niveles limo-arenosos arcósicos de colores amarillento a pardo amarillento. Se ubica por estratos en el nivel inferior de

la formación Bucaramanga (Miembro Órganos) y el nivel superior (Miembro Gravoso) en planos paralelos [3]. Tienen un promedio de 5m a 40m de espesor [1].

- **Miembro Gravoso (Qbg).** Definido por Niño y Vargas (1992), este miembro presenta niveles gravosos, gravo arenoso y gravo-lodosos, tienen espesores de 8m a 30m. Los cantos están compuestos por rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias tales como areniscas cuarzosas, areniscas limosas y limolitas moradas. La matriz está compuesta por cuarzo-feldespática, micácea, de consistencia media y de baja cohesión. Se ubica en la escarpa occidental y norte de Bucaramanga [3].
- **Miembro Limos Rojos (Qblr).** Está compuesto por arenas arcillosas gravosas y limos de colores rojizos, amarillentos y naranjas. Se presenta en bloques angulares de arenisca asociados a este miembro, la parte superficial del miembro se encuentra altamente meteorizada, formándose algunos sectores con niveles de oxidación. A este miembro anteriormente se conocía como “Meseta de Bucaramanga”, el cual tiene unas pendientes entre 2% y 7% y con un relieve semiplano. Se ubica en el sector urbano de Bucaramanga, se extiende hacia el sur de Bucaramanga hasta el sector norte del municipio de Floridablanca pero no de forma continua y uniforme [3].

## 2.2 ACUÍFEROS

A continuación se describen las unidades específicas que conforman los dos acuíferos de la zona de estudio:

**2.2.1 Acuíferos de la Región de Bucaramanga: Acuífero Superficial (Gravoso).** El acuífero superficial ubicado en la meseta de Bucaramanga, es una

formación geológica tipo cono aluvial que está conformada por la unión de depósitos llamados abanicos que tiene un espesor variable entre 8 y 30 m los cuales provienen de las quebradas que nacen en el macizo de Santander, estos sedimentos forman el acuífero superficial y profundo de Bucaramanga. Algunos de estos depósitos ubicados en la meseta son bloques, cantos, gravas, arenas, limos y arcillas que se mezclan en proporciones variadas [2]. Se observa que el gradiente hidráulico presentado por el flujo subterráneo va en sentido oriente-occidente con un valor aproximado del 2% [4].

**2.2.2 Acuífero Profundo Formación Bucaramanga (Órganos).** Este acuífero se encuentra en la formación Bucaramanga, exactamente en el miembro Órganos (Qbo). Este miembro presenta los espesores más altos dentro de la formación Bucaramanga con valores que van desde 220 y 300 m. El gradiente hidráulico tiene dirección oriente-noroccidente en sentido del drenaje superficial para el Río de Oro y Suratá, donde estos dos confluyen, el gradiente hidráulico es aproximadamente del 4% [4].

La parte superior de este miembro corresponde a los niveles más gruesos y posiblemente se encuentren saturados. La parte inferior del miembro Órganos corresponde a un material fino poco permeable con un espesor que varía entre 40 y 140 m [5].

### **2.3 ZONA DE RECARGA**

Estudios geoquímicos y de isotopía sugieren que hay flujo subterráneo desde el macizo de Santander hacia los acuíferos superficial y profundo pertenecientes a la formación Bucaramanga, a través de la falla Bucaramanga-Santa Marta. Los resultados de estudios de isotopía con Carbono 14 y Tritio indican que las aguas del acuífero superficial son más jóvenes o nuevas que las del acuífero profundo. La recarga de estos acuíferos proviene principalmente de la zona que abarca el

macizo de Santander entre los 1800 y 2200 msnm y el proceso se presenta por la infiltración de las aguas lluvias en las elevaciones mencionadas anteriormente [6].

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 TRABAJO DE CAMPO

Con el fin de estudiar el acuífero superficial de la meseta de Bucaramanga se realizaron dos salidas de campo en los meses de Julio (época seca) y Septiembre (época lluviosa) de 2014. Cada salida tuvo una duración de cuatro días, alcanzando un total de ocho días de trabajo de campo. Se ejecutó la toma de muestras correspondientes a los parámetros de Conductividad Eléctrica, pH y Temperatura, una muestra por cada uno de los puntos de agua subterránea en los dos periodos representativos, los cuales sirvieron para caracterizar el acuífero superficial y obtener la información necesaria para desarrollar el proyecto.

Los puntos identificados se clasificaron según el tipo de captación que se implementó en cada uno de los puntos así: pozos profundos (8), cisternas (4), manantiales (3), dren (5) y piezómetros (4). Ver **TABLA 1**.

**TABLA 1. Clasificación de los Puntos de agua subterránea, según el uso y el tipo de captación.**

Punto	Tipo de Captación	Uso	Punto	Tipo de Captación	Uso
1	Manantial	Domestico y Riego	13	Piezometro	-
2	Pozo Profundo	Lavadero de Autos	14	Piezometro	-
3	Dren	Vivero	15	Piezometro	-
4	Pozo Profundo	Lavadero de Autos	16	Piezometro	-
5	Pozo Profundo	Lavadero de Autos	17	Dren	Vivero
6	Cisterna	Lavadero de Autos	18	Cisterna	Lavadero de Autos
7	Pozo Profundo	Lavadero de Autos	19	Pozo Profundo	Institucional
8	Pozo Profundo	Lavadero de Autos	20	Cisterna	Lavadero de autos
9	Dren	Vivero	21	Manantial	Doméstico y Riego
10	Cisterna	Lavadero de Autos	22	Dren	Domestico y Riego
11	Pozo Profundo	Lavadero de Autos	23	Dren	Industrial
12	Pozo Profundo	Lavadero de Autos	24	Manantial	-

Para una localización exacta de los puntos ya seleccionados en el inventario [2] y la ubicación de nuevos puntos, se tuvieron en cuenta las coordenadas y las cotas de nivel, lo cual está registrado en la **TABLA 2**.

**TABLA 2. Localización de los Puntos de agua subterránea.**

<b>Punto</b>	<b>Norte [m]</b>	<b>Este [m]</b>	<b>Cota [msnm]</b>
1	1281969	1108108.4	1276
2	1281215	1104562.25	960.64
3	1280850	1104411.51	910.6
4	1279641	1105485.38	984.82
5	1279573	1105760.99	982.51
6	1278650	1105797	950
7	1278546	1105706.43	939.97
8	1278397	1105626.93	944.1
9	1278261	1105251	893.9
10	1277871	1105879.59	946.95
11	1277926	1105831.85	944.14
12	1277813	1105588.73	944.1
13	1278242	1107254	960
14	1278242	1107254	960
15	1279050	1107869	1045
16	1279050	1107869	1045
17	1280850	1104411.61	910.8
18	1280529	1105196.62	981.4
19	1278069	1108271	1080
20	1279593	1105213.38	965.32
21	1281128	1108373.44	1335
22	1281148	1108291.06	1285
23	1281784	1105293.93	886.68
24	1274097	1105955.14	803.99

### **3.2 HERRAMIENTAS Y EQUIPOS**

Con el fin de instrumentar estos puntos, se utilizaron los siguientes equipos: Conductivímetro, pHmetro y GPS. Con éstos, logramos obtener los parámetros de

conductividad eléctrica, pH y temperatura requeridos para desarrollar los mapas de distribución espacial.

**3.2.1 Conductímetro (SevenGo™ Conductivity meter SG3).** Medidor portátil que sirve para tomar datos de conductividad eléctrica con un rango de medida que oscila entre los valores 0.10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 500  $\text{mS}/\text{cm}$ , y la temperatura oscila entre  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El error de medición para la conductividad eléctrica de  $\pm 0.5\%$  del valor medido y para la temperatura es de  $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . (Ver **FIGURA 2**).

**FIGURA 2. Conductímetro (SevenGo™ Conductivity meter SG3).**



La calibración del equipo SevenGo™ Conductivity meter SG3 se realiza de la siguiente manera: primero se selecciona un estándar de 1413  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , Posteriormente se introduce el electrodo de conductividad en la solución buffer de calibración de igual valor al estándar seleccionado anteriormente y se pulsa la tecla Cal, el medidor de conductividad automáticamente llega al punto final una

vez que la señal se ha estabilizado. Apareciendo en la parte derecha inferior de la pantalla el símbolo Å.

**3.2.2 PHmetro (SevenGo™ pH metro SG2).** Medidor portátil diseñado para tomar datos de pH con un rango de medida que oscila entre 0.00 y 14.00 y para la temperatura oscila entre los valores -5 y 105 °C, el error de medición es de  $\pm 0.01$  para el pH y para la temperatura es del  $\pm 0.5$  °C (Ver **FIGURA 3**).

**FIGURA 3. PHMETRO (SevenGo™ pH metro SG2).**



La calibración del equipo SevenGo™ pH metro SG2 se realiza de la siguiente manera: primero se selecciona un estándar de 7 en la escala de pH, posteriormente se introduce el electrodo en una solución buffer de valor estándar 7 y se pulsa el botón Cal, el SG2 automáticamente llega al modo de punto final, en el cual el medidor muestra y congela el valor de la solución buffer relevante.

Seguidamente se pulsa la tecla Read para aceptar la calibración y empezar la medición de muestras.

**3.2.3 GPS Trimble.** Se utilizó un GPS Trimble para obtener las coordenadas de los puntos que no pertenecían al inventario inicial. La precisión de este GPS es muy alta, presentando errores de 1 o 2 metros máximos.

**FIGURA 4. GPS Trimble.**



### **3.3 SOFTWARE UTILIZADO**

Surfer 10 es un programa utilizado para espacializar parámetros mediante coordenadas, el cual fue usado para la realización de los mapas de distribución espacial, ajustando la continuidad espacial con el algoritmo de Kriging y variogramas.

Este Software ofrece un interminable listado de opciones para representar dicha espacialización, desde modelos en 2D hasta los más complejos en 3D,

permitiendo analizar la variación de dichos parámetros en un espacio determinado, obteniendo desde líneas de flujo hasta perfiles del comportamiento de los parámetros obtenidos. En este caso se observó la variación de los parámetros como la conductividad eléctrica, el pH y la temperatura en el acuífero superficial de la meseta de Bucaramanga. Como primer paso se cargó la cartografía de la meseta en un mapa base, obtenido de una base de datos exportada de ArcGIS, para posteriormente superponer este mapa con uno nuevo, generado de la distribución espacial de los parámetros mencionados anteriormente.

El uso del software ArcGIS 10 permitió cargar y exportar la base cartográfica en escala 1:10000 de la meseta de Bucaramanga como un archivo Shape, referenciado al sistema de coordenadas Magna Sirgas, con el fin de utilizarlo como un mapa base en Surfer y superponerlo con los mapas de distribución espacial que se generaron previamente, obteniendo mapas tipo SIG.

### **3.4 PROTOCOLOS UTILIZADOS EN CAMPO**

Como parte del proceso de salida de campo, es necesario cumplir con ciertos lineamientos para tecnificar la toma de muestras en cada uno de los puntos seleccionados de agua subterránea. Para esto es necesario cumplir con el siguiente protocolo:

- Obtener una carta expedida por la universidad en la cual certifique la pertenencia de los estudiantes y la realización del proyecto.
- Se deben adquirir las sustancias buffer de calibración para los equipos, agua desionizada y una bayetilla.

- Diseñar un formato de tabla en el cual se especifique nombre, ubicación y los diferentes parámetros que se van a medir.
- Establecer una ruta guía con el orden en que se visitara cada punto del inventario.
- Revisar el correcto funcionamiento de los equipos y su posterior calibración para realizar cada una de las jornadas de trabajo, con el fin de obtener mediciones con un margen de error mínimo.
- Dirigirse a cada punto y obtener la correspondiente autorización o permiso de los encargados, con el fin de tomar una muestra de agua.
- Previo a esto se debe realizar una limpieza a los recipientes y electrodos con agua desionizada.
- Para medir los parámetros de conductividad eléctrica, pH y temperatura es preciso realizar un proceso de adecuación de las sondas en cada equipo, utilizando agua desionizada y una bayetilla que permita el secado y la limpieza de la misma. Es necesario repetir este procedimiento antes y después de cada muestreo.
- Se miden y registran los datos en la tabla, y se guarda una contra muestra.
- Al término de cada jornada se deben limpiar los equipos y retirar las baterías, con el fin de evitar posibles daños a estos.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

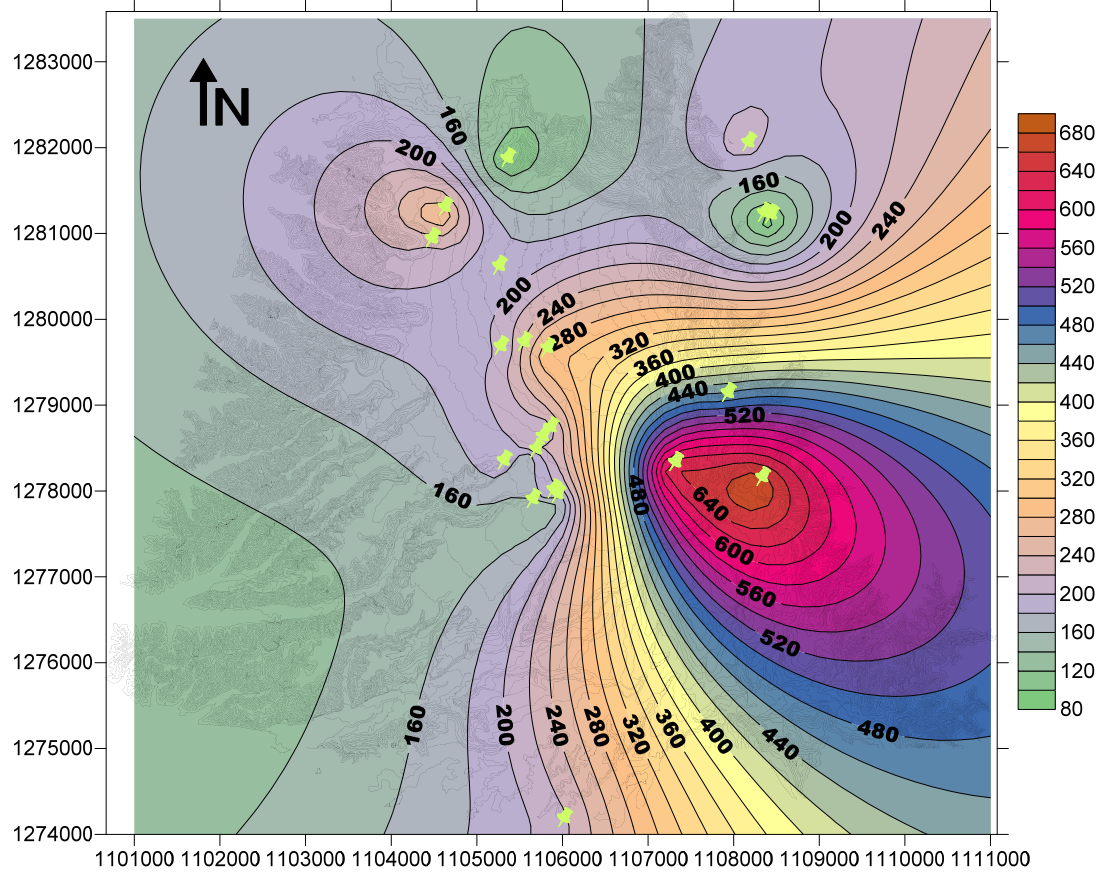
La conductividad eléctrica es la capacidad que tiene una solución acuosa para transportar la corriente eléctrica. La corriente eléctrica es conducida en la solución mediante el movimiento de los iones y es directamente proporcional a la concentración de sales disueltas, y la movilidad iónica. Químicamente el agua pura no conduce la corriente debido que los únicos iones presentes son el H<sup>+</sup> y OH<sup>-</sup> y por ello la conductividad del agua muy pura es aproximadamente 0.05  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y el intervalo de conductividad eléctrica para las aguas subterráneas varía entre 200 y 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  [7].

En la **TABLA 3** se registran los datos obtenidos de conductividad eléctrica en los meses de Julio y Septiembre del año 2014.

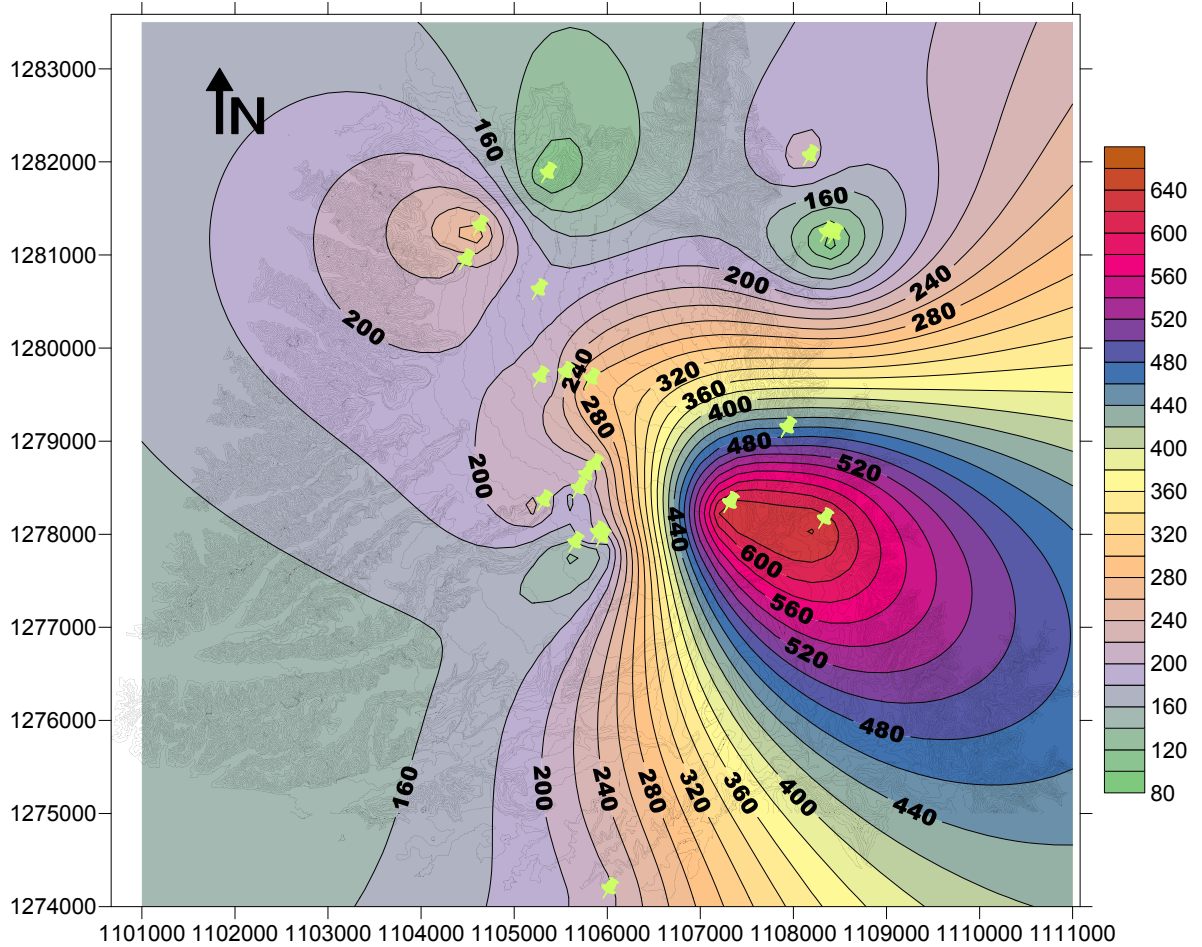
**TABLA 3. Datos de conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en JULIO y SEPTIEMBRE de 2014.**

Punto	Julio 2014	Septiembre 2014	Punto	Julio 2014	Septiembre 2014
1	213	211	13	641	641
2	287	281	14	181	181
3	220	206	15	476	476
4	227	213	16	460	460
5	295	292	17	214	221
6	190	197.6	18	182.9	183.4
7	253	221	19	682	643
8	164.9	169	20	201	209
9	191.6	229	21	86.1	86.1
10	123.8	129.3	22	102	102
11	191.4	202	23	105.1	105.1
12	149.2	136.6	24	210	210

**FIGURA 5. Distribución espacial de Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), JULIO 2014.**



**FIGURA 6. Distribución espacial de Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), SEPTIEMBRE 2014.**



#### 4.2 pH

La mayoría de las aguas subterráneas tienen pH entre 6.5, 8 y más raramente entre 5.5 y 8.5. Debido a la existencia de ácidos o bases muy débilmente ionizados tienden a mantener casi constante el pH del agua cuando se intenta cambiarlo añadiendo pequeñas cantidades de ácidos o bases fuertes. A estas soluciones se les llama soluciones tampón y son relativamente frecuentes en la

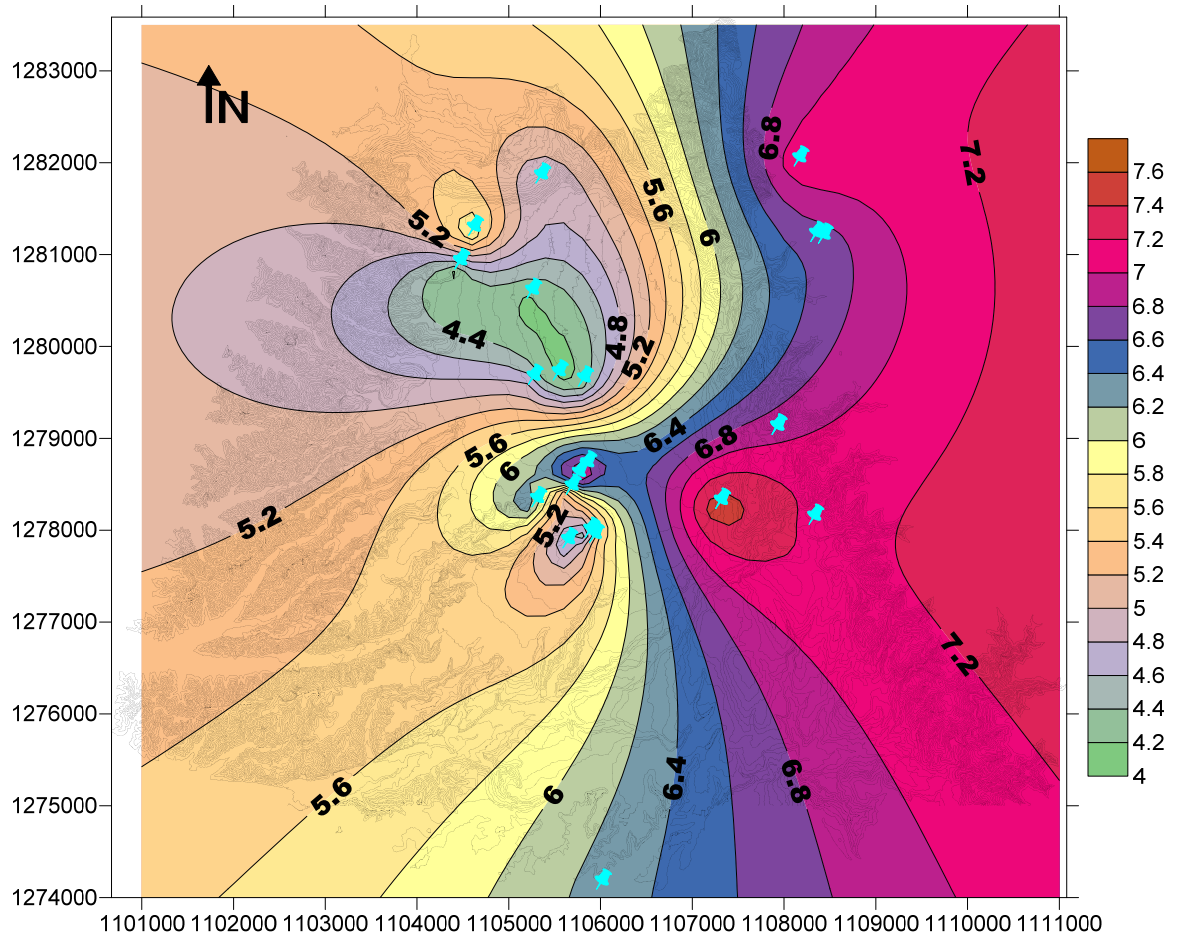
naturaleza debido a la presencia en el agua de CO<sub>2</sub> disuelto y CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup>. El agua con pH<7 suele ser agresiva [8].

En la **TABLA 4** se registran los datos obtenidos de pH en los meses de Julio y Septiembre.

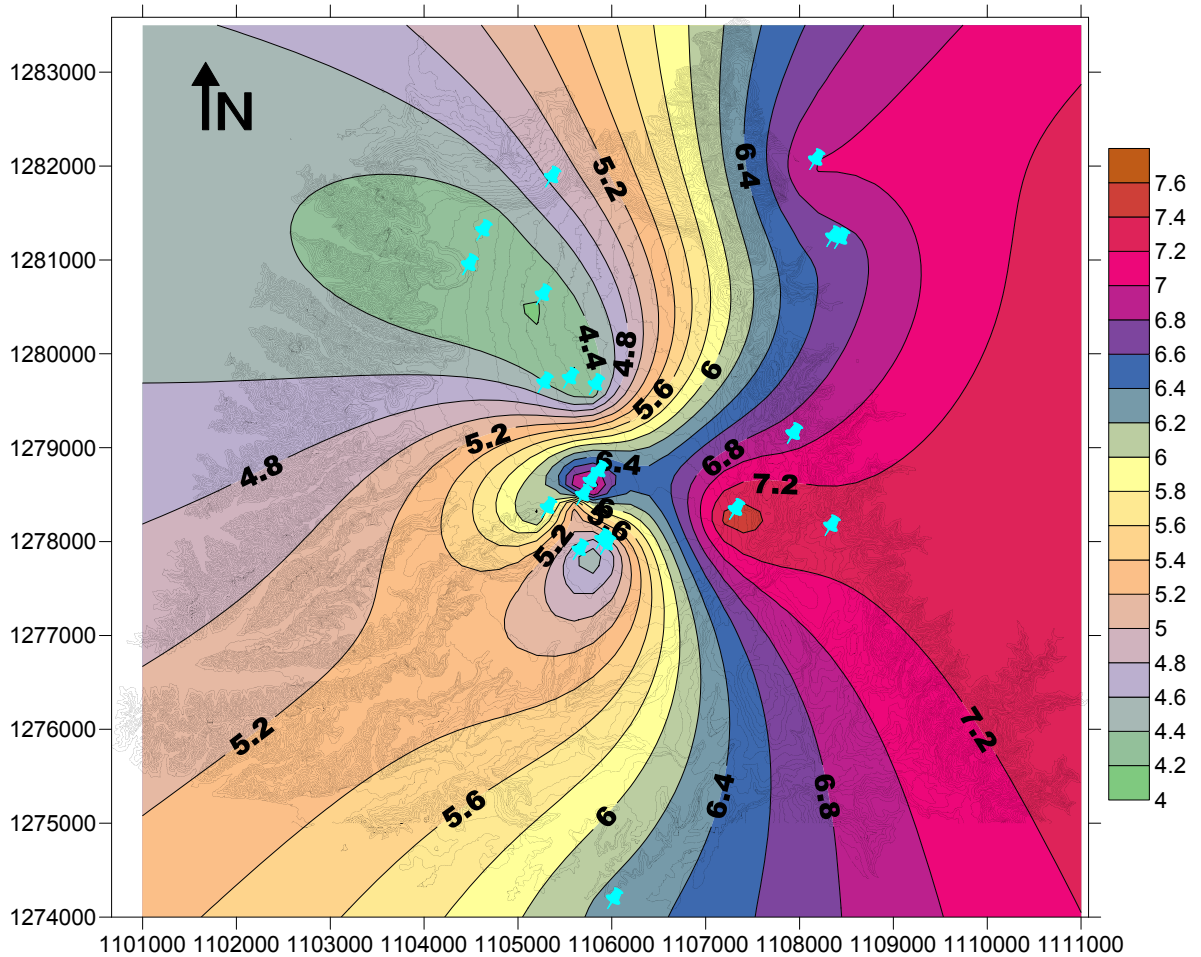
**TABLA 4. Datos de pH en JULIO y SEPTIEMBRE de 2014.**

<b>Punto</b>	<b>Julio 2014</b>	<b>Septiembre 2014</b>	<b>Punto</b>	<b>Julio 2014</b>	<b>Septiembre 2014</b>
1	7.12	7.01	13	7.54	7.54
2	5.84	4.19	14	7.59	7.59
3	4.17	4.36	15	6.93	6.93
4	4.17	4.3	16	6.64	6.64
5	4.24	4.21	17	4.36	4.19
6	7.01	7.04	18	4.18	4.19
7	7.13	7.6	19	7.16	7.25
8	5.11	5.08	20	4.82	4.58
9	6.39	6.25	21	6.63	6.63
10	5.35	4.45	22	6.71	6.71
11	4.47	4.59	23	4.77	4.77
12	4.62	4.62	24	6.27	6.27

**FIGURA 7. Distribución espacial de pH, JULIO 2014.**



**FIGURA 8. Distribución espacial de pH, SEPTIEMBRE 2014.**



### **4.3 TEMPERATURA (T)**

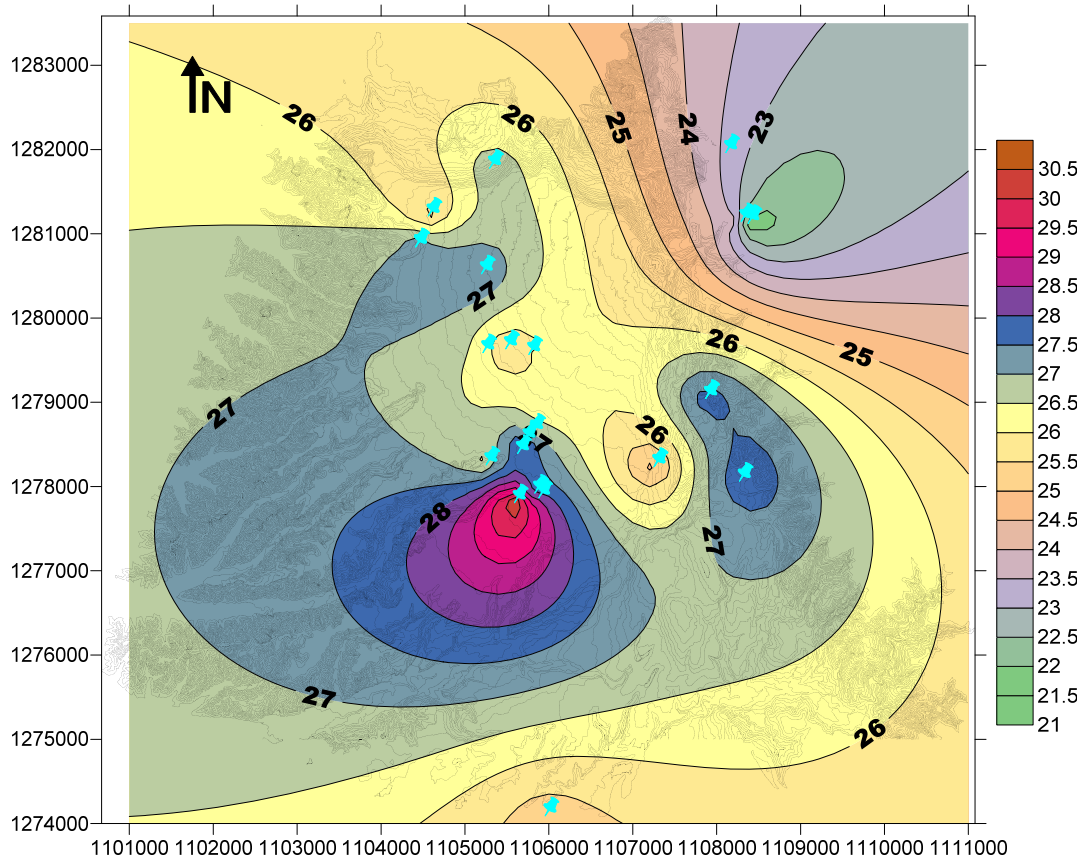
Es el potencial calorífico referido a un cierto origen, se mide en Celsius. Una de las propiedades de las aguas subterráneas es tener una temperatura muy poco variable, y responde a la media anual de las temperaturas atmosféricas del lugar, incrementando en el producto de la profundidad del gradiente geotérmico (1°C cada 33m en promedio, algo mayor en zonas tectónicas y volcánicas y algo menor en grandes zonas sedimentarias) [8].

En la **TABLA 4** se registran los datos obtenidos de Temperatura en los meses de Julio y Septiembre.

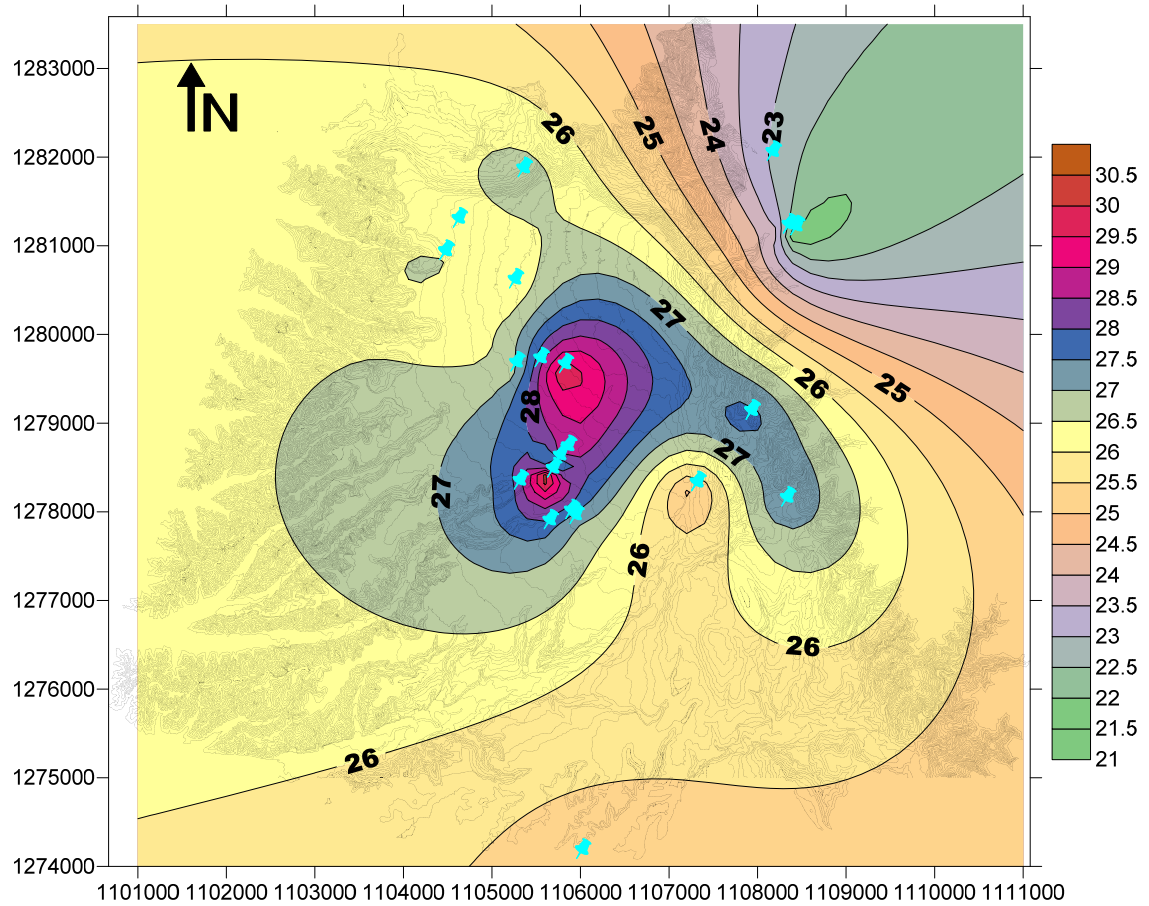
**TABLA 5. Datos de Temperatura (°C) en JULIO y SEPTIEMBRE de 2014.**

<b>Punto</b>	<b>Julio 2014</b>	<b>Septiembre 2014</b>	<b>Punto</b>	<b>Julio 2014</b>	<b>Septiembre 2014</b>
1	23.4	23	13	24.8	24.8
2	25.3	26.2	14	24.8	24.8
3	27.2	26.4	15	27.8	27.8
4	25.5	28	16	24.5	24.5
5	26	30	17	27.6	26.6
6	26.7	28.9	18	27.5	26
7	28.1	25.8	19	27.9	27.4
8	27.8	30.7	20	26.3	26.7
9	26.4	27.8	21	21.6	21.6
10	28.4	27.1	22	23.4	23.4
11	27.8	27.5	23	26.8	26.8
12	30.6	27.8	24	25.2	25.2

**FIGURA 9. Distribución espacial de Temperatura, JULIO 2014.**



**FIGURA 10. Distribución espacial de Temperatura, SEPTIEMBRE 2014.**



Los datos registrados en las tablas anteriores de los puntos 13, 14, 15 y 16 fueron referenciados por el Grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático GPH, tomados en el mes de mayo de 2011, no se pudo realizar la toma de muestras en estos cuatro punto ya que las bombas están fuera de servicio; y en los puntos 21, 22, 23 y 24, se realizó la toma de muestras solo en la época lluviosa (Septiembre 2014).

## 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 ANÁLISIS DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

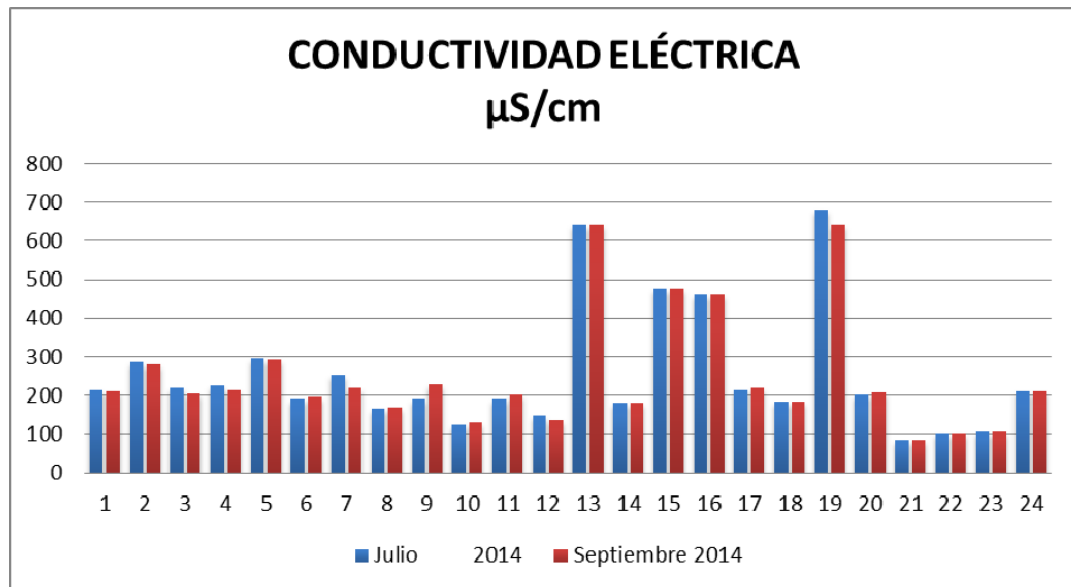
El comportamiento normal de la conductividad eléctrica en las aguas subterráneas es que aumente en sentido del flujo. Esto se debe a la recarga de iones, minerales y sales disueltas que se presenta en el agua al entrar en contacto con la roca del acuífero. Se esperaba encontrar este comportamiento en el acuífero superficial de Bucaramanga, pero el análisis de los resultados indica que la conductividad eléctrica en sentido del flujo (Oriente a Occidente) disminuye, partiendo de valores muy elevados, entre 460 y 680  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en la zona oriental, exactamente en la falla Bucaramanga-Santa Marta, hasta presentar valores más bajos en la zona de escarpa norte y occidental entre 100 y 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Debido a que la recarga del acuífero y la dirección del flujo es de Oriente a Occidente este comportamiento de la conductividad eléctrica no es usual, posiblemente exista un proceso de dilución del agua subterránea al entrar en la zona de la meseta de Bucaramanga, la recarga por lluvia es mínima en la ciudad debido a que la meseta se encuentra impermeabilizada, en un gran porcentaje se encuentra pavimentada. La hipótesis que se plantea es que la dilución en el agua del acuífero superficial se deba a posibles fugas del sistema de acueducto, la cual genera una recarga artificial. Según esto, deben hacerse nuevos estudios que intenten resolver el interrogante y aclaren el comportamiento de estos resultados.

Los resultados muestran que la franja norte tiene un comportamiento en particular, los puntos de la Transición y finca La Samaria son valores bajos, entre 80 y 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  posiblemente se traten de aguas jóvenes o frescas.

Los dos mapas obtenidos muestran valores similares de conductividad eléctrica, confirmando así, el comportamiento mencionado anteriormente en el agua

subterránea de la meseta de Bucaramanga, los datos se tomaron en dos épocas representativas: época seca (Julio) y época lluviosa (Septiembre).

**FIGURA 11. Conductividad Eléctrica, Julio y Septiembre 2014.**

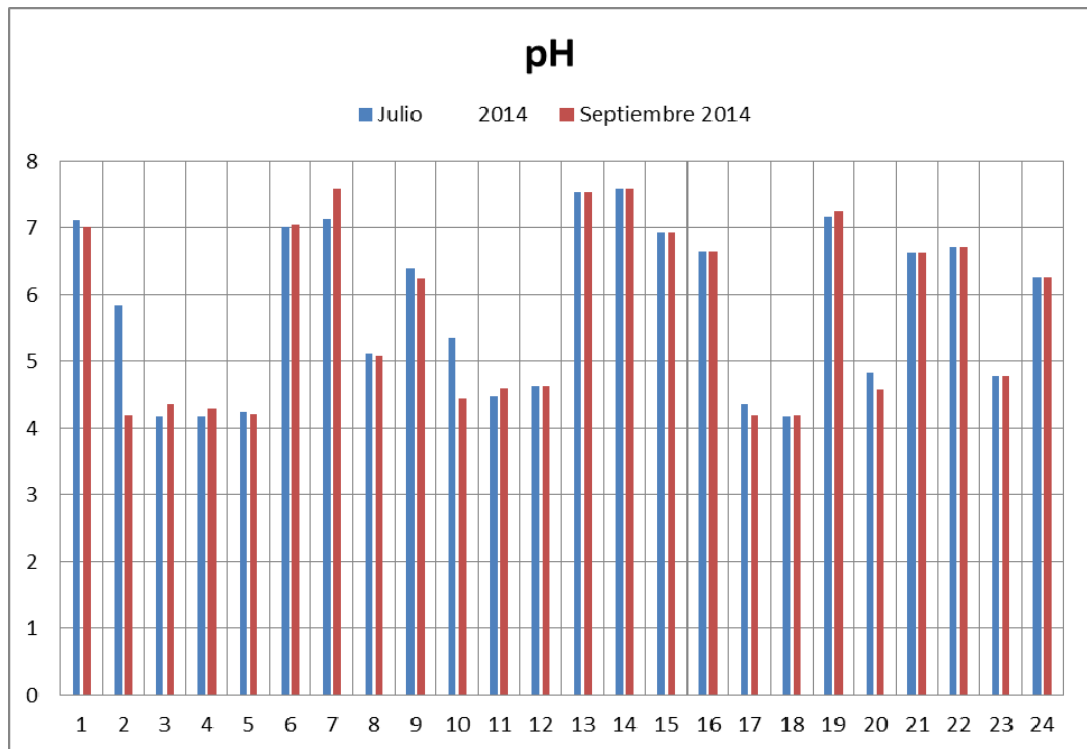


## 5.2 ANÁLISIS DEL pH

En los datos de pH, se nota una variación muy marcada, los valores se hacen neutros en la falla Bucaramanga–Santa Marta, cambiando drásticamente a valores ácidos en la dirección oriente a occidente, posiblemente la contaminación se deba, al sistema de alcantarillado, afluentes industriales, vertientes domésticos, la descomposición de materia orgánica e inclusive accidentes ambientales en las concesiones de agua subterránea u otros contaminantes. Por lo que se deben realizar una serie de investigaciones, donde se pueda indagar a fondo los diferentes tipos de contaminación que pueden generar este cambio del pH en la Meseta de Bucaramanga.

Los dos mapas muestran un comportamiento similar en las dos épocas del año, con excepción de los puntos la Esmeralda y Servicentro El Mejor.

**FIGURA 12. pH, Julio y Septiembre 2014.**

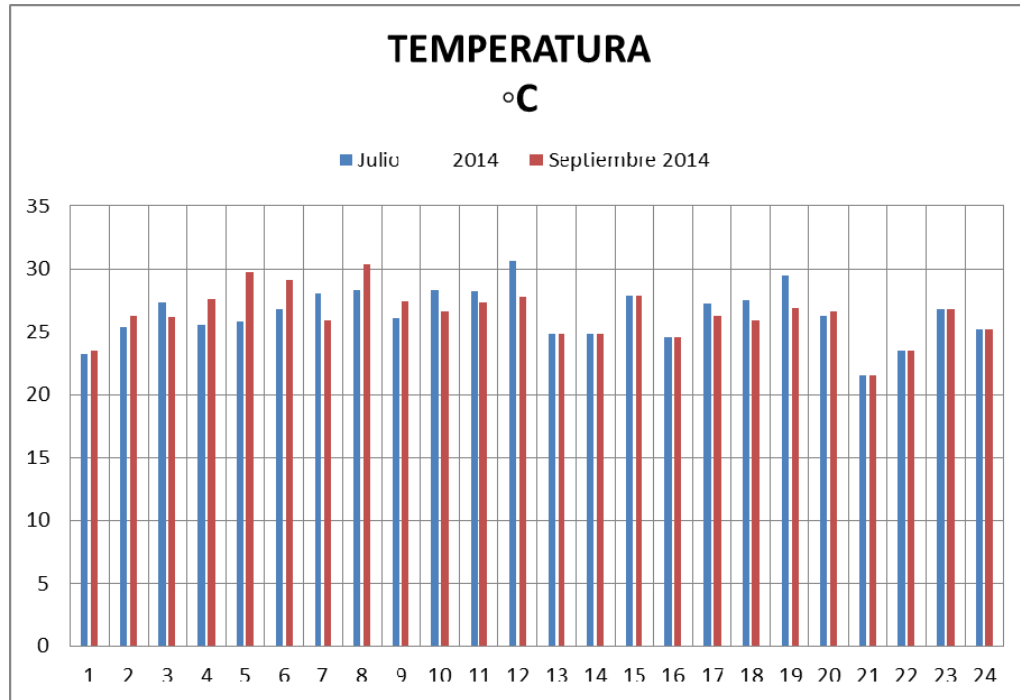


### 5.3 ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA

Los datos de Temperatura, se mantienen en un rango de variación mínima a lo largo de la Meseta de Bucaramanga. Es importante destacar que la temperatura del agua subterránea varía de acuerdo a la temperatura atmosférica presente en cada zona, sin embargo el gradiente geotérmico y la profundidad en que se encuentra el agua subterránea pueden conseguir que varíen los datos de temperatura.

Los dos mapas muestran un comportamiento similar en las dos épocas del año.

**FIGURA 13. Temperatura, Julio y Septiembre 2014.**



## 6. CONCLUSIONES

- Se realizó la distribución espacial de la Conductividad Eléctrica (CE), el pH y la Temperatura (T) en el acuífero superficial de la meseta de Bucaramanga. A partir de mediciones en los veinticuatro puntos localizados sobre la meseta, y se generaron los respectivos mapas. Los resultados obtenidos muestran que no existe una variación significativa de los parámetros medidos (CE, pH y T) entre la época seca y la época lluviosa. Solamente en dos puntos, (Lavadero la Esmeralda y Servicentro el Mejor) el pH muestra cambios importantes.
- Los mapas de distribución espacial son una herramienta muy importante, ya que permiten representar en forma adecuada el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos (CE, pH y T) del agua subterránea; en este trabajo se utilizó una base cartográfica en escala 1:10000 suministrada por grupo GPH y la CDMB, lo cual puede servir a futuro para la realización de estudios más avanzados.
- Se analizó el comportamiento del agua subterránea en el acuífero superior de la meseta de Bucaramanga, a partir de los resultados obtenidos en los mapas de distribución espacial, concluyendo que el parámetro de conductividad eléctrica disminuye en la dirección del flujo (Oriente a Occidente). La zona de la falla Bucaramanga-Santa Marta específicamente antes de entrar en la región urbanizada presenta valores de conductividad eléctrica elevados, entre 460 y 680  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , los cuales disminuyen paulatinamente en la dirección del flujo subterráneo sobre la meseta, hasta presentar los valores más bajos en la zona de escarpa norte y occidental, entre 100 y 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  con base en estos resultados se puede pensar que el acuífero enfrenta un proceso de dilución de aguas subterráneas en la meseta de Bucaramanga. La recarga por lluvia en la zona de la ciudad es

mínima debido a que la meseta se encuentra impermeabilizada en un gran porcentaje. Los resultados anteriores hacen suponer que la dilución de las aguas del acuífero superficial se debe a posibles fugas del sistema de acueducto que aporte un volumen de agua o se genere una recarga artificial.

- El comportamiento del pH en el agua subterránea disminuye en la dirección del flujo (Oriente a Occidente). La zona de la falla Bucaramanga-Santa Marta presenta valores de pH básicos (cerca de 7) los cuales disminuyen paulatinamente sobre la meseta hasta presentar los valores más ácidos (cerca de 4) en la zona de escarpa, principalmente en los puntos ubicados al noroccidente. Esta variación hace suponer que existen posibles fuentes de contaminación en el agua subterránea. Este tipo de contaminación se puede derivar del sistema de alcantarillado, afluentes industriales o vertientes domésticos y debe ser confirmada con muestreos de variables fisicoquímicas que determinen el tipo de contaminación existente.

## 7. RECOMENDACIONES

- Para lograr un mejor análisis del comportamiento de del agua subterránea es necesario profundizar en más parámetros fisicoquímicos, los cuales estudien las posibles fuentes de contaminación en cada una de las zonas. Es importante promover o invitar a las entidades a cargo del control de las aguas subterráneas, un mayor acompañamiento y una constante revisión de los puntos, mediante controles estrictos de parámetros tanto físicos como químicos, que permitan generar un registro histórico de los datos.
- Es necesario realizar estudios que comprueben el fenómeno de dilución que posiblemente este afectando el comportamiento de la conductividad eléctrica en el acuífero superior de la meseta de Bucaramanga.
- Se recomienda generar nuevos puntos de control sobre el agua subterránea, que permitan evaluar y llevar un registro más completo y estricto de los datos para su posterior modelación.

## CITAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Rueda J. Modelo hidrogeológico conceptual y revisión de la vulnerabilidad, amenaza y peligro a la contaminación del agua subterránea en la CSRL. Maestría Tesis. Universidad industrial de Santander, 2013.

[2] Rodríguez J. y Torres D. Inventario de puntos de aguas subterráneas y distribución espacial de niveles de acuíferos en la parte aluvial y sedimentaria de la región de Bucaramanga. Pregrado Tesis. Universidad industrial de Santander, 2011.

[3] González K. y Rojas M. Itinerario geológico del Área Metropolitana de Bucaramanga, Santander. Universidad industrial de Santander, 2012.

[4] Antolínez W. Modelo numérico del flujo de aguas subterráneas en las formaciones acuíferas de Bucaramanga. Maestría Tesis. Universidad industrial de Santander, 2014.

[5] Bermúdez O. y Vásquez L. Estudio geológico-geofísico para el área metropolitana de Bucaramanga. INGEOMINAS. 2004

[6] Gómez S. y Anaya Á. Acercamiento a un modelo conceptual de recarga de los acuíferos de la región de Bucaramanga. Avances en Recursos Hidráulicos. Número 11. Septiembre de 2004. Medellín.

[7] Kiely G. Ingeniería ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión.

[8] Custodio E. y Llamas M. Hidrología Subterránea. Volumen I y II. Ediciones Omega. 2da Edición 1996.

## BIBLIOGRAFÍA

**ANTOLÍNEZ, W.** Modelo Numérico del Flujo de Aguas Subterráneas en las Formaciones Acuíferas de Bucaramanga. Tesis de Maestría. Bucaramanga: Universidad industrial de Santander. 2014.

**CUSTODIO, E y LLAMAS, M.** Hidrología Subterránea. Volumen I y II. 2ed. Barcelona: Ediciones Omega. 1996.

**GOMEZ, S y ANAYA, A.** Acercamiento a un modelo conceptual de recarga de los acuíferos de la región de Bucaramanga. En: Avances en Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional. Medellín, v. 1, n. 1, p. 37-50, 2004. ISSN/ISBN: 01215701.

**GONZALEZ, J y CAMARGO, L.** Vulnerabilidad a la Contaminación del Agua Subterránea en la zona Aluvial de Bucaramanga. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, 2010.

**GUTIÉRREZ, F Y GUALDRÓN, J.** Amenaza y Peligro a la Contaminación de las Aguas Subterráneas en la Zona Aluvial de Bucaramanga. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, 2010.

# ***ANEXOS***

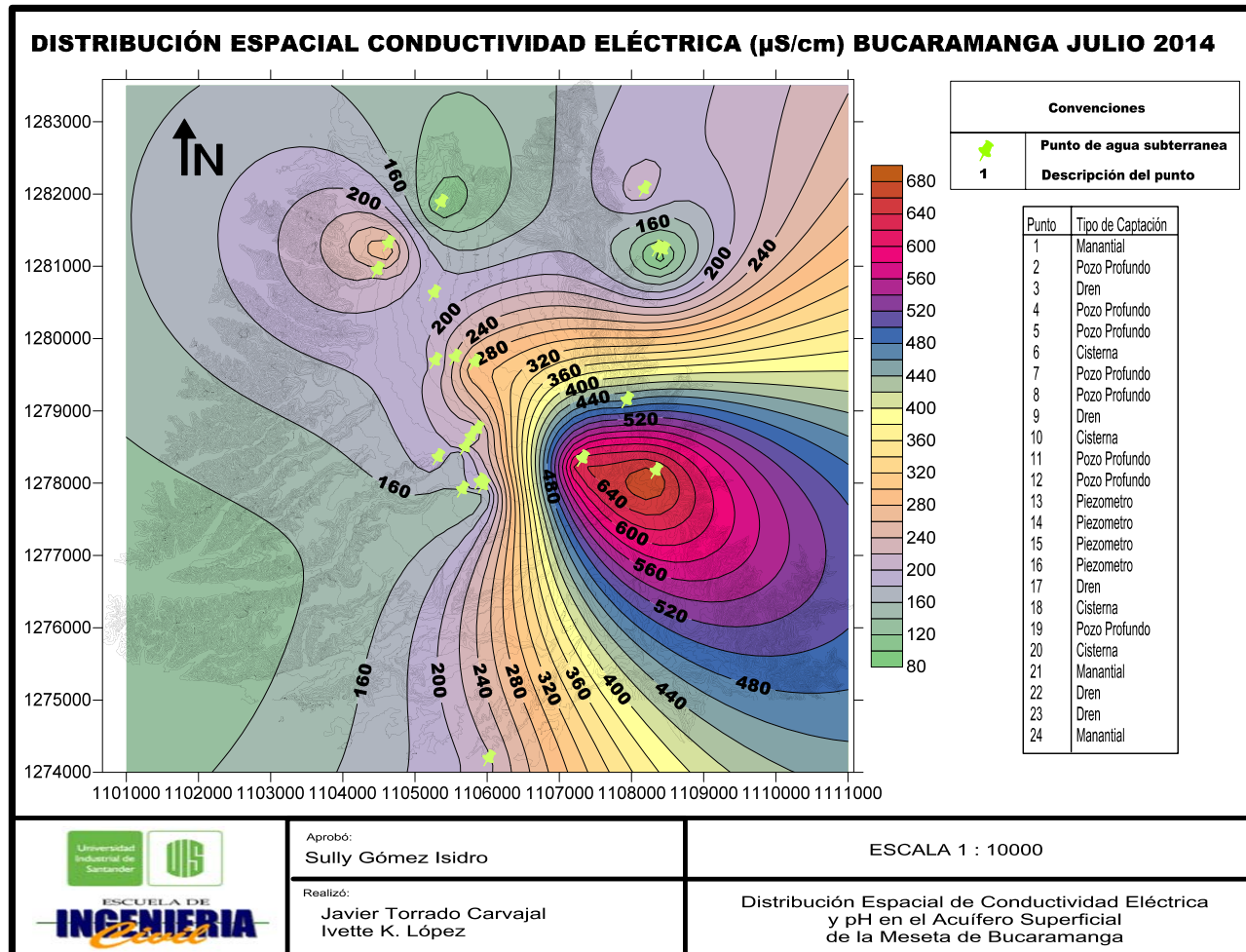
### ANEXO A. Inventario de pozos de agua subterránea en el Acuífero Superficial en julio de 2014

Punto	Tipo de Captación	Uso	Conductividad Eléctrica [μS/cm]	Temperatura [°C]	pH	Norte [m]	Este [m]	Cota [msnm]	Fecha
1	Manantial	Domestico y Riego	213	23.4	7.12	1281969	1108108.4	1276	15-06-14
2	Pozo Profundo	Lavadero de Autos	287	25.3	5.84	1281215	1104562.25	960.64	15-06-14
3	Dren	Vivero	220	27.2	4.17	1280850	1104411.51	910.6	15-06-14
4	Pozo Profundo	Lavadero de Autos	227	25.5	4.17	1279641	1105485.38	984.82	16-06-14
5	Pozo Profundo	Lavadero de Autos	295	26	4.24	1279573	1105760.99	982.51	16-06-14
6	Cisterna	Lavadero de Autos	190	26.7	7.01	1278650	1105797	950	16-06-14
7	Pozo Profundo	Lavadero de Autos	253	28.1	7.13	1278546	1105706.43	939.97	16-06-14
8	Pozo Profundo	Lavadero de Autos	164.9	27.8	5.11	1278397	1105626.93	944.1	16-06-14
9	Dren	Vivero	191.6	26.4	6.39	1278261	1105251	893.9	16-06-14
10	Cisterna	Lavadero de Autos	123.8	28.4	5.35	1277871	1105879.59	946.95	16-06-14
11	Pozo Profundo	Lavadero de Autos	191.4	27.8	4.47	1277926	1105831.85	944.14	16-06-14
12	Pozo Profundo	Lavadero de Autos	149.2	30.6	4.62	1277813	1105588.73	944.1	16-06-14
13	Piezometro	-	641	24.8	7.54	1278242	1107254	960	2011
14	Piezometro	-	181	24.8	7.59	1278242	1107254	960	2011
15	Piezometro	-	476	27.8	6.93	1279050	1107869	1045	2011
16	Piezometro	-	460	24.5	6.64	1279050	1107869	1045	2011
17	Dren	Vivero	214	27.6	4.36	1280850	1104411.61	910.8	15-06-14
18	Cisterna	Lavadero de Autos	182.9	27.5	4.18	1280529	1105196.62	981.4	16-06-14
19	Pozo Profundo	Institucional	682	27.9	7.16	1278069	1108271	1080	17-06-14
20	Cisterna	Lavadero de autos	201	26.3	4.82	1279593	1105213.38	965.32	15-06-14
21	Manantial	Doméstico y Riego	86.1	21.6	6.63	1281128	1108373.44	1335	16-09-14
22	Dren	Domestico y Riego	102	23.4	6.71	1281148	1108291.06	1285	16-09-14
23	Dren	Industrial	105.1	26.8	4.77	1281784	1105293.93	886.68	16-09-14
24	Manantial	-	210	25.2	6.27	1274097	1105955.14	803.99	18-09-14

## ANEXO B. Inventario de pozos de agua subterránea en el Acuífero Superficial en septiembre de 2014

Punto	Tipo de Captación	Uso	Conductividad Eléctrica [μS/cm]	Temperatura [°C]	pH	Norte [m]	Este [m]	Cota [msnm]	Fecha
1	Manantial	Doméstico y Riego	211	23	7.01	1281969	1108108.4	1276	16-09-14
2	Pozo Profundo	Lavadero de Autos	281	26.2	4.19	1281215	1104562.25	960.64	16-09-14
3	Dren	Vivero	206	26.4	4.36	1280850	1104411.51	910.6	16-09-14
4	Pozo Profundo	Lavadero de Autos	213	28	4.3	1279641	1105485.38	984.82	17-09-14
5	Pozo Profundo	Lavadero de Autos	292	30	4.21	1279573	1105760.99	982.51	17-09-14
6	Cisterna	Lavadero de Autos	197.6	28.9	7.04	1278650	1105797	950	17-09-14
7	Pozo Profundo	Lavadero de Autos	221	25.8	7.6	1278546	1105706.43	939.97	17-09-14
8	Pozo Profundo	Lavadero de Autos	169	30.7	5.08	1278397	1105626.93	944.1	17-09-14
9	Dren	Vivero	229	27.8	6.25	1278261	1105251	893.9	17-09-14
10	Cisterna	Lavadero de Autos	129.3	27.1	4.45	1277871	1105879.59	946.95	17-09-14
11	Pozo Profundo	Lavadero de Autos	202	27.5	4.59	1277926	1105831.85	944.14	17-09-14
12	Pozo Profundo	Lavadero de Autos	136.6	27.8	4.62	1277813	1105588.73	944.1	17-09-14
13	Piezometro	-	641	24.8	7.54	1278242	1107254	960	2011
14	Piezometro	-	181	24.8	7.59	1278242	1107254	960	2011
15	Piezometro	-	476	27.8	6.93	1279050	1107869	1045	2011
16	Piezometro	-	460	24.5	6.64	1279050	1107869	1045	2011
17	Dren	Vivero	221	26.6	4.19	1280850	1104411.61	910.8	16-09-14
18	Cisterna	Lavadero de Autos	183.4	26	4.19	1280529	1105196.62	981.4	16-09-14
19	Pozo Profundo	Institucional	643	27.4	7.25	1278069	1108271	1080	18-09-14
20	Cisterna	Lavadero de autos	209	26.7	4.58	1279593	1105213.38	965.32	16-09-14
21	Manantial	Doméstico y Riego	86.1	21.6	6.63	1281128	1108373.44	1335	16-09-14
22	Dren	Doméstico y Riego	102	23.4	6.71	1281148	1108291.06	1285	16-09-14
23	Dren	Industrial	105.1	26.8	4.77	1281784	1105293.93	886.68	16-09-14
24	Manantial	-	210	25.2	6.27	1274097	1105955.14	803.99	18-09-14

## ANEXO C. Mapa de Conductividad Eléctrica Julio 2014



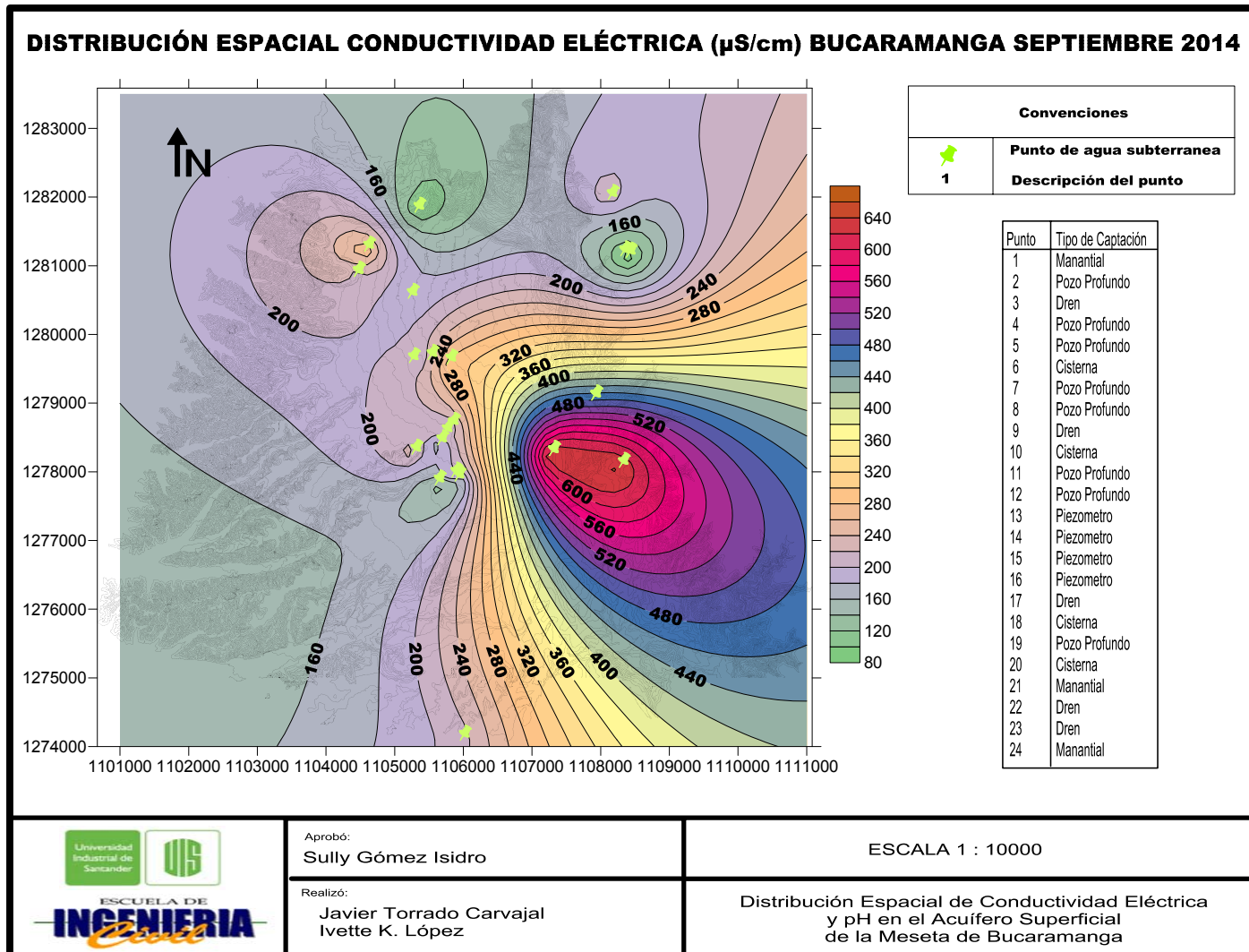
Aprobó:  
Sully Gómez Isidro

Realizó:  
Javier Torrado Carvajal  
Ivette K. López

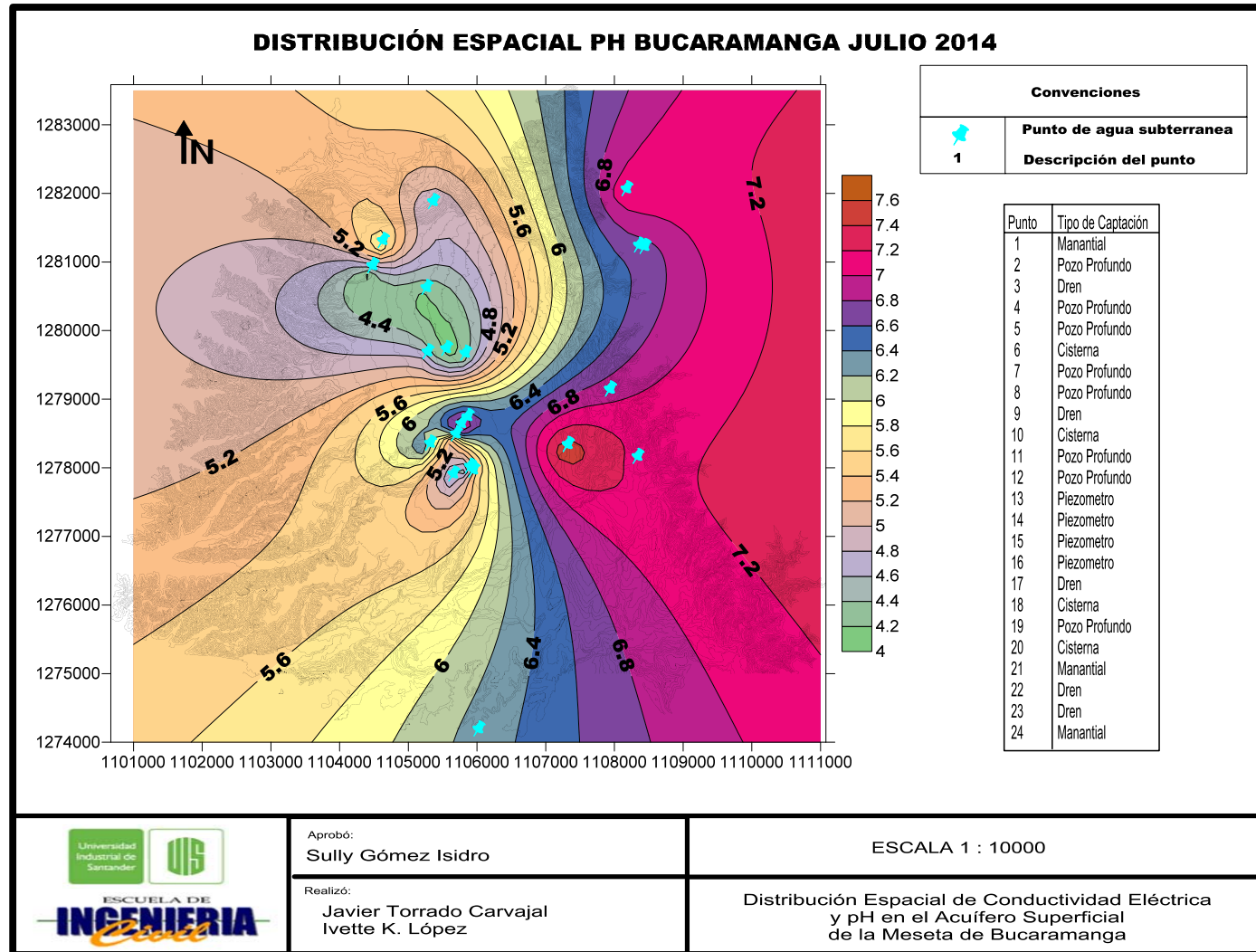
ESCALA 1 : 10000

Distribución Espacial de Conductividad Eléctrica  
y pH en el Acuífero Superficial  
de la Meseta de Bucaramanga

## ANEXO D. Mapa de Conductividad Eléctrica Septiembre 2014



## ANEXO E. Mapa de pH Julio 2014



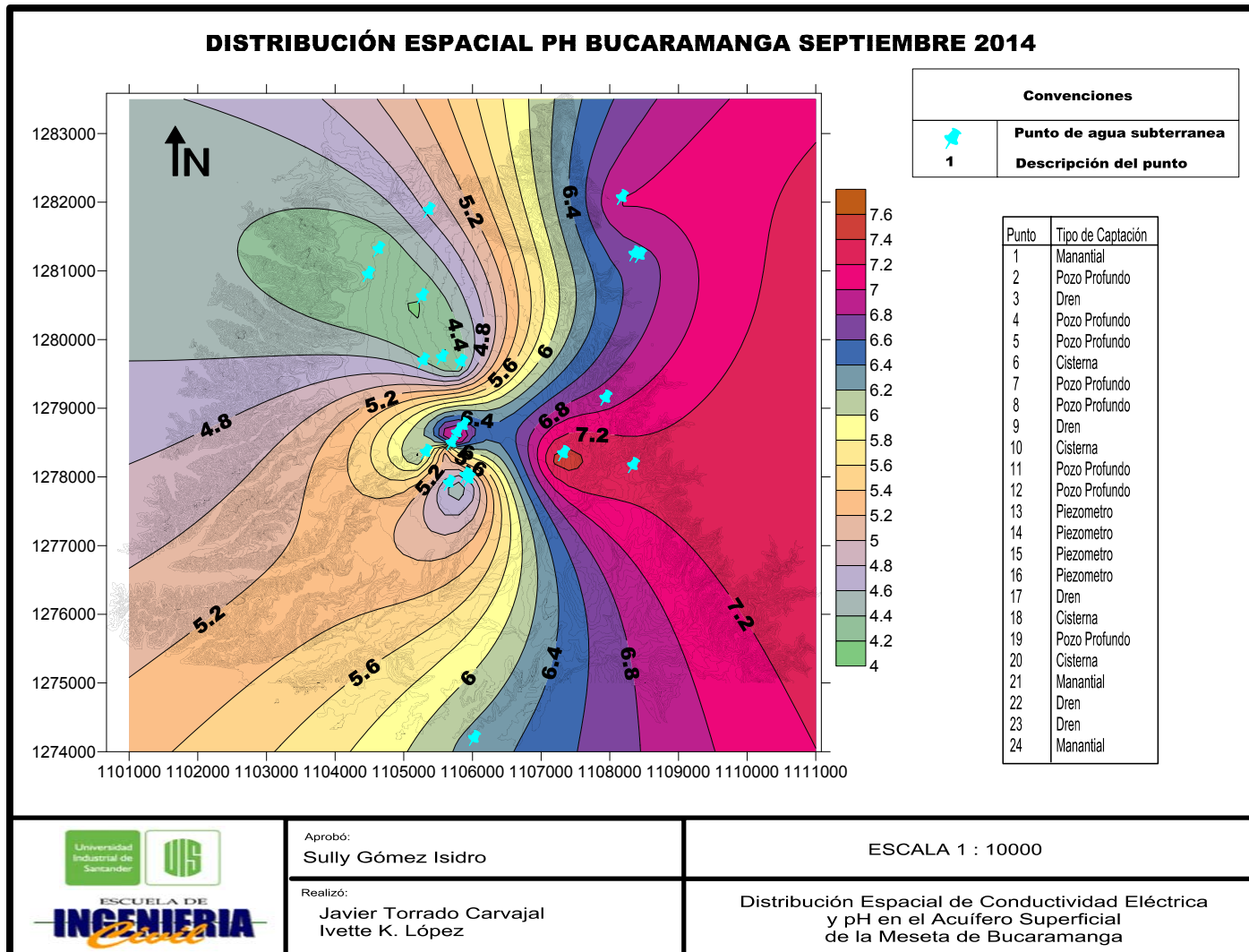
Aprobó:  
**Sully Gómez Isidro**

Realizó:  
**Javier Torrado Carvajal**  
**Ivette K. López**

ESCALA 1 : 10000

Distribución Espacial de Conductividad Eléctrica  
y pH en el Acuífero Superficial  
de la Meseta de Bucaramanga

## ANEXO F. Mapa de pH Septiembre 2014



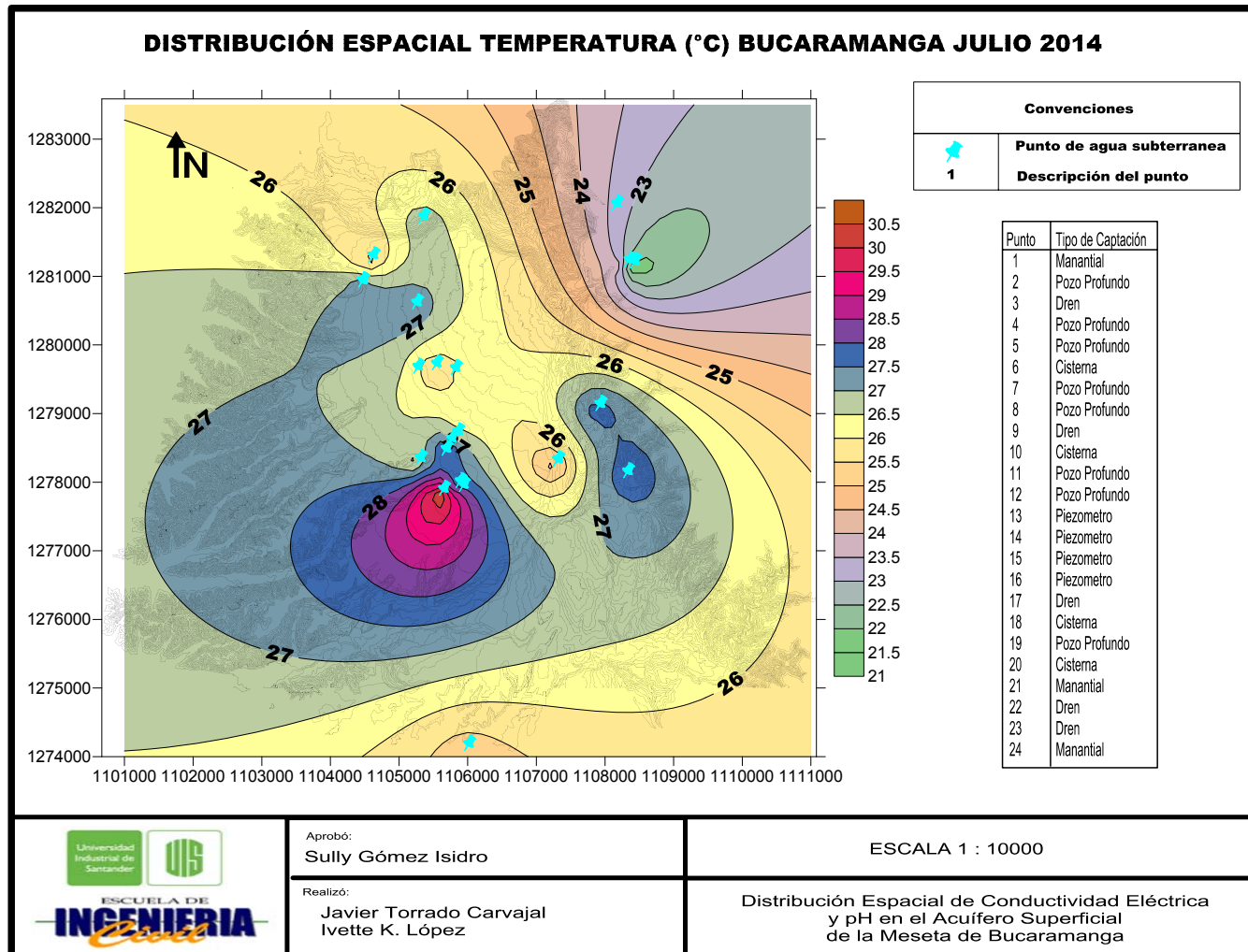
Aprobó:  
**Sully Gómez Isidro**

Realizó:  
**Javier Torrado Carvajal**  
**Ivette K. López**

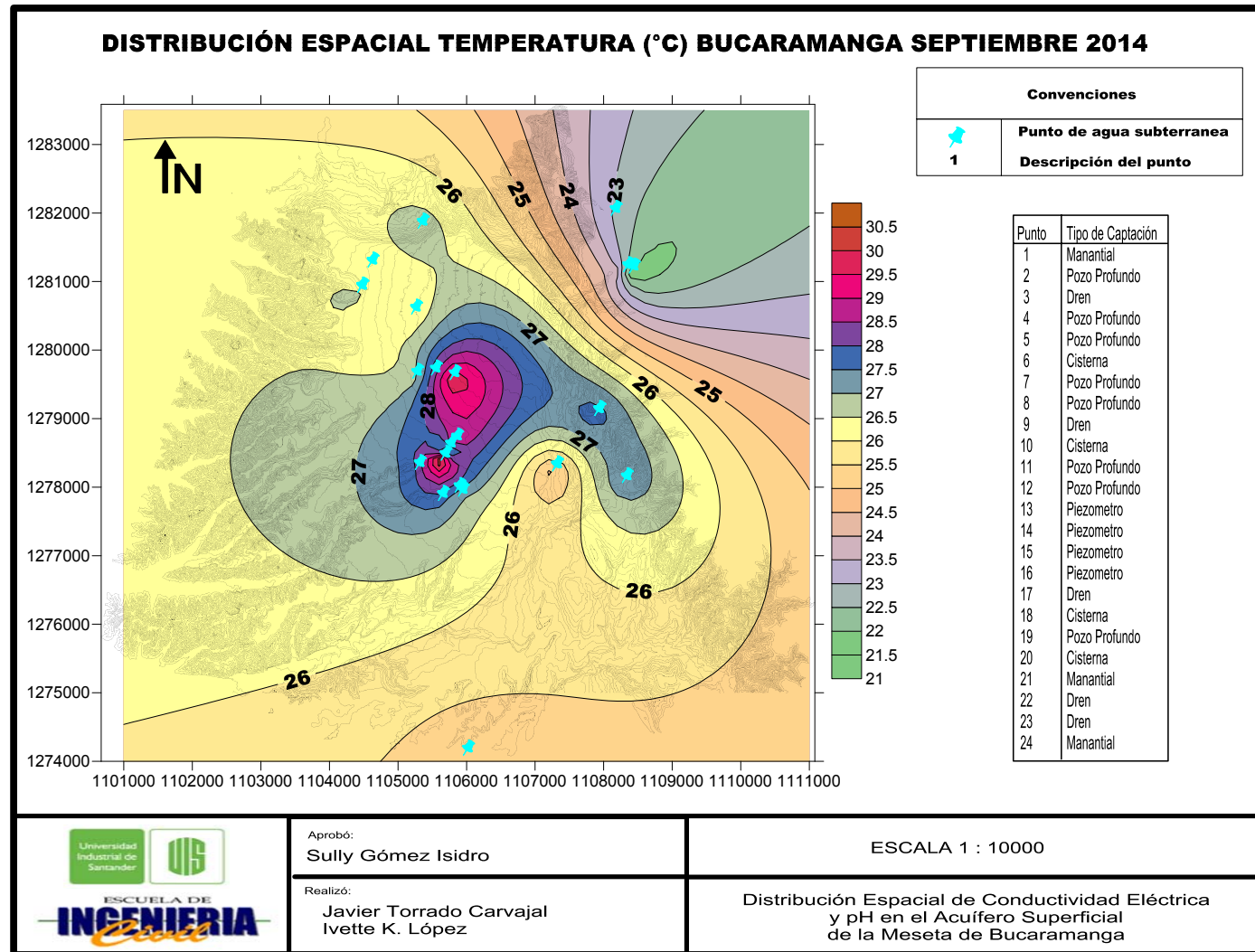
ESCALA 1 : 10000

Distribución Espacial de Conductividad Eléctrica  
y pH en el Acuífero Superficial  
de la Meseta de Bucaramanga

## ANEXO G. Mapa de Temperatura Julio 2014



## ANEXO H. Mapa de Temperatura Septiembre 2014



Aprobó:  
**Sully Gómez Isidro**

Realizó:  
**Javier Torrado Carvajal**  
**Ivette K. López**

ESCALA 1 : 10000

Distribución Espacial de Conductividad Eléctrica  
y pH en el Acuífero Superficial  
de la Meseta de Bucaramanga