

**ANÁLISIS Y CORRELACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE NIVELES DE AGUA  
SUBTERRÁNEA EN LA ZONA ORIENTAL DE BUCARAMANGA**

**DANIELA ANDREA DAZA CHAMORRO  
ROBINSON FABIAN TRIANA MANCILLA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2016**

**ANÁLISIS Y CORRELACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE NIVELES DE AGUA  
SUBTERRÁNEA EN LA ZONA ORIENTAL DE BUCARAMANGA**

**DANIELA ANDREA DAZA CHAMORRO  
ROBINSON FABIAN TRIANA MANCILLA**

**Proyecto de Grado presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniero Civil**

**Directora  
SULLY GÓMEZ ISIDRO  
Msc PhD. Ingeniera Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2016**

## **DEDICATORIA**

Especialmente a DIOS por ser mi DIOS, mi padre y mi amigo.

A mi padre Lisandro Daza Daza Q.E.P. D, por todo su amor y apoyo incondicional. Que con su esfuerzo, me brindo lo necesario para salir adelante y ser la mujer que hoy soy.

A mis abuelos Miriam Daza y Gustavo Daza, por ser mi apoyo y mi compañía en esta etapa de mi vida.

A mis hermanos Daniel Daza y Gustavo Daza, que han sido mi ayuda siempre y mi apoyo.

A mis amigos y hermanos de vida, Robinson Fabián Triana, Sarahy Mateus y Laura Cuevas, que me han enseñado que todo es posible cuando se cree en DIOS.

A mi familia y amigos que siempre creyeron en mí.

GRACIAS DIOS,

**DANIELA ANDREA DAZA CHAMORRO**

## **DEDICATORIA**

A Dios todo poderoso, por ser mi amigo y porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar.

A mis padres, por su amor, trabajo y entrega en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy, son los mejores padres, los amo con todo mi corazón.

A mi nonita, Margarita Duarte De Triana Q.E.P.D, por ser una mujer excepcional, que ayudo en mi crianza y a mi formación como profesional. Por ser la mujer más hermosa y generosa del mundo quien brindo persistentemente ese amor inexplicable para mi superación personal, sin ningún interés material. Siempre te amare madre mía y serás la inspiración en cada uno de mis logros.

A mis hermanos, por estar siempre presentes, acompañándome.

A mi familia en general, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos siempre están en mi corazón.

A una persona muy especial en mi vida que me ha brindado todo su amor, ayuda y comprensión durante 33 meses, gracias por todo.

A Daniela Daza amiga y compañera de tesis, gracias por tu compañía y por estar presente en mis triunfos te quiero mucho.

Gracias a los amigos a los que he robado horas de compañía. Nombrar a todos sería muy extenso y podría cometer algún olvido injusto, por ello, ¡gracias a todos por estar ahí!

**ROBINSON FABIAN TRIANA MANCILLA**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos a:

La Universidad Industrial de Santander y la Escuela de Ingeniería Civil por la formación recibida.

Manifestamos un especial agradecimiento a nuestra directora de tesis la profesora Sully Gómez Isidro por su valiosa ayuda y dedicación para la culminación exitosa del presente estudio.

Al grupo en predicción y modelamiento Hidroclimático-GPH, por todo el aporte técnico necesario para la realización del proyecto de grado.

Fernando Navas Vera y Ana Graciela Correa Amaya funcionarios del IDEAM Bucaramanga por facilitarnos la información requerida.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. GENERALIDADES	18
1.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES	18
1.2 GEOLOGÍA LOCAL EN EL PIEZÓMETRO	23
2. METODOLOGÍA	26
2.1 INFORMACIÓN RECOPIADA	26
2.1.1 Datos Registrados	26
2.1.2 Estaciones de lluvia	26
2.2 INSTRUMENTACIÓN DEL PIEZÓMETRO	29
2.2.1 Localización	29
2.2.2 Características y Denominación del piezómetro de estudio	29
2.2.3 Instalación y programación del Diver	31
2.2.4 Instalación y programación del Baro-Diver	32
2.2.5 Descarga de la información	32
2.3 CÁLCULO DE LOS NIVELES DE AGUA	33
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	34
3.1 ANÁLISIS DIARIO DE SERIES DE TIEMPO DE NIVELES vs. PRECIPITACIONES	34
3.2 ANÁLISIS Y CORRELACIÓN DE LOS NIVELES DE AGUA VS PRECIPITACIÓN EN ESCALA MENSUAL	35
3.2.1 Comportamiento de los niveles en las tres ventanas de tiempo	40
3.2.2 Interpretación de los datos obtenidos de temperatura del agua del pozo superficial para estudiar su variación en las ventanas de tiempo	40
4. CONCLUSIONES	42
5. RECOMENDACIONES	44
BIBLIOGRAFÍA	45
ANEXOS	48

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Columna estratigráfica sondeo eléctrico vertical SEV 2003 Parque La Flora	24
Tabla 2. Estaciones IDEAM	27

## LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
Gráfico 1. Niveles pozo superficial vs precipitación estación La Galvicia noviembre de 2010	34
Gráfico 2. Niveles pozo superficial vs precipitación estación IDEAM agosto de 2010 a septiembre de 2011	35
Gráfico 3. Niveles pozo superficial vs precipitación estación La Galvicia agosto de 2010 a septiembre de 2011	36
Gráfico 4. Niveles pozo superficial vs precipitación estación IDEAM septiembre de 2013 a mayo de 2014	37
Gráfico 5. Niveles pozo superficial vs precipitación estación La Galvicia septiembre de 2013 a mayo de 2014	38
Gráfico 6. Niveles pozo superficial vs precipitación estación IDEAM abril de 2015 a diciembre de 2015	38
Gráfico 7. Niveles pozo superficial vs precipitación estación La Galvicia abril de 2015 a diciembre de 2015	39
Gráfico 8. Niveles pozo superficial en las tres ventanas de tiempo	40
Gráfico 9. Temperatura del agua del pozo superficial en las tres ventanas de tiempo estudiadas	41

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Tipos de Acuíferos	19
Figura 2. Diver	20
Figura 3. Baro-Diver	21
Figura 4. USB Diver Reading	22
Figura 5. Software Diver Office	23
Figura 6. Aproximación a un esquema de meteorización en el cuerpo intrusivo del macizo de Santander. La Flora	25
Figura 7. Estaciones de precipitación C.S.R.L.	28
Figura 8. Ubicación piezómetro parque La Flora	29
Figura 9. Disposición espacial del piezómetro	30
Figura 10. Esquema diseño piezómetro	31
Figura 11. Diagrama Diver y Baro-Diver en el piezómetro	32
Figura 12. Descarga de la información de los equipos instalados en el pozo	33

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Registro de niveles mensuales pozo superficial Parque La Flora de Bucaramanga	48
Anexo B. Registro de temperatura del agua del pozo superficial de Bucaramanga	50
Anexo C. Datos de precipitaciones mensuales Estación IDEAM Bucaramanga y la Galvicia	52

## RESUMEN

**TÍTULO:** ANÁLISIS Y CORRELACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE NIVELES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA ZONA ORIENTAL DE BUCARAMANGA\*

**AUTORES:** DANIELA ANDREA DAZA CHAMORRO  
ROBINSON FABIAN TRIANA MANCILLA\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Aguas subterráneas, piezómetro, series de tiempo, Diver, Barodiver, precipitación, correlación.

### DESCRIPCIÓN

Los niveles de las aguas subterráneas varían con las diferentes épocas climáticas y de forma diversa, debido a causas naturales. El estudio de sus fluctuaciones es de gran importancia para identificar zonas de recarga y la disponibilidad de este recurso y planificar correctamente la productividad de los pozos de agua subterránea. El propósito del presente estudio es la instrumentación y monitoreo del piezómetro piloto que caracteriza el acuífero superficial de Bucaramanga ubicado en el parque La Flora. A partir de datos existentes tomados mediante un Diver y un Baro-Diver, se obtuvieron series de tiempo diarias y mensuales de niveles y temperatura del agua subterránea; con ventanas de tiempo que van desde el año 2010 al 2015. Estos datos fueron analizados para obtener la variación de la temperatura del agua a lo largo del tiempo y una correlación directa entre los niveles de agua y los datos de precipitación mensual de las estaciones de lluvia cercanas a la zona de estudio. Se espera que se sigan realizando proyectos de tipo investigativo enfocados hacia la preservación y manejo adecuado de las fuentes hídricas subterráneas que logren la vinculación de entidades como las autoridades ambientales y las prestadoras de servicio para evitar la sobreexplotación de este recurso vital.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Directora: Sully Gómez Isidro

## ABSTRACT

**TÍTULO:** ANALYSIS AND CORRELATION OF INFORMATION GROUNDWATER LEVELS IN THE EASTERN PART OF BUCARAMANGA\*

**AUTHORS:** DANIELA ANDREA DAZA CHAMORRO  
ROBINSON FABIAN TRIANA MANCILLA\*\*

**KEYWORDS:** Groundwater, piezometer, time series, Diver, Barodiver, precipitation, correlation.

## DESCRIPTION

The groundwater levels vary with different climatic periods and in different ways, due to natural causes. The study of fluctuations is of great importance to identify areas of recharge and the availability of this resource and properly plan the productivity of groundwater wells. The purpose of this study is the implementation and monitoring of the pilot piezometer that characterizes the superficial aquifer of Bucaramanga located in the Flora Park. Using existing data taken by a Driver and Baro-Diver, series of daily and monthly time levels and groundwater temperatures were obtained, with time windows ranging from 2010 to 2015. Data were analyzed to obtain the variation of the water temperature over time and a direct correlation between water levels and monthly rainfall data from rain stations near to the study area. It is expected to continue to conduct such research projects focused on the preservation and proper management of underground water sources that achieve linking entities like environments authorities and service providers to avoid over-exploitation of this vital resource.

---

\* Graduation project

\*\* Faculty of Engineering Physicomechanical, School of Civil Engineering. Director: Sully Gomez Isidro

## INTRODUCCIÓN

A través del tiempo los acuíferos han sido considerados como un recurso hídrico de vital importancia para el mundo, debido a que representa la mayor reserva de agua potable para las poblaciones futuras. Es por eso que la utilización del agua subterránea ha venido incrementando como consecuencia del agotamiento y falta de fuentes artificiales, las cuales han sido aprovechadas para el abastecimiento de poblaciones, uso industrial y riego, además ha sido un factor clave para el desarrollo sostenible de muchas regiones.

El agua subterránea es un tema que ha sido durante años objeto de estudio debido a la necesidad de conocer su disponibilidad, recarga y calidad.<sup>1</sup> En Colombia constituyen un recurso que día a día adquiere mayor importancia, pues son reconocidas tanto por ser fuentes alternas de aprovechamiento en cuencas con acceso limitado de aguas superficiales, como por su influencia en obras civiles, túneles y carreteras y proyectos mineros, entre otros.<sup>2</sup>

El área metropolitana de Bucaramanga posee en la actualidad más de un millón de habitantes en aumento, esta condición ha hecho que el recurso hídrico sea cada vez más escaso.<sup>3</sup> Por lo tanto, es de gran importancia hacer un estudio acerca de

---

<sup>1</sup> MARTÍNEZ J. Y PARDO C.A. Calibración e instalación de un CTD DIVER en piezómetro para medición continua del agua subterránea en la zona alta de Bucaramanga. Proyecto de Grado, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2009

<sup>2</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Diagnóstico de las aguas subterráneas [en línea]. Bogotá, D.C. [Citado 16 ago 2015]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/ambientes-y-desarrollos-sostenibles/38-gestion-integral-del-recurso-hidrico/gestion-integral-del-recurso-hidrico-articulos/1631-plantilla-gestion-integral-del-recurso-hidrico-37>>

<sup>3</sup> PULIDO M.A. y NIETO M.A. Obtención y análisis de perfiles de parámetros fisicoquímicos en piezómetros de la zona oriental de la ciudad de Bucaramanga. Proyecto de Grado, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2010.

las aguas superficiales y subterráneas para llevar a cabo medida de preservación y conocer la cantidad de agua disponible en los acuíferos.

En conjunto con el grupo de predicción y modelamiento Hidroclimático GPH de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, se ha querido realizar un trabajo en el parque La Flora que tiene gran importancia por estar ubicado en el abanico aluvial de Bucaramanga para obtener y analizar series de datos (continuos en el tiempo) que ofrezcan información de niveles de agua y temperatura mediante la combinación de dos equipos, un Diver, el cual es un datalogger que registra presión absoluta y temperatura en intervalos de tiempo programables a criterio del usuario y un Baro-Diver que registra valores de presión atmosférica.<sup>4</sup> Ambos equipos están ubicados en el piezómetro piloto del parque para predecir la productividad de los pozos, justificando las fluctuaciones de aguas y entender cómo se ve afectada la temperatura por los cambios climáticos. Por último, se correlacionan estos datos con épocas de lluvia para tener un acercamiento a los modelos conceptuales de flujo subterráneo y precipitación que se presentan en la zona de estudio.

---

<sup>4</sup> SCHLUMBERGER WATER SERVICES. Diver product Manual [en línea]. Noviembre de 2014 [Citado 18 dic 2015]. Disponible en Internet: <URL:[http://www.novamatrixgm.com/pdfs/equipment/Diver\\_manuals/Diver\\_Product\\_Manual\\_es.pdf](http://www.novamatrixgm.com/pdfs/equipment/Diver_manuals/Diver_Product_Manual_es.pdf)>

# 1. GENERALIDADES

## 1.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES

- **Agua Subterránea.** Es el agua que se encuentra o fluye debajo de la superficie terrestre, ocupando los poros de formaciones no consolidadas y las grietas o fisuras de la roca sólida. Esta agua se infiltra en el terreno por las llamadas áreas de recarga durante el ciclo hidrológico del agua.<sup>5</sup>
- **Piezómetro.** Un piezómetro o pozo de observación es una excavación vertical, en la que se introduce adecuadamente un tubo, que puede ser de PVC, cuyo extremo inferior se encuentra unido a un acuífero de tipo libre o confinado, y por esto permite el ascenso de agua por su propia presión hidrostática. Dependiendo del tipo de acuífero cambiara el diseño y construcción del pozo.<sup>6</sup>
- **Acuífero Confinado.** Son aquellos cuerpos de agua que se acumulan en la roca permeable y están encerrados entre dos capas impermeables. En estos acuíferos el agua está sometida a una presión mayor a la de la atmósfera y ocupa todos los poros y huecos de la formación geológica saturándola totalmente. No existe “zona no saturada”. Si se perfora este acuífero, el nivel de agua ascenderá hasta situarse en una posición que coincidirá con el nivel de saturación del acuífero en el área de recarga.<sup>7</sup>
- **Acuífero Libre.** También llamados no confinados o freáticos. En ellos existe una superficie libre y real del agua encerrada, que está en contacto con el aire y a la

---

<sup>5</sup> CORREA J.G. y MONTAÑO J.F. Instrumentación de piezómetro piloto ubicado en la zona norte de Bucaramanga y revisión de datos obtenidos en piezómetros en la zona oriente y norte de la ciudad, Proyecto de Grado, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2011.

<sup>6</sup> *Ibíd.*

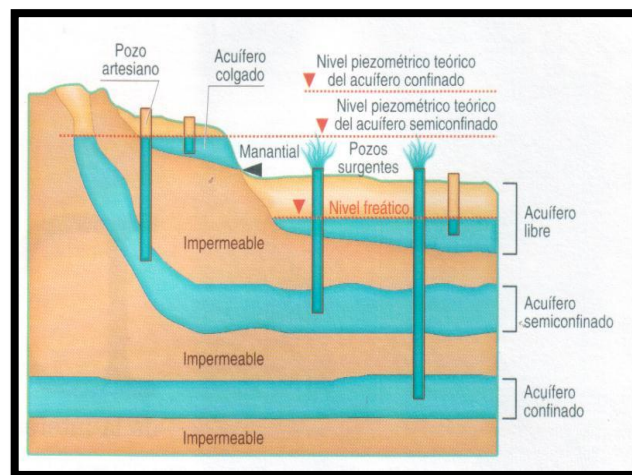
<sup>7</sup> ARTINAID. Tipos de acuíferos [en línea]. 2013 [Citado 3 ene 2016]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.artinaid.com/2013/04/tipos-de-acuiferos/>>

presión atmosférica. El nivel freático define el límite de saturación del acuífero libre y coincide con la superficie piezométrica. Su posición no es fija, sino que varía en función de las épocas secas o lluviosas.<sup>8</sup>

- **Acuífero Colgado.** Se producen ocasionalmente cuando, por efecto de una fuerte recarga, asciende el nivel freático quedando retenida una porción de agua por un nivel inferior impermeable [6].

En la Figura 1, se observan los tipos de acuíferos mencionados anteriormente.

Figura 1. Tipos de Acuíferos



Fuente: ARTINAID. Tipos de acuíferos [en línea]. 2013 [Citado 3 ene 2016]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.artinaid.com/2013/04/tipos-de-acuiferos/>>

- **Presión Absoluta.** Es la presión de un fluido medido con referencia al vacío perfecto o cero absolutos. La presión absoluta es cero únicamente cuando no existe choque entre las moléculas lo que indica la proporción de moléculas en estado gaseoso o la velocidad molecular es muy pequeña. Este término se creó debido a que la presión atmosférica varía con la altitud y muchas veces los diseños se hacen

<sup>8</sup> Ibíd.

en otros países a diferentes altitudes sobre el nivel del mar por lo que un término absoluto unifica criterios.<sup>9</sup>

- **Presión Atmosférica.** El hecho de estar rodeados por una masa gaseosa (aire), y al tener este aire un peso actuando sobre la tierra, quiere decir que estamos sometidos a una (presión atmosférica), la presión ejercida por la atmosfera de la tierra, tal como se mide normalmente por medio del barómetro (presión barométrica). Al nivel del mar o a las alturas próximas al este, el valor de la presión es cercano a 14.7 lb/plg<sup>2</sup> (101,35 KPa), disminuyendo estos valores con la altitud.<sup>10</sup>

Para la instrumentación del piezómetro se utilizaron equipos que registran presión absoluta, presión atmosférica, y temperatura. Estos parámetros son tomados por los siguientes dispositivos:

- **Diver.** El Diver registra valores de presión absoluta y temperatura del agua, tiene una capacidad de almacenamiento de 24,000 datos.<sup>11</sup>

Figura 2. Diver



Fuente: Manual del producto.

---

<sup>9</sup> CORREA J.G. y MONTAÑO J.F., Op. Cit.

<sup>10</sup> Ibíd.

<sup>11</sup> SCHLUMBERGER WATER SERVICES, Op. cit.

- **Baro-Diver.** Con el Baro-Diver se registran presiones absolutas y variaciones en la temperatura ambiente, la capacidad de almacenamiento del Baro-Diver es de 24,000 datos.<sup>12</sup>

Figura 3. Baro-Diver



Fuente: Manual del producto.

- **USB Diver Reading.** Dispositivo que se utiliza para conectar los equipos que se tienen en el piezómetro a un computador por medio de conexión USB para poder descargar la información y reprogramar la toma de datos. El dispositivo cuenta con dos terminales, uno de ellos es para conectar el Diver y el Baro-Diver. El otro terminal es una conexión USB para establecer la comunicación entre el instrumento y el computador.<sup>13</sup>

---

<sup>12</sup> Ibíd.

<sup>13</sup> Ibíd.

Figura 4. USB Diver Reading

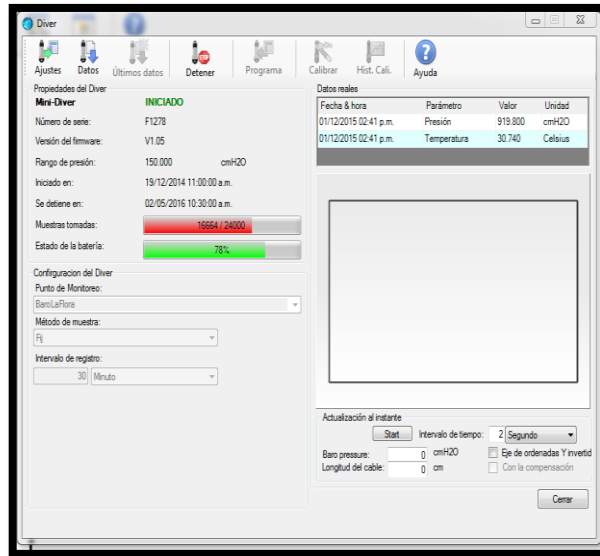


Fuente: Manual del producto.

- **Software Diver Office**

Es un programa que se utiliza para leer, programar, descargar y procesar la información de los equipos que se utilizan en el piezómetro piloto para la medición de niveles. Este software fue creado por Schlumberger Water Services para ser utilizado con los equipos Diver y Baro-Diver [4].

Figura 5. Software Diver Office



## 1.2 GEOLOGÍA LOCAL EN EL PIEZÓMETRO

En el área metropolitana de Bucaramanga, se presentan extensiones notables de rocas sedimentarias clásticas de edad jurásico, conformando la formación Jordán (Jj) ubicada al noroccidente de Bucaramanga, norte de Floridablanca y alrededores de Piedecuesta. La formación girón (Jg) se ubica principalmente al occidente del área metropolitana de Bucaramanga, noroccidente de Piedecuesta y norte de Floridablanca constituyendo en su mayor parte, el basamento que subyace los depósitos aluviales sobre los cuales está construida la ciudad de Bucaramanga.<sup>14</sup>

Al norte de Bucaramanga han sido reconocidas dos unidades litológicas, de extensión bastante pequeña, denominadas formación diamante (PCd) y formación tiburón (TRPt). Se trata de rocas calcáreas, de edad carbonífero y pérmico respectivamente.<sup>15</sup>

<sup>14</sup> PULIDO M.A. y NIETO M.A., Op. Cit.

<sup>15</sup> Ibíd.

Se tiene a continuación en la Tabla 1, de acuerdo a un sondeo eléctrico vertical (SEV) hecho en el año 2003 la columna estratigráfica del parque la flora.<sup>16</sup>

Tabla 1. Columna estratigráfica sondeo eléctrico vertical SEV 2003 Parque La Flora

ESPESOR [m]	PROFUNDIDAD [m] DE - HASTA	CORRELACIÓN HIDROGEOLOGICA
0.96	0 - 0.96	Arcilla gravosa, con cantos y bloques de arenisca silícea; húmeda.
9	0.96 - 10	Arcillas y limos gravosos, con cantos y bloques de areniscas. Nivel freático.
	10 - ?	Roca Ignea, Cuarzomonzonita y Granito, con alto grado de meteorización y fracturamiento. Nivel saturado.

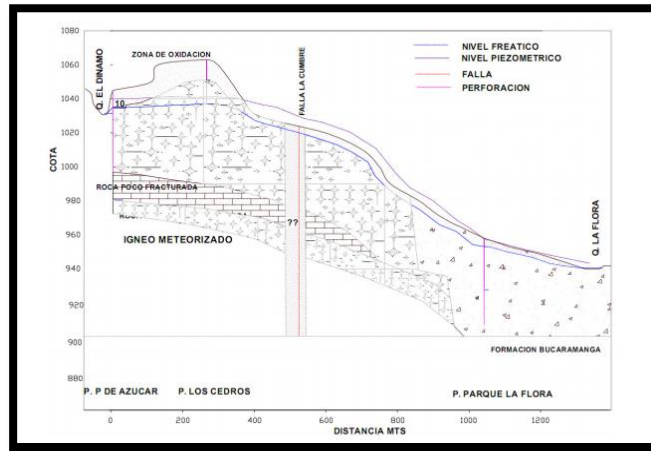
Fuente: SERRANO A.M. y BALAGUERA G. Separación del flujo base en la estación Café Madrid (C.S.R.L). Proyecto de Grado, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2006.

Este sondeo muestra la roca ígnea por debajo de los 10 metros, con una buena porosidad secundaria debido al fracturamiento y meteorización, lo cual indica que este nivel se encuentra saturado de agua. A continuación, en la Figura 6 se muestra el esquema en perfil del piezómetro construido en el parque la flora.<sup>17</sup>

<sup>16</sup> GÓMEZ S. y COLEGIAL J.D. Interacción entre sistemas hidrogeológicos en el Macizo de Santander para el estudio de la recarga e identificación de acuíferos, Informe de investigación, Proyecto Colciencias. Bucaramanga, 2003.

<sup>17</sup> PULIDO M.A. y NIETO M.A., Op. Cit.

Figura 6. Aproximación a un esquema de meteorización en el cuerpo intrusivo del macizo de Santander. La Flora



Fuente: GÓMEZ S. y COLEGIAL J.D. Interacción entre sistemas hidrogeológicos en el Macizo de Santander para el estudio de la recarga e identificación de acuíferos, Informe de investigación, Proyecto Colciencias. Bucaramanga, 2003

## 2. METODOLOGÍA

Para la realización de este proyecto y con el fin de cumplir con los objetivos planteados se llevó a cabo la siguiente metodología:

### 2.1 INFORMACIÓN RECOPIADA

Inicialmente se recopiló información histórica de los datos de temperatura, niveles de agua en el piezómetro superficial del parque La Flora de Bucaramanga y precipitaciones de la zona de estudio.

**2.1.1 Datos Registrados.** La toma de datos se desarrolló durante 9 meses comprendidos entre abril y diciembre del 2015; además se recopiló la información de proyectos de grado anteriores donde estudiaron los niveles de agua del pozo superficial del parque La Flora en las siguientes épocas:

- 01 agosto de 2010 – 30 de septiembre de 2011.<sup>18</sup>
- 01 de septiembre de 2013 – 31 de mayo de 2014.<sup>19</sup>

**2.1.2 Estaciones de lluvia.** La cuenca Superior del río Lebrija (C.S.R.L), constituye la más grande fuente abastecedora de agua de Bucaramanga y su área metropolitana. Su superficie alcanza los 1273 km<sup>2</sup> aproximadamente.<sup>20</sup>

---

<sup>18</sup> MARTÍNEZ J. Y PARDO C.A., Op. Cit.

<sup>19</sup> GUARÍN S.Y. y ROA O.A. Medición continua y análisis de niveles de agua subterránea en los pozos del parque la Flora en la parte alta de la ciudad de Bucaramanga. Proyecto de Grado, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2014.

<sup>20</sup> SERRANO A.M. y BALAGUERA G., Op. Cit.

La cuenca cuenta con un número de estaciones estratégicamente ubicadas que captan información de precipitaciones presentadas en la zona.

El criterio para la selección de las estaciones de estudio se basó principalmente en el tiempo de operación de las mismas y la cercanía al sitio estudiado; desde el punto de vista de confiabilidad y acceso a la información se seleccionaron las estaciones del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Se tomó como base la información de precipitación diaria y mensual desde el año 2010 al 2015.

De acuerdo con la Tabla 2, las estaciones que cumplen con los criterios de selección son: IDEAM Bucaramanga y La Galvicia.

Tabla 2. Estaciones IDEAM

NOMBRE	SUBCUENCA	MUNICIPIO	COORDENADAS	FECHA DE INSTALACIÓN
La Galvicia	Tona	Floridablanca	0709N 7302W	ene-68
IDEAM Bucaramanga	Surata	Bucaramanga	0707N 7307W	oct-96

Fuente: Elaboración propia basada en el IDEAM.

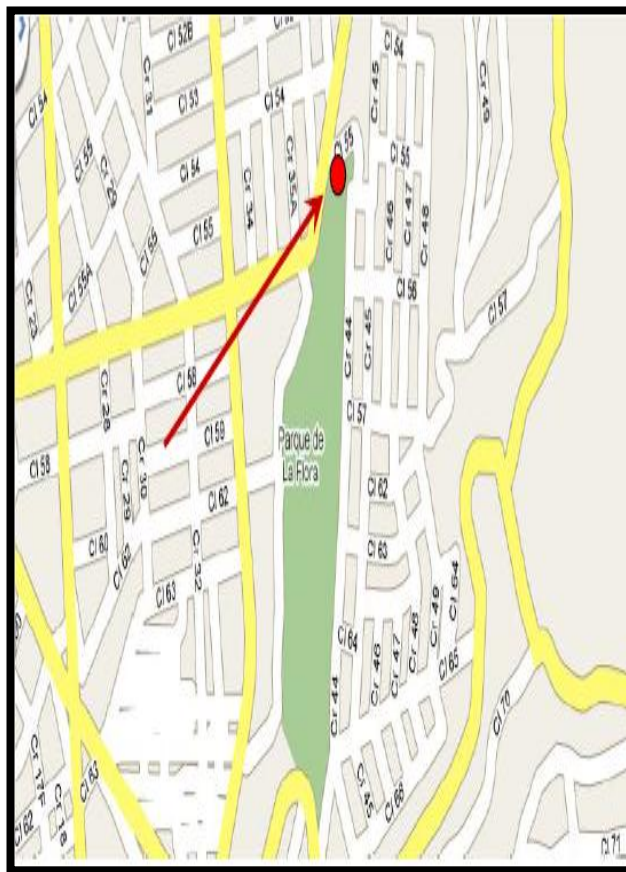
En la Figura 7, se observa la ubicación de las estaciones de lluvia IDEAM Bucaramanga y La Galvicia en relación con la zona de estudio.



## 2.2 INSTRUMENTACIÓN DEL PIEZÓMETRO

**2.2.1 Localización.** El piezómetro piloto se encuentra en la zona nororiental del parque la Flora ubicado en la calle 57 entre carrera 36 y carrera 45 en la ciudad de Bucaramanga-Santander. El parque se encuentra a una altura aproximada de 980 msnm y pertenece a la cuenca superior del río Lebrija (C.S.R.L), [Ver figura 8].

Figura 8. Ubicación piezómetro parque La Flora



Fuente: Google Maps.

**2.2.2 Características y Denominación del piezómetro de estudio.** Este piezómetro denominado No. 2 fue construido para estudiar el agua subterránea en la parte oriental del abanico de Bucaramanga, cuenta con una profundidad de 50,49

m desde la superficie y fue diseñado para registrar información del acuífero superficial de Bucaramanga.<sup>21</sup>

Su perforación se realizó con un diámetro de 3” y revestida en tubería PVC de 2”; los filtros tienen una longitud de 20,4 m, con un espesor de 0,5 pulgadas cada uno; los cuales van desde los 30,1 m a los 50,5 m, como material de filtro contiene gravilla No 2, con un peso específico de 1,53 Ton/m<sup>3</sup>.<sup>22</sup>

En la Figura 9 se observan las cajas de los pozos 1 y 2 del parque la Flora. El piezómetro 1 mide los niveles de un acuífero colgado en la zona del barrio Terrazas y el piezómetro 2 mide niveles del acuífero superficial de la ciudad de Bucaramanga que corresponde al piezómetro de estudio.

Figura 9. Disposición espacial del piezómetro



Fuente: Autores

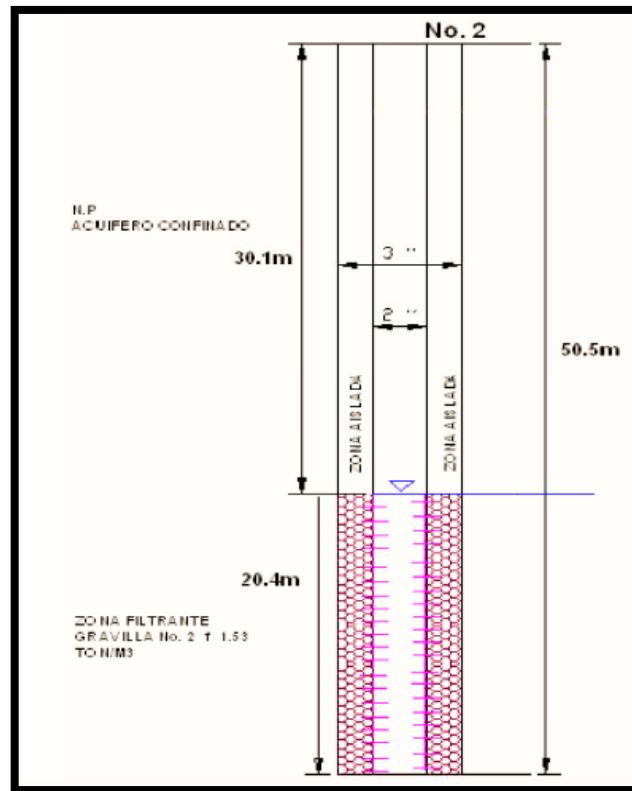
En la figura 10, se observa el diseño del piezómetro de estudio.

---

<sup>21</sup> PULIDO M.A. y NIETO M.A., Op. Cit.

<sup>22</sup> Ibíd.

Figura 10. Esquema diseño piezómetro

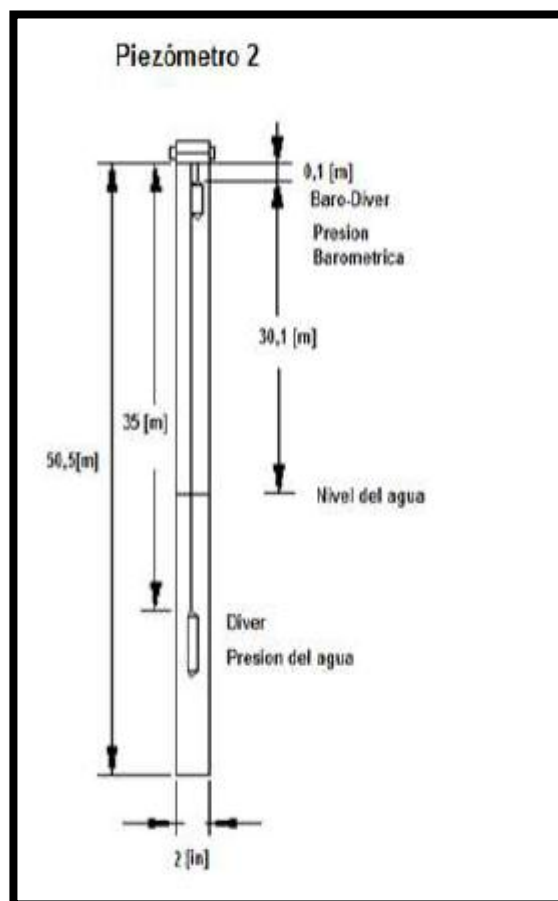


Fuente: PULIDO M.A. y NIETO M.A. Obtención y análisis de perfiles de parámetros fisicoquímicos en piezómetros de la zona oriental de la ciudad de Bucaramanga. Proyecto de Grado, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2010.

**2.2.3 Instalación y programación del Diver.** El Diver (instalado el día 1 de abril de 2015), se encuentra suspendido con una guaya en acero inoxidable con recubrimiento en plástico de 1/8" amarrada en la parte superior a la tapa de seguridad del piezómetro con una longitud de 35 metros desde la superficie [ver Figura 11], con una columna de agua sobre este en promedio de 5 m, garantizando así que siempre está sumergido en agua, y se programó por medio del software Diver Office para que registrara valores en un delta de tiempo de 30 minutos.

**2.2.4 Instalación y programación del Baro-Diver.** El Baro-Diver (instalado el 1 de abril de 2015), se encuentra suspendido con una guaya de 1/8" en acero inoxidable con recubrimiento en plástico amarrada en la parte superior a la tapa de seguridad del piezómetro con una longitud de 10 cm [ver Figura 11]. Este dispositivo se programó por medio del software Diver Office para que tomara datos en un intervalo de tiempo de 30 minutos.

Figura 11. Diagrama Diver y Baro-Diver en el piezómetro



**2.2.5 Descarga de la información.** La información recopilada por el Diver y Baro-Diver fue extraída el día 15 de diciembre de 2015 a través de un USB Diver Reading que posee un puerto para ser conectado a un computador y a través del programa Diver office exportar los datos en formato Excel [ver Figura 12].

Figura 12. Descarga de la información de los equipos instalados en el pozo



### 2.3 CÁLCULO DE LOS NIVELES DE AGUA

Para el cálculo de los niveles de aguas se utilizó la siguiente expresión:

$$H = \text{Presión abs(Diver)} - \text{Presión atm (Baro-Diver)}$$

Obteniéndose de esta manera la columna de agua que se encuentra por encima del Diver.

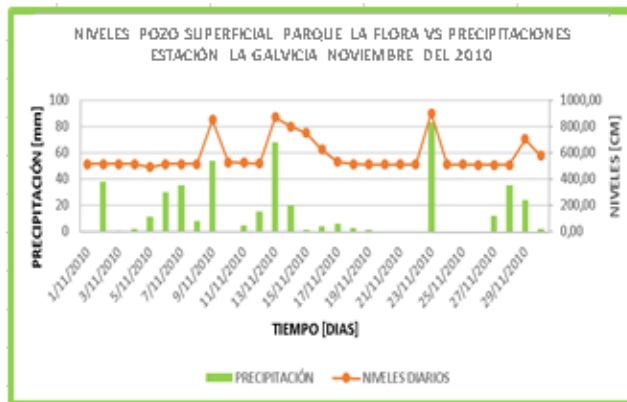
### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se presenta un análisis de la variación de la temperatura en las diferentes ventanas de tiempo y el comportamiento de los niveles de agua del pozo.

#### 3.1 ANÁLISIS DIARIO DE SERIES DE TIEMPO DE NIVELES vs. PRECIPITACIONES

Debido a que el Diver y el Baro-Diver arrojan datos cada 30 minutos, se promedió la información cada 24 horas para obtener los valores diarios.

Gráfico 1. Niveles pozo superficial vs precipitación estación La Galvicia noviembre de 2010



Los niveles diarios se relacionaron con los valores diarios de precipitación de la estación La Galvicia.

La variación diaria de los niveles de aguas subterráneas es casi nula. Sin embargo, se observa que en los días de más alta lluvia, el nivel asciende en forma abrupta, tal como se observa durante el mes de noviembre del año 2010 [ver Gráfico 1].

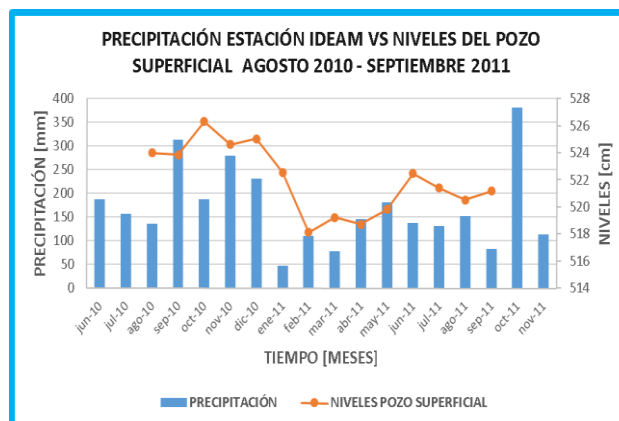
Durante los días 9, 13, 23 y 29 de noviembre del año 2010, los niveles ascienden de un día a otro aproximadamente 4 metros. Esto se debe a que el agua de escorrentía se introduce a través de la caja y tapa del piezómetro aumentando abruptamente el nivel de agua. Por lo tanto, estos datos no expresan la respuesta del acuífero y son considerados errados y se descartan.

### 3.2 ANÁLISIS Y CORRELACIÓN DE LOS NIVELES DE AGUA VS PRECIPITACIÓN EN ESCALA MENSUAL

Para analizar la correlación existente entre la fluctuación de los niveles de agua y las precipitaciones mensuales, se tomaron los puntos representativos de los niveles máximos y mínimos alcanzados mes a mes tomados desde el 1 de agosto de 2010 hasta el 22 de diciembre del año 2015. Exceptuando datos errados o datos medidos durante pruebas realizadas de bombeo en el pozo.

- **Estación Ideam Bucaramanga:**  
**Agosto de 2010 – septiembre 2011.**

Gráfico 2. Niveles pozo superficial vs precipitación estación IDEAM agosto de 2010 a septiembre de 2011



Se observa que en los meses de septiembre a diciembre de 2010 se presentaron las lluvias más fuertes en la estación IDEAM Bucaramanga, con valores de hasta 312 mm en el mes de septiembre y lluvias bajas en los meses de enero, febrero y marzo con precipitaciones de 46 mm. Se evidencia que los niveles presentan un nivel máximo de 526,3 cm en el mes de octubre de 2010 y mínimo de 518,1 cm en el mes de febrero.

Del análisis conjunto entre los niveles y las precipitaciones, se puede evidenciar que los niveles del acuífero reaccionan a las épocas de lluvia, alcanzando el mayor ascenso aproximadamente un mes después de la lluvia mensual más alta.

- **Estación La Galvicia Bucaramanga: agosto de 2010 – septiembre 2011.**

Gráfico 3. Niveles pozo superficial vs precipitación estación La Galvicia agosto de 2010 a septiembre de 2011



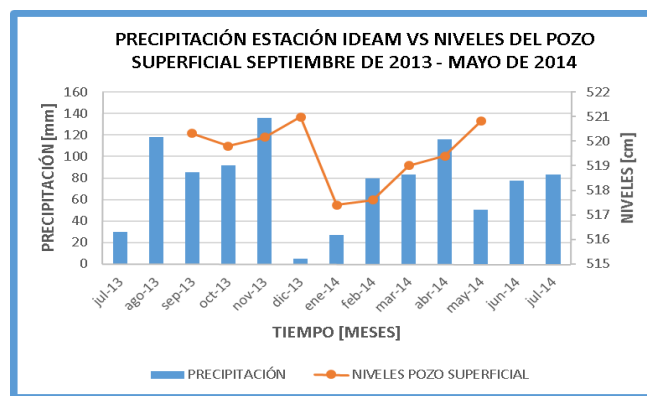
Se evidencia que en la estación la Galvicia se presentaron las lluvias más fuertes en los meses de noviembre de 2010 y abril de 2011 con valores de 455,7 mm y 349,6 mm respectivamente.

Los niveles presentan un aumento significativo en los meses de octubre a diciembre con caídas notables de 8 cm en febrero de 2011.

Del análisis realizado se puede evidenciar que el nivel de agua en el piezómetro superficial de Bucaramanga está asociado a épocas de lluvia aumentando los niveles en invierno y disminuyendo en temporadas secas.

- **Estación Ideam Bucaramanga: septiembre de 2013 – mayo de 2014.**

Gráfico 4. Niveles pozo superficial vs precipitación estación IDEAM septiembre de 2013 a mayo de 2014

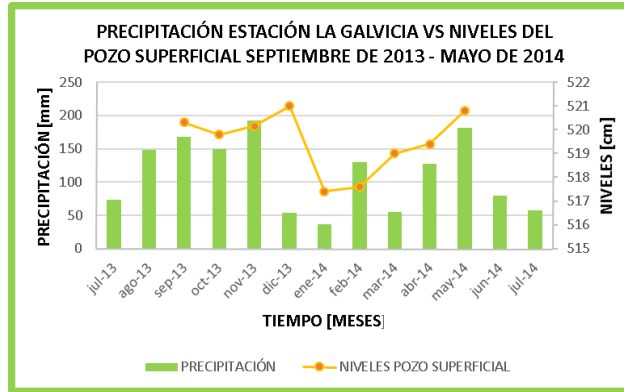


En la ventana de tiempo comprendida entre septiembre de 2013 y mayo de 2014 se presentaron lluvias fuertes en los meses de agosto a noviembre de 2013 y febrero a abril de 2014 alcanzando valores de hasta 135,8 mm en el mes de noviembre; a su vez los niveles alcanzaron su pico más alto en diciembre de 2013 de 520,99 cm y el más bajo en enero de 2014 de 517,4 cm.

En el Gráfico 4, se presenta un cambio significativo en los niveles del pozo de diciembre a enero debido a que noviembre fue la época más lluviosa del año y enero la temporada de verano intenso; notándose considerablemente la respuesta del acuífero un mes después de ocurrido el evento de lluvia.

- **Estación La Galvicia Bucaramanga: septiembre de 2013 – mayo de 2014.**

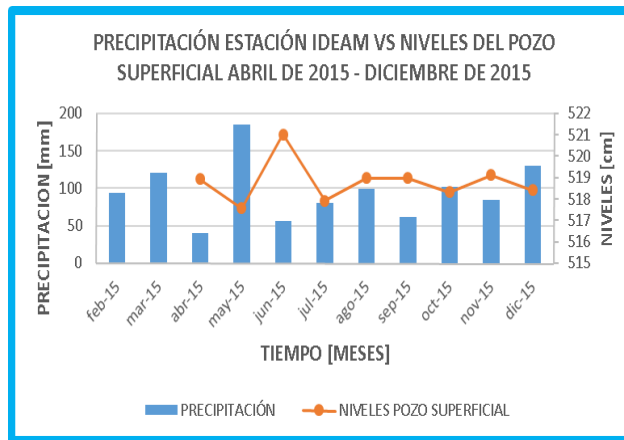
Gráfico 5. Niveles pozo superficial vs precipitación estación La Galvicia septiembre de 2013 a mayo de 2014



Existe un comportamiento de tipo bimodal en las precipitaciones de la zona, caracterizado por presentar dos periodos lluviosos intercalados por uno seco; con épocas lluviosas en los meses de abril a junio y septiembre a noviembre y veranos intensos de diciembre a marzo. La precipitación y los niveles presentan una relación directa, aumentando los niveles en épocas de lluvias y disminuyendo en los meses de verano.

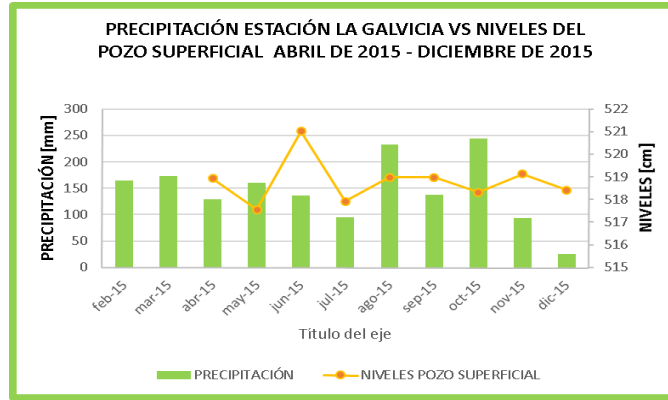
- **Estación Ideam Bucaramanga: abril de 2015 diciembre de 2015.**

Gráfico 6. Niveles pozo superficial vs precipitación estación IDEAM abril de 2015 a diciembre de 2015



- **Estación La Galvicia Bucaramanga: abril de 2015 – diciembre de 2015.**

Gráfico 7. Niveles pozo superficial vs precipitación estación La Galvicia abril de 2015 a diciembre de 2015

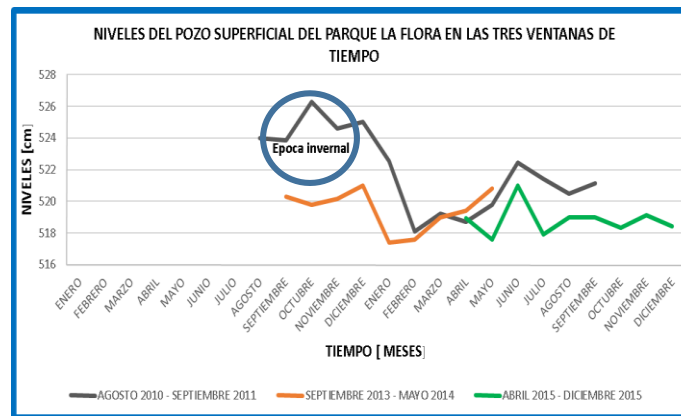


En el Gráfico 6 y 7 se observa el comportamiento que presentan los niveles del pozo superficial de Bucaramanga entre los meses de abril a diciembre de 2015; donde el nivel más alto fue de 521,01 en el mes de junio y el más bajo de 517,56 en el mes de mayo con un incremento de 6 cm aproximadamente.

Las precipitaciones más intensas se registraron en los meses de mayo, agosto y septiembre; evidenciándose de forma directa la relación entre la precipitación en la zona y los niveles, notando un tiempo de rezago de un mes entre el evento de lluvia y el aumento del nivel del pozo.

### 3.2.1 Comportamiento de los niveles en las tres ventanas de tiempo

Gráfico 8. Niveles pozo superficial en las tres ventanas de tiempo



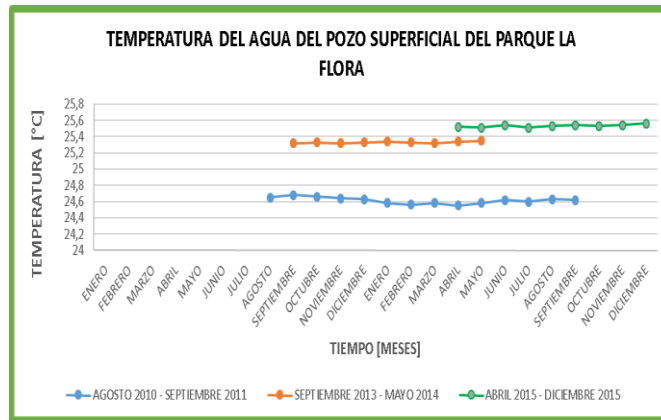
Se identifica un comportamiento similar en las tres ventanas de tiempo estudiadas, con aumentos significativos de hasta 8 cm en los niveles del pozo durante los meses de abril a junio y de septiembre a noviembre y temporadas de variación baja (0,05 cm) de diciembre a marzo.

Los mayores ascensos de niveles se produjeron en los meses de septiembre a noviembre del año 2010 causados por la época invernal.

### 3.2.2 Interpretación de los datos obtenidos de temperatura del agua del pozo superficial para estudiar su variación en las ventanas de tiempo.

En el Gráfico 9, se evidencian los datos de temperatura del agua del pozo superficial en las tres ventanas de tiempo estudiadas.

Gráfico 9. Temperatura del agua del pozo superficial en las tres ventanas de tiempo estudiadas



En la primera ventana de tiempo comprendida entre agosto de 2010 y septiembre de 2011 la temperatura del agua del piezómetro profundo fluctúa entre 24.55 °C y 24.68 °C con un incremento de 0.13 °C, se evidencia que la temperatura del agua en el piezómetro se mantiene constante durante este periodo de tiempo.

En la siguiente ventana de tiempo comprendida entre septiembre de 2013 y mayo de 2014 la temperatura del agua del piezómetro profundo fluctúa entre 25.32 °C y 25.35 °C observándose un incremento de 0.80 °C con respecto a la ventana anterior.

Por último, se observa en la figura 3 que la temperatura del agua del pozo ha aumentado aproximadamente 1 °C con respecto a los últimos cinco años, asociado al cambio climático.

## 4. CONCLUSIONES

- El análisis de series de tiempo mensuales de niveles en el acuífero superficial de Bucaramanga y lluvias de la estación IDEAM Bucaramanga y La Galvicia, muestra una correlación directa entre dichas variables, que se identificó con las fluctuaciones de los niveles del pozo en los periodos de tiempo en los cuales ocurren eventos importantes de lluvia.
- El sistema acuífero superficial de Bucaramanga tiene un tiempo de respuesta a los estímulos de recarga que no es instantáneo. En general, los niveles del pozo ascienden a su máximo valor un mes después de terminar la época de lluvia. Esto se corrobora con el análisis realizado entre la precipitación y los niveles de agua en las diferentes ventanas de tiempo comprendidas entre el año 2010 y 2015.
- Los niveles de agua subterránea estudiados en las diferentes épocas presentaron un comportamiento bimodal, presentando los niveles más bajos en los meses de diciembre a marzo y los niveles más altos en los meses de abril a junio y de septiembre a noviembre con aumentos significativos de hasta 8cm. Los mayores ascensos se produjeron en el año 2010 causados posiblemente por la fuerte ola invernal de ese año.
- Por medio del análisis de series de tiempo diarias de niveles y precipitación, se logró verificar que en los días en los cuales hubo lluvias fuertes en la zona, el nivel del pozo ascendió aproximadamente 4 metros de un día a otro, asociados a procesos de escorrentía que generan entrada del agua directamente en el tubo del piezómetro y altera los datos.
- Observando las gráficas de temperatura del agua del piezómetro superficial del parque la Flora en las diferentes épocas de tiempo estudiadas, el máximo valor

registrado fue de 25,56 °C en el mes de diciembre de 2015 y el mínimo 24,55 °C tomado en abril de 2011; se evidencia un incremento de la temperatura del agua de aproximadamente 1 °C en los últimos cinco años, debido al cambio climático en Colombia.

## 5. RECOMENDACIONES

- Es necesario construir cunetas para el manejo de las aguas lluvias en la zona y de esta manera evitar que el agua de escorrentía se infiltre por la tapa de seguridad del pozo y se produzcan datos anómalos en el instrumento de medición.
- Se recomienda medir la guaya antes de realizar cualquier estudio de niveles de agua para que no se presenten alteraciones que modifiquen las condiciones de los niveles de las aguas subterráneas.
- Es importante continuar con la medición de niveles de agua en el piezómetro superficial para futuras investigaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

ANTOLÍNEZ W.L. Modelo Numérico del Flujo de Agua Subterránea en las formaciones Acuíferas de Bucaramanga. Trabajo de Investigación de Maestría, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2011

ARTINAID. Tipos de acuíferos [en línea]. 2013 [Citado 3 ene 2016]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.artinaid.com/2013/04/tipos-de-acuiferos/>>

BARRERA M.A. y RUIZ D.A. Pruebas de bombeo en pozos ubicados en zona oriental de la ciudad de Bucaramanga y análisis de uso de software. Proyecto de Grado, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2012

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Diagnóstico de las aguas subterráneas [en línea]. Bogotá, D.C. [Citado 16 ago 2015]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/ambientes-y-desarrollos-sostenibles/38-gestion-integral-del-recurso-hidrico/gestion-integral-del-recurso-hidrico-articulos/1631-plantilla-gestion-integral-del-recurso-hidrico-37>>

CORREA J.G. y MONTAÑO J.F. Instrumentación de piezómetro piloto ubicado en la zona norte de Bucaramanga y revisión de datos obtenidos en piezómetros en la zona oriente y norte de la ciudad, Proyecto de Grado, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2011.

GÓMEZ S. Aguas subterráneas en zonas de montaña y trazadores ambientales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2014

GÓMEZ S. y COLEGIAL J.D. Interacción entre sistemas hidrogeológicos en el Macizo de Santander para el estudio de la recarga e identificación de acuíferos, Informe de investigación, Proyecto Colciencias. Bucaramanga, 2003.

GUARÍN S.Y. y ROA O.A. Medición continua y análisis de niveles de agua subterránea en los pozos del parque la Flora en la parte alta de la ciudad de Bucaramanga. Proyecto de Grado, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2014.

MARTÍNEZ J. Y PARDO C.A. Calibración e instalación de un CTD DIVER en piezómetro para medición continua del agua subterránea en la zona alta de Bucaramanga. Proyecto de Grado, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2009

PULIDO M.A. y NIETO M.A. Obtención y análisis de perfiles de parámetros fisicoquímicos en piezómetros de la zona oriental de la ciudad de Bucaramanga. Proyecto de Grado, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2010.

SCHLUMBERGER WATER SERVICES. Diver product Manual [en línea]. Noviembre de 2014 [Citado 18 dic 2015]. Disponible en Internet: <URL:[http://www.novamatrixgm.com/pdfs/equipment/Diver\\_manuals/Diver\\_Product\\_Manual\\_es.pdf](http://www.novamatrixgm.com/pdfs/equipment/Diver_manuals/Diver_Product_Manual_es.pdf)>

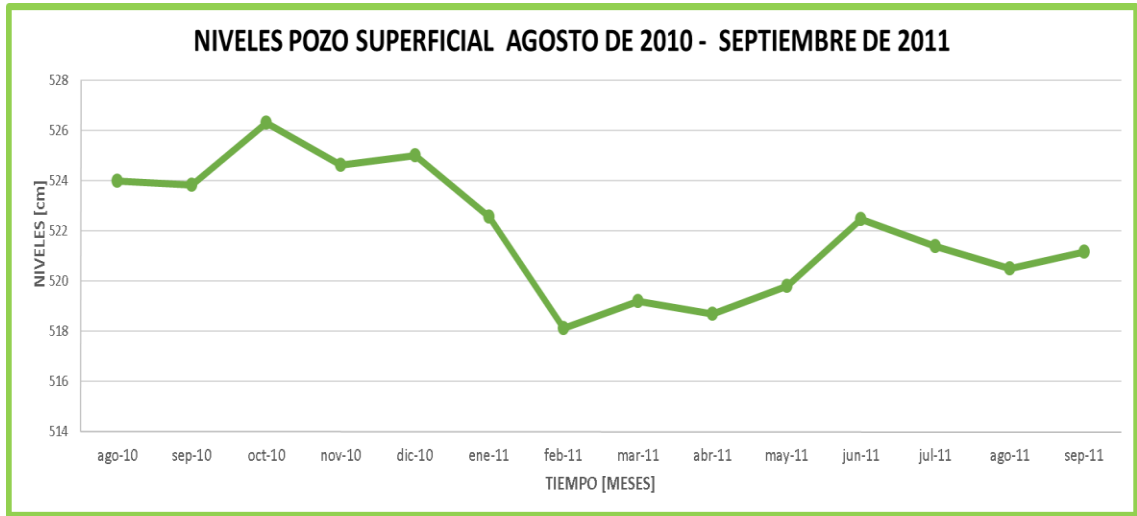
SERRANO A.M. y BALAGUERA G. Separación del flujo base en la estación Café Madrid (C.S.R.L). Proyecto de Grado, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2006.

VÉLEZ M.V. Diseño y construcción de pozos. En: Cuadernos de ingeniería geológica. Facultad de minas, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Medellín, 2000.

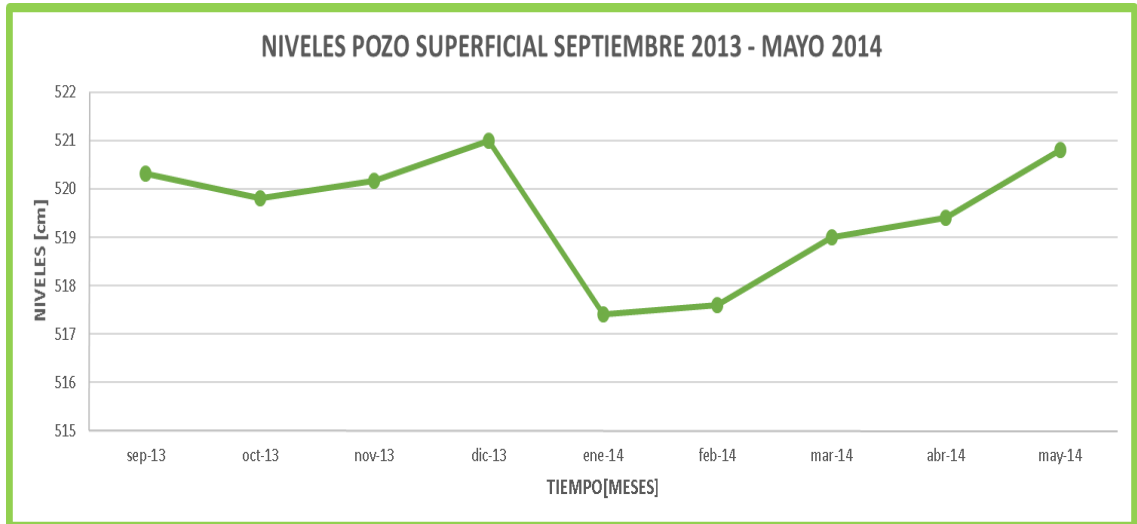
## ANEXOS

### Anexo A. Registro de niveles mensuales pozo superficial Parque La Flora de Bucaramanga

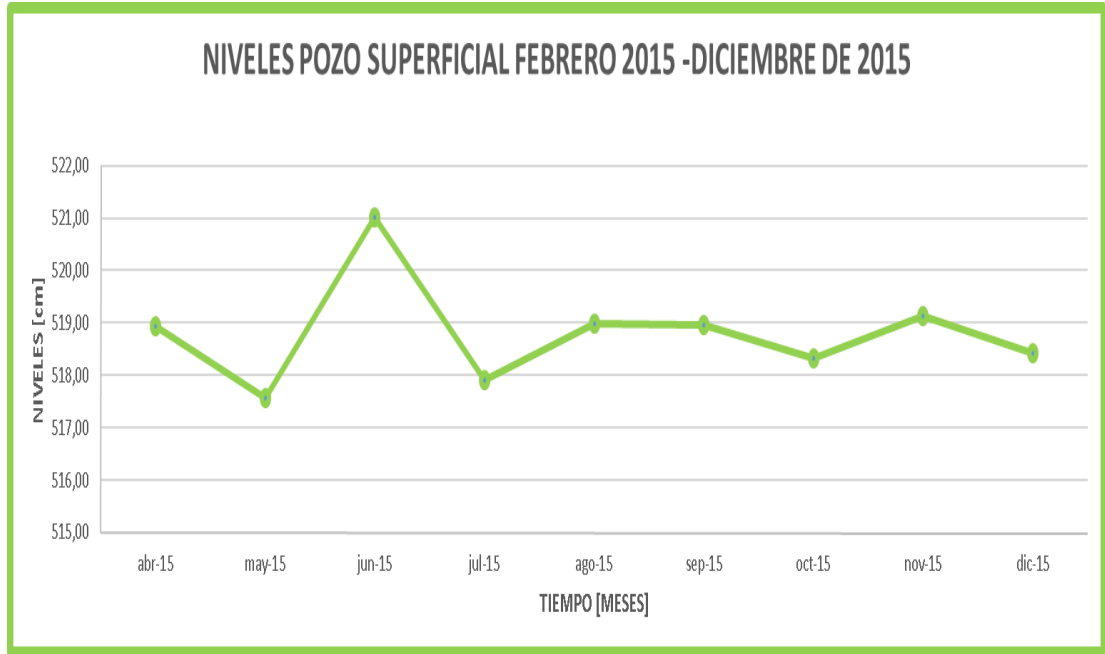
- Niveles mensuales agosto de 2010 – septiembre de 2011



- Niveles mensuales septiembre de 2013 – mayo de 2014

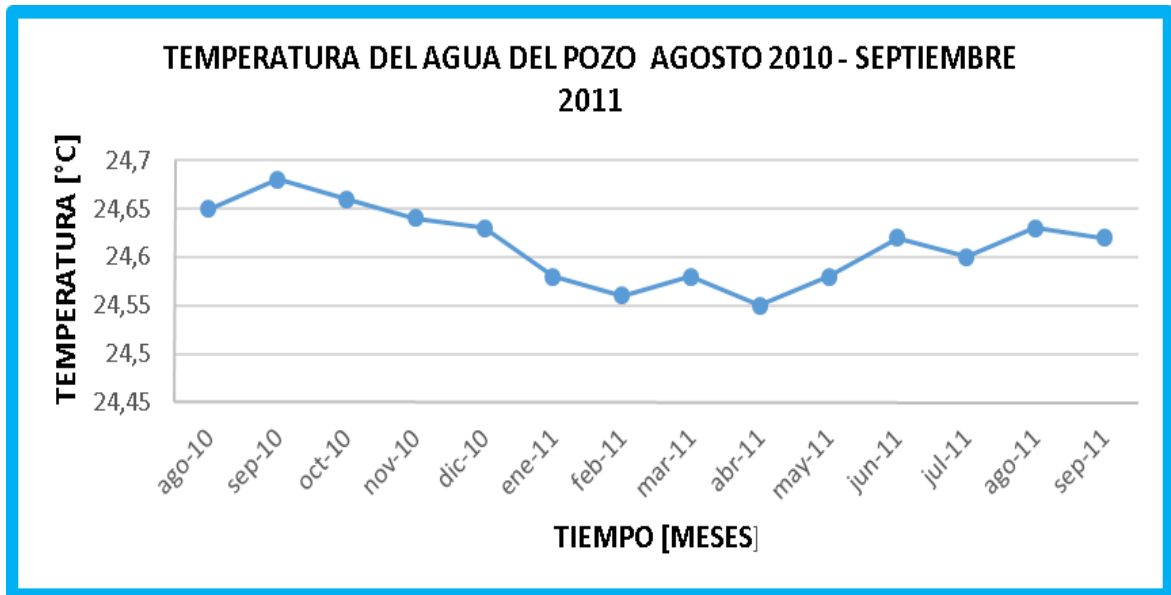


- Niveles mensuales abril de 2015 – diciembre de 2015

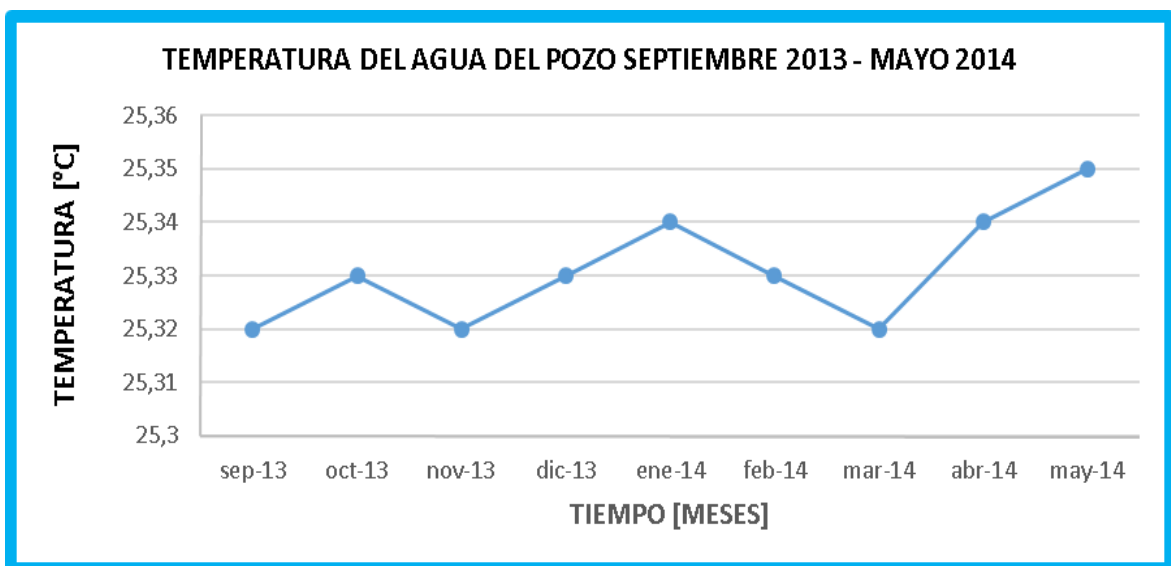


**Anexo B. Registro de temperatura del agua del pozo superficial de Bucaramanga**

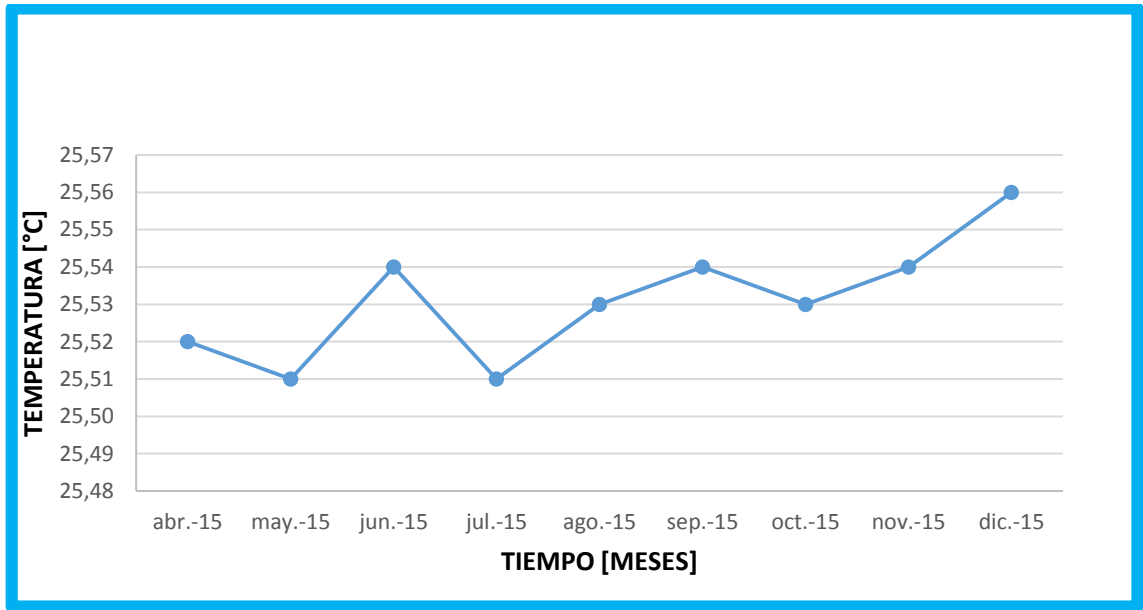
- **Temperatura del agua agosto de 2010 – septiembre de 2011.**



- **Temperatura del agua septiembre de 2013 – mayo de 2014.**



- **Temperatura del agua abril de 2015 – diciembre de 2015**



**Anexo C. Datos de precipitaciones mensuales Estación IDEAM Bucaramanga y la Galvicia**

- **Precipitaciones mensuales junio 2010 – noviembre de 2011**

<b>LA GALVICIA</b>	
<b>FECHA</b>	<b>PRECIPITACION MENSUAL [mm]</b>
jun-10	258,6
jul-10	201,1
ago-10	271,8
sep-10	320,6
oct-10	242,7
nov-10	455,7
dic-10	248,4
ene-11	14,4
feb-11	72,9
mar-11	217,2
abr-11	349,6
may-11	286
jun-11	188,2
jul-11	159,1
ago-11	110,4
sep-11	120,8
oct-11	398,3
nov-11	218,7

Fuente: IDEAM.

EL IDEAM	
FECHA	PRECIPITACION MENSUAL[mm]
jun-10	186,6
jul-10	156,3
ago-10	135,5
sep-10	312,5
oct-10	186,7
nov-10	279,1
dic-10	231
ene-11	46,8
feb-11	109,9
mar-11	77,2
abr-11	144,7
may-11	180,8
jun-11	137,6
jul-11	130,9
ago-11	151,2
sep-11	82,3
oct-11	380,1
nov-11	112,8

Fuente: IDEAM.

- Precipitaciones mensuales julio 2013 - julio de 2014

LA GALVICIA	
FECHA	PRECIPITACION MENSUAL[mm]
jul-13	73,8
ago-13	148,5
sep-13	167,4
oct-13	149,8
nov-13	192,2
dic-13	54,1
ene-14	37
feb-14	130,2
mar-14	54,8
abr-14	126,8
may-14	180,9
jun-14	79,5
jul-14	56,9

Fuente: IDEAM.

<b>EL IDEAM</b>	
<b>FECHA</b>	<b>PRECIPITACION MENSUAL[mm]</b>
jul-13	30
ago-13	117,9
sep-13	85,1
oct-13	91,7
nov-13	135,8
dic-13	4,9
ene-14	26,9
feb-14	79,4
mar-14	83,1
abr-14	116,2
may-14	50,2
jun-14	77,3
jul-14	83,2

Fuente: IDEAM.

- **Precipitaciones mensuales febrero de 2015 – diciembre de 2015**

<b>LA GALVICIA</b>	
<b>FECHA</b>	<b>PRECIPITACION MENSUAL [mm]</b>
feb-15	164,6
mar-15	173
abr-15	128,9
may-15	160,1
jun-15	135,4
jul-15	95,5
ago-15	232,1
sep-15	137,5
oct-15	243,3
nov-15	93,4
dic-15	25,6

Fuente: IDEAM.

<b>EL IDEAM</b>	
<b>FECHA</b>	<b>PRECIPITACION MENSUAL[mm]</b>
feb-15	94,1
mar-15	120,7
abr-15	39,9
may-15	184,7
jun-15	56,2
jul-15	80,6
ago-15	99,1
sep-15	61,5
oct-15	101,3
nov-15	83,9
dic-15	130,5

Fuente: IDEAM.