

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA E HIDROGEOLÓGICA DE LAS AGUAS  
SUBTERRÁNEAS EN EL MUNICIPIO VALLEDUPAR, CESAR, COLOMBIA.

ANDRES FELIPE VARGAS VILLALOBOS  
LUIS GEOVANNY LÓPEZ SALGADO

FUNDACION UNIVERSITARIA DEL AREA ANDINA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA GEOLOGICA  
VALLEDUPAR 2018-1

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA E HIDROGEOLÓGICA DE LAS AGUAS  
SUBTERRÁNEAS EN EL MUNICIPIO VALLEDUPAR, CESAR, COLOMBIA.

ANDRES FELIPE VARGAS VILLALOBOS  
LUIS GEOVANNY LÓPEZ SALGADO

TUTOR:  
JAIME MANJARREZ  
RICARDO DURÁN BARÓN

FUNDACION UNIVERSITARIA DEL AREA ANDINA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA GEOLOGICA  
VALLEDUPAR 2018-1

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. LOCALIZACIÓN.....	3
3. OBJETIVOS.....	4
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
4. DELIMITACIÓN.....	5
4.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL.....	5
4.2. DELIMITACIÓN CRONOLÓGICA.....	5
4.3. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL.....	5
4.4. ALCANCE.....	5
5. HIPÓTESIS.....	6
6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
7. JUSTIFICACION.....	8
8. MARCO REFERENCIAL Y TEORICO.....	10
8.1. MARCO REFERENCIAL.....	10
8.2. MARCO TEÓRICO.....	11
8.2.1. ECUACION BASICA DE LA HIDROLOGIA.....	11
8.2.2. HIDROGEOLOGÍA.....	12
8.3. MARCO LEGAL Y NORMATIVO.....	16
9. METODOLOGÍA.....	19
10. MARCO GEOLOGICO.....	21
10.1. GEOLOGIA REGIONAL.....	21
10.1.1. UNIDADES DE ROCA REGIONALES.....	21
10.2. GEOLOGIA LOCAL.....	24
10.3. HIDROGRAFIA.....	25
10.4. CARACTERIZACION AMBIENTAL Y CLIMATOLOGICA.....	26
11. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA.....	29
12. CONCLUSIÓN.....	48
Bibliografía.....	49

### Tabla de Fotografías

Foto 1 El Cesar se queda sin agua; Diario el Pílon, 2016. Fuente Joaquín Ramírez .....	7
Foto 2 Diario el Pílon- Valledupar al borde de crisis sanitaria por falta de agua 2016. Fuente Jennifer de Rio Coronel.....	7
Foto 3 Afectación del crecimiento urbano a las aguas subterráneas de Valledupar. Fuente el Pílon. ....	9
Foto 4 Contaminación de acequias en el casco urbano de Valledupar. Fuente Merlín Duarte García. ....	9
Foto 5 Aljibe ubicado en el casco urbano de Valledupar.....	29
Foto 6 Medición de los niveles del nivel freático en el casco urbano de la ciudad de Valledupar. Fuente Autores del Proyecto.....	30
Foto 7 Análisis microbiológicos de eschericia coli y coliformes totales .....	31
Foto 8 Motobomba eléctrica de eje vertical lubricada con aceite utilizada para la explotación del agua subterránea en Valledupar. ....	33

### Tabla de Figuras

Figura 2 Ciclo hidrológico, tomado del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).....	11
Figura 3 Tipos de acuíferos según el comportamiento hidráulico de la formación. (Martínez, 2006).....	13
Figura 4 Tipos de porosidad en los acuíferos. A) Porosidad por disolución en ambientes kársticos. B) Porosidad intergranular de acuíferos detríticos. C) Porosidad por fisuración en acuíferos fisurados.....	14
Figura 5 Geología Regional. Fuente Autores .....	24
Figura 6 Geología Local. Fuente Autores del Proyecto.....	25
Figura 7 Mapa Hidrográfico del Casco Urbano de Valledupar. Fuente Autores del Proyecto. ....	26
Figura 8 Mapa de Clima, Precipitación y Temperatura del Casco Urbano de Valledupar. Fuente Autores del Proyecto.....	27
Figura 9 Histograma de precipitación anual en la ciudad de Valledupar. Datos obtenidos de la estación pluviométrica del Aeropuerto Alfonso Lopez de Valledupar, IDEAM.....	27
Figura 10 Histograma de días de lluvia en la ciudad de Valledupar. Datos obtenidos de la estación pluviométrica del Aeropuerto Alfonso Lopez de Valledupar, IDEAM.....	28
Figura 11 Histograma de temperatura media en la ciudad de Valledupar. Datos obtenidos de la estación pluviométrica del Aeropuerto Alfonso Lopez de Valledupar, IDEAM.....	28
Figura 12 Mapa de Inventario de Puntos de Monitoreo. Fuente Autores del Proyecto. ....	32



## RESUMEN

El agua es uno de los recursos más importantes y abundantes de la tierra, hoy en día es muy normal que resuene a diario todo el tema de los escasos mundial de este líquido precioso esencial para la vida cotidiana. Por eso se hace indispensable pensar en nuevas alternativas que permitan enriquecer las reservas de agua, una gran alternativa puede atañer las aguas subterráneas esto se debe a que después de los casquetes, las aguas subterráneas ocupan el segundo lugar en cuanto a reservas de agua dulce mundial. Actualmente el estudio de estas ha tenido un aumento significativo y su importancia no solo radica en que se ha sido un factor clave para el desarrollo de muchas industrias y países sino también en que el control e identificación de estos acuíferos que forman parte del ciclo hidrológico y están relacionadas directamente con las aguas superficiales, por ende el uso excesivo o la desaparición por culpa de las diferentes obras civiles pueden acarrear daños directamente proporcionales en la reducción del caudal de los ríos, manantiales y zonas húmedas, a su vez proporcionar en tiempo de sequias o altas demandas la descarga de agua necesaria para mantener el flujo base de los ríos. Dentro de los objetivos pilares de la investigación se encuentra aclarar sobre las hipótesis en cuanto a la existencia del potencial hidrogeológico, es decir, dimensionar la capacidad y calidad de este recurso en Valledupar y esta fomentado de acuerdo a las características geológicas en que se sitúa el municipio gracias a las rocas que conforman los sedimentos del Cuaternario conocidos como “Abanico Aluvial de Valledupar” siendo un buen prospecto debido a la buena porosidad, permeabilidad y transmisibilidad; el cual se encuentra distribuido a lo largo de la rivera del río Guatapurí, este posee un espesor entre 30 – 50 m, y se extiende a durante 125 km<sup>3</sup>.

Palabras claves: Agua subterránea, abanico aluvial

## **ABSTRACT**

Water is one of the most important and abundant resources of the earth, nowadays it is very normal that every day the whole subject of the global scarcity of this precious liquid essential for daily life. That is why it becomes indispensable to think about new alternatives Which allow enriching water reserves, a great alternative may concern groundwater, this is because after the caps, groundwater occupies the second place in terms of reserves of fresh water worldwide Currently the study of these has had a significant increase and its importance is not only in that it has been a key to the development of many industries and countries but also in the control and identification of these aquifers that are part of the hydrological cycle factor Are directly related to surface water, so excessive use or disappearance due to different civil works can lead to directly proportional damages in reducing the flow of rivers, springs and wetlands, in turn provide in drought time or high demands discharge of water needed to keep the base river flow. Within the main objectives of the research is to clarify the hypotheses as to the existence of the hydrogeological potential, ie, to measure the capacity and quality of this resource in Valledupar and is fomented according to the geological characteristics in which the Municipality thanks to the rocks that make up the sediments of the Quaternary known as "Alluvial Fan of Valledupar" being a good prospect due to the good porosity, permeability and transmissibility; Which is distributed along the Guatapurí river, it has a thickness between 30 - 50 m, and extends to 125 km<sup>3</sup>.

Keywords: Groundwater, alluvial fan

## 1. INTRODUCCIÓN.

El agua es uno de los recursos más importantes y abundantes de la tierra, hoy en día es muy normal que resuene a diario todo el tema de los escasos mundial de este líquido precioso esencial para la vida cotidiana ; se debe a que en gran proporción, un poco más del 97% de esta agua es salubre proveniente de origen marino haciéndola no apta para el consumo humano sin la realización de un proceso de desalinización dejando entonces un poco menos del 3% en agua dulce, por si fuera poco menos de la mitad de esta porción es a la que se tiene acceso actualmente como ríos, manantiales o pozos que es utilizada para el abastecimiento diario de la población global y directa o indirectamente de las actividades industriales en general. La otra parte de estas se encuentra reservada e inexequibles debido a la difícil localización que presentan en zonas polares en modo de casquetes (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Por eso se hace indispensable pensar en nuevas alternativas que permitan enriquecer las reservas de agua, una gran alternativa puede atañer las aguas subterráneas esto se debe a que después de los casquetes, las *aguas subterráneas* ocupan el segundo lugar en cuanto a reservas de agua dulce mundial. Actualmente el estudio de estas ha tenido un aumento significativo y su importancia no solo radica en que se ha sido un factor clave para el desarrollo de muchas industrias y países sino también en que el control e identificación de estos acuíferos que forman parte del ciclo hidrológico y están relacionadas directamente con las aguas superficiales (Tuinhof, Foster, & Kemper, 2002-2006) por ende el uso excesivo o la desaparición por culpa de las diferentes obras civiles pueden acarrear daños directamente proporcionales en la reducción del caudal de los ríos, manantiales y zonas húmedas, a su vez proporcionar en tiempo de sequías o altas demandas la descarga de agua necesaria para mantener el flujo base de los ríos. (HERRÁIZ, 2009)

Dentro de los objetivos pilares de la investigación se encuentra aclarar sobre las hipótesis en cuanto a la existencia del potencial hidrogeológico, es decir, dimensionar la capacidad y calidad de este recurso en Valledupar y esta fomentado de acuerdo a las características geológicas en que se sitúa el municipio gracias a las rocas que conforman los sedimentos del Cuaternario conocidos como "*Abanico Aluvial de Valledupar*" siendo un buen prospecto debido a la buena porosidad, permeabilidad y transmisibilidad; el cual se encuentra distribuido a lo largo de la

rivera del río Guatapurí, este posee un espesor entre 30 – 50 m, y se extiende a durante 125 km<sup>3</sup>. (Ortega c. , 2016)

El proceso de la siguiente investigación comienza análisis de la revisión bibliográfica, seguido de un inventario pozos profundos o acuíferos acompañado de una cartografía asociada a SIG con un mapa de inventario. A su vez la evaluación multitemporal de niveles piezómetros y el análisis fisicoquímico y microbiológico (Castillo, Osorio, & Vence, 2009) en épocas de estiaje y lluvias en la parte media del proyecto y para finalizar la determinación y zonificación hidrogeológica de Valledupar y la evaluación final de la potencialidad de alternativa al cambio climático.

## 2. LOCALIZACIÓN.

La zona de estudio se centra en el casco urbano de la ciudad capital del departamento del Cesar o también conocida de *Ciudad de los Santos Reyes del Valle de Upar*. Está ubicada al nororiente de la Costa Atlántica, a orillas del Río Guatapurí, en el Valle del Río Cesar que fue formado por la Sierra Nevada de Santa Marta al Occidente y Serranía del Perijá al Oriente.

La Ciudad limita al norte con el municipio de San Juan en el departamento de la Guajira, al Oriente con los municipios de Villanueva, Urumita, La jagua del Pilar, La paz y San Diego; al occidente con Pueblo Bello, el Copey, Bosconia y al Sur con el Paso, Cesar. **(Figura 1)**

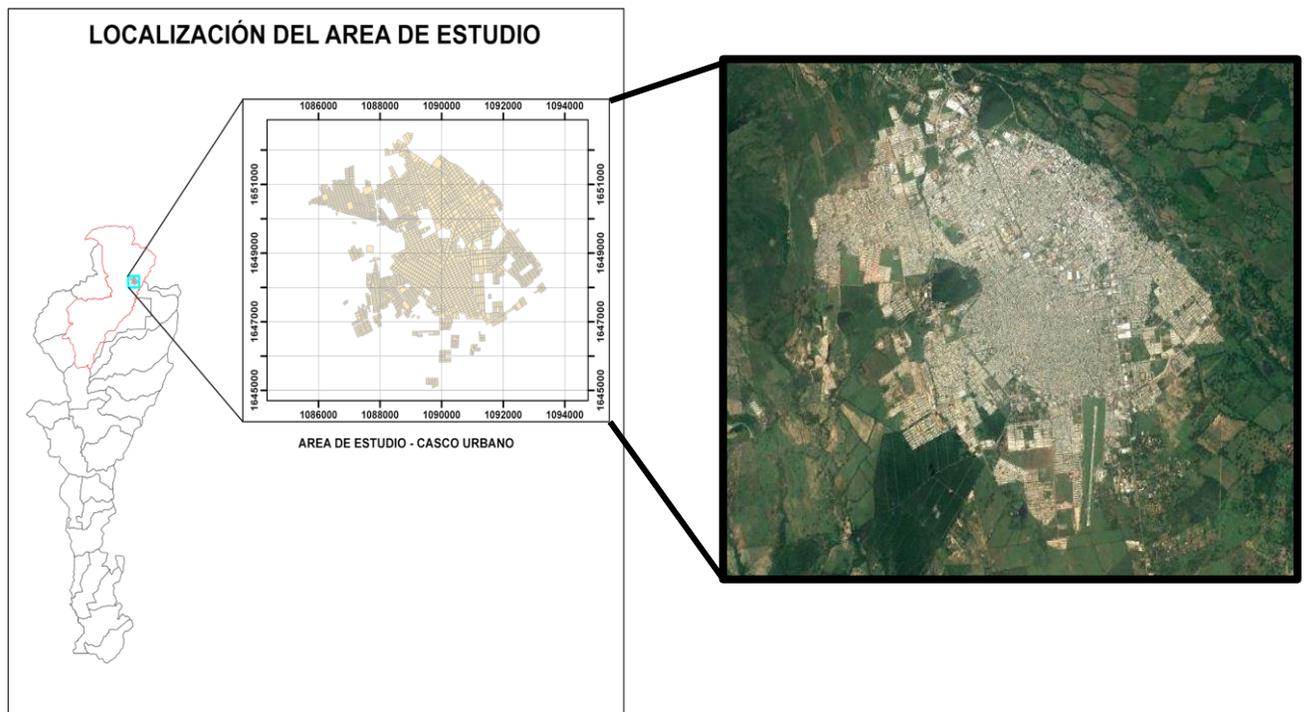


Figura 1 Localización del Área de Estudio. Fuente Autores.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL.**

Caracterizar fisicoquímica e hidrogeológicamente las aguas subterráneas en la ciudad de Valledupar para el diseño de un plan de alternativa al cambio climático.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Inventariar y georreferenciar los puntos de manifestación de agua subterránea en la ciudad de Valledupar.
- Inventario de fuentes de contaminación.
- Caracterizar la variación de los niveles del agua en puntos seleccionados en diferentes momentos.
- Analizar la calidad fisicoquímica y microbiológica el agua presente en los puntos muestreados.
- Evaluar la potencialidad como alternativa al cambio climático.

## **4. DELIMITACIÓN.**

### **4.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL.**

El municipio de Valledupar es la capital del departamento del Cesar ubicado en la parte norte de este, con una población aproximada en su casco urbano de 400.000 habitantes en un área aproximada de 4400 Km<sup>2</sup>, este se encuentra delimitado por el margen izquierdo del río Guatapurí. El límite noroccidental lo da la vía que comunica con los corregimientos de Valencia de Jesús y Aguas Blancas, el límite sur está definido por la margen derecha del río Cesar y el sur occidental por una línea imaginaria que comunica el corregimiento de Valencia de Jesús con el río Cesar. (Cañas & Armenta, 2004).

### **4.2. DELIMITACIÓN CRONOLÓGICA.**

La siguiente investigación será desarrollada por periodo de 6 – 12 meses que va desde los meses de agosto de 2017 a junio de 2018.

### **4.3. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL.**

El informe de esta investigación se encuentra relacionado con la evaluación multitemporal de los niveles piezométricos y el análisis fisicoquímico de las muestras recolectadas en los diferentes puntos de muestreo (Aljibes) basados en la resolución 2115 del Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial de 2007 y el Formulario Único Nacional para Inventario de Puntos de Agua tomado del IDEAM.

### **4.4. ALCANCE.**

Esta investigación tiene como objeto realizar una caracterización fisicoquímica e hidrogeológica de las aguas subterráneas en el casco urbano de la Ciudad de Valledupar para el diseño de un plan de alternativa al cambio climático.

## 5. HIPÓTESIS

En Colombia poco a poco este tema aborda la actualidad con mayor resonancia día a día, puesto son reconocidas por su influencia en obras civiles, túneles, carreteras y proyectos mineros entre otros. Las aguas subterráneas forman parte del ciclo hidrológico y el conocimiento de su estado y dinámica debe ser abordado desde la comprensión de una trama de flujos hídricos atendiendo particularidades propias de los medios naturales, permeables y porosos de sedimentos y rocas fracturadas, donde se alojan las reservas de este patrimonio natural. Estas reservas de aguas que ocurren en el subsuelo en Colombia corresponden principalmente a ambientes sedimentarios y vulcano clásticos que se han depositado en el tiempo geológico y que interactúan con los ciclos de vida actuales. La exploración de agua subterránea en el país se inicia a partir del año 1950, con el fin de plantear soluciones de abastecimiento de agua potable en algunas poblaciones del país, los principales trabajos se llevaron a cabo en los departamentos de Valle del Cauca, Boyacá, Cauca, Cundinamarca, Huila, Córdoba y Antioquia (MINAMBIENTE, 2017)

Durante muchos años y en especial durante la última década ha servido de apoyo al desarrollo de muchas de las diferentes actividades que se realizan en el departamento del Cesar, debido a la reducción de las reservas hídricas superficiales gracias al gran cambio climático. La demanda incontrolada por parte de los actores en mención amenaza en el mediano plazo con alterar definitivamente el comportamiento del agua subterránea en las ecorregiones de los valles de los ríos Cesar y Magdalena, en donde se lleva a cabo la mayoría de la actividad productiva del departamento del Cesar.

La iniciativa planteada busca precisamente poner control a dicha clase de demanda, modificando la actitud de la sociedad, permitiendo que la misma, en medio de un proceso de capacitación, participe en la toma de decisiones y diseño de la estrategia a adoptar para el aprovechamiento sostenible de tan importante recurso (Acosta & Muñoz, 2005)

El agua de algunos acuíferos tiene milenios de antigüedad y se sitúa debajo de algunas de las regiones más secas que existen en la actualidad en la tierra. A pesar de que las personas han extraído para su uso agua de fuentes naturales y pozos desde tempranas civilizaciones, en las últimas décadas el aumento exponencial de las poblaciones hace que se necesiten más agua y alimentos provocando una mayor explotación de los recursos hídricos.

## 6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ciudad de Valledupar se surte de agua potable gracias al Rio Guatapurí que solía abastecer sin inconvenientes a la ciudad durante todas las épocas del año, pero el crecimiento demográfico y el auge en materia de construcción que vive la ciudad, acompañado de las fuertes épocas de sequía en los últimos años, han traído inconvenientes a la hora de surtir a la comunidad del preciado líquido para las necesidades básicas en la vida cotidiana de las personas.

**¿Qué capacidad y calidad tiene el acuífero de Valledupar para el abastecimiento de la comunidad de su área de influencia?**



Foto 1 El Cesar se queda sin agua; Diario el Pilón, 2016. Fuente Joaquín Ramírez



Foto 2 Diario el Pilón- Valledupar al borde de crisis sanitaria por falta de agua 2016. Fuente Jennifer de Rio Coronel.

## 7. JUSTIFICACION

Se hace indispensable pensar en nuevas alternativas que permitan enriquecer las reservas de agua, una gran alternativa puede atañer las aguas subterráneas esto se debe a que después de los casquetes, las aguas subterráneas ocupan el segundo lugar en cuanto a reservas de agua dulce mundial. Actualmente el estudio de estas ha tenido un aumento significativo y su importancia no solo radica en que se ha sido un factor clave para el desarrollo de muchas industrias y países sino también en que el control e identificación de estos acuíferos que forman parte del ciclo hidrológico y están relacionadas directamente con las aguas superficiales (Tuinhof, Foster, & Kemper, 2002-2006) por ende el uso excesivo o la desaparición por culpa de las diferentes obras civiles pueden acarrear daños directamente proporcionales en la reducción del caudal de los ríos, manantiales y zonas húmedas, a su vez proporcionar en tiempo de sequías o altas demandas la descarga de agua necesaria para mantener el flujo base de los ríos. (HERRÁIZ, 2009)

Dentro de los objetivos pilares de la investigación se encuentra aclarar sobre las hipótesis en cuanto a la existencia del potencial hidrogeológico, es decir, dimensionar la capacidad y calidad de este recurso en Valledupar y esta fomentado de acuerdo a las características geológicas en que se sitúa el municipio gracias a las rocas que conforman los sedimentos del Cuaternario conocidos como “Abanico Aluvial de Valledupar” siendo un buen prospecto debido a la buena porosidad, permeabilidad y transmisibilidad; el cual se encuentra distribuido a lo largo de la rivera del río Guatapurí, este posee un espesor entre 30 – 50 m, y se extiende a durante 125 km<sup>3</sup>. (Ortega c. , 2016)

A pesar de la gran Geología con la que cuenta nuestra ciudad lo cual la hace muy propensa a la obtención de resultados positivos en esta investigación, también se hace notorio que exista la posibilidad de encontrar resultados no tan alentadores luego de la caracterización físico-química, esto puesto que a la presión que ha estado sometida el agua subterránea por parte de los diversos entes como el sector agroindustrial, agropecuario, minero y desarrollo urbano; todo ese aporte de agroquímicos, la alteración del patrón del flujo debido a la remoción de grandes masas de suelo producto de la minería o el vertimiento de agua residuales con o sin ningún presupuesto haya incurrido en impactos ambientales afectando la calidad del agua para su potabilización, provocando efectos indeseables en la población.

El proceso de la siguiente investigación comienza análisis de la revisión bibliográfica, seguido de un inventario pozos profundos o acuíferos acompañados

de una cartografía asociada a SIG con un mapa de inventario. A su vez la evaluación multitemporal de niveles piezómetros y el análisis fisicoquímico y microbiológico (Castillo, Osorio, & Vence, 2009) en épocas de estiaje y lluvias en la parte media del proyecto y para finalizar la determinación y zonificación hidrogeológica de Valledupar y la evaluación final de la potencialidad de alternativa al cambio climático.



*Foto 3 Afectación del crecimiento urbano a las aguas subterráneas de Valledupar. Fuente el Pílon.*



*Foto 4 Contaminación de acequias en el casco urbano de Valledupar. Fuente Merlin Duarte García.*

## **8. MARCO REFERENCIAL Y TEORICO.**

### **8.1. MARCO REFERENCIAL.**

En el año 2004 se realizó un estudio gracias a un convenio del IDEAM y CORPOCESAR, este trabajo se realizó con el objetivo de analizar el potencial de almacenamiento de aguas subterráneas en los depósitos aluviales de Valledupar, para este estudio utilizaron métodos geofísicos geo eléctricos para elaborar modelos de flujo del agua subterránea, así como georreferenciación y nivelación topográfica a más de 400 pozos y aljibes a lo largo de varios meses del año para monitorear los niveles de agua y las fluctuaciones de estos a través del tiempo, elaborando así una red de flujo a lo largo de la llanura aluvial , también se llevaron a cabo estudios bacteriológicos y fisicoquímicos a muestras de agua de diferentes puntos representativos en vista de evaluar su potabilidad y posible alternativa de consumo humano. El trabajo asoció principalmente las propiedades geológicas y factores climáticos de la zona con las propiedades de calidad, modelos de flujo y niveles de agua conocidos durante el tiempo de desarrollo del proyecto. (Cañas & Armenta, 2004).

Se trabajó en el año 2009 un estudio microbiológico y fisicoquímico en las aguas subterráneas de la zona rural de los municipios de San Diego y La Paz, llevado a cabo por estudiantes de la Universidad Popular Del Cesar en este trabajo se tomaron 93 pozos y aljibes distribuidos en el área de estudio, se enfocaron los análisis hacia la necesidad de conocer las propiedades de estos recursos usados en diversos campos como el riego y el consumo diario tanto por personas como por animales. Las muestras fueron clasificadas según el porcentaje de microorganismos y otros elementos y propiedades tales como: conductividad, pH, temperatura, sólidos totales disueltos, salinidad, acidez, alcalinidad, turbidez, cloruro, hierro, magnesio y otros elementos. (Castillo, Osorio, & Vence, 2009).

## 8.2. MARCO TEÓRICO

### 8.2.1. ECUACION BASICA DE LA HIDROLOGIA

Precipitación = Escorrentía superficial + Evapotranspiración + Infiltración (Escorrentía subterránea)

Precipitación: Depende de las condiciones climáticas el agua puede caer en forma de lluvia, nieve o granizo. La cantidad de agua que cae es medida en estaciones climáticas, esta suele ser expresada en mm (1 mm de agua equivale a 1000 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>).

Evapotranspiración: Una cantidad considerable del agua que cae no se alcanza a convertir en escorrentía, ya que esta es evaporada o también absorbida por la transpiración de las plantas.

Para establecer la evapotranspiración de una zona se deben conocer factores como la radiación del sol, las propiedades del suelo, así como la temperatura y humedad del aire.

Escorrentía: Está conformada por el agua que corre en los ríos y quebradas. Aunque puede ser clasificada según las características hidrológicas del cauce, este puede ser permanente, periódico, episódico e hipodérmico (corre tramos cortos en el suelo antes de llegar a una corriente más grande).



Figura 2 Ciclo hidrológico, tomado del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)

## 8.2.2. HIDROGEOLOGÍA

### 8.2.2.1. Aguas subterráneas

El agua presente en el subsuelo puede presentarse en diferentes maneras y con propiedades distintas.

El agua vadosa se define como el agua asociada a la humedad propia de cada tipo de suelo. El agua freática es aquella que llena los espacios vacíos (poros o fracturas) presentes en el suelo o roca, el movimiento y fluidez de este tipo de agua suele estar asociado principalmente a la fuerza de gravedad y la fricción. Se pueden diferenciar tres tipos de agua subterránea:

**Aguas de reserva:** Son aguas que circulan en niveles bajos y no participan del ciclo hidrológico, es agua confinada que una vez explotada desaparece y no es alimentado por precipitaciones u otros procesos.

**Aguas meteóricas:** son aguas que circulan en la parte superficial del subsuelo y están participando continuamente en el ciclo hidrológico.

**Aguas de formación:** Este tipo de agua es aquella que queda atrapada durante los procesos de sedimentación y depositación de las formaciones.

(Martínez, 2006) clasifica y define las diferentes formaciones geológicas en relación con la capacidad que estas poseen de almacenar agua como:

- **Acuíferos:** son las formaciones que transmiten y almacenan agua en cantidades significativas.
- **Acuitardos:** rocas que pueden almacenar agua, pero el agua fluye lentamente a través de estos.
- **Acuicludos:** rocas con capacidad de almacenamiento, pero capacidad de transmisión prácticamente nula.
- **Acuifugos:** rocas que no pueden ni almacenar ni transmitir agua.

Un acuífero se define como “aquel estrato o formación geológica que, permitiendo la circulación de agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para subvenir sus necesidades” Custodio y Llamas (1983).

#### 8.2.2.2. Acuíferos

Son formaciones geológicas saturadas o subsaturadas que permiten el flujo y almacenamiento de agua debido a las propiedades que contiene el medio en el que se encuentra el agua, estas propiedades son la porosidad, permeabilidad, fracturación y variaciones de presiones y altura que permitan el flujo y la explotación del agua. El nivel piezométrico de un acuífero se le conoce como superficie freática.

Los acuíferos pueden ser clasificados según el comportamiento hidráulico de la formación geológica en la que se encuentran y su posición estructural en el terreno como:

**Acuíferos libres:** son aquellos cuyo nivel superior de saturación se encuentra a presión atmosférica.

**Acuíferos confinados:** corresponden a formaciones geológicas saturadas y permeables que se encuentran entre dos unidades impermeables (Acuíferos o Acuícludos).

**Acuíferos semiconfinados:** presentan condiciones similares a la de los acuíferos confinados pero la formación confinante es un Acuitardos.

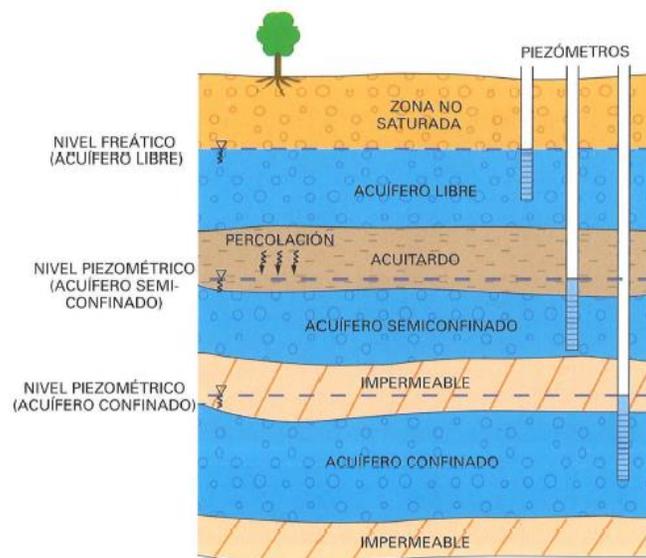


Figura 3 Tipos de acuíferos según el comportamiento hidráulico de la formación. (Martínez, 2006)

Desde el punto de vista geológico los acuíferos se pueden clasificar como:

**Acuíferos detríticos:** la principal característica de estos acuíferos es que están constituidos por formaciones geológicas asociadas a depósitos sedimentarios con granos de tamaños que van desde Arenas a Gravas.

**Acuíferos fisurados:** son aquellas formaciones en los que el agua suele circular a través de las diversas fracturas que hay entre las rocas, este tipo de acuíferos es poco común ya que se asocia a rocas duras de origen metamórfico o ígneo.

**Acuíferos kársticos:** la formación de estos acuíferos se asocia a las grietas asociadas a la dilución ocasionada por el agua a las rocas principalmente carbonatadas, esta interacción agua – roca puede generar grandes cavernas que pueden estar completamente llenas de agua.

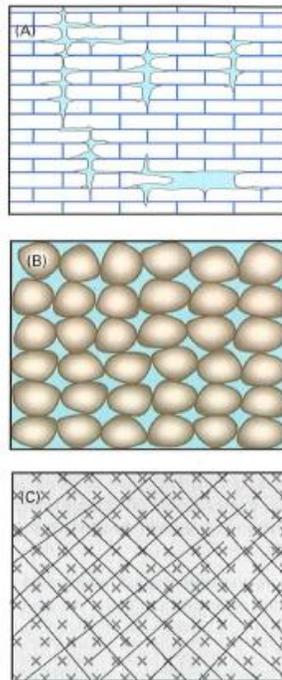


Figura 4 Tipos de porosidad en los acuíferos. A) Porosidad por disolución en ambientes kársticos. B) Porosidad intergranular de acuíferos detríticos. C) Porosidad por fisuración en acuíferos fisurados.

### 8.2.2.3. Propiedades de los acuíferos

**Porosidad:** es la cantidad de vacíos presentes en la roca o el suelo y es donde se almacena el agua. Los poros pueden estar conectados o desconectados, de este factor dependerá la capacidad que tendrá el agua de fluir a través de la formación. Esta se define como la relación entre el volumen de vacío y el volumen del material.

$$n = \frac{Vv}{Vs + Vt}$$

Ecuación de porosidad, donde “n” es la porosidad, Vv es el volumen de vacíos, Vs es el volumen de sólidos y Vt es el volumen total.

**Porosidad eficaz:** hace referencia exclusivamente a los poros interconectados entre sí que permiten el flujo del agua entre ellos.

$$nef = \frac{Vvef}{Vt}$$

Ecuación de la porosidad eficaz donde Vvef es el volumen de vacíos eficaz.

**Saturación:** esta es la relación existente entre el volumen de agua presente en un medio poros con respecto a él volumen efectivo de vacíos de este.

$$Sat = \frac{V_w}{V_{vef}}$$

Ecuación de saturación, donde  $V_w$  es el volumen que el agua en el medio.

**Permeabilidad o conductividad hidráulica:** se define como el caudal de agua que circula a través del acuífero.

$$k = k_0 \frac{\gamma}{\mu}$$

Ecuación de conductividad hidráulica, donde  $k$  es la conductividad hidráulica,  $\gamma$  es el peso específico del agua y  $\mu$  es la viscosidad cinemática del agua.

**Transmisividad:** se define como la facilidad que tiene para circular el agua en una formación geológica dependiendo del espesor de esta.

$$T = kb$$

Ecuación de transmisividad, donde  $T$  es la transmisividad y  $b$  es el espesor de la formación.

**Coficiente de almacenamiento:** (Martínez, 2006) lo define como “el volumen de agua que proporciona una columna de acuífero de base unitaria y altura el espesor saturado del acuífero al descender en una unidad del potencial hidráulico”

$$S = \frac{\text{Volumen de agua liberado}}{\text{Volumen total que ha bajado la superficie piezométrica}}$$

Ecuación del coeficiente de almacenamiento donde  $S$  es el coeficiente de almacenamiento.

### 8.3. MARCO LEGAL Y NORMATIVO

El agua subterránea es un recurso indispensable para el desarrollo de la vida humana ya que representa un alto porcentaje de potencial hidrológico si despreciamos el agua de las zonas polares a la que tenemos un nulo acceso dejando así a esta como el recurso más inverosímil para la sociedad pero que paradójicamente con poco muy poco atención y apreciado, siendo este un recurso renovable que puede dar a la sociedad una ventana de alternativas para el desarrollo de lugares con alta necesidad de agua potable o para el sector minero o industrial en toda la diversidad de sus áreas como desarrollo de bebidas, productos alimenticios , agronomía o hidrocarburos.

Esta puede ser extraída o explotada atreves de condiciones naturales que se dan de manera directa en la naturaleza como la presenciada en las descargas subterráneas aportadas a los ríos o mares, o en los manantiales. Sin embargo, de manera artificial en su mayoría es la disposición de aprovechamiento del recurso hídrico cuando se encuentra en acuíferos bien sea mediante pozos de ancado, incado o perforado, o aljibes.

Dada la importancia de este recurso que pone en juego el equilibrio de todo la población mundial ha hecho que todos los entes gubernamentales se hagan participe mediante toda una redacción en normas y leyes que promuevan el manejo, captación, explotación y uso de una manera responsable que ayuda a la protección y prevención ambiental, como lo estipulado en la ley **373 de 1997** en el establecimiento del programa para el uso eficiente y ahorro del agua en el cual el congreso de Colombia decreta la obligación en la incorporación de todo proyecto de orden local, regional o nacional es decir acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestaciones de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico.

Por otra parte, es necesario el dominio de las aguas, cauces y riveras en orden de asegurar el desarrollo humano, económico y social además de la reglamentación y ocupación de las aguas o cauces en aras de asegurar su preservación cuantitativa y monitoreo garantizando la disponibilidad del recurso y por supuesto sus restricciones y limitaciones como condiciones para la realización de obras hidráulicas que respondan por el manejo y protección y eficiente del recurso hídrico todo lo anterior estipulado mediante el decreto N° 1541 de 1978, elaborado por el ministerio de agricultura y el presidente de la república en el cual se definen las

regulaciones para la explotación de las aguas subterráneas y obliga a la obtención de concesión para la explotación del RHS.

En consiguiente el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible enmarca en el decreto 1640 de 2012 donde se reglamentan los instrumentos públicos en la planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas o acuíferos todo esto basados en el artículo 79 de la constitución política de Colombia donde se dice sobre el derecho que tiene toda persona a gozar de un ambiente sano donde el estado tendrá que garantizar la prevención y control de los factores que puedan causar deterioro ambiental, la imposición de sanciones legales y reparación a quienes causen daños a esta y el artículo 80 de la carta magna donde a su vez se planificara el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, en veda de un desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

En el uso de aguas subterráneas existe un aumento de la contaminación en procesos de su vulnerabilidad además de la afectada renovación del recurso, puesto que la renovación del ecosistema hídrico subterráneo es lenta y finita cuando se habla de periodos de tiempo determinados, por ende, su aprovechamiento debe estar englobando a lo que concierne la definición de desarrollo sostenible. Puesto que su uso no debe ser desmedido por los problemas ya mencionados anteriormente la Resolución 815 de 1997 fija la implementación de medidores en los pozos de extracción de aguas subterráneas; es decir todos los pozos de extracción de agua subterránea deberán contar con un medidor o contador que permita dar a conocer de manera periódica el volumen de agua consumida. Se resuelve en la misma resolución que el D.A.M.A (departamento administrativo del medio ambiente), certificara un evaluador para los procesos de elección e instalación del contador que serán revisados al azar pero de manera continua para verificar su funcionamiento y calidad de mediciones de consumo, cabe aclarar que los estratos o depósitos de las aguas subterráneas no son intransferibles a cualquier título a particulares, estos solo podrán obtener concesiones, permisos o licencias para su uso y goce estipulados en la ley.

Según la resolución número 1391 del 2003, se adoptan los formatos que se deben adelantar para obtención o prorroga de una nueva concesión de agua; por eso para explotar aguas subterráneas se contar con el permiso de la autoridad ambiental competente; la cual para el caso de Valledupar es CORPOCESAR. Primero se debe obtener un permiso de exploración para la realización de la perforación y construcción del pozo, si este resulta satisfactorio se lleva a cabo su construcción seguido del acto administrativo mediante el cual la autoridad

ambiental encargada autoriza mediante una concesión para explotación de aguas subterráneas el uso y aprovechamiento de un caudal de agua subterránea específico, con un plazo y condiciones determinadas; o bien sea para la renovación de concesión solo se debe emplear la respectiva solicitud antes del vencimiento de la concesión ya otorgada. Adicionalmente según la resolución 3859 de 2007 por el cual se dictaron normas con respecto al funcionamiento de los medidores de consumo para la explotación del agua subterránea, mediante el artículo 42 de la ley de 1993, reglamentado por los Decretos 155 de 2004 y 4742 de 2005, se establecieron los elementos esenciales para determinar la tasa de aguas subterráneas, configurando así una herramienta económica para las autoridades ambientales en el objetivo de conservar el recurso hídrico y que dentro de la base gravable se estableció que la tasa por la utilización de agua se cobrara por el volumen de agua efectivamente captada, dentro de los límites y condiciones establecidos en la concesión de aguas: claro que la definición del cobro de dicho volumen solo podrá ser efectuada siempre y cuando los medidores de control de explotación proporcionen registros precisos y adecuados.

Finalmente nos referimos a la resolución número 250 de 1997 donde se obliga a la determinación de los niveles estáticos y dinámicos y el monitoreo fisicoquímico de las aguas subterráneas, exigiendo pruebas y ejecución de acciones que aseguren una explotación sostenible como la verificación de volúmenes concesionados y extraídos, ejecución de pruebas de bombeo, tomas anuales de niveles estáticos y dinámicos de los pozos, muestreo fisicoquímico del agua explotada, implementación de un programa de ahorro y uso suficiente del agua.

Todo lo anterior debido a riesgos ambientales y para la salud dado que las aguas subterráneas están expuestas a diversos riesgos de carácter ambiental como lo son los derrames o fugas en la superficie que posteriormente se filtran (aceites, grasas, aguas residuales, residuos, químicos, etc.); contaminación de hidrocarburos por filtración de tanques de almacenamiento subterráneo o derrames accidentales, sobre explotación de los acuíferos poniendo en riesgo la recarga y normal funcionamiento del mismo, inadecuado mantenimiento de los sistemas de extracción de los pozos o la contaminación biológico por los malos sistemas sépticos o fugas en la red de alcantarillado, eliminación o urbanización de las zonas de recarga de los acuíferos; en general todos los posibles escenarios de contaminación mencionados anteriormente pueden poner en riesgo la salud de personas o animales si se ponen en contacto con aguas descompuestas si se tiene en cuenta que para la manufactura de muchos productos de consumo se utiliza aguas subterráneas, además de impedir el uso futuro de las mismas.

## 9. METODOLOGÍA

La revisión y recopilación bibliográfica es la primera fase de realización del proyecto mediante la cual se ejecutará la búsqueda, recopilación y posterior análisis que se encuentre relacionada con la dinámica de fluidos, abanicos aluviales y agua subterránea incluida su captación y caracterizaciones fisicoquímicas e hidrogeológicas que permitan ayudar a corroborar la importancia y realización de este proyecto. Dentro de estas se encuentran Libros, monografías, artículos e informes con la ayuda de la biblioteca de la fundación universitaria del área andina y también a través de sus bases de datos virtuales a las que se encuentra suscrita como ALEXANDER STREET PRESS, ScienceDirect, SCOPUS, PROQUEST, E-books; información relevante como la recopilada por el IDEAM en sus estaciones que estén dispuestas para el municipio de Valledupar.

En segundo plano la Construcción de un Inventario de Pozos mediante una malla de muestreo se realizó un barrido en toda la ciudad y con la ayuda de un GPS o Navegador pudimos tomar las coordenadas de todos esos puntos, es decir, su orientación espacial; donde emanan fuentes de agua de subterránea, la mayor parte de estas en lavaderos de carros y bombas de gasolina. Para la **evaluación y medición de los cambios en los niveles piezómetros** en la primera visita se realizó una caracterización de los aljibes basados en un formulario del IDEAM para Inventario de Pozos de Agua Subterránea donde queda plasmado todo el aspecto físico de acuerdo con los estándares reglamentados en la norma seguido de visitas en diferentes periodos para analizar la variación de los niveles piezómetros esto con la ayuda de una Sonda Métrica.

Entre los parámetros para la **caracterización fisicoquímica y microbiológica se encuentran** la determinación de parámetros como Color, Aparente, Turbiedad, Cloro Residual Libre, Alcalinidad Total, Calcio, Fosfatos, Manganeso, Molibdeno, Magnesio, Zinc, Dureza Total, Sulfatos, Hierro Total, Cloruros entre otros unos en campo y otros mediante laboratorios especializados.

**Para la parte final apoyados de modelamientos SIG** para realizar modelos de elevación digita con el apoyo de la topografía de la ciudad que permitan modelar las capacidades de agua subterránea que podría tener la ciudad con el apoyo softwares especializados como CIVIL 3D y ArcGIS. y la **evaluación de la potencialidad al cambio climático** se realiza un análisis general de todos los datos obtenidos en la revisión bibliográfica, los datos obtenidos en campo y los modelamientos cumpliendo así con los objetivos planteados y dar claridad sobre la problemática planteado identificando puntos con gran potencial hidrogeológico que serían tentativas fuentes de abastecimiento.

## 9.1. TÉCNICAS USADAS PARA LA CARACTERIZACIÓN

- Para la Georreferenciación de los pozos/aljibes utilización una herramienta muy usada en el campo ingenieril llamado Navegador (GPS), este no es más que un aparato electrónico que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto con una alta precisión. Entre sus otras aplicaciones encontramos: Topografía / Geomática, Cartografía, Geodesia, Geografía, etc.
- Las entidades gubernamentales como el Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM, el Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT se dio la creación del **formulario único nacional para el inventario de puntos de agua subterránea**.
- EL MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL RESOLUCIÓN NÚMERO 2115 (22 JUN 2007); Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
- Un modelo de elevación digital se hace basado en curvas de nivel y se puede realizar en cualquier área de interés y resulta útil cuando queremos tener idea o realizar cálculos sobre las condiciones del área, o hacer mapas de pendiente, mapas de sombra, mapas de visibilidad, cálculo de parámetros morfométricos de una cuenca, ETC.

## **10. MARCO GEOLOGICO.**

### **10.1. GEOLOGIA REGIONAL.**

La región caribe corresponde de entre las regiones colombianas la más septentrional, La interacción entre la placa Caribe y los bloques continentales de la placa suramericana han originado una compleja configuración estructural que incluye, la Sierra Nevada de Santa Marta, la cuenca de Cesar-Ranchería, la Serranía del Perijá y de la cuenca de Maracaibo. (Rodríguez, G., Londoño, A. 2005).

El complejo ígneo metamórfico de la Sierra Nevada de Santa Marta es un sistema montañoso el cual a lo largo de su historia partiendo del Proterozoico hasta el eoceno ha sufrido diferentes eventos metamórficos y magmáticos que han dado origen a las distintas unidades litológicas que se encuentran en ella. Este complejo se encuentra subdividido en 3 provincias geotectónicas, la provincia geotectónica de Sierra Nevada, la provincia geotectónica de Sevilla y la provincia geotectónica de Santa Marta (Camilo Bustamante, Agustín Cardona, & Mónica Saldarriaga, 2009), se encuentra demarcado por tres límites estructurales de primer orden, los cuales son la falla Oca al norte, la Falla de Santa Marta - Bucaramanga (FSMB) y el Lineamiento Cesar que de acuerdo a la cartografía geológica de (Tschanz & Jimeno, 1969), comprendería las Fallas Cesarito y San Diego que tienen un rumbo predominante de N30°E y un buzamiento desconocido (German Chicangana, 2011).

De acuerdo con lo descrito por (Tschanz & Jimeno, 1969) la geología predominante en los piedemontes del margen suroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta está comprendida por cuerpos ígneos de composiciones máficas y félsicas que instruyeron en el Jurásico a un basamento metamórfico el cual se originó en el Precámbrico en la Orogenia Grenvilliana y en menor proporción por formaciones sedimentarias y depósitos aluviales localizados en la parte más extensa de los piedemontes de la Sierra Nevada de Santa Marta.

#### **10.1.1. UNIDADES DE ROCA REGIONALES**

Las unidades lito-estratigráficas (**Ver Figura 2**) aflorantes son:

##### *10.1.1.1. Formación Guatapurí*

La Formación Guatapurí (TJg) incluye una serie de depósitos vulcano-clásticos y sedimentarios de color rojo, morado y púrpura que se encuentran distribuidos en los piedemontes nororiental, sur y oriental de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM). Corresponde a una serie de interposiciones de rocas volcánicas, vulcanoclásticas y sedimentarias, de colores rojizos y violáceos, En la Plancha 27 en el sector del Río Guatapurí, la Formación Guatapurí reposa discordantemente sobre la Granulita de los Mangos (pεg) y concordantemente sobre la Formación Corual (PTc), el contacto

superior con la unidad “Espilitas Triásicas” (TJs) es concordante a transicional rápido, y discordante con la Riolita de Golero (Jg). Le han asignado un intervalo de edad Triásico temprano a Jurásico temprano, solamente se conocen unas dataciones K-Ar realizadas en roca total a un basalto que aparentemente infra yace a la Formación Guatapurí ( $173 \pm 12$  m.a.) y a un basalto que instruye a esta formación ( $138 \pm 9$  m.a.), estos datos le darían una edad Jurásico medio a superior a la unidad, pero estas edades no parecen ser concluyentes. Ordóñez (2001), con base en análisis Rb-Sr y Sm-Nd de roca total, obtuvo una edad de 175 m.a.

El conjunto de rocas que conforman esta unidad se acumuló por procesos eruptivos lávicos de composición ácida a intermedia y flujos piro clásticos asociados; las interposiciones de rocas sedimentarias corresponden en su mayoría a depósitos híbridos relacionados con los depósitos piro clásticos o son derivadas de ellos. En la Plancha 33 al sur de la SNSM se nota el predominio de rocas sedimentarias (limolitas y arenitas finas) e incluso ocurre un nivel calcáreo en el sector del Alto Las Minas y la Quebrada Las Lajas (transecto 21), en el que han sido reportados posibles restos de algas y conchas, todo lo anterior sugiere condiciones marinas durante el depósito de la Formación Guatapurí en esta área.

#### *10.1.1.2. Formación Riolita de Golero*

La unidad “Riolita de Golero” (Jg) es sucesión de rocas volcánicas de composición ácida; así lo agrupa Tschanz et al. (1969) Esta unidad se encuentra distribuida en varios sectores aislados de la SNSM, se reconoce en el piedemonte suroccidental y en el piedemonte oriental, en donde ocurre en afloramientos aislados que en su conjunto forman un cinturón con orientación aproximada SSW – NNE. Es una secuencia de rocas volcánicas de composición ácida (riolítica y riódacítica), que presentan texturas porfiríticas, porfiroafaníticas y afaníticas; con interposiciones de niveles de vulcanoclásticas asociadas (Ignimbritas y tobas), presenta fragmentos piro clásticos, y cristales de feldespato potásico, cuarzo y plagioclasa en una matriz vítrea de color marrón, rojo, gris y verde.

Las relaciones estratigráficas de campo se puede deducir que esta unidad es más joven que la Formación Guatapurí (TJg) y que el Batolito de Pueblo Bello (Jpbb-cm), es decir estas rocas no serían más antiguas que el Jurásico medio, a la vez es cubierta discordantemente por la secuencia calcárea de edad Cretácica, por lo que se estima pre-Aptiano; la edad mínima de la “Riolita de Golero” (Jg) se cree es Cretácico inferior, debido a una datación K-Ar de roca total en una Ignimbrita de los alrededores del Río Badillo (Plancha 27), esta datación arrojó una edad mínima de  $129 \pm 5$  m.a. (Cretácico temprano – Valanginiano).

La “Riolita de Golero” (Jg) es la unidad volcánica más reciente, su composición mineralógica es similar con la de los granitos porfíricos que afloran en áreas próximas, por esto Tschanz et al. (1969) manifiestan que esta unidad fue producida por vesiculación del magma del granito porfíricos, que es la última diferenciación de la serie magmática Jurásica; sin embargo, debido a la gran diversidad de rocas volcánicas y vulcanoclásticas de muy variada composición que componen la secuencia, es muy difícil pensar que correspondan a un mismo evento eruptivo. Sería conveniente un estudio más a fondo de esta unidad que permita validarla o relacionarla con las otras unidades volcánicas definidas.

#### *10.1.1.3. Depósitos Cuaternarios*

Los depósitos Cuaternarios se encuentran ocupando principalmente los valles de los ríos Cesar y Ranchería al W del área en la región que está entre la Serranía del Perijá y la Sierra Nevada de Santa Marta, donde además se localizan las más grandes ciudades y poblaciones. También sobresalen, geoformas de terrazas altas y de abanicos relacionados a fallas de piedemonte; llanuras de inundación y depósitos eólicos principalmente en el extremo norte del área. Depósitos de Abanico (Qab) Constituyen una franja de depósitos de frente de montaña con dirección NESW, paralela al piedemonte del flanco oriental de la SNSM, desde el sur del río Guatapurí hasta inmediaciones del río Ranchería, están formados principalmente por gravas redondeadas a sub-redondeadas y bloques de hasta 1 metro de diámetro, derivadas de rocas como granulitas, neises, dioritas, tonalitas y gabros en matriz arenosa y por depósitos caóticos mal seleccionados producto de flujos súbitos de materiales por inestabilidad de taludes topográficos.

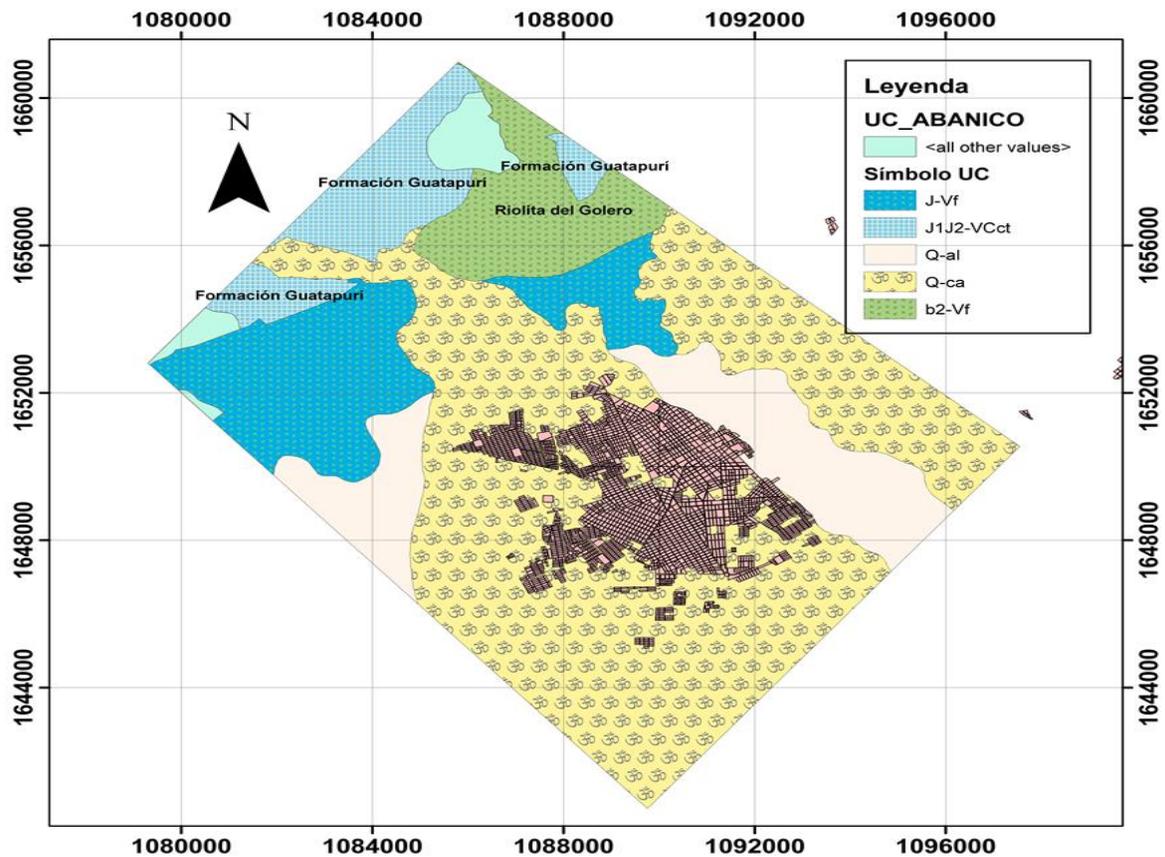


Figura 5 Geología Regional. Fuente Autores

## 10.2. GEOLOGIA LOCAL.

Estos depósitos aluviales son formados por las avenidas torrenciales del Río Guatapurí, tiene espesores variables en relación con la distancia con el ápice, oscilando entre los 30 a 70 metros de espesor, se compone principalmente de bloques subangulares con tamaños entre los 15 a los 150 cm en una matriz predominantemente limosa, a sub-redondeados de rocas ígneas transportadas de la SNSM. (Ortega, 2016)

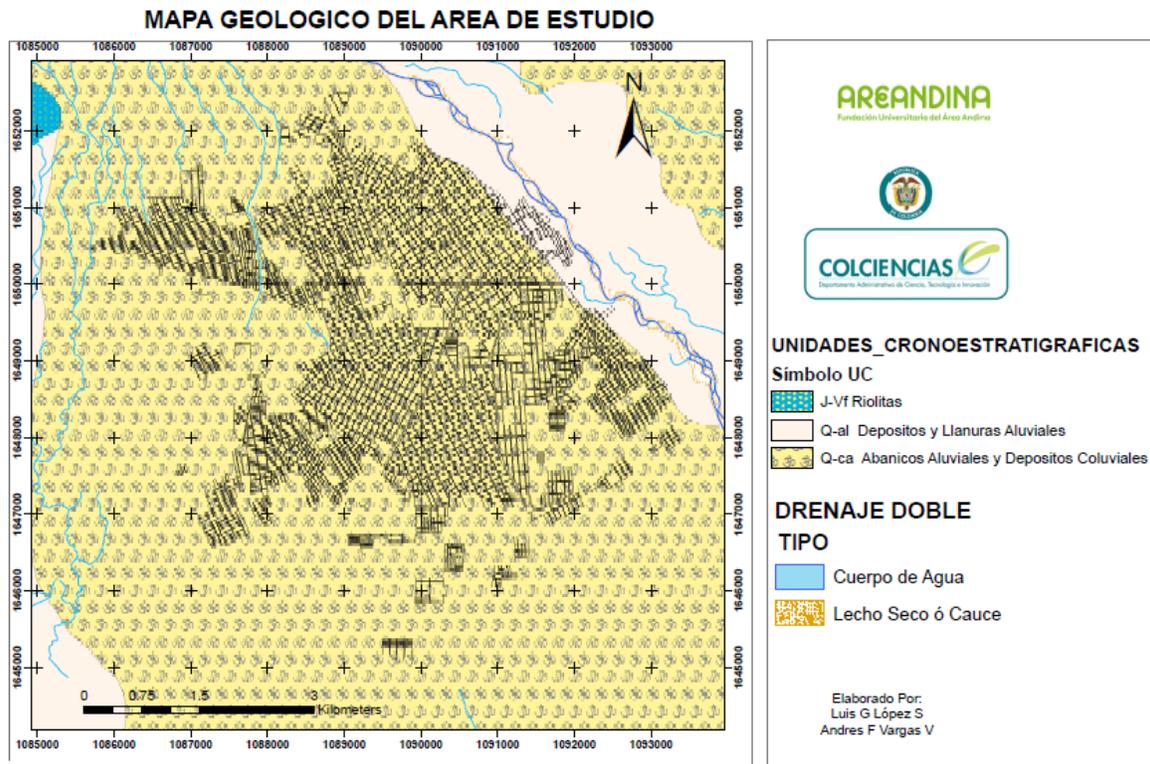
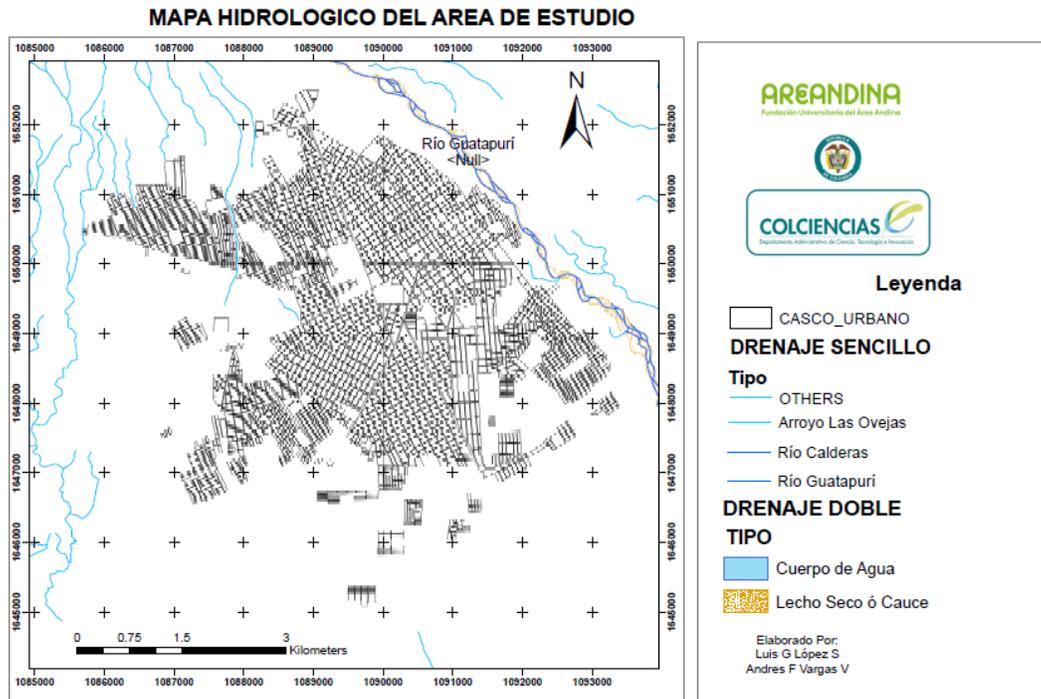


Figura 6 Geología Local. Fuente Autores del Proyecto

### 10.3. HIDROGRAFIA.

El río Guatapurí es el principal afluente hídrico de la Ciudad de Valledupar, este nace en la parte alta de la Sierra Nevada de Santa Marta en la laguna Curigua a unos 4400 msnm y que con un descenso de 85 km llega a desembocar al margen derecho del Río Cesar, a lo largo de su recorrido varios cuerpos de agua secundarios lo alimentan como los ríos Donachui, Curiba, Los mangos y Capitanejo, donde a manera general en su cuenca es de carácter torrencial y corre a través de flancos de rocas ígneas de fuerte pendiente.



*Figura 7 Mapa Hidrográfico del Casco Urbano de Valledupar. Fuente Autores del Proyecto.*

#### **10.4. CARACTERIZACION AMBIENTAL Y CLIMATOLOGICA.**

Una gran característica del municipio de Valledupar es su diversidad en cuanto a los ecosistemas que influyen en esta zona. Se pueden reconocer basándose en el plan de gestión ambiental regional tres ecosistemas principales: La Sierra Nevada de Santa Marta, el Sistema Montañosa de la Serranía del Perijá y las Llanuras Aluviales Del Valle Del Río Cesar. (Cañas & Armenta, 2004)

El casco urbano de Valledupar se encuentra ubicado en la Ecorregión del Valle del Río Cesar, cuyo suelo ha sido considerado de alta productividad, este ha sido el principal sustento de las actividades socioeconómicas (agricultura, ganadería, minería) de la región a lo largo de la historia, dichas actividades han ocasionado un considerable desgaste en los más superficiales horizontes del suelo.

El régimen pluviométrico predominante en la región es de carácter bimodal, con periodos de lluvia entre abril y junio, así como entre septiembre y noviembre, ambos intercalados con periodos secos. La precipitación promedio anual en la ciudad ronda entre los 900 – 1000 mm al año, así como una temperatura alrededor de los 28°. La exposición solar anual varía alrededor de las 2000 a 3000 horas, con un aumento considerable durante los meses de diciembre, enero, febrero y junio. (Ortega C. , 2016)

**MAPA DE CLIMA, TEMPERATURA Y PRECIPITACION DEL AREA DE ESTUDIO**

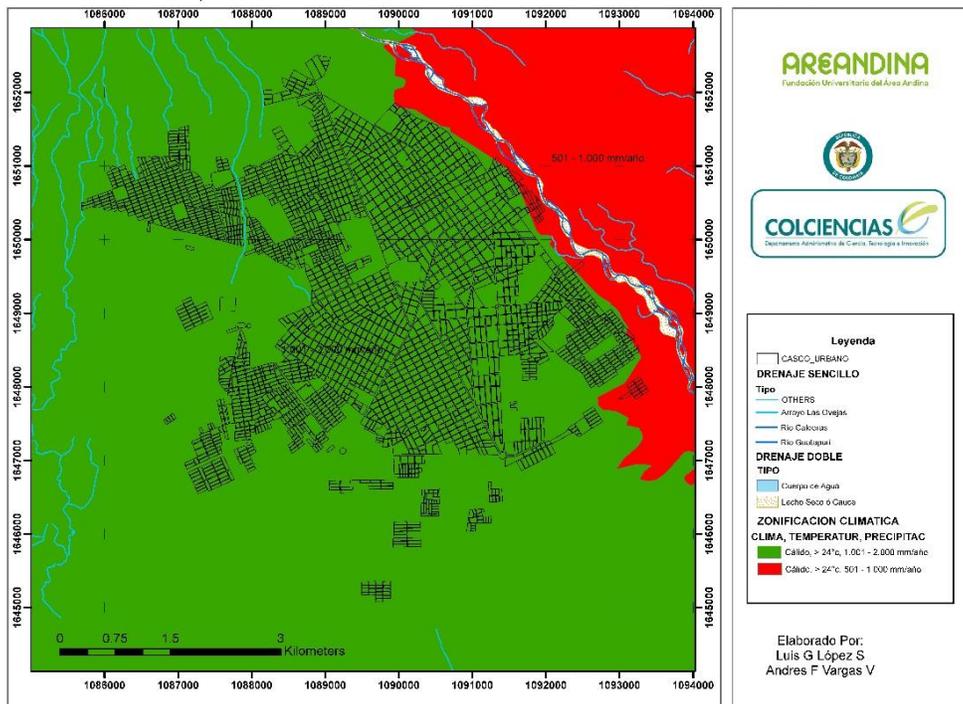


Figura 8 Mapa de Clima, Precipitación y Temperatura del Casco Urbano de Valledupar. Fuente Autores del Proyecto

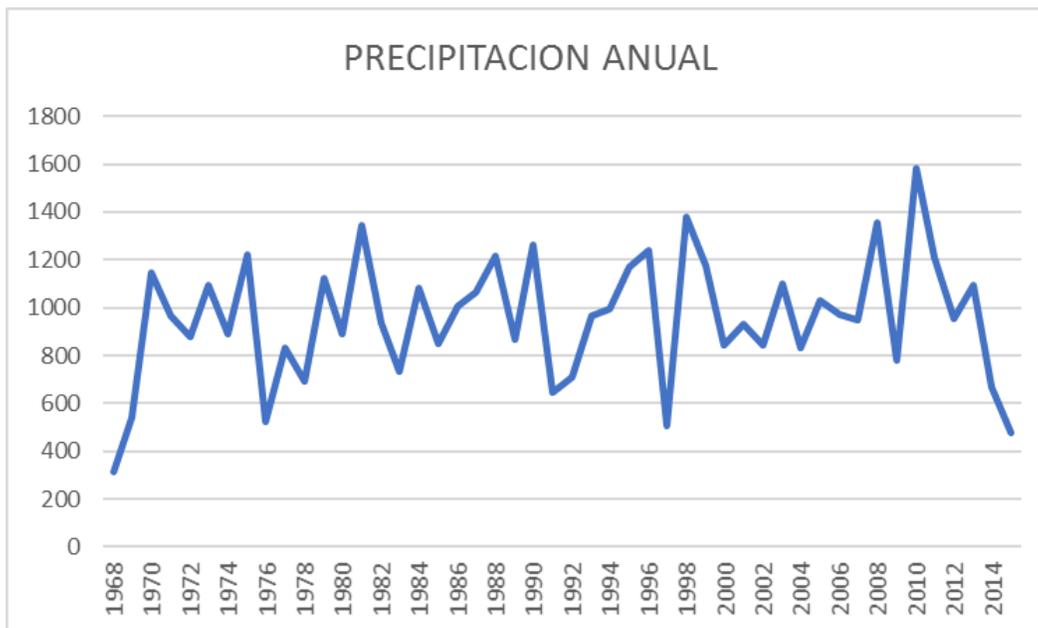


Figura 9 Histograma de precipitación anual en la ciudad de Valledupar. Datos obtenidos de la estación pluviométrica del Aeropuerto Alfonso Lopez de Valledupar, IDEAM.

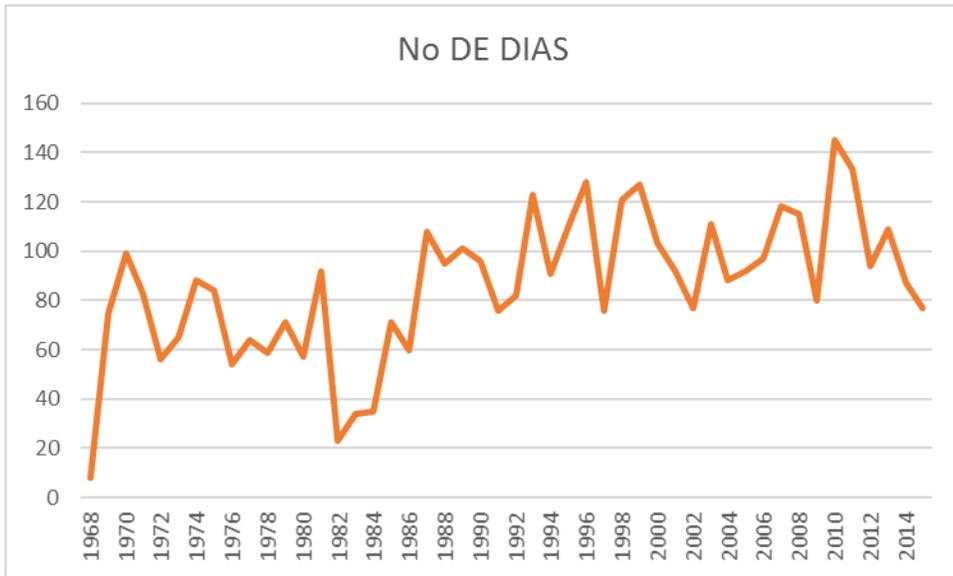


Figura 10 Histograma de días de lluvia en la ciudad de Valledupar. Datos obtenidos de la estación pluviométrica del Aeropuerto Alfonso Lopez de Valledupar, IDEAM.

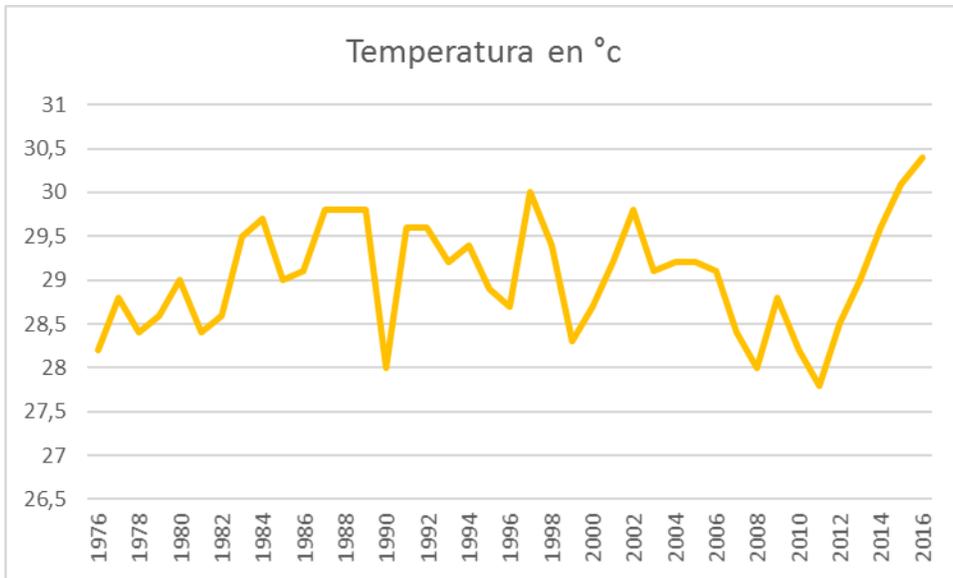


Figura 11 Histograma de temperatura media en la ciudad de Valledupar. Datos obtenidos de la estación pluviométrica del Aeropuerto Alfonso Lopez de Valledupar, IDEAM.

## 11. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Entre los meses de junio y agosto se estuvieron realizando mediciones periódicas de los niveles de agua en diferentes pozos y aljibes ubicados en el casco de la ciudad de Valledupar con profundidades entre los 5 y 11 metros. Estas visitas técnicas estuvieron enfocadas principalmente a estaciones de servicio y lavaderos de vehículos. En cada visita a campo se contó con herramientas como un GPS y plancha topográfica del IGAC a escala 1:25.000, estos con el propósito de establecer la ubicación espacial de cada punto de agua en el mapa.

Las visitas técnicas iniciales se realizaron para el diligenciamiento del formato estándar del IDEAM para la caracterización de puntos de agua subterránea, este formato fue diligenciado con parámetros físicos (diámetro, profundidad, ubicación, entre otros) del pozo, así como la relación de posibles fuentes de contaminación cercanas al punto de interés. La implementación del sistema de ubicación global también fue usada para determinar la formación geológica en la cual está ubicada el punto de agua, estableciendo de esta manera la correlación existente entre el potencial hidrogeológico del acuífero y las propiedades composicionales y estructurales propias de la formación geológica en la que se encuentra el pozo.



*Foto 5 Aljibe ubicado en el casco urbano de Valledupar*

Posteriormente a la toma inicial de parámetros físicos del pozo, se continuaron haciendo visitas técnicas entre los meses de junio y agosto de 2017, en estas visitas, según lo permitía el diseño y construcción del pozo o aljibe se procedía a utilizar una sonda de medición en los puntos de agua previamente georreferenciados y diligenciados, este procedimiento nos permitió obtener datos actualizados acerca del nivel freático del acuífero libre sobre el que se encuentra ubicado la ciudad de Valledupar.

El monitoreo realizado a los puntos de agua se realizó con el propósito conocer las variaciones de los niveles del acuífero libre ubicado en el casco urbano de Valledupar, y establecer una correlación entre la variación de estos niveles y factores que pueden incidir directamente en estos, tales como la precipitación, la temperatura o las corrientes hídricas superficiales cercanas al punto de agua caracterizado, además de permitirnos conocer sobre el posible impacto que ha generado el crecimiento demográfico a las aguas subterráneas de la ciudad, y determinar los puntos que mantienen niveles promedio independientemente de la precipitación o el nivel de las corrientes de agua superficiales.

La totalidad de los puntos de agua caracterizados se encuentran ubicados sobre los abanicos aluviales y depósitos coluviales del cuaternario (Q-ca), ocasionados por la depositación en forma de abanico del material transportado por el río Guatapurí, los pozos están siendo captados por material no consolidado con tamaños detríticos variables entre arenas finas y gravas, a bloques de origen ígneo transportados y depositados en una matriz areno limosa.

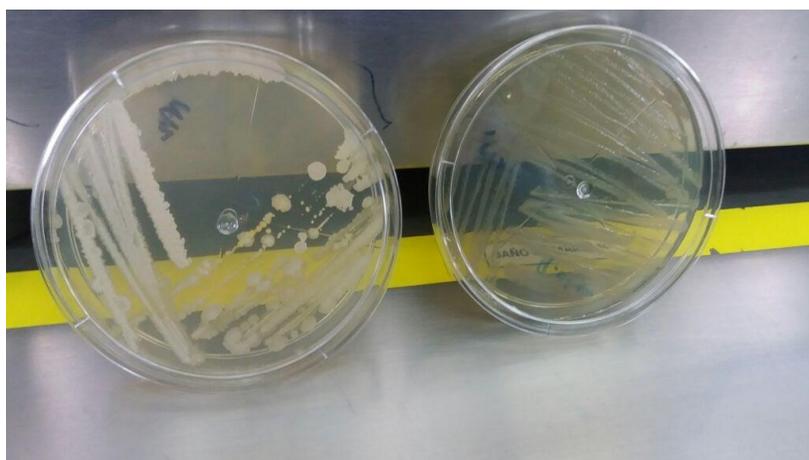


*Foto 6 Medición de los niveles del nivel freático en el casco urbano de la ciudad de Valledupar. Fuente Autores del Proyecto.*

Paralelamente a la toma de niveles freáticos se esuvieron realizando toma de muestras para el análisis fisicoquímico y microbiológico de estas, con el fin de conocer la calidad del agua subterránea presente en el acuífero libre de Valledupar y establecer una correlación entre la calidad del agua y los posibles focos de contaminación a los que se encuentra expuesto el acuífero, tales como, letrinas, vertimiento de aceites, botaderos de basura, lavaderos de vehículos, entre otros.

Para el análisis de calidad de agua se realizaron análisis físicoquímicos básicos a un total de 47 muestras, estos análisis incluyeron parámetros como pH, alcalinidad, conductividad, acidez, temperatura y sólidos totales disueltos; también se describieron las propiedades organolépticas (color, apariencia y olor) de cada una de las muestras tomadas en campo.

En cuanto al análisis microbiológico para establecer la presencia de microorganismos (eschericia coli, coliformes totales) que podrían afectar la calidad del agua, se realizaron un total de 7 ensayos mediante el método de membrana en diferentes puntos de la ciudad donde se había establecido previamente el potencial de contaminación que estos pozos tenían.



*Foto 7 Análisis microbiológicos de eschericia coli y coliformes totales*

No. de muestra	Coliformes Totales (UFC/mL)	Eschericia Coli (UFC/mL)
M1	0	0
M2	2	1
M3	0	0
M4	12	0
M5	15	0
M6	21	3
M7	17	2

Se inventarió un total de 41 pozos y aljibes distribuidos en las planchas geológicas 27IIIB, 27IIID y 27IVC. Geológicamente, los puntos de agua se encuentran ubicados en su totalidad sobre los abanicos aluviales y depósitos coluviales (Qca), nombre asignado a esta formación por el servicio geológico colombiano.

De los 41 pozos inventariados se encuentran en explotación continua durante todo el año un total de 33, principalmente utilizados para el lavado de vehículos y usados para abastecer pequeños núcleos familiares en cortos lapsos de tiempo de racionamiento del recurso hídrico potable.

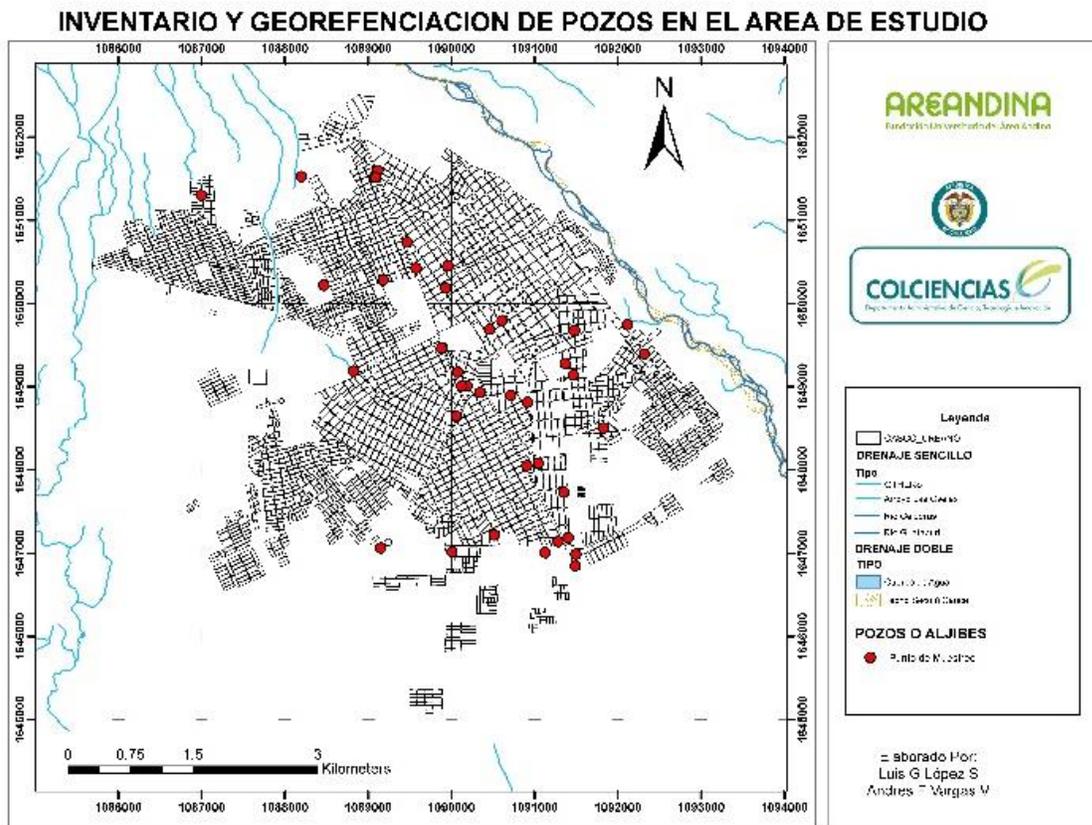


Figura 12 Mapa de Inventario de Puntos de Monitoreo. Fuente Autores del Proyecto.

La mayoría de los puntos de agua son aljibes (40) con diámetros que oscilan entre los 1 a los 1.8 metros de diámetro, y solo se encontró un pozo con un diámetro menor a 40 cm, la totalidad de los puntos de agua se encuentran recubiertos de anillos de concreto que oscilan entre los 10 y 12 cm de espesor, en un 95% se encuentran tapados usando una tapa de capas de concreto o láminas de acero, y rodeadas en superficie por amplios espacios pavimentados en concreto.

La explotación de los puntos de agua es llevada a cabo mediante motobombas eléctricas y de gasolina ubicadas tanto en el interior como en el exterior del pozo,

frecuentemente utilizadas para el llenado de albercas o tanques con almacenamientos superiores a los 1000 litros.



*Foto 8 Motobomba eléctrica de eje vertical lubricada con aceite utilizada para la explotación del agua subterránea en Valledupar.*

## 12. VULNERABILIDAD DEL ACUIFERO

La vulnerabilidad de los acuíferos frente a la contaminación es una propiedad intrínseca del medio que determina la sensibilidad a ser afectados negativamente por un contaminante externo (Foster, 1987). Es una propiedad relativa, no medible y adimensional y su evaluación se realiza admitiendo que es un proceso dinámico. La vulnerabilidad puede ser intrínseca (condicionada por las características hidrogeológicas del terreno) y específica (cuando se consideran factores externos como la climatología o el propio contaminante).

Los métodos de evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación se agrupan en los cuatro modelos descritos a continuación.

- ✓ Modelos de simulación: Se usan ecuaciones numéricas para simular los procesos de transporte por la que se rigen los contaminantes y son utilizados para la evaluación de la vulnerabilidad específica.
- ✓ Métodos estadísticos: Los métodos estadísticos son utilizados para cuantificar la vulnerabilidad de la contaminación del agua subterránea determinando la dependencia o la relación estadística entre la contaminación observada, las condiciones ambientales observadas que pueden o no caracterizar vulnerabilidad y las actividades relacionadas con el uso del suelo, que sean fuentes potenciales de la contaminación.
- ✓ Métodos de superposición e índices (o paramétricos). Están basados en la combinación de diferentes parámetros (litología, suelo, espesor de la zona no saturada, etc.), y se utilizan para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca. Cada parámetro es puntuado cuantitativamente y se les pueden asignar distinto valor de ponderación.
- ✓ Ambientes Hidrogeológicos. Evalúan la vulnerabilidad de grandes ambientes hidrogeológicos en términos cualitativos, utilizando una superposición de mapas temáticos. Es aplicable cuando la información básica específica es inadecuada o escasa.

Dentro de los métodos paramétricos (de superposición e índices) se distinguen las siguientes metodologías en donde acuden aquellos métodos de puntuación y ponderación en los que además de asignar una puntuación para cada parámetro es multiplicado por un factor ponderador. Las metodologías más destacadas son DRASTIC, SINTACS, EPIK y GALDIT.

## **12.1. VULNERABILIDAD DE CONTAMINANTES DEL SISTEMA DEL ACUIFERO ABANICO ALUVIAL DE VALLEDUPAR.**

La Vulnerabilidad de un Acuífero se encuentra relacionado a la capacidad que tiene el mismo de acuerdo con sus características geológicas y edafológicas de brindar protección a las aguas albergadas en los poros del subsuelo (Agua Subterránea). Además de tener en cuenta la accesibilidad hidráulica de la zona saturada al ingreso y dispersión de contaminantes asociados a actividades antrópicas o de fenómenos naturales en donde a su vez intervienen factores geométricos y propiedades hidrofísicas de la cobertura y el tipo de contaminantes en cuanto a persistencia, movilidad y toxicidad.

Para la determinación del grado de vulnerabilidad y el riesgo a la contaminación de las aguas subterráneas del acuífero de Valledupar se utilizó la metodología de evaluación del método D.R.A.S.T.I.C.

### 12.1.1. Método D.R.A.S.T.I.C.

El método DRASTIC fue desarrollado por la E.P.A. (Environmental Protection Agency) de los Estados Unidos de América. Este sistema metodológico utiliza para la evaluación de la vulnerabilidad siete parámetros, D, R, A, S, T, I, C que dependen del clima, el suelo, el sustrato superficial y el subterráneo, a las que asigna valores, y un multiplicador (peso según su importancia). (ver Figura X), descritos a continuación.

D - Depth to water (Profundidad)

R - Recharge (Recarga neta)

A - Aquifer media (Tipo de acuífero)

S - Soil media (Tipo de suelo)

T - Topography (Topografía, Pendiente)

I - Impact of the Vadose Zone Media (Impacto del tipo de zona no saturada)

C - Conductivity of the aquifer (Conductividad Hidráulica).

**Índice de vulnerabilidad** = DRDW + RRRW + ARAW + SRSW + TRTW + IRIW + CRCW

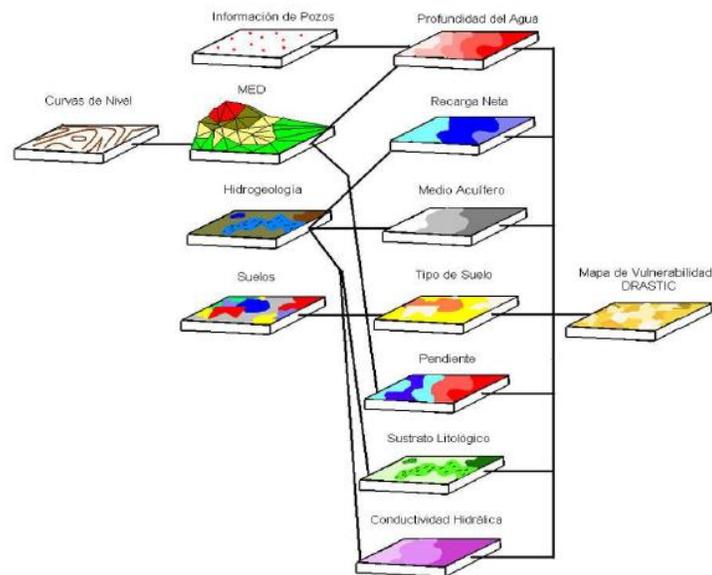


Figura 13 Elementos de evaluación para la Valoración de la Vulnerabilidad de un acuífero.

### Variables de evaluación del método DRASTIC.

**D:** Profundidad del agua subterránea.

Indica el espesor de la zona no saturada que es atravesado por las aguas de infiltración y que pueden traer consigo el contaminante, hasta alcanzar el acuífero.

**R:** Recarga neta.

Es la cantidad de agua anual por unidad de superficie que contribuye a la alimentación del acuífero. La recarga resulta primariamente de la fracción de precipitación que no se evapotranspiración y de la escorrentía superficial. Es el principal vehículo transportador de los contaminantes.

**A:** Litología y estructura del medio acuífero.

Representa las características del acuífero, en particular la capacidad del medio poroso y/o fracturado para transmitir los contaminantes.

**S:** Tipo de suelo.

Representa la capacidad de los suelos para oponerse a la movilización de los contaminantes y corresponde a la parte de la zona vadosa o no saturada, que se caracteriza por la actividad biológica. En conjunto, con el parámetro A, determinan la cantidad de agua de percolación que alcanza la superficie freática.

**T:** Topografía. Representa la pendiente de la superficie topográfica e influye en la evacuación de aguas con contaminantes por escorrentía superficial y subsuperficial.

**I:** Naturaleza de la zona no saturada.

Representa la capacidad del suelo para obstaculizar el transporte vertical.

**C:** Conductividad hidráulica del acuífero.

Determina la cantidad de agua que atraviesa el acuífero por unidad de tiempo y por unidad de sección, es decir la velocidad.

**EVALUACION DE VULNERABILIDAD METODO DRASTIC**

PARAMETRO	Peso (W)	Rango de Profundidades (m)	Puntaje	IV	W
Profundidad del Acuífero	5	0 - 15	10	D	25
Recarga Neta	4	1.5 - 4.5	9	R	36
Tipo de Acuífero	3	4.5 - 9	7	A	8
Tipo de Suelo	2	<b>9 - 15</b>	<b>5</b>	S	20
Topografía (Pendiente)	1	15 - 23	3	T	10
Impacto de la Zona Vadosa	5	23 - 30	2	I	40
Conductividad Hidráulica del Acuífero	3	> 30	1	C	30
				<b>TOTAL</b>	<b>169</b>

Rango (mm/año)	Puntaje	Tipo de Material	Puntaje	Puntaje Característico
0 - 50	1	Esquistos Masivos	1 - 3	2
50 - 100	3	Rocas metamórficas e ígneas	2 - 5	3
100 - 175	6	Rocas metamórficas e ígneas Intemperizadas	3 - 5	4
175 - 250	8	Glacial Till	4 - 6	5
<b>&gt; 250</b>	<b>9</b>	Areniscas Estratificadas, Calizas y Secuencias de Esquisto	5 - 9	6
		Areniscas Masivas	4 - 9	6
		Calizas Masivas	4 - 9	6
		<b>Arenas y Gravas</b>	<b>4 - 9</b>	<b>8</b>
		Basaltos	2 - 10	9
		Calizas Cársicas	9 - 10	10

Rango	Puntaje	Puntaje Característico
Suelo Fino o Inexistente	10	
<b>Grava</b>	<b>10</b>	
Arena	9	
Turba	8	
Arcillas Sueltas	7	
Loam Arenoso	6	
Loam	5	
Loam Fangoso	4	
Loam Arcilloso	3	
Mud	2	
Arcillas Compactas	1	

Rango (Pendiente)	Puntaje	Puntaje Característico
<b>0 - 2</b>	<b>10</b>	
2 - 6	9	
6 - 12	5	
12 - 18	3	
> 18	1	

Conductividad Hidráulica (m/día)	Puntaje	Metodo DRASTIC	Rango
<b>&gt; 200</b>	<b>10</b>	Muy Bajo	23 - 64
200 - 100	8	Bajo	65 - 105
100 - 10	6	Moderado	106 - 146
10 - 1	4	<b>Alto</b>	<b>147 - 187</b>
1 - 0.1	2	Muy Alto	188 - 230
< - 0.1	1		

Figura 14 Evaluación de la Vulnerabilidad del Acuífero de Valledupar por el Método DRASTIC.

La evaluación de las diferentes características arroja un valor de 169 que según los valores establecidos por el método americano D.R.A.S.T.I.C el acuífero de la ciudad se encuentra en un grado de Vulnerabilidad Alto lo cual lo hace muy susceptible a la influencia de cualquier contaminante.

Ahora bien, sanitariamente las condiciones generales en la que se encuentran los pozos ofrecen poca protección ante factores contaminantes tanto puntuales como difusos, la mayoría de los puntos de agua están ubicados en casetas o bodegas

pequeñas donde cerca a la boca del pozo se pueden encontrar diferentes residuos sólidos, así como detergentes y desechos orgánicos. La cercana ubicación de la mayoría de los pozos a lavaderos con continuo vertimiento de detergentes y estaciones de servicio con tanques de combustible subterráneos, exponen en mayor medida las aguas subterráneas de la ciudad, además la ubicación de baños, la exposición completa al aire libre y lotes baldíos cercanos utilizados como botaderos de basura, incrementan el nivel de amenaza contaminante al que se expone el acuífero.

### 13. Medición multitemporal de niveles



Foto 9 Medición del nivel freático del acuífero de Valledupar.

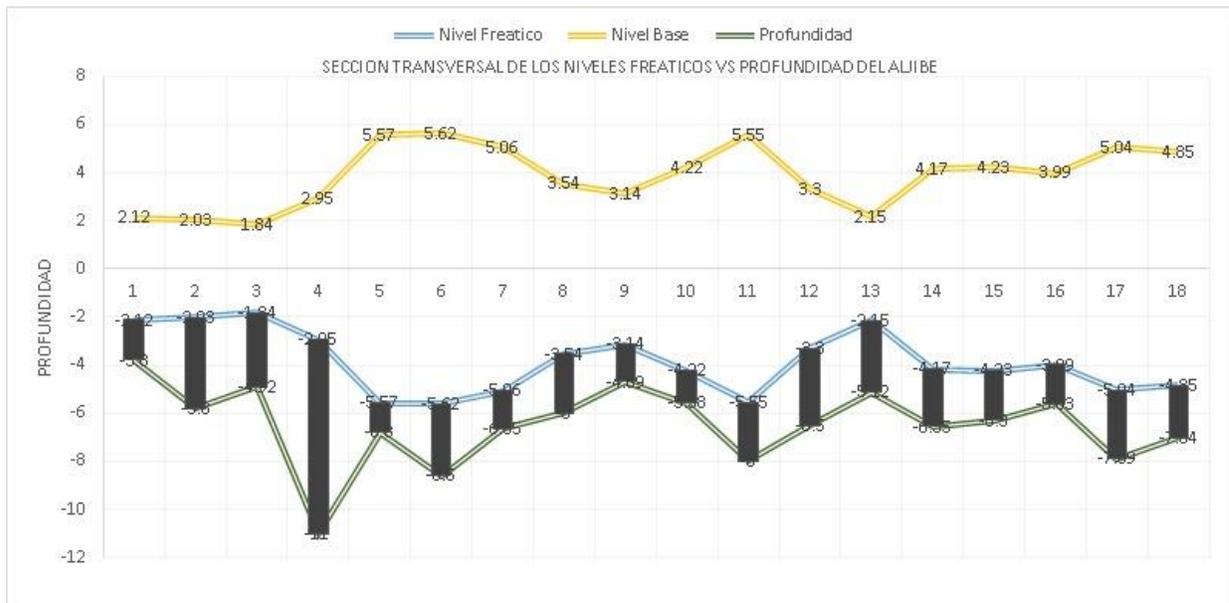


Figura 15 Se observa la variación de niveles freáticos con respecto a la profundidad de los pozos y la línea de superficie.

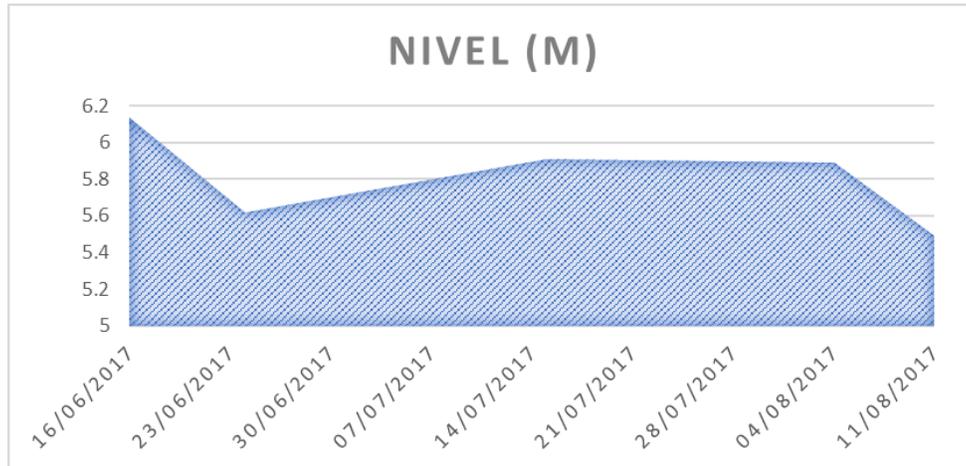


Figura 16 Variación de los niveles en el tiempo de un aljibe dentro del casco urbano de Valledupar.

## 14. ANALISIS FISICO QUIMICO Y MICROBIOLOGICO

### 14.1. Isolíneas de las características fisicoquímicas y microbiológica del agua subterránea en el mes de Julio y agosto.

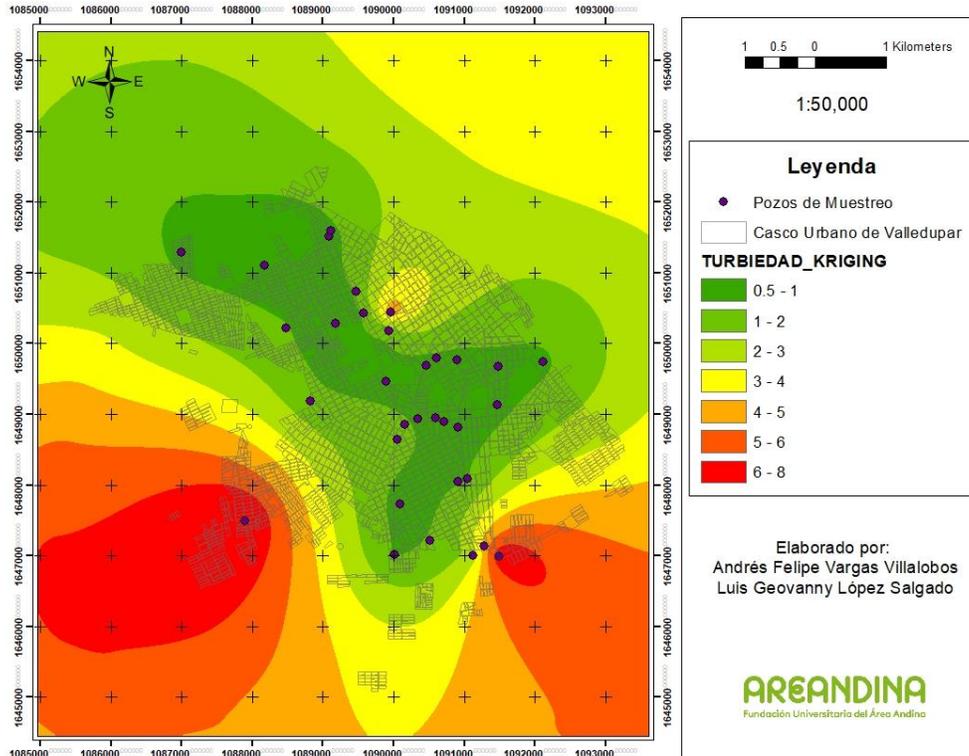


Figura 17 Mapa de isólinas de turbiedad (unidades)

En la figura 15 se observa la distribución del parámetro turbiedad, al cual es menor a 2 NTU (aceptable para consumo humano) en el centro de la ciudad es superior a dos llegando a valores de 8 NTU en los aljibes del sur de la ciudad debido al cambio gradacional en la pendiente que va disminuyendo de norte a sur por ende toda el agua de escorrentía se aloja al final hacia esta zona de la ciudad lo que podría estar aumentando la turbiedad en estos sectores.

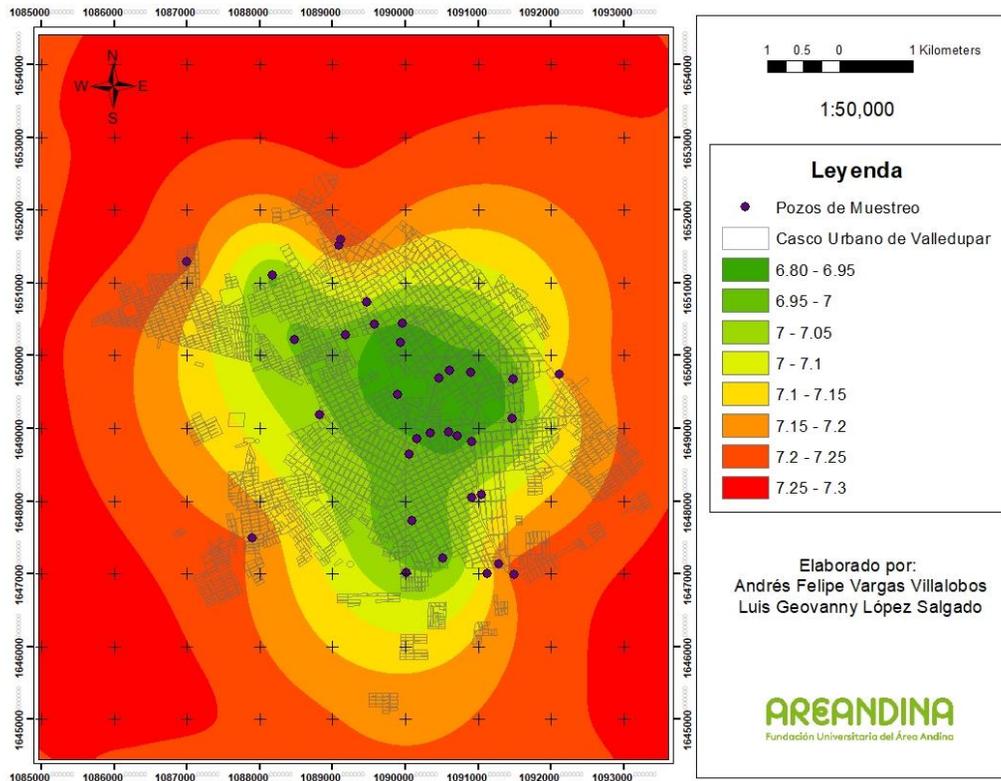


Figura 18 Mapa de isólinas de pH del agua subterránea de la ciudad de Valledupar.

En la figura 16 se observa el comportamiento del pH en la ciudad de Valledupar, el cual es apto para consumo humano en toda la ciudad pues se encuentra entre 6.8 y 7.3 y según la norma es apta entre 6.5 y 9.0

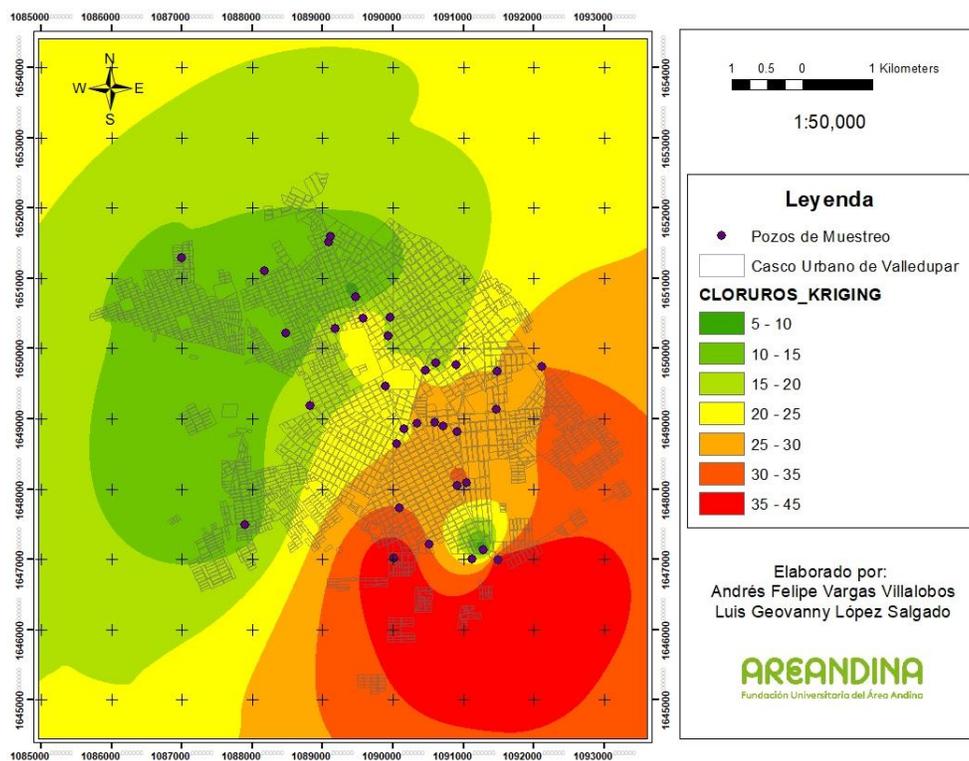


Figura 19 Mapa de isolíneas de cloruros del agua subterránea de Valledupar.

El cloruro se encuentra por debajo de 250 mg/L lo que no representa ningún riesgo para la salud humana, aunque su calidad tiende a mejorar hacia el noroeste de la ciudad.

## 15. ANALISIS HIDROGEOLOGICO

### 15.1. Clasificación de Suelos

Por medio de este ensayo se determina el tipo de suelo teniendo en cuenta los parámetros establecidos por la norma AASTO y UCS, para ello se utilizan Aprox. 4000g de muestra que luego se tamiza por los tamices 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1, 3/4, 1/2, 3/8, 4, 10, 40, 100, 200 y de acuerdo con el porcentaje retenido en cada uno de estos se procede a la clasificación del suelo, además también se consideran los límites de consistencia líquido y plástico.

En primero lugar se realiza un trabajo de campo para analizar los horizontes de suelo presentes en el abanico aluvial de la Ciudad donde se hace una descripción cualitativa de cada suelo teniendo en cuenta propiedades como color, espesores, humedad, plasticidad y tamaño de granos.

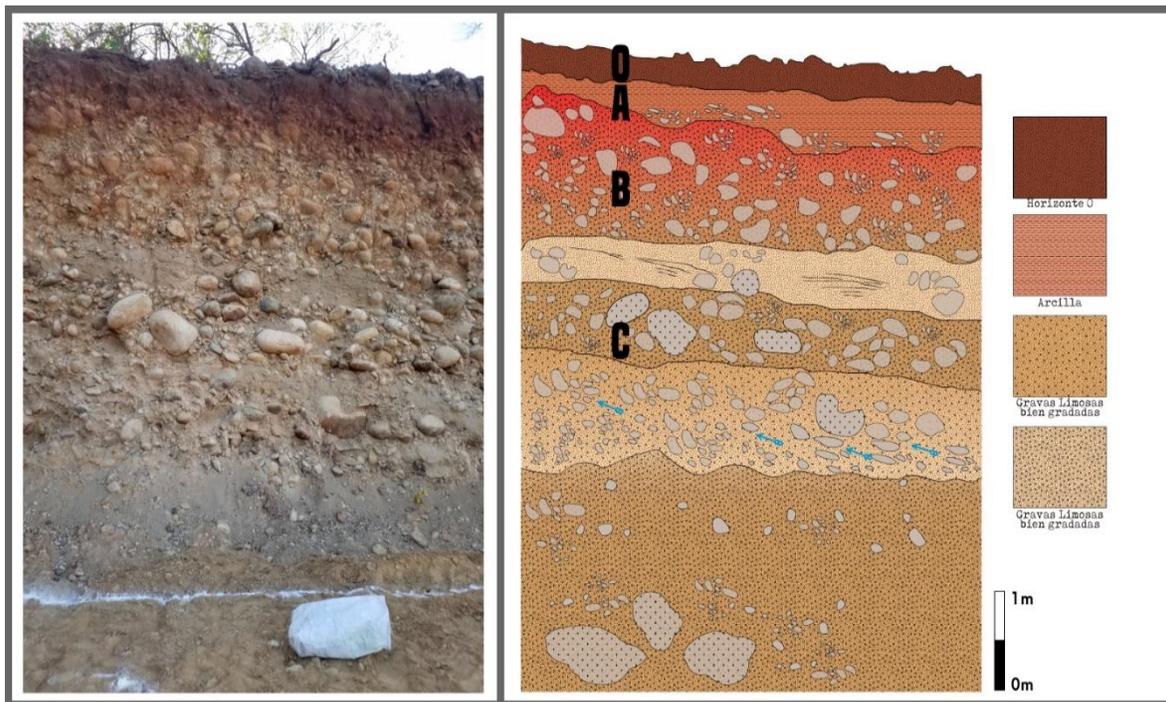


Figura 20 Perfil de Suelo

En la figura 20 se observa un perfil de suelo que fue realizado en la planta de tratamiento de agua de la empresa EMDUPAR más exactamente dentro de la nueva obra de almacenamiento de agua que se viene adelantando.

**Horizonte O:** Material constituido principalmente por limos con presencia de materia orgánica (Raíces) de color Negro 10YR2/1, y un espesor de 0.35m.

**Horizonte A:** Material arcilloso de color naranja rojizo 10R, presencia de raíces cortas medianamente húmedo y plástico además de cantos rodados con tamaños entre los 0.05 y 0.15m, espesor de 0.5m.

**Horizonte B:** Material granular con cantos rodados entre los 15 y 60 cm en una matriz fina a media, se observa la alteración de feldespatos en contacto transicional con el horizonte A producto de la meteorización química de coloración marrón amarillento 10YR 6/2 y un espesor de 1.30m.

**Horizonte C:** Material granular con cantos entre los 15 y 80 cm redondeados y sub-redondeados de composición indica un origen ígneo y metamórfico con imbricaciones cuya disposición preferencial es NW-SE de color naranja amarillento 10YR 6/6 y espesor de 3.30m.

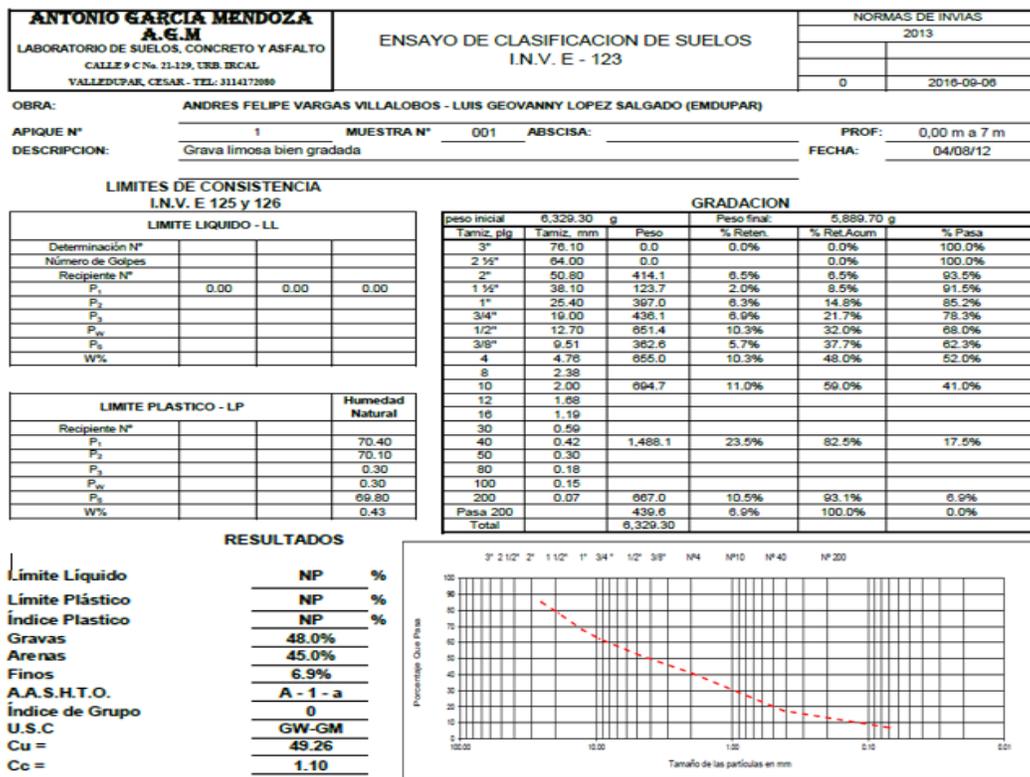
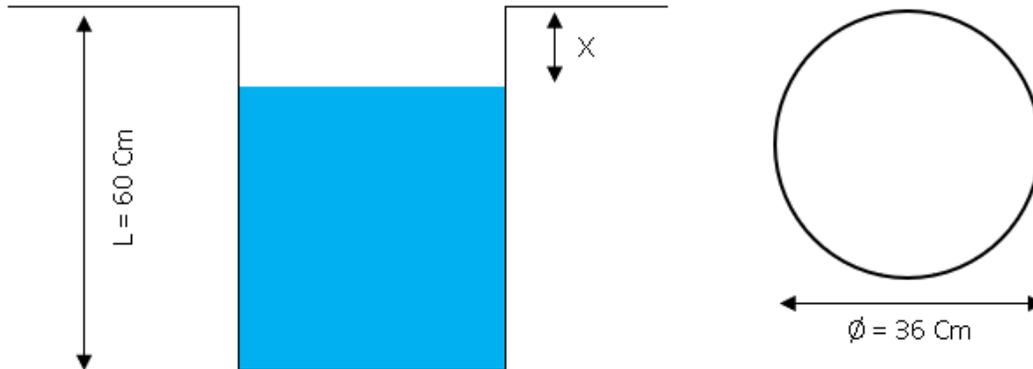


Figura 21 Granulometría del abanico aluvial de la Ciudad.

Con los resultados granulométricos obtenidos en la Figura 21 se pudo determinar que el tipo de suelo encontrado en campo pertenece al abanico aluvial de la ciudad. Según la norma AASHTO es clasificado como A-1-a y según USC como GW-GM (Grava Limosa Bien Gradada) con una excelente gradación de los tamaños de granos, los ensayos de límites líquido y plástico son NP puesto que el material no es cohesivo lo cual según todo lo anterior lo hace muy favorable en cuanto a capacidades de retención y permeabilidad.

## 15.2. Permeabilidad



No. de Ensayos	T (Minutos)	H (Centímetros)
1	10	3
2	10	3.5
3	10	3.2
4	10	3.3

$$k = \frac{V * L}{H * A * t}$$

Donde:

V= Volumen Promedio Drenado.

L= Distancia en el Interior de la Muestra de Suelo.

H=Perdida de Carga Hidráulica Total entre los puntos 1 y 2, bajo el cual se produce la infiltración.

A= Área o Sección Transversal de la Muestra.

T= Tiempo necesario para que el Volumen de Agua atraviese la Muestra.

Área:

$$\frac{\pi * \emptyset^2}{4} = \frac{\pi * 36^2}{4} = 1.017,87 \text{ Cm}^2$$

H<sub>prom</sub>:

$$\frac{\sum * H}{n} = \frac{(3 + 3.5 + 3.2 + 3.3)}{4} = 3.25 \text{ Cm}$$

V:

$$A * H_{prom} = 1.017,87 \text{ Cm}^2 * 3.25 \text{ Cm} = 3.308,1 \text{ Cm}^3$$

k:

$$\frac{3.308,1 \text{ Cm}^3 * 60 \text{ Cm}}{3,25 \text{ Cm} * 1.017,87 \text{ Cm}^2 * 600 \text{ Seg}} = 0.100 \text{ Cm/Seg}$$

		Coeficiente de permeabilidad, (cm/s)											
		100	10	1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>
Drenaje		Bueno					Pobre			Prácticamente impermeable			
Tipo de suelo	Grava limpia	Arenas limpias y mezclas limpias de arena y grava			Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla, morenas glaciares, depósitos de arcilla estratificada					Suelos "impermeables", es decir, arcillas homogéneas situadas por debajo de la zona de descomposición			
							Suelos "impermeables", modificados por la vegetación o la descomposición. <sup>a</sup>						
Determinación directa de k	Ensayo directo del suelo "in situ" por ensayos de bombeo. Se requiere mucha experiencia, pero bien realizados son bastante exactos.												
	Permeámetro de carga hidráulica constante. No se requiere mayor experiencia.												
Determinación indirecta de k	Permeámetro de carga hidráulica decreciente. No se requiere mayor experiencia y se obtienen buenos resultados			Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados dudosos. Se requiere mucha experiencia.			Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados de regular a bueno. Se requiere mucha experiencia.						
	Por cálculo, partiendo de la curva granulométrica. Sólo aplicable en el caso de arenas y gravas limpias sin cohesión.								Cálculos basados en los ensayos de consolidación. Resultados buenos. Se necesita mucha experiencia				

## **16. CONCLUSIÓN.**

Basándose en la información recopilada, se puede concluir el buen potencial en términos de recarga en las variaciones estacionales asociadas a épocas de alta (aumento 0.15m-1.20m) y baja (Reducción 0.20m-0.50m) precipitación, que permiten mantener un nivel freático aceptable para el abastecimiento y aprovechamiento de este recurso.

Geomorfológica y geológicamente se describe el abanico aluvial de Valledupar con un buen potencial para permitir el flujo de agua, ya que su desnivel topográfico, así como sus propiedades sedimentológicas son aptas para el movimiento de fluidos a través de él.

Mediante los análisis fisicoquímicos de pH, turbiedad, cloruros, conductividad, entre otros se puede establecer que el acuífero de Valledupar se encuentra menos contaminado hacia el norte de la ciudad, esto posiblemente a la mayor cantidad de industrias hacia la parte sur de la ciudad. El análisis microbiológico nos permite identificar los bajos niveles de contaminación microbiológica del acuífero, lo que nos permitiría implementar en las aguas subterráneas de Valledupar un proceso de potabilización similar al del agua superficial.

El patrón de flujo descrito en los mapas geoestadísticos de los parámetros fisicoquímicos del agua, nos permiten inferir un flujo N-E, acorde a la dirección trazada por el río Guatapurí, lo que puede ser un indicio de que el acuífero es principalmente abastecido por este cauce fluvial y los niveles de ambas fuentes pueden estar relacionados.

## Bibliografía

- Acosta, I., & Muñoz, J. (2005). *Proyecto Forestal para la Cuenca del Río Chinchiná Departamento de Caldas*. Manizales: Corporación Autónoma Regional de Caldas, (CORPOCALDAS).
- Cañas, H., & Armenta, J. (2004). *EVALUACION DEL POTENCIAL DEL AGUA SUBTERRANEA PARA RIEGO DE LOS ACUIFEROS CONO ALUVIAL Y LLANURA ALUVIAL DE VALLEDUPAR, DEPARTAMENTO DEL CESAR*. Valledupar.
- Castillo, A., Osorio, Y., & Vence, L. (2009). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS UBICADAS EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ*. Valledupar: Universidad Popular del Cesar.
- HERRÁIZ, A. (2009). LA IMPORTANCIA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS. *Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales; Departamento de Ingeniería Hidráulica*, Vol. 103, Nº. 1, pp 97-114.
- MINAMBIENTE. (04 de mayo de 2017). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1631:plantilla-gestion-integral-del-recurso-hidrico-37>
- Ortega, C. (2016). *ACUIFEROS DE VALLEDUPAR*. Valledupar.
- Ortega, c. (2016). *ACUIFEROS DE VALLEDUPAR* . Valledupar.
- Tarback, E., & Lutgens, F. (2005). CIENCIAS DE LA TIERRA. En *CAPITULO 17: Aguas Subterraneeas* (págs. 479-503). Madrid: Pearson Educación S. A.
- Tuinhof, A., Foster, S., & Kemper, K. (2002-2006). Requerimientos de Monitoreo del Agua Subterránea para manejar la respuesta de los acuíferos y las amenazas a la calidad del agua. En *Gestión Sustentable del Agua Subterránea Conceptos y Herramientas*. Washington D.C.: BANCO MUNDIAL PROGRAMA ASOCIADO A LA GWP.