

Evaluación del impacto por aguas subterráneas en suelo utilizado para sistemas
agrícolas en la vereda el Guarumo del municipio de Alpujarra (Tolima)

Héctor Fabián Vargas Navarro

Universidad Católica de Manizales
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Ingeniería Ambiental
Manizales

2018

Agradecimientos

En estas cortas líneas quisiera expresar mis agradecimientos primero que todo a Dios, por haberme guiado hasta este punto de mi vida y haberme dado fortaleza en momentos difíciles y todas las personas que me brindaron su ayuda para realizar el presente trabajo, en especial a los Docentes del programa de Ingeniería Ambiental, Ángela María Álzate Álvarez, Tutora del proyecto, por su apoyo, motivación y orientación brindada a lo largo del desarrollo de esta idea de grado, Diana Carolina Giraldo Ceballos y Wilmar Osorio Viana, por su supervisión y acompañamiento en las pruebas realizadas en laboratorio de la Universidad Católica de Manizales, y a la Directora el Programa de Ingeniería Ambiental María Fernanda Ortiz Revelo, por su apoyo y paciencia a lo largo de la formación profesional dentro de la Universidad Católica de Manizales.

Resumen

El trabajo de Grado que se presenta a continuación muestra como el deterioro de la calidad y el aumento de la demanda del recurso hídrico; sumadas con la constante amenaza del cambio climático, han generado importantes alteraciones en el ciclo hidrológico y la disponibilidad de los cuerpos de agua superficiales. Alpujarra, Municipio del Tolima ha sido afectada por los anteriores fenómenos naturales y de origen antrópicos. Los cuales han llevado a los agricultores a perforar el suelo en búsqueda de agua. El arrastre de minerales por parte de estas aguas pueden favorecer o afectar los sistemas agrícolas presente, por ello se generó un análisis básico dado por los parámetros de Acidez, Alcalinidad, Conductividad, Dureza y pH, con el objetivo de saber la composición e incidencia de este pozo con el pH del suelo, el cual es regado con estas aguas, generando una relación directa entre el agua y suelo, la cual se constató con información obtenida por la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), la Corporación Colombiana de investigación agropecuaria (Corpoica), guías metodológicas e informes del Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, sumadas con artículos y proyectos de investigación de Universidades públicas y privadas Nacionales; con el fin de conocer y diagnosticar de la manera más precisa las condiciones del agua del pozo.

Palabras claves: Agua subterránea, Cambio climático, sistemas agrícolas, suelo, calidad y ciclo hidrológico.

Abstract

The Degree work that is presented below shows how the deterioration of the quality and the increase of the demand of the water resource; added to the constant threat of climate change, they have generated important alterations in the hydrological cycle and the availability of surface water bodies. Alpujarra, Municipality of Tolima has been affected by the previous natural and anthropic phenomena. Which have led farmers to drill the ground in search of water. The trawling of minerals by these waters can favor or affect the present agricultural systems, therefore a basic analysis was generated given by the parameters of Acidity, Alkalinity, Conductivity, Hardness and pH, with the objective of knowing the composition and incidence of This well with the pH of the soil, which is irrigated with these waters, generating a direct relationship between water and soil, which was found with information obtained by the United Nations Organization for Food and Agriculture (FAO), the Colombian Agricultural Research Corporation (Corpoica), methodological guides and reports from the Ministry of Environment and Sustainable Development, added with articles and research projects from National and Public Private Universities; in order to know and diagnose in the most precise way the water conditions of the well.

Keywords: underground wáter, climate change, agricultural systems, floor, quality, hydrological cycle and water well.

Contenido

1.Introducción.....	10
2.Objetivos.....	11
2.1.Objetivo general	11
2.2.Objetivos específicos.....	11
3.Marco teórico.....	11
3.1.Antecedentes.....	11
3.2.Conceptos básicos	15
3.2.1.Ciclo hidrológico	16
3.2.2.Factores que afectan a la infiltración.....	19
3.2.3.El suelo.....	22
3.2.4.Aguas subterráneas	26
3.2.5.Hidrogeología	27
3.2.6.Calidad del agua	31
3.2.7.PH del suelo.....	32
4.Marco normativo	33
5.Metodología.....	37
5.1. Fase 1. Estado del arte de las aguas subterráneas en Colombia	38
5.2. Fase 2: Análisis experimental de los parámetros básicos de las aguas subterráneas y el pH del Suelo	38
5.2.1.Materiales y métodos.....	39
6.Capítulo 1: estado de las aguas subterráneas en Colombia	48

7.Capítulo 2 análisis experimentalmente los parámetros básicos de las aguas subterráneas PH del suelo del guarumo en el municipio de alpujarra que es regados con estas aguas.	58
7.1.Localización la zona de estudio.....	58
7.2.Análisis experimental de los parámetros básicos de las aguas subterráneas y el PH del suelo.....	61
7.3.Muestreo.....	61
7.4.Toma de muestras.....	68
7.5.Cadena de frio.....	71
7.6.Métodos de análisis del agua subterránea	72
7.6.1.Acidez del agua	72
7.6.2.Alcalinidad	74
7.6.3.Conductividad.....	76
7.6.4.Dureza.....	77
7.6.5.pH del agua.....	79
7.6.6.Método de análisis del suelo regado con el agua subterránea	79
8.Resultados.....	83
9.Conclusiones.....	86
10.Recomendaciones	88
11.Referencias	91

Tablas

Tabla 1 Composición Granulométrica.....	24
Tabla 3 Valores de Alcalinidad	42
Tabla 4 Clasificación de la Conductividad.....	44
Tabla 5 Clasificación de la Dureza.....	46
Tabla 6 Clasificación del pH de la muestra.....	48
Tabla 7 Formato visita de campo	63
Tabla 8 Parámetros a evaluar	69
Tabla 9 Materiales para el análisis de los parámetros	69
Tabla 10 Resultados Acidez	72
Tabla 11 Resultados Alcalinidad.....	74
Tabla 12 Conductividad	76
Tabla 13 Resultado Dureza	78
Tabla 14 Resultados determinación de pH.....	79
Tabla 15 Determinación de pH de los suelos	82
Tabla 16 Resultados de Caracterización del Agua	83
Tabla 17 Comparación del Agua.....	85

Figuras

Figura 1 Representación del sistema Hídrico	17
Figura 2 Infiltración del agua	21
Figura 3 Horizontes del suelo.....	22
Figura 4 Esquema de aguas subterráneas	27
Figura 5 Determinación de Acides	40
Figura 6 Determinación de Alcalinidad.....	41
Figura 7 Determinación de la Conductividad.....	43
Figura 8 Determinación de la Dureza.....	45
Figura 9 Determinación del pH	46
Figura 10 Determinación del pH del Suelo	47
Figura 11 Provincias Hidrogeológicas	52
Figura 12 Localización de Sistemas Acuíferos de Colombia.....	55
Figura 13 Agua Subterránea en Colombia	57
Figura 14 Municipio de Alpujarra	59
Figura 15 Localización del Área de Estudio	60
Figura 16 Área Aferente	62
Figura 17 Localización del Pozo	65
Figura 18 Producción Pecuaria.....	65
Figura 19 Pozo.....	66
Figura 20 Boca del Pozo.....	66
Figura 21 Tanque de Almacenamiento.....	67
Figura 22 Almacenamiento	67
Figura 23 Tanque de Almacenamiento.....	68
Figura 24 Titulación Acidez	73

Figura 25 Titulación Alcalinidad.....	75
Figura 26 Toma de conductividad.....	76
Figura 27 Determinación Dureza	78
Figura 28 Secado del suelo.....	80
Figura 29 Tamices	81
Figura 30 Determinación del pH	82

1. Introducción

Las aguas subterráneas representan más del 95% de las reservas mundiales de agua dulce; dadas sus grandes reservas, amplia distribución geográfica y buena calidad en general. El agua subterránea hace parte del ciclo hidrológico, tiene su origen en la lluvia, parte de la cual se infiltra directamente a través del suelo, o desde los ríos y los lagos, por grietas y poros de las unidades rocas-sedimentos, hasta alcanzar un nivel impermeable que no la deja descender más (Vélez, 1999). La perforación del suelo en búsqueda de acuíferos ha aumentado a lo largo del mundo y Colombia como alternativa de abastecimiento. En la vereda del Guarumo, Municipio de Alpujarra Tolima se desarrolla un sistema de extracción de aguas subterráneas con el fin de abastecerse, esto debido a la disminución de las precipitaciones y cuerpos de agua superficiales, los cuales son necesarios para el riego de cultivos, mediante la extracción de agua subterránea, las cuales hacen parte de los recursos presentes en el subsuelo, el cual brinda alternativas para el desarrollo de la sociedad, donde también puede convertirse en fuentes para consumo humano en zonas con altas demandas de agua potable y de gran relevancia al momento de llevar a cabo proyectos agrícolas y pecuarios. El recurso hídrico extraído en este municipio, no tiene ningún tratamiento por lo que se busca evaluar el impacto de las aguas subterráneas en un sistema agrícola en la vereda el Guarumo. Debido a que las aguas subterráneas arrastran minerales que contienen los suelos o rocas, ricas en cationes básicos (calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (k) y sodio (Na) y una acumulación de cationes ácidos (aluminio-Al- e Hidrogeno-H-), en grandes concentraciones pueden limitar el crecimiento de las plantas debido a una combinación de factores que incluyen la toxicidad del aluminio (Secretaria Distrital de Ambiente,2013).

A partir del análisis experimental del agua subterránea del municipio de Alpujarra se buscará conocer la composición de un agua desde diferentes puntos de vista: químico y físico. Estos componentes presentes en el agua pueden afectar o favorecer a los suelos, de acuerdo a su composición y concentraciones, las cuales permiten generar estrategias para tratar estas aguas, de tal forma que su uso no altere o traiga afectaciones a las producciones agrícolas y pecuarias de esta zona del departamento del Tolima.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar el impacto de las aguas subterráneas en el suelo utilizado para sistemas agrícolas en la Vereda el Guarumo del municipio de Alpujarra (Tolima).

2.2. Objetivos específicos

2.2.1. Realizar un análisis de estado de arte de las aguas subterráneas en Colombia.

2.2.2. Analizar experimentalmente los parámetros básicos de las aguas subterráneas en la Vereda el Guarumo del municipio de Alpujarra Tolima.

2.2.3. Analizar experimentalmente el pH del suelo de Guarumo del municipio de Alpujarra que son regados con estas aguas.

3. Marco teórico

3.1. Antecedentes

En este punto se da un breve recuento histórico a cerca de la evolución a lo largo de los años, en el aprovechamiento de las aguas subterráneas y como es papel en diferentes sectores productivos a lo largo del mundo y Colombia. El agua subterránea se tiene su origen precipitación en forma de lluvia, en este proceso el agua se puede perder por el fenómeno de evaporación o por la transpiración de las plantas, escorrentía, el agua

que no se quedó en estos proceso se infiltra verticalmente por en el terreno a favor de la gravedad.

El origen de las aguas subterráneas se remonta a la época greco-romana. En 1400, se perfora el suelo y se establecen los primeros pozos en Arabia y los Khanats de Persia, donde el romano Marco Vitrubio arquitecto de la época dictamino que esta agua provenía de la infiltración en el suelo de la lluvia y la nieve Campos (1997) (citado por Rodríguez, 2005, p. 12). Años más tarde se dieron unos aportes significativos por parte de Leonardo da Vinci y Bernard Pelissy, quienes afirmaban que el agua tenía un comportamiento que se podía explicar como un ciclo hidrológico, consiste en el permanente movimiento o transferencia de las masas de agua, de un punto del planeta a otro, en sus diferentes estados (líquido, gaseoso y sólido). (López, Fórnés, Azcoti, Ramos & Villaroya, 2009). Dado por dos factores: La energía solar y la gravedad. La naturaleza ha evolucionado de tal forma que se puede considerar una máquina autónoma e insuperable, administrando las necesidades de la fauna y flora. En la edad media, Perrault genero unos estudios sobre la evaporación; proceso por el cual las moléculas en estado líquido de agua se hacen gaseosas tras haber adquirido suficiente energía para vencer la tensión superficial, la cual se condensa en la troposfera y forma nubes que luego se precipitan. En la misma época Marriotte da a conocer más a fondo el fenómeno de la infiltración, (Días, Alberich, & López 2005).

En el siglo XVII se da inicio los primeros estudios de pozos artesianos, los acuíferos tienen el agua sometida a presión por encontrarse entre dos capas de rocas impermeables que la confinan, cuando al hacer una perforación se rompe la capa superior, el agua sube hasta el nivel estático, que está determinado por un agente de recarga (río, lago, etc.) en contacto con el acuífero (Organización Panamericana de la Salud OPS, 2004, p.20.). En el siglo XVIII y XIX se da el periodo de experimentación y

modernización, donde Darcy hablo sobre las leyes del flujo de aguas subterráneas. La ley fundamental que rige la filtración de agua a través de los suelos y determinado una ecuación para el cálculo de la pérdida de carga debida a la fricción dentro una tubería base ambas de todas las teorías actuales en este campo. (Vélez,1999). Durante los años 1930 y 1950 se da el periodo denominado racionalización, donde se generan estudios y análisis matemáticos de sobre modelos hidrológicos de los cuales sobresalen esquemas como los de Sherman, Theism y Horton. Campos (1997) (citado por Rodríguez, 2005, p. 12).

Luego de ver el origen y un poco de la historia a lo largo de los años sobre la evolución de este tema de investigación específicamente en aquellos relacionados con el agua subterránea, se pude ver que aun en el último siglo, algunos países han adoptado diferentes mecanismos de explotación y extracción de estas aguas, con el fin de abastecer y suplir la demanda de las ciudades, las cosechas, el ganado y la industria. Estados Unidos una de las potencias económicas, potabiliza estas aguas para más del 50% de la población, el 40% del agua es utilizada para la irrigación y proporciona más del 25% de las necesidades de la industria. (UNESCO, 2012). En algunas áreas, sin embargo, el uso abusivo de este recurso ha llevado a la escasez del agua y agotamiento de las aguas de escorrentía debido a la contaminación. Algunos de estos pozos se remontan a muchos siglos y sigue siendo un método importante para la obtención de agua en la actualidad y han sido combinados con la tecnología adaptándose a sistemas de riego y extracción más efectiva y rápida, uno de los ejemplos más claros se da en la región de los High Plains (Estados Unidos), allí la economía agrícola extensiva depende mucho del regadío (Ojeda, 2016).

En Colombia se hace los primeros estudios hidrogeológicos a partir de 1950 con el fin der solución a los problemas de abastecimiento de agua potable en algunas regiones

del país. Existen regiones como el Valle del Cauca y el Urabá Antioqueño donde el agua para riego depende casi que exclusivamente de las aguas subterráneas. En Urabá la explotación del banano depende en gran parte de los recursos de agua subterránea de esa zona, con una explotación 58000 m³/Día, usados en la agricultura, industrial y abastecimiento público; en el norte del país, principalmente en los departamentos de Guajira y Sucre, casi que el agua subterránea es la única fuente de abastecimiento de agua, para consumo humano (Vélez, 1999). A través de la creación de estrategias por parte de la unión interinstitucionales entre entidades públicas y privadas donde se desarrollaron estudios hidrogeológicos en algunos municipios de los departamentos de Boyacá, Cundinamarca y Tolima. Es de resaltar que las áreas cubiertas con los estudios mencionados permitieron el inicio de un Atlas de Aguas Subterráneas para Colombia donde se compilaron y analizaron todo los datos generado de los estudios hidrogeológicos ejecutados (Vélez, 1999).

En la actualidad Colombia está implementando y actualizando los sistemas de control y lineamientos sobre la explotación de este recurso hídrico presente en el suelo, esto debido al aumento de las zonas de demanda de los reservorios subterráneos, en donde se han hecho estudios por parte de las entidades públicas competentes a cerca de la disponibilidad cuantitativa y cualitativa, actualizado el mapa de potencial de aguas subterráneas.

En el Municipio de Alpujarra Tolima, no se han encontrado registros de sistemas de extracción y aprovechamiento de las aguas subterráneas, debido a que su ubicación le permitía tener una gran cantidad de afloramientos hídricos que suplían las necesidades agrícolas, pecuarias y de la población. La continua variación en el clima y el aumento de la temperatura, han disminuido la cantidad y disponibilidad de los cuerpos de agua de la región, generando escases, así como la necesidad de estrategias que les permitan suplir

sus necesidades en cuanto a la disponibilidad de este recurso, mediante la perforación de orificios en el suelo que permitan la extracción de estas aguas, esta alternativa se viene planteando desde el año 2012 donde han aumentado significativamente el número de sistemas de extracción a lo largo del municipio.

3.2. Conceptos básicos

En este punto se busca dar a conocer los conceptos básicos y necesarios presentes a lo largo del proyecto de investigación, evaluación del impacto de las aguas subterráneas en sistemas agrícolas en la Vereda el Guarumo del municipio de Alpujarra (Tolima), teniendo en cuenta lo planteado en los objetivos y metodología de desarrollo.

Dentro de la investigación se resaltan conceptos técnicos a cerca de los temas que rodean el tema de aguas subterráneas, las cuales son fuentes de abastecimiento en muchas zonas del territorio colombiano, que carecen de la presencia de cuerpos de aguas superficiales, provenientes de las actividades agrícolas, industriales y domésticas. Para dar desarrollo a lo anteriormente nombrado se clasifican de acuerdo a los campos e análisis que se pretenden tocar a lo largo de este proyecto.

Con el propósito de desarrollar esta investigación se debe tener muy en cuenta que la oferta de aguas subterráneas depende del ciclo del agua, siendo la precipitación el insumo más importante y la calidad del agua se relaciona directamente con la geomorfología del lugar y características de los suelos. El ciclo hidrológico de la tierra es un mecanismo global que hace posible la transferencia desde los océanos a la superficie y desde la superficie, o de la subsuperficie al subsuelo y a la atmósfera que envuelve nuestro planeta. Las principales variables son: la precipitación, escorrentía, evaporación y transpiración. Las actividades humanas pueden alterar los componentes del ciclo natural mediante afectaciones del uso del suelo y a través de la utilización,

reutilización y vertido de residuos en los recorridos naturales de los recursos hídricos superficiales y subterráneos (Vargas et al, 2013).

3.2.1. Ciclo hidrológico

Para el desarrollo de esta investigación es necesario tener en cuenta el ciclo de agua debido a que la transferencia y movimiento de la masa de agua generado por el cambio de estados y animado por la energía solar y la gravedad generan un circuito cerrado perfecto denominado ciclo hidrológico, el cual ha sido interferido y presenta fugas debido al impacto que han generado el hombre, generando deterioro en la calidad, disminuyendo la disponibilidad y amentando la demanda, en ese sentido es necesario dar a conocer los componentes básicos del ciclo (Vargas et al, 2013).

Es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y re evaporación. Este involucra un proceso de transporte re circulatorio e indefinido o permanente, este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento) (Gálvez, 2011, p.6).

De acuerdo con lo anterior se puede describir el proceso del ciclo hidrológico como:

Figura. 1 Representación del sistema Hidrológico

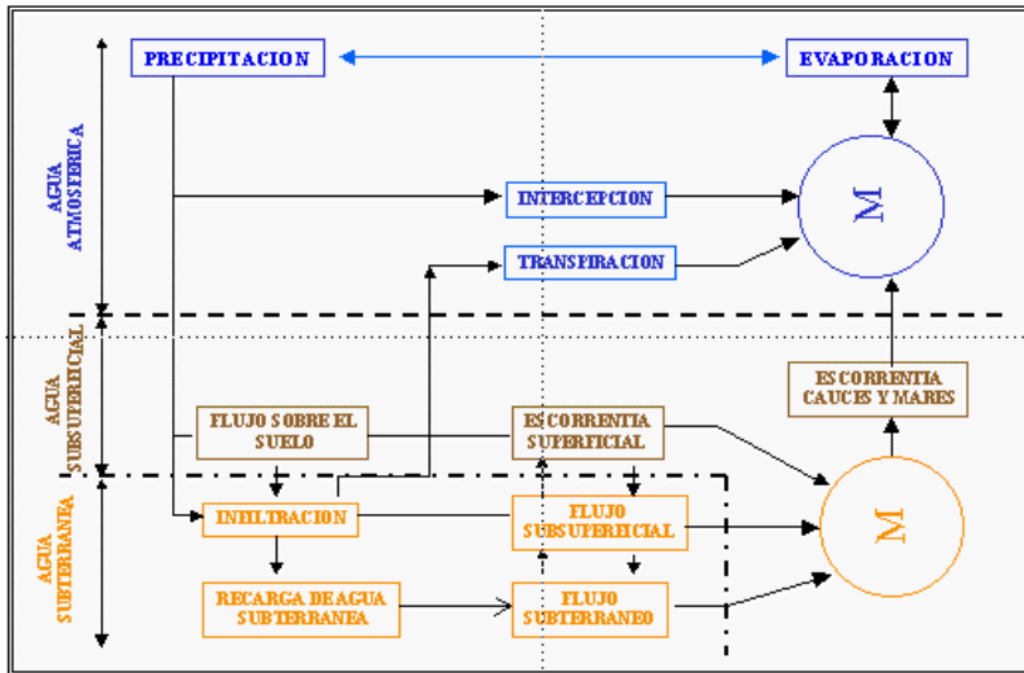


Figura. 1 Muestra el ciclo del agua y su proceso en la atmosfera representado por el color azul, en el suelo representado por las figuras de color café y en el subsuelo dado por el color naranja(Gálvez Ordoñez, 2011, p.9).

El ciclo hidrológico es calificado como un sistema el cual lo conforman un conjunto de partes que interactúan entre sí, las cuales son:

Precipitación

Se denomina precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). Ellas son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión, para la formación de la precipitación se requiere la condensación del vapor de agua atmosférico. La saturación es una condición esencial para desbloquear la condensación (Gálvez, 2011, p.9).

Evaporación

La evaporación es fenómeno de origen natural por el agua líquida cambia a un estado gaseoso, este proceso solo se puede llevar a cabo cuando hay agua disponible y requiere que la Humedad de la Atmosfera sea mayor que la de la superficie de evaporación; este proceso requiere grandes cantidades de energía; por ejemplo para evaporar un gramo de agua se requieren 540 calorías de energía de calor a una temperatura de 100 °C (Gálvez , 2011).

Condensación

La condensación se da cuando hay un cambio en el estado de la materia en el caso del agua de vapor a líquido debido a la disminución de la temperatura o también se puede presentar si se comprime el vapor o aumenta la presión. (Gálvez, 2011)

Transpiración

La transpiración es un proceso Fisiológico de los seres vivos en el cual los cuerpos animales y vegetales buscan la regulación de la temperatura, mediante la secreción de agua por los poros, la cual se evapora de manera rápida, debido al aumento de la temperatura (Gálvez, 2011).

Intercepción

Gálvez (2011) afirma que “Es la parte de la precipitación que es interceptada por objetos superficiales, como la cubierta vegetal y estructuras. Parte de esta agua interceptada no alcanza el suelo, debido a que se adhiere y humedece estos objetos, y posteriormente se evapora nuevamente” (p.13).

Escorrentía superficial

Es la porción de lluvia que no es infiltrada, interceptada o evaporada y que fluye sobre las laderas. En realidad la escorrentía superficial, la infiltración y la humedad del suelo son interactivas entre sí, por tal motivo se debe tener cuidado en seleccionar el modelo adecuado para cada caso (Gálvez 2011. p.14)

Escorrentía subsuperficial

“Es el agua que ha sido previamente infiltrada y no alcanza el almacenamiento subterráneo o acuífero, por lo tanto debe ser considerada como parte de la escorrentía” (Gálvez 2011. p. 14)

Infiltración

Rubén Villodas (2008) denomina

La Infiltración como el proceso por el cual el agua penetra el suelo, a través de la superficie de la tierra, y queda retenida por él, o alcanza un nivel acuífero incrementando el volumen anteriormente acumulado. El agua defiende por acción conjunta de las fuerzas capilares y la gravedad, y este proceso se puede subdividir en percolación e infiltración (p. 179).

3.2.2. Factores que afectan a la infiltración

Condiciones de superficies

El grado de compacidad que presenta la superficie del terreno tendrá notable incidencia en la forma en que se efectuó la penetración del agua, por lo tanto, esto influye en la capacidad de infiltración del suelo.

En el caso que se presenten superficies desnudas, el suelo está expuesto a un choque directo de las gotas precipitadas, lo que puede ocasionar la compactación del

suelo, provocando la disminución de la infiltración, debido al taponamiento de los poros y grietas de suelo, esto hace que se presente una mayor escorrentía superficial debido a la baja capacidad de infiltración por el sellado de la superficie y capas superiores. Pero cuando el suelo presenta vegetación las plantas evitan la compactación de los suelos por impacto de la lluvia, retardando a su vez el recorrido de agua superficial, exponiéndola más a una posible infiltración, debido a que las raíces de las plantas abren conductos que facilitan la infiltración del agua. La topografía del terreno es muy influyente en el tiempo de retención de la capa de agua, a mayor pendiente la escorrentía es mayor y capacidad de encharcamiento es menor; en zonas con afloramientos rocosos, sin formación del suelo, la infiltración puede ser nula (Villodas, 2008).

Características del Suelo

La textura y la estabilidad estructural de suelo influyen directamente, ya que un suelo con gran cantidad de limos y arcillas está expuesto a la degradación y arrastre de estos materiales por el agua, llenando los poros desde la parte superior hasta la parte inferior más profunda. La estructura presente en el suelo da origen al tamaño del poro, cuando los poros presentan grandes espacios reducen la tensión capilar, favoreciendo la entrada de agua (Villodas, 2008).

Condiciones Ambientales

La humedad inicial del suelo representa gran importancia en el proceso, cuando el suelo se encuentra seco al inicio de la precipitación se crea una fuerte capilaridad al humedecerse las capas superiores, efecto que se suma al de la gravedad, aumentando significativamente la infiltración, a medida que el suelo absorbe agua, las arcillas y coloides se hinchan por la hidratación, cerrando los vacíos disminuyendo la capacidad de infiltración. Cuando un suelo se encuentra con bajos porcentajes de humedad, este posee toda su capacidad de absorción de agua (Villodas, 2008).

Características del fluido que se infiltra

Para empezar, es importante considerar el volumen de agua sobre el suelo, la cual favorece la infiltración. La turbidez que contiene el agua puede aumentar la colmatación debido a que estas aguas contienen material muy fino que penetra los poros disminuyendo la intensidad de infiltración, favorece la formación de floculó con los coloides del suelo reduciendo de consecuencia la intensidad de infiltración; la temperatura del agua afecta su viscosidad, es decir la facilidad con que aquella discurra por el suelo. (Villodas, 2008).

Figura. 2 Infiltración del agua

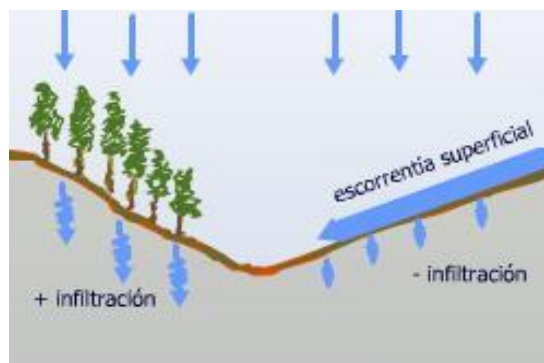


Figura. 2 Ilustra el proceso de infiltración, en el cual la zona con vegetación favorece el proceso y la zona desnuda disminuye la infiltración del agua debido a la compactación del suelo (Universidad Complutense de Madrid, 2014).

De acuerdo con lo anteriormente mencionado, podemos decir que el ciclo hidrológico, “es el mecanismo global que hace posible la transferencia de agua desde los océanos a la superficie y desde la superficie, o subsuperficie al subsuelo y a la atmósfera que envuelve nuestro planeta. Las principales variables naturales de los procesos del ciclo hidrológico son: precipitación, infiltración, escorrentía, evaporación y transpiración”. (Vargas et al., 2013). Para la contextualización y desarrollo de este documento es muy importante tener en cuenta el recurso suelo y como este puede incidir dentro la composición, almacenamiento y recarga de las aguas subterráneas.

3.2.3. El suelo

Prado, Siebe, Wolf, Martínez & Mora (2015), establecen que

El suelo es el material que resulta de la interacción de las rocas y el material orgánico superficial, el cual es modificado por la acción del agua de lluvia, la radiación solar y el viento. En este sentido, la materia sólida del suelo está representada por minerales y materia orgánica con diferente grado de descomposición, que se re arreglan para dar lugar a un espacio poroso, que puede estar ocupado por agua y/o aire (p.25).

Perfil del suelo

La meteorización por acción física, química y biológica, en largos periodos de tiempo se desarrolla suelos más profundos, con capacidad de albergar grandes plantas, estas capas que se han generado a lo largo de los años reciben el nombre de horizontes los cuales se caracterizan por sus composiciones bióticas y abióticas, los cuales se pueden apreciar con un perfil de suelo, corte vertical del suelo.

Figuran. 3 Horizontes del suelo

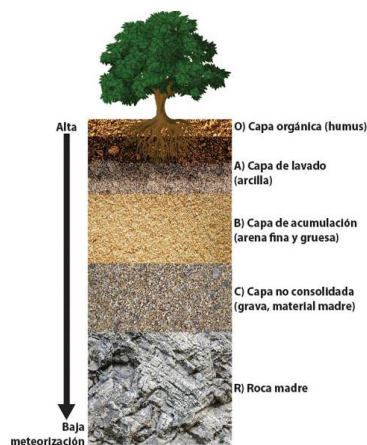


Figura. 3 Nos permite ver e identificar los límites y perfiles del suelo de manera más clara y precisa (Prado et al., 2015).

Horizonte A (Horizonte de Lixiviación o lavado): está dado por un color oscuro debido a la abundancia de materia orgánica, muy rico en humus, con carencia en

minerales solubles debido a que el agua lluvia los disuelve arrastrándolo hacia horizontes inferiores. Si el Horizonte A esta muy desarrollado se puede distinguir los tres subniveles que los componen: en la superficie de horizonte suele haber gran acumulación de materia orgánica poco descompuesta y recibe el nombre de Horizonte 0 o A₀, le sigue una zona es muy rica en humus denominada 1 o A₁ y el subnivel A₂ se presenta un predominio de los minerales sobre el humus.(Universidad de Murcia, 2010)

Horizonte B (Horizonte de precipitación y acumulación): En este horizonte se acumulan las sales minerales disueltas provenientes del horizonte A, es característica de este horizonte tener grandes cantidades de arcilla y posee un color más claro que el anterior horizonte. (Universidad de Murcia, 2010)

Universidad de Murcia (2010) Afirma: Horizonte C (de transición): Constituido por la roca madre en proceso de meteorización, conformado por fragmentos de la roca madre rodeada de una matriz de naturaleza areno-arcillosa integrada por minerales heredados y de alteración (p.4).

Universidad de Murcia (2010) Afirma: Horizonte D (Roca Madre): la roca madre sin alterar o sufrir proceso de meteorización. (p.4)

Composición del suelo fase: solida, liquida y gaseosa

Fase solida: La fase solida se divide en orgánica e inorgánica. La orgánica son fragmentos de roca y minerales producto de la meteorización, en los cuales se pueden encontrar gravas, arenas, limos y arcillas; Las arcillas son parte de agregados como el humus muy importante para la fertilidad de los suelos por su contenido en sales minerales. La inorgánica está compuesta por materia orgánica proveniente de los seres vivos que se encuentra con algún grado de descomposición, cuando esta es muy avanzada recibe el nombre de humus, esta es capaz de retener agua y favorece la aireación del suelo al

aglutinar partículas minerales haciéndolo más poroso y aumentando la fertilidad del suelo.(Universidad de Murcia, 2010)

Fase Líquida: Es el agua que contiene sales minerales y coloides de arcillas y humus. El agua se encuentra en los poros del suelo, pero si los poros son demasiado pequeños no pueden ser absorbidos por las raíces y si estos son demasiado grandes también evitan su absorción debido a que se infiltra por la gravedad, para formar parte del agua subterránea. (Universidad de Murcia, 2010, p. 1)

Fase Gaseosa: Representa el aire que se encuentra en los poros de gran tamaño y aquellos donde el agua se ha consumido, su composición es similar a la del aire atmosférico, pero con menor proporción de O₂ y mucho mayor de CO₂ debido a la gran actividad biológica que se desarrolla en el suelo. (Universidad de Murcia, 2010)

Clasificación del suelo

La clasificación de los suelos se realiza de acuerdo con el tamaño de las partículas que lo componen, denominado “Composición Granulométrica”, el Límite Líquido y el Índice de Plasticidad, dicha clasificación es realizada por la entidad AASHO de USA. (Universidad de Murcia, 2010)

En el siguiente cuadro se presenta la clasificación de las partículas del suelo, las que se clasifican en consideración a su diámetro.

Tabla.1 Composición Granulométrica

Tipo de partícula	Diámetro (mm)
Grava	Mayo a 2

Arena	De 0,05 a 2
Limo	De 0,002 a 0,05
Arcilla	Menor a 0,002

Tabla.1 Muestra los tipos de partículas y el diámetro que poseen, cada uno de los componentes con mayor presencia en los suelos

Calidad del suelo

Este concepto hace alusión a la capacidad que tiene el suelo para funcionar y realizar sus procesos naturales. Incluye atributos como fertilidad, productividad potencial, sostenibilidad y calidad ambiental. De igual manera, es un instrumento que sirve para comprender la utilidad y salud de este recurso. El término calidad del suelo se empezó a acotar al reconocer las funciones del suelo: promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible); atenuar contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental); y favorecer la salud de plantas, animales y humanos. Al desarrollar este concepto, también se ha considerado que el suelo es el substrato básico para las plantas; capta, retiene y emite agua; y es un filtro ambiental efectivo. En consecuencia, este concepto refleja la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites del ecosistema del cual forma parte y con el que interactúa (Bautista Curz, Barra Etchevers, Del Castillo, & Gutierrez, 2004, p. 90).

De acuerdo con la contextualización anterior y la combinación de diferentes factores naturales procedentes del ciclo del agua y la composición, formación y comportamiento de los suelos, se generan cavidades en el subsuelo capaces de almacenar grandes volúmenes de agua, que son alimentados por la precipitación o cuerpos de aguas superficiales, denominados acuíferos y aguas subterráneas.

3.2.4. Aguas subterráneas

Vargas et al., (2013) Afirma “El agua subterránea tiene su origen en la lluvia, parte de la cual se infiltra directamente a través del suelo, o desde ríos y lagos, por grietas y poros de las unidades roca-sedimento, hasta alcanzar un nivel impermeable que no la deja descender más”(p.18). En el subsuelo se encuentran formaciones geológicas consistentes en unidades roca-sedimento porosas (arenas, gravas, etc.), o fracturadas (calizas, areniscas, lavas, etc.) las cuales pueden contener agua en sus intersticios. Los terrenos que la contienen y la pueden ceder se denominan acuíferos. Estos acuíferos pueden tener extensiones laterales de cientos a millones de metros constituyendo acuíferos locales en el primer caso y regionales en el segundo ITGE (1987).(Citado por Vargas et al., 2013).

El agua precipitada se va acumulando con los años, llenando los acuíferos, y poco a poco circula a favor del gradiente, hasta encontrar un nivel de salida a la superficie en puntos definidos que se convierten en manantiales o fuentes, o de forma difusa, en áreas tales como los lechos de los ríos, cuyo caudal es mantenido por las aguas subterráneas especialmente en los estiajes (Vargas et al., 2013,p.29)

Figura. 4 Esquema de aguas subterráneas

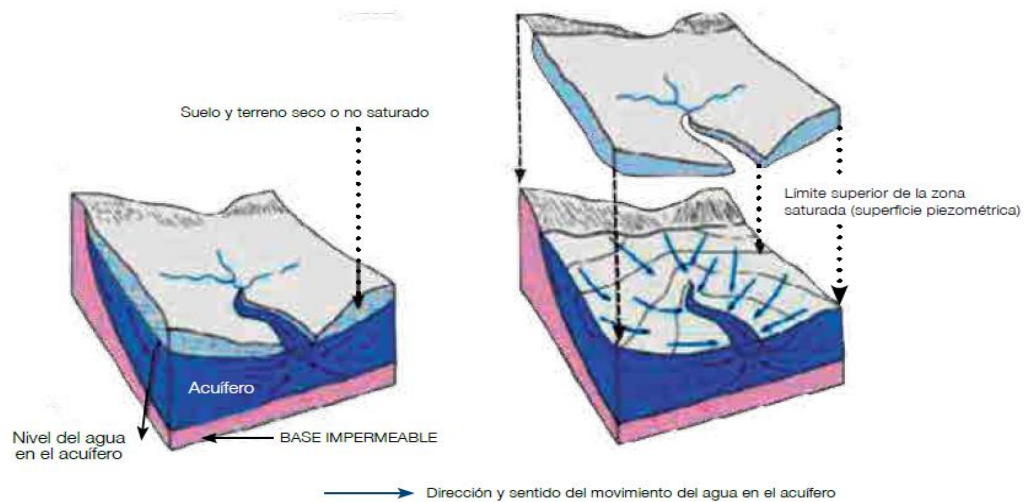


Figura 4. Muestra dos figuras, la primera ubicada en la margen izquierda, delimita el suelo, el nivel del agua y la base impermeable, capas que componen el sistema de agua subterráneas en el cual se puede observar la dirección y sentido del acuífero. En cuanto a la figura de la margen derecha nos muestra el movimiento del agua dentro del suelo en el proceso de infiltración hasta llegar al acuífero (Vargas et al, 2013).

Para comprender las manifestaciones del agua subterránea, se requiere estudiar la distribución vertical de esta dentro de los materiales geológicos subsuperficiales o formaciones. A mayor o menor profundidad todos los materiales de la corteza terrestre, son normalmente porosos. Los poros o aberturas pueden encontrarse parcial o totalmente saturados de agua.(OPS, 2004., p. 18)

3.2.5. Hidrogeología

Organizacion Panamericana de la Salud, (2004) afirma “La hidrología de las aguas subterráneas o hidrogeología, se define como el estudio del origen, ocurrencia, repartición y distribución del agua debajo de la superficie del suelo, estudia además los movimientos inherentes a ella” (p.15); la recarga e hidráulica de las aguas terrestres en las zonas saturadas y no saturadas de las formaciones geológicas, sus interacciones con el medio

bióticos, abióticos y sus reacciones a las acciones del hombre. La hidrogeología contempla el estudio de aguas subterráneas cuyas reservas suelen ser útiles para fines diversos y por tanto sus condiciones de explotabilidad y calidad de las mismas involucra el análisis de varios factores. La hidrogeología es una rama de la geología que involucra además otras disciplinas tales como geología, geomorfología, hidrología, climatología, hidráulica, hidrogeoquímica y geofísica (Navarro, 2002.,p. 6)

La detección de aguas subterráneas y su potencial explotabilidad concierne al conocimiento de varios parámetros específicos cuantificables y que pueden determinarse solo mediante perforaciones de pozos, sondeos gravimétricos, sondeos electromagnéticos, pruebas especiales de bombeo, lo cual implica detalles no conocidos para la mayor parte del área y por tanto está fuera del alcance del presente proyecto.

En términos hidrogeológicos el almacenamiento y movimiento del agua subterránea depende de la porosidad y capacidad de las rocas para albergar agua pero no toma en cuenta la calidad del agua pueda circular por la roca; la permeabilidad es el proceso en el cual el agua pasa por los poros gravimétricamente, la transividad y el coeficiente de almacenamiento. La porosidad es la relación entre el volumen de espacios vacíos y el volumen total de la roca o unidad (Navarro, 2002.,p. 9).

Acuíferos

La OPS (2004) Define un acuífero como “la formación acuífera a cualquier estrato geológico capaz de almacenar y transmitir agua. Por consiguiente, para que un pozo produzca agua se necesita que esté en contacto con una formación acuífera” (p.17).

De igual manera, López (2009) lo define como “una o más capas subterráneas de roca o de otros estratos geológicos, que tienen la suficiente porosidad y permeabilidad

para permitir ya sea un flujo significativo de aguas subterráneas, o la extracción de cantidades significativas de aguas subterráneas” (p. 20).

Existen dos tipos de acuíferos:

Acuífero libre: “Son generalmente someros, donde el agua se encuentra dentro de los poros y fisuras por acción de la gravedad. La superficie hasta donde llega el agua es denominada superficie freática y en los pozos es conocida como nivel freático” (Ministerio de Ambiente 2003, p. 14)

Acuíferos Confinados: “En estos acuíferos e agua se encuentra a presión entre capas impermeables, de modo que si se extrae agua no queda ningún poro vacío, solo se disminuye la presión del agua que colabora con la suspensión de todos los materiales; provocando en algunos casos asentamiento del terreno” (Ministerio de Ambiente 2003, p.14).

Pozos de extracción de aguas subterránea

La perforación manual de pozos profundos se realiza mediante una técnica fácil, económica y rápida. Esta técnica fue adoptada por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias de Ambiente (CEPIS), la Organización Panamericana de la Salud (OPS), organizaciones que combinan los sistemas de rotación y percusión, donde el origen de la fuerza motriz es la fuerza humana de los operadores y perforadores (Ministerio de Ambiente, 2003., p. 13).

De acuerdo con lo anterior podemos decir que el agua subterránea por estar en contacto con el suelo y por su creciente demanda para suplir las necesidades del hombre es muy vulnerable a ser alterada fisicoquímicamente, es muy importante evaluar la calidad de estas aguas.

Composición de las aguas subterráneas

Las aguas subterráneas tienen mayor oportunidad de disolver materiales que las aguas superficiales, debido a su prolongado contacto con las formaciones geológicas a través de las cuales se desplaza. La composición química natural de las aguas subterráneas (López Geta et al., 2009).

Resultado de los siguientes procesos:

La evapoconcentración de las sales atmosféricas aportadas como aerosol marino, polvo y sales disueltas en el agua de lluvia; la interacción del agua con los minerales del suelo, ya sea hidrolizándolos o por cambio en el estado de oxidación-reducción; la incorporación de aguas salinas residuales (relictas) que aún no han sido lavadas (López Geta et al., 2009., p. 23).

Este mismo referente expone que la mayoría de las sustancias disueltas en el agua subterránea se encuentran en estado iónico, algunos iones están presentes casi siempre y su suma representa casi la totalidad de los iones disueltos, estos iones mayoritarios son los cationes: calcio, magnesio, sodio y potasio; y los aniones: bicarbonato, sulfato y cloruro. Es frecuente que el anión nitrato se considere dentro del grupo de iones mayoritarios, aun cuando su concentración es pequeña si los efectos antrópicos son poco importantes. La presencia del ion carbonato está condicionada a un $\text{pH} > 8,3$, lo cual es poco frecuente, por su parte, las aguas subterráneas suelen contener cantidades apreciables de ácido silícico no disociado, que se suele expresar como sílice disuelta. El resto de iones y sustancias disueltas se encuentran por lo general en cantidades notablemente más pequeñas que las de los iones mayoritarios, las especies químicas disueltas en las aguas subterráneas van a estar condicionadas, entre otros factores, por el

pH, la temperatura y el oxígeno disuelto del agua subterránea. El pH suele variar entre 6,5 y 8. La temperatura del agua subterránea en la zona superior del acuífero.(López, 2009., p. 25)

3.2.6. Calidad del agua

El desarrollo industrial, agrícola, pecuario y social han generado una serie de residuos los cuales contaminan y deterioran la propiedades físicas y químicas de los cuerpos aguas subterráneos y superficiales, generando la noción calidad de agua, concepto de gran importancia del medio hídrico, donde podemos destacar su caracterización, desde la perspectiva de planificación y gestión de recurso hidrológico. Ministerio de Medio Ambiente de España (2000) Afirma, “La calidad de las aguas puede verse modificada tanto por causas naturales como por factores externos. Cuando los factores externos que degradan la calidad natural del agua son ajenos al ciclo hidrológico, se habla de contaminación” (p.196). Esta se mide por medio de la evaluación cuantitativa y cualitativa de las propiedades físicas y químicas de un agua en análisis, en la cuales se evalúan los componentes microbiológicos mediante pruebas de laboratorio (Ministerio de Medio Ambiente de España, 2000).

Parámetros fisicoquímicos

La composición de un agua puede contemplarse desde diferentes puntos de vista: químico, bacteriológico, isotópico etc. La composición química del agua subterránea natural se define a partir de los análisis de muestras recogidas adecuadamente y se cuantifica por medio de la concentración de cada constituyente analizado. (San D. 2009., p.22)

A lo largo del tiempo. Las aguas superficiales han sido afectadas por el vertimiento de diferentes sustancias producto de las actividades antrópicas; deteriorando la calidad de

los diferentes acuíferos que proveen corregimientos, municipios y ciudades a lo largo del mundo. Las aguas subterráneas juegan un papel de enorme importancia, como una alternativa de abastecimiento para las diferentes necesidades, en áreas donde el balance demanda-disponibilidad de cuerpos superficiales presente es crítica y de escasas. (Vélez, 1999)

Para el desarrollo de análisis se manejan unas metodologías y métodos que permiten determinar parámetros y sustancias que alteren la calidad de las aguas; para el análisis de las aguas subterráneas se tomarán en cuenta cinco parámetros: El pH nos permite determinar la intensidad del carácter básico o ácido de una solución. (IDEAM, 2007), La conductividad capacidad del agua de conducir corriente eléctrica, este parámetro está relacionado con la concentración de iones disueltos en el agua, La acidez, esta va ligada a la capacidad del agua para reaccionar con una base fuerte hasta un pH determinado, el valor medio depende significativamente del pH seleccionado como punto final de la determinación. Los cloruros, el ion cloruro (Cl^-) es uno de los aniones inorgánicos. La dureza, se define como la suma de las concentraciones de iones de calcio y magnesio presentes en el agua, expresada como miligramos de carbonato de calcio por litro. La dureza del agua se debe a presencia de sales orgánicas y minerales, principalmente el calcio y magnesio, y se expresa en términos de $CaCO_3$. (Londoño 2010)

3.2.7. PH del suelo

En los suelos, el pH es usado como un indicador de la acidez o alcalinidad de éstos y es medido en unidades de pH. El pH es una de las propiedades más importantes del suelo que afectan la disponibilidad de los nutrientes, controla muchas de las actividades químicas y biológicas que ocurren en el suelo y tiene una influencia indirecta en el desarrollo de las plantas. (Campillo & Sadzawka 2009., p.52)

4. Marco normativo

Esta parte da a conocer los parámetros que las autoridades competentes han establecido con el fin de ejercer un control en la protección del medio ambiente y los recursos no renovables, los cuales son fundamentales en el desarrollo de las actividades de los seres humanos. El aprovisionamiento de las aguas superficiales y subterráneas es un servicio primordial para el desarrollo de actividades agrícolas, industriales, domésticas, recreativas entre otras, por ello es necesario ejercer un control y garantizar la sustentabilidad de este recurso y su interacción con los diferentes ecosistemas. Para esto, se dictamina la siguiente normativa:

El decreto-ley 2811 de 1974, expedido por el presidente de la república, como el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, el cual dice que el ambiente es patrimonio común de la humanidad y necesario para la supervivencia y el desarrollo económico y social de los pueblos, todo ello llevando a cabo acciones de preservación y conservación, mitigación y prevención de efectos nocivos y la sobre explotación de los recursos naturales, este documento en el capítulo número II, menciona el dominio y causes de las aguas, las cuales son de dominio público, inalienables e imprescriptibles, según el artículo 80°, los modos de adquirir los derechos al uso de las aguas con el fin de satisfacer las necesidades básicas elementales del ser humano, pero sin presentar perjuicios a terceros, este también dictamina el manejo de las aguas de acuerdo a las características y condiciones de uso sujeto a condiciones especiales previamente determinadas para defender las aguas, lograr su conveniente utilización, la ocupación de los causes, el desarrollo de obras hidráulicas, el cual promueve, fomenta, encauza y hacer obligatorio el estudio, construcción y funcionamiento de obras hidráulicas para cualquiera de los usos de los recursos hídricos. El Decreto 1541 de 1978

hace referencia a reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973, en el cual hace referencia a las aguas subterráneas en el capítulo II, titulado aguas subterráneas, donde se muestran los requisitos exigidos para obtener concesión de aguas, La prospección y exploración que incluye perforaciones, su posterior aprovechamiento, tanto en terrenos e propiedad privada como el baldíos y parámetros de control en defensa de su preservación y control en la disponibilidad cuantitativa y cualitativa de las mismas, dados en la sección 1 y sección 2 del presente decreto (Ministerio de medio ambiente, 2012).

Ley 9 de 1979 dictaminada por el congreso de la republica establece las normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en lo que se relaciona a la salud humana y del medio ambiente; en el título II, suministro de agua, en el cual los artículos 58°, 60°, 61° y 62°, los cuales establece que se deben evitar la contaminación de estas por: aguas de mar salobres, aguas residuales o contaminadas, extracción excesiva de agua que reduzca el efecto purificador al atravesar los estratos permeables y otras causas, se deberán tomar las medidas higiénicas y de vigilancia necesarias para el correcto aprovechamiento de los pozos para agua potable, de acuerdo a las normas del Ministerio de Salud (Constitución Nacional de Colombia, 1974., p.28).

El Decreto 1594 de 1984 expedido por el presidente de la republica con el objetivo de dar los criterios de calidad establecidos, tomados como guía para la toma de decisión en el ordenamiento, asignación de usos al recurso y determinación de las características del agua superficiales, subterráneas, marinas y estearinas, incluidas las aguas servidas, para cada uso.

La constitución política de Colombia 1991, establece en el capítulo 3, los derechos colectivos y del ambiente, mediante el artículo 80°, donde el ente encargado, en este caso el estado, planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución (Constitución Política de Colombia, 1991).

Ley 99 de 1993 por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2012., p.1). Esta ley da los principios generales en el desarrollo de la política ambiental colombiana a partir de los procesos de desarrollo económico, sociales y ambientales del país en pro de la conservación de la biodiversidad del país, la utilización del recurso hídrico, formulación de políticas ambientales y preservación de zonas de interés ambiental; en el cual se resaltan los parágrafos 4° y 5° los cuales asignan las funciones en materia de aguas subterráneas a partir del apoyo científico y técnico (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2012).

El Decreto 3930 de 2010 establece políticas encaminadas a garantizar la calidad del agua para consumo humano y, en general, para las demás actividades en que su uso es necesario. Así mismo, regular entre otros aspectos, la clasificación de las aguas, señalar las que deben ser objeto de protección y control especial, fijar su destinación y posibilidades de aprovechamiento, estableciendo la calidad de las mismas y ejerciendo control sobre los vertimientos que se introduzcan en las aguas superficiales o subterráneas, interiores o marinas, a fin de que estas no se conviertan en focos de contaminación que pongan en riesgo los ciclos biológicos, el normal desarrollo de las especies y la capacidad oxigenante y reguladora de los cuerpos de agua (Ministerio de

Ambiente y Desarrollo sostenible, 2012., p.1); estableciendo procesos de ordenamiento del recurso hídrico, la destinación genérica de las aguas superficiales, subterráneas y marinas de acuerdo al uso del agua en los diferentes sectores: Consumo humano y doméstico, Preservación de flora y fauna, Agrícola, Pecuario, Recreativo, Industrial., Estético, Pesca, Maricultura y Acuicultura, Navegación y Transporte Acuático, donde el sector agrícola es el de mayor interés, debido a utilización para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias, mediante los criterios de la calidad el agua para la destinación del recurso (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2012).

El Decreto 1076 de 2015 regula el ordenamiento ambiental del territorio y de define las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del ambiente de la Nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible, sin perjuicio de las funciones asignadas a otros sectores. Allí se compila el decreto 1640 de 2012, donde se establece y reglamenta los instrumentos de para la planificación, ordenamiento y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, el cual fundamenta y considera el artículo 80°, la constitución política colombiana; mediante la clasificación de ecosistemas de gran importancia para la conservación del recurso hídrico, cuencas hidrográficas, sistemas de acuíferos, medios de exportación, el establecimiento de documentos de control y desarrollo de mecanismo cuantitativos y cualitativos de los cuerpos de agua bien sea subterráneo o superficiales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2012).

La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) del año 2010, establece los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción estratégica para el manejo del recurso hídrico en el país, su aprovechamiento eficiente, la prevención y control de la contaminación hídrica, considerando y armonizando los

aspectos sociales, económicos y ambientales que inciden en dicha gestión (Ministerio de Ambiente vivienda y desarrollo territorial, 2010., p.17). Con respecto a las aguas subterráneas, la Contraloría General de la Nación en su “Informe del Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente 2007 – 2008”, menciona que a nivel regional 14 Corporaciones han realizado algún estudio sobre la oferta hídrica subterránea en sus territorios, dado como resultado un Banco Nacional de Datos Hidrogeológicos con registros de información de pozos, aljibes y manantiales, efectuado acciones para la protección de las aguas subterráneas ((Ministerio de Ambiente vivienda y desarrollo territorial, 2010).

El desarrollo de la PNIGRH busca garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante una gestión y un uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social, e implementando procesos de participación equitativa e incluyente, teniendo en cuenta la demanda, oferta, calidad riesgo fortalecimiento institucional y gobernabilidad(Ministerio de Ambiente vivienda y desarrollo territorial, 2010., p. 11). El Plan Nacional de Desarrollo - PND, 2014-2018 incorporó como una de sus líneas de acción, la denominada Gestión Integral del Recurso Hídrico -GIRH. Este componente plantea el reto de garantizar la sostenibilidad del recurso, entendiendo que su gestión se deriva del ciclo hidrológico que vincula una cadena de interrelaciones entre diferentes componentes naturales y antrópicos (IDEAM, 2015., p. 41).

5. Metodología

En este punto se da una contextualización general del desarrollo de los objetivos planteados, dando a conocer cómo se va a llevar a cabo en el cumplimiento de cada uno de ellos, la metodología y los procesos que se van a ejecutar.

5.1. Fase 1. Estado del arte de las aguas subterráneas en Colombia

En la fase número uno se busca hacer un diagnóstico desde una mirada internacional, regional y local, dando a conocer cómo se encuentra Colombia y qué papel ha jugado en el desarrollo de acciones encaminadas a la exploración, manejo, conservación y preservación de los cuerpos de agua subterráneos, que han sido una alternativa para el desarrollo de actividades como la agricultura, la industria, la recreación y para suplir las necesidades básicas de comunidades, pueblos y ciudades.

Los documentos, guías e informes que se tomaron como insumo para el desarrollo del objetivo número uno se consideraron de acuerdo, al nivel de confiabilidad de información, por la fuente que publicó y realizó los documentos como instituciones de carácter público, educativo y privadas en las que se destaca el IDEAM, Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo sostenible, Universidades Nacionales, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Corpoica y entidades Internacionales con gran afinidad en el tema de explotación y manejo de aguas subterráneas, haciendo énfasis en cómo estas entidades posicionan a Colombia dentro del desarrollo, manejo, conservación de estas y de acuerdo con la vigencia de los estudios realizados.

5.2. Fase 2: Análisis experimental de los parámetros básicos de las aguas subterráneas y el pH del Suelo

En la fase número dos se presentan los parámetros que se tomaron en cuenta para la evaluación de la calidad del agua subterránea y la evaluación del PH del suelo regado con esta agua en la Vereda El Guarumo en el Municipio de Alpujarra Tolima, donde se tomaron 5 parámetros, para el recurso hídrico y uno para el suelo. Se tomaron estos parámetros de acuerdo con la diferente bibliografía revisada y de acuerdo con la disponibilidad de desarrollo de estas pruebas dentro de los laboratorios de la Universidad Católica de Manizales.

Para llevar a cabo estas pruebas se tomaron como guía, textos que comprenden los conceptos básicos dados para cada uno de los parámetros involucrados en la evaluación de la calidad de las aguas, fundamentados en estándares internacionales establecidos por APHA AWWA WPCF. Para cada una de las técnicas de análisis se muestra su base teórica y la experiencia dentro del laboratorio. Dentro de las cuales se destaca la Guía Métodos Normalizados para el análisis de agua potable y residual, El Método analítico para la evaluación de la calidad Fisicoquímica del agua, estos dos para la evaluación del recurso hídrico subterráneo y la guía de Caracterización Fisicoquímica de los lodos provenientes de una planta de tratamiento de agua residual industrial de una empresa de café del departamento de Caldas para la evaluación del PH del suelo.

A continuación se presentan las Pruebas realizadas en el laboratorio de calidad de aguas de la Universidad Católica de Manizales; esto de acuerdo a lo establecido por la bibliografía consultada en el capítulo número uno y descrita en la Fase número uno en la que se seleccionaron cinco parámetros para el agua subterránea: Acidez, Alcalinidad, Conductividad, Dureza, PH y uno para el suelo debido al grado de importancia que estos representan en la caracterización básica de un agua empelada en el regadío de cultivos.

5.2.1. Materiales y métodos

Pruebas aplicadas al agua subterránea y Suelo

- Determinación de Acidez. Método titulométrico
- Determinación de Alcalinidad. Método titulométrico
- Determinación de Conductividad. Método Potenciométrico
- Determinación de Dureza. Método titulométrico
- Determinación de pH. Método Potenciométrico
- Determinación de pH del suelo. Método Potenciométrico

Acidez

Materiales: Bureta de 25 ml, Pinzas para Bureta, Soporte Universal, Nueces, Pera de Caucho, Desecador, Pipeta de 20 ml, Vasos precipitadores, Erlenmeyer de 250 ml, Beakers 50 ml y Balanza analítica.

Reactivos: Biftalato de Potasio 0,05 M, Hidróxido de Sodio 0,1 M, Agua desionizada, Fenolftaleína, Estandarización de NaOH 0,1 M, Indicador Mixto (0,02g de rojo de metileno, 0,1 g de verde de Bromo resol, 100 mL de alcohol Etilico (96%) o Isopropilico) y Tiosulfato de sodio 0,1 M.

Método

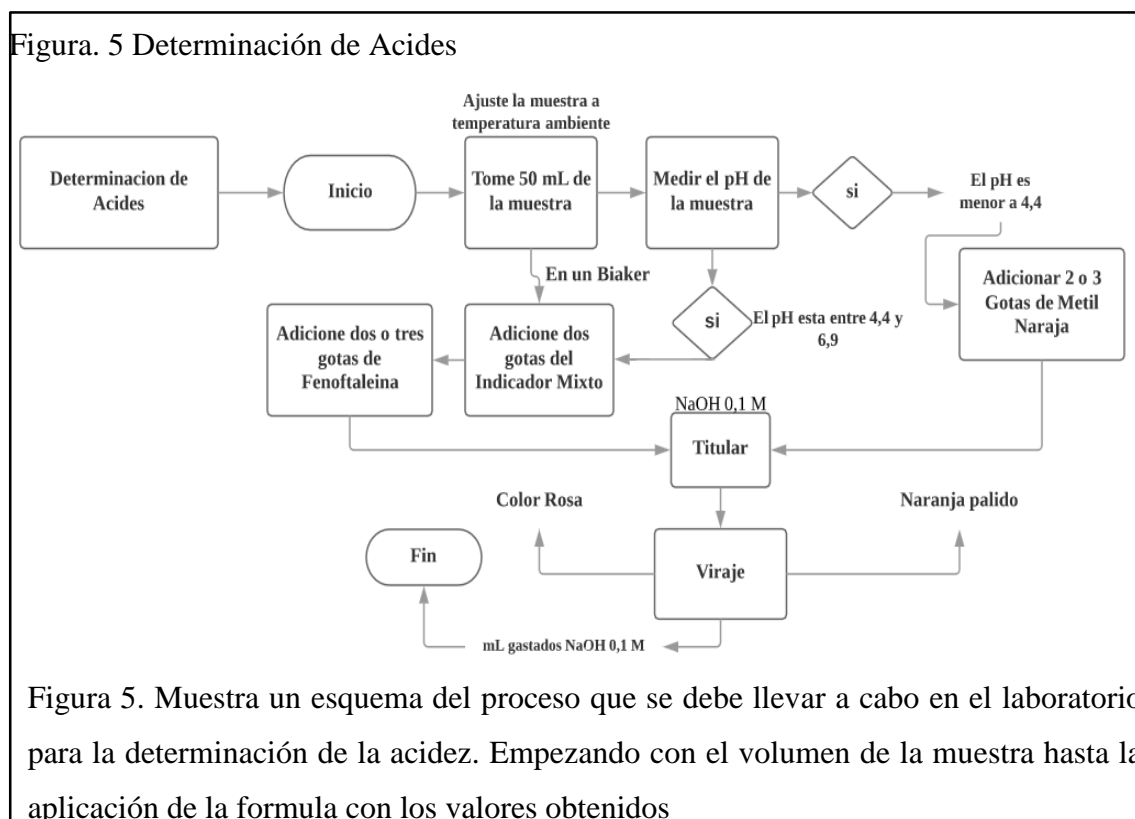


Figura 5. Muestra un esquema del proceso que se debe llevar a cabo en el laboratorio para la determinación de la acidez. Empezando con el volumen de la muestra hasta la aplicación de la formula con los valores obtenidos

Luego de llevar a cabo la determinación de la acidez aplicamos:

Figura 6. Ecuación para la determinación de acidez

$$[Acidez] \text{ mg CaCO}_3/L = \frac{(A \times B) \times 50 \times 1000}{C}$$

$A = \text{mL de la Solucion (NaOH) gastados}$

$B = \text{Nolaridad de NaOH}$

$C = \text{Volumen de la muestra}$

Figura 6. Ecuación que nos permite conocer el valor de acidez a partir de los mL de solución gastados, Normalidad de NaOH y el volumen de la muestra.

Alcalinidad

Materiales: Bureta de 25 ml, Pinzas para Bureta, Soporte Universal, Nueces, Pera de Caucho, Desecador, Pipeta de 20 ml, Vasos precipitadores, Erlenmeyer de 250 ml, Beakers 50 ml y pH-metro.

Reactivos: Sodio tiosulfato 0.1N, Ácido clorhídrico 0.02N, Verde de bromocresol y Fenolftaleína.

Método

Figura. 7 Determinación de Alcalinidad

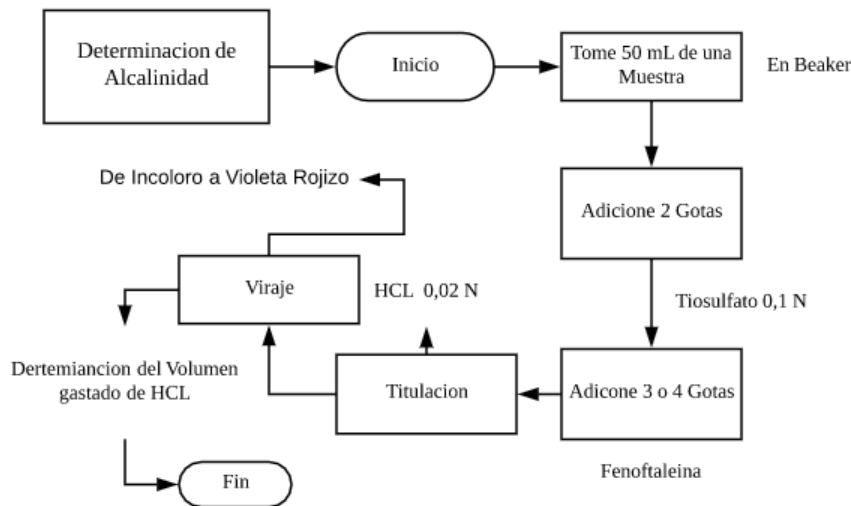


Figura 7. Proceso Metodológico utilizado para la determinación de Alcalinidad en el agua, en el cual se toman 50 mL de la muestra en análisis a los cuales adicionamos fenolftaleína y titulamos con HCL a 0,02 N

Determinación de la alcalinidad por medio de la siguiente formula:

Figura. 8 Determinacion de alcalinidad total

$$[\text{Alcalinidad Total}] \text{ mg CaCO}_3/\text{L} = \frac{(A \times B) \times 50000}{C}$$

$A = \text{mL de la Solucion (H}_2\text{SO}_4\text{) gastados}$

$B = \text{Nolaridad de H}_2\text{SO}_4$

$C = \text{Volumen de la muestra}$

Figura 8. Ecuación matemática por la cual se halla el valor de alcalinidad de la muestra mediante la operación de los valores obtenidos en la titulación.

Tabla. 2 Valores de Alcalinidad

Alcalinidad	
(mg/L CaCO3)	Rango
< 75	Baja
75-150	Media
>150	Alta

Tabla 2. Muestras los valores y rangos de calidad de la alcalinidad que puede presentar un cuerpo de agua

Conductividad

Materiales: Beaker y Potenciómetro

Método

Figura. 9 Determinación de la Conductividad

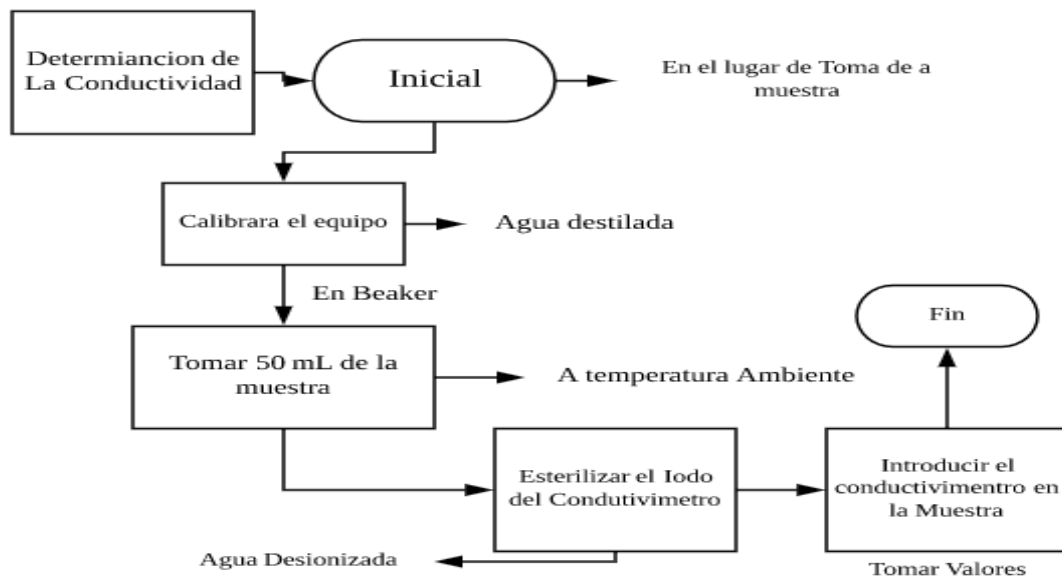


Figura 9. Diagrama de proceso en el cual se explica cómo llevar a cabo la determinación de la conductividad mediante un método Potenciométrico

Luego de llevar a cabo lo explicado en el Método, se espera a que se establezca la medida y se toma el valor dado por el Conductivímetro.

Tabla. 3 Clasificación de la Conductividad

Conductividad	
(CE $\mu\text{S}/\text{cm}$)	Clase de agua
<250	Excelente
250-750	Buena
750-2000	Permisible
2000-3000	Uso Dudoso
>3000	Inapropiada

Tabla 3. Da valores numéricos y cuantitativos que permiten determinar la calidad de un cuerpo de agua a partir de la evaluación de la conductividad

Dureza

Materiales: Bureta de 25 ml, Pinzas para Bureta, Soporte Universal, Nueces, Pera de Caucho, Desecador, Pipeta de 20 ml, Vasos precipitadores, Erlenmeyer de 250 ml, Beakers 50 ml y pH-metro.

Reactivos: Buffer amoniacal (dureza con EDTA), .Negro de Eriocromo TS, EDTA 0.01M.

Método

Figura. 10 Determinación de la Dureza

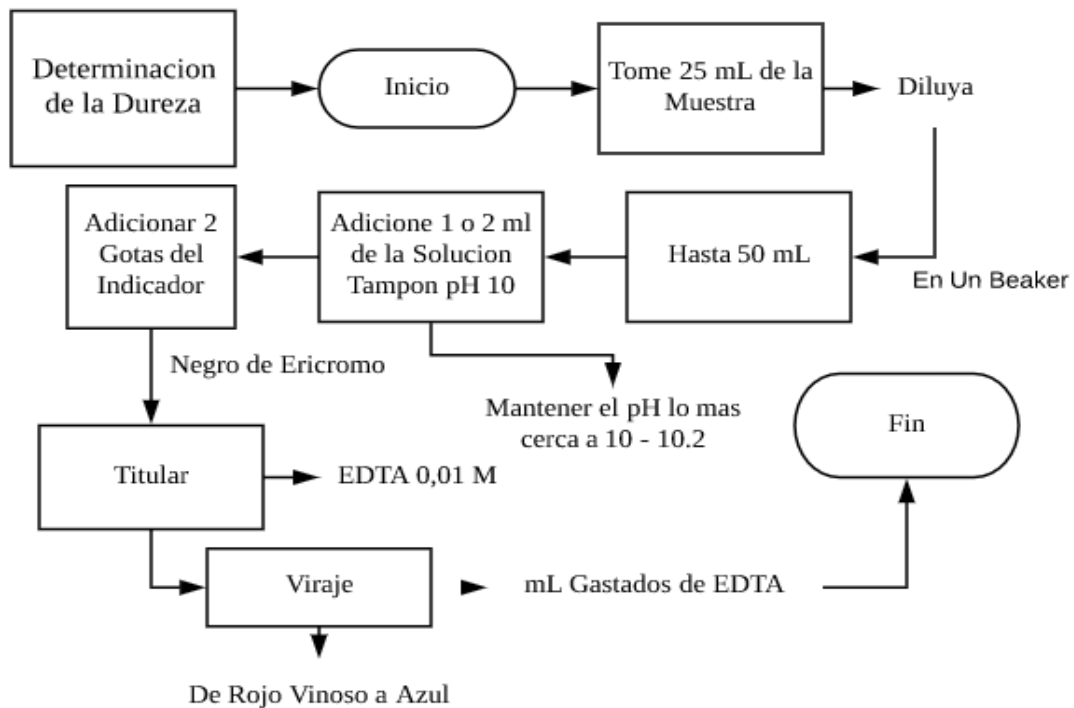


Figura 10. Descripción del proceso realizado en el laboratorio con el fin de determinar la dureza del agua en análisis

Fórmula para la determinación de la Dureza:

Figura. 11 Ecuación utilizada en la determinación de dureza total

$$[Dureza Total] (EDTA) mg CaCO_3/L = \frac{(A \times B) \times 100091}{C}$$

$A = Volumen de EDTA gastados$

$B = Molaridad del EDTA$

$C = Volumen de la muestra$

Figura 11. Ecuación utilizada en la determinación del valor cuantitativo de la dureza total del agua a partir de los datos obtenidos en la titulación

Tabla. 4 Clasificación de la Dureza

Dureza	
(mg/L CaCO₃)	rango
0 -15	Muy Blanda
16 -75	Blanda
76-150	Semidura
151-300	Dura
>300	Muy Dura

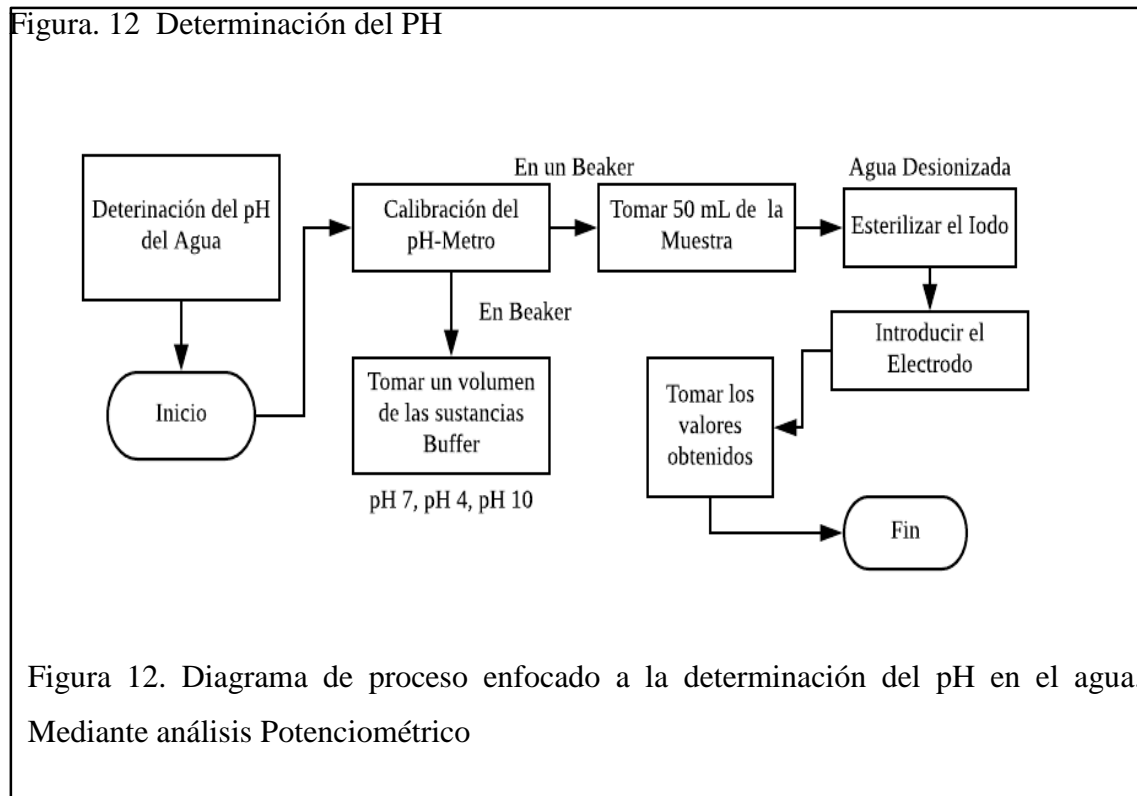
Tabla 4. Valores y rangos utilizados en la determinación de la dureza de un cuerpo de agua

pH

Materiales: Beaker y pH-metro

Reactivos: Soluciones Buffer con PH 4,7 y 10

Método



Luego de llevar a cabo lo explicado en el Método, se espera a que se establezca la medida y se toma el valor dado por el pH-metro.

Las aguas naturales deben tener un pH entre 6 y 8.

PH del Suelo

Materiales: Beakers de 50 ml, Tamices (10, 16, 20,30 y 40), Varilla de Vidrio, pH-metro y Horno de secado.

Reactivos: Soluciones Buffer con pH 4, 7 y 10.

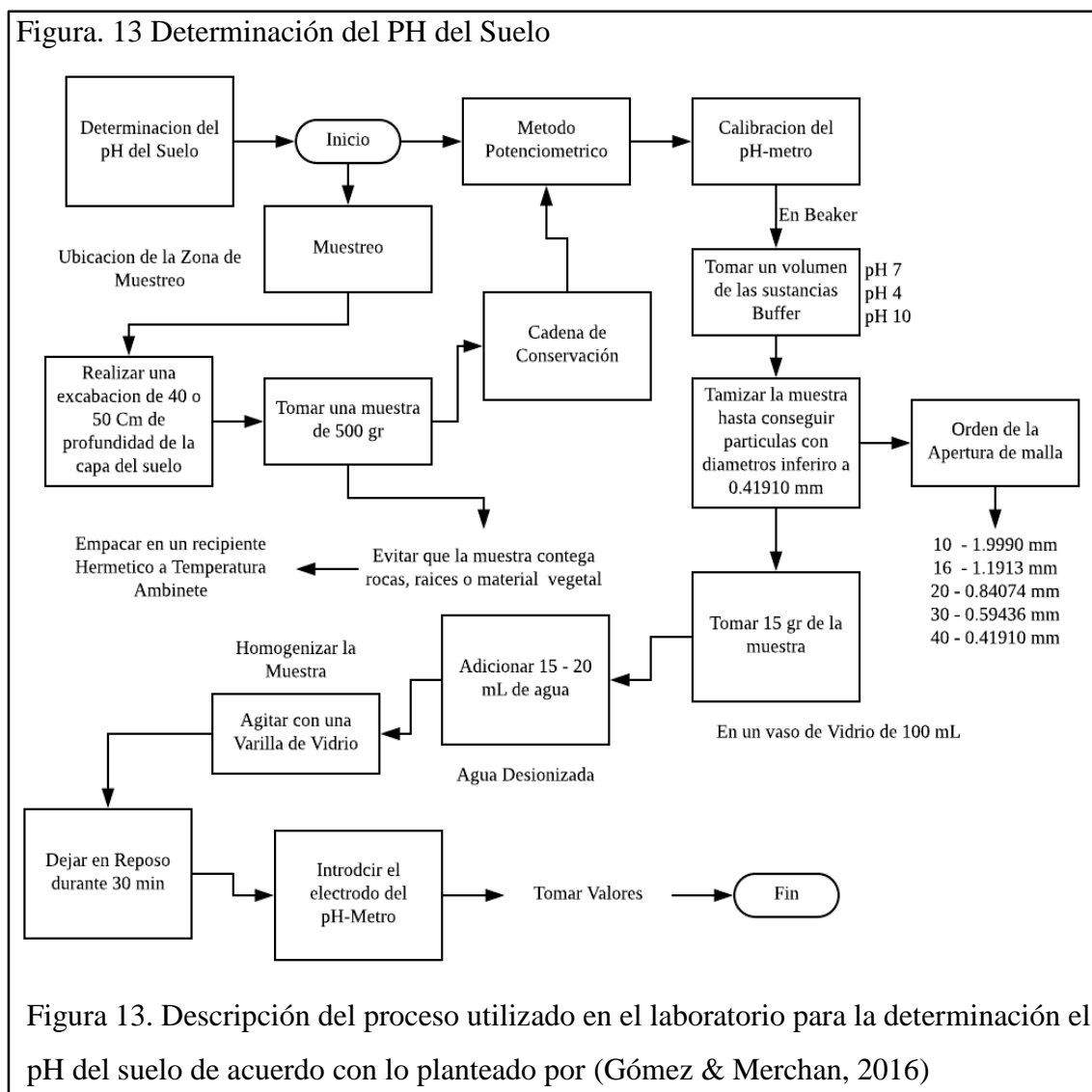


Tabla 5. Clasificación del pH de la muestra

pH		Tipo de reacción	
<5,5	<4,5	Extremadamente ácido	
	4,5 – 5,0	Muy fuertemente ácido	Muy ácido
	5,1 – 5,5	Fuertemente ácido	
5,5 – 6,5	5,6 – 6,0	Medianamente Ácido	Ácido
	6,1 – 6,5	Ligeramente Ácido	
6,5 – 7,5	6,6 – 7,3	Neutro	Neutro
7,5 – 8,5	7,4 – 7,8	Medianamente Básico	Básico
	7,9 – 8,4	Moderadamente Básico	
>8,5	8,5 – 9,0	Ligeramente Alcalino	Muy Básico
	9,1 – 10,0	Alcalino	
	>10,0	Fuertemente Alcalino	

Tabla 5. Establece los rangos y el estado del suelo de acuerdo a la escala de pH en la cual se encuentra (Gómez & Merchan, 2016).

De acuerdo con lo mostrado anteriormente y en cumplimiento de los objetivos planteados como metas de desarrollo de este proyecto a continuación se muestra el capítulo número uno; el cual muestra una panorámica del estado de las aguas subterráneas a partir de las Oferta, demanda y calidad.

6. Capítulo 1: estado de las aguas subterráneas en Colombia

En esta sección del documento se busca mostrar por medio de una revisión de información oficial, confiable y disponible que ha sido publicada por entidades públicas,

educativas y privadas, con grandes aportes al ordenamiento de calidad, oferta demanda y posicionamiento de Colombia frente al tema de las aguas subterráneas.

La calidad, demanda y oferta hídrica de Colombia sumada a la creciente necesidad de evaluar y estudiar dicha riqueza, han llevado a entidades como el IDEAM, Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo sostenible, Las CAR, La Universidad Nacional, entre otras entidades de carácter público en generar estudios realizados encaminados a la preservación del recurso hídrico.

Por su localización geográfica, su orografía y una gran variedad de regímenes climáticos, Colombia se ubica entre los países con mayor riqueza en recursos hídricos en el mundo. Sin embargo, cuando se considera en detalle que la población y las actividades socioeconómicas se ubican en regiones con baja oferta hídrica, que existen necesidades hídricas insatisfechas de los ecosistemas y que cada vez es mayor el número de impactos de origen antrópico sobre el agua, se concluye que la disponibilidad del recurso es cada vez menor (Ministerio de Ambiente vivienda y desarrollo territorial, 2010., p. 19)

Cuando hablamos de las aguas subterráneas en Colombia, se cuenta con un gran potencial y disponibilidad de este recurso en el subsuelo.

El desarrollo de la evaluación de la calidad, demanda y oferta, y en cumplimiento con el desarrollo del objetivo número uno nos permite generar un panorama nacional de cómo se encuentra en país y como se ha avanzado en la conservación y buen manejo de recurso hídrico subterráneo.

En el año 2005 de acuerdo con Guerrero (2005) las condiciones del agua Subterránea para Colombia “ en algunos lugares era es un recurso ignorado o pobremente conocido; en otras partes era torpemente manejado, y solamente en unos pocos sitios o valles se utiliza racionalmente” (p.24) que sumada con la creciente problemática del

cambio climático, que de acuerdo con el IDEAM, se presentaría una disminución significativa de la precipitación en los próximos 50 años en las regiones Ecoclimáticas: Medio Cauca y Alto Nechí (6%), Alto Magdalena (-7%), Alta Guajira (- 10%), Pacífico Sur (- 12%), Alto Cauca (14%), Montaña Nariñense (-23%) y Alto Patía (-23%). En las demás regiones de Colombia se visualizaría un aumento en la precipitación de entre un 4 % y un 35 %. (Guerrero, 2005.,p. 2)

La generación de estas alarmas dio apertura al desarrollo de unas bases para una política de Aguas subterráneas a largo plazo en Colombia por parte de la asociación colombiana de Hidrogeólogos, este con el objeto de conocer y administrar el recurso. Los estudios nacionales del agua deben alimentar de información acerca de las necesidades de agua potable y de irrigación, las cuales deben ser detectadas por las corporaciones autónomas. La política nacional para la gestión del recurso hídrico, adopto objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción estratégica para el manejo del recurso hídrico, esta asume el reto de garantizar la sostenibilidad del recurso subterráneo, tomado en cuenta que su gestión deriva de ciclo hidrológico, vinculando una cadena de interrelaciones entre los diferentes componentes naturales y antrópicos.

Luego del paso de los años se puede evidenciar el avance que han tenido en el conocimiento de la disponibilidad, oferta y demanda del agua subterránea mediante la aplicación de metodología y modelos hidrogeológicos conceptuales.

Dentro de la evaluación nacional del agua para el 2014, nos dan el informe de lo más actual dentro de las aguas subterráneas en Colombia; en el 2010 la evaluación nacional del agua la cual surge con el fin de presentar los avances y mostrar la interdependencia del agua con la biodiversidad, el suelo, el subsuelo y la atmosfera, permitiendo profundizar el conocimiento sobre el comportamiento del ciclo hidrológico

en el territorio colombiano a partir de sus cuencas hidrográficas, cuerpo de agua superficiales y subterráneos. En la versión de ENA 2010 el país se subdividió en 16 provincias hidrogeológicas que fueron caracterizadas asociándoles información disponible para conocer su geometría, propiedades hidráulicas, hidrológicas, uso por los diferentes sectores y reservas estimadas basado en rendimientos específicos y espesores de unidades geológicas con potencial acuífero; en el ENA 2014 se identifican Sistemas Acuíferos para todo el territorio colombiano, avanzando a una escala espacial de mayor resolución utilizando información y estudios locales y regionales publicados a la fecha por Autoridades Ambientales, Servicio Geológico Colombiano, IDEAM, Ministerios y universidades en cada área hidrográfica y provincia hidrogeológica (IDEAM, 2015., p. 130). Adicionalmente se consolidó un inventario de puntos de agua subterránea a nivel nacional y se actualizó la información de usos y volúmenes de agua concesionada registrada a través del instrumento económico denominado tasa por utilización del agua reglamentada en el Decreto 0155 de 2004 (IDEAM, 2015)

En el país se han realizado realmente estudios hidrogeológicos regionales y de carácter local con escalas entre 1:25.000 y 1:100.000. Con estos estudios se ha cubierto cerca del 15% de la superficie del territorio nacional en reconocidos ambientes sedimentarios. Colombia se clasifica como uno de los países con mayor oferta hídrica natural del mundo. En el ENA 2010, se estima un rendimiento hídrico promedio de 63 l/s-km² que supera seis veces el rendimiento promedio mundial (10 l/s-km²) y tres veces el rendimiento de Latinoamérica (21 l/s-km²) del volumen total anual de precipitación en Colombia (3.700 km³), el 61% se convierte en escorrentía superficial, equivalente a un caudal medio de 71.800 m³/s, correspondiente a un volumen de 2.265 km³ al año (Vargas O, 2013., p. 67). Las 16 provincias hidrogeológicas permiten determinar un área potencial de acuíferos equivalentes al 74,5% del territorio nacional con reservas estimadas del

orden de 5.848 Km³, divididas en Provincias hidrogeológicas Montanas e Intramontanas (PM), Provincias hidrogeológicas Costeras e Insulares (PC) y Provincias hidrogeológicas Pericratónicas (PP), considerando información geológica detallada e informes técnicos existentes aportados por entidades estatales como el Servicio Geológico Colombiano y Autoridades Ambientales y universidades del país. (IDEAM, 2015., p. 125)

Figuran. 14 Provincias Hidrogeológicas

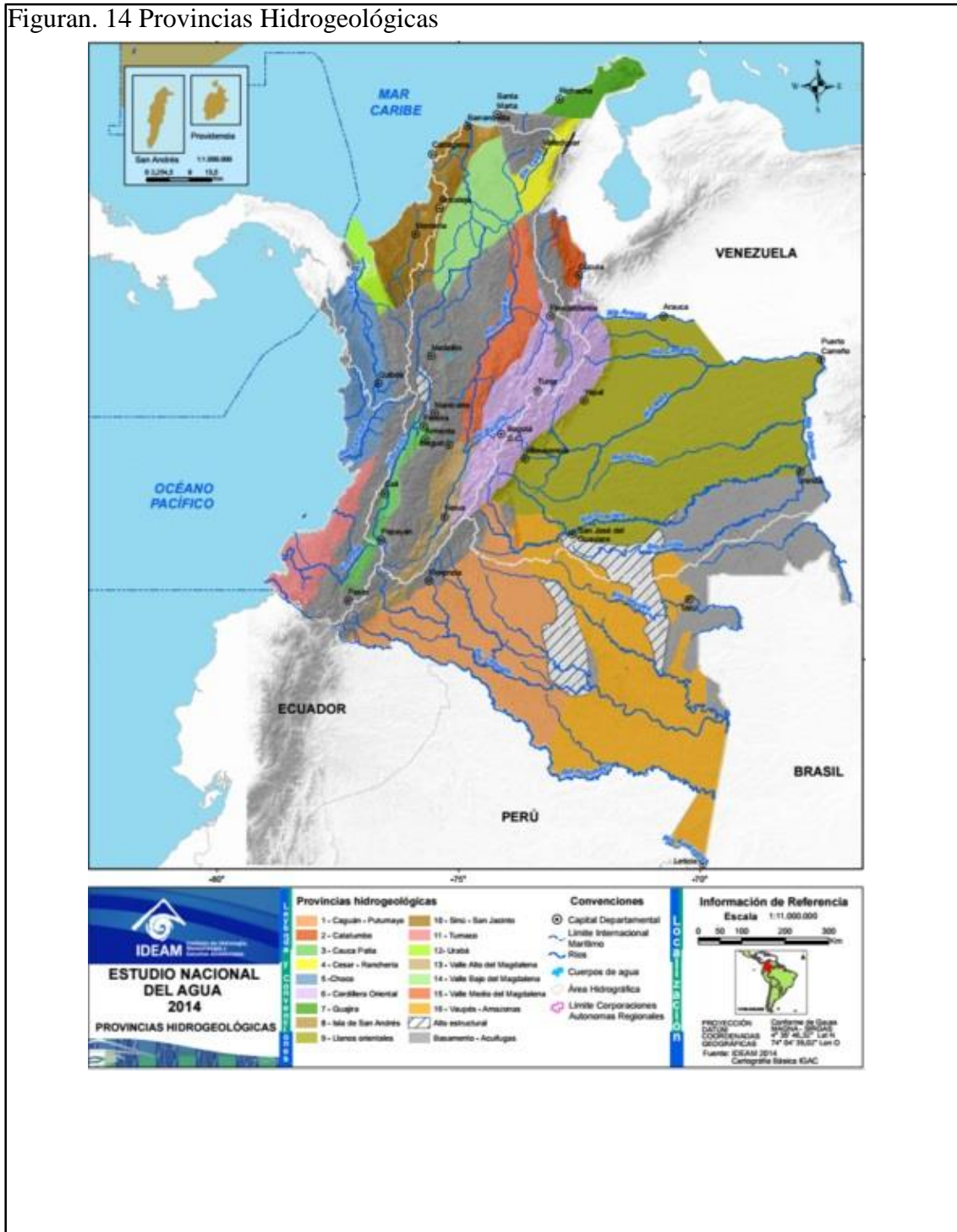


Figura 14. Mapa que muestra la ubicación de las 16 provincias hidrogeológicas, a lo largo del territorio nacional. Cada una de estas identificada por un color diferente (IDEAM, 2015).

La presencia y la distribución del agua subterránea en Colombia están dada, por las condiciones geológicas, sumadas a sus límites, características físicas y geométricas, las cuales se hallan determinados la estructura geológica y la estratigrafía. Los estudios de referencia para estos sistemas han sido realizados principalmente por el Servicio Geológico Colombiano, así como estudios específicos para pozos particulares en diferentes zonas involucradas; pese a que se ha visto un aumento en la identificación y caracterización de los pozos a lo largo del territorio, no se ha podido consolidar información hidrogeológica detallada para estos sistemas acuíferos impidiendo el desarrollo completo del modelo hidrogeológico conceptuales. La descripción existente es referida y enfocada únicamente a las unidades hidrogeológicas que son potenciales acuíferos para la explotación y algunas características hidráulicas de acuerdo a datos aislados sobre cada sistema. Pero de estos estudios se puede observar lo siguiente:

En el área hidrográfica Caribe, se caracterizada por un índice de aridez entre moderado a altamente deficitario, por lo tanto, gran parte de los centros urbanos y rurales utilicen el agua subterránea como fuente alterna de abastecimiento, el 60% son considerados estratégicos y única fuente de abastecimiento y para el desarrollo de actividades agroindustriales en la cual se destaca la explotación y procesamiento del plátano y banano (IDEAM, 2015). “En este sentido, se tiene que los Sistemas Acuíferos de la Alta y Media Guajira, Ranchería, Santa Marta, Turbaco, Ariguaní, Cesar, Morroa, entre otros se deben aumentar el conocimiento sobre la dinámica y el funcionamiento de los sistemas de explotación en un 40% no cuenta con estudios hidrogeológicos detallados,

son explotados como fuente alternativa de abastecimiento dado el empobrecimiento de la calidad de agua en las fuentes superficiales de la región. (IDEAM, 2015. p. 152).

En el área hidrográfica del Magdalena – Cauca, se localiza el 52% del total de sistemas acuíferos reconocidos a la fecha a nivel nacional, el cual representa el 78,1% del volumen concesionado registrado, alberga los principales sistemas explotados para actividades económicas motores de desarrollo regional y nacional, Aproximadamente el 90% de los sistemas acuíferos del área hidrográfica se explotan para consumo humano y doméstico y actividades mixtas supliendo el bajo rendimiento hídrico del área; Sin embargo, estos sistemas se han constituido en la fuente alternativa de abastecimiento y no la prioritaria (IDEAM, 2015., p.153)

En las áreas hidrográficas del Orinoco y del Amazonas, en cuanto al conocimiento hidrogeológico se puede decir que es muy poco, a pesar de que estos Acuíferos son de vital importancia para el abastecimiento de ciudades como Villavicencio y Leticia, y comunidades de menor tamaño como Maní (Casanare), dada la falta de infraestructura de servicios públicos (acueducto y alcantarillado) cabe resaltar que en el área del Amazonas, desde el punto de vista hidrogeológico su conocimiento se da a partir de: “modelos geológicos y columnas estratigráficas generalizadas y documentadas por la industria petrolera en la mayoría de los casos. Solo se conocen estudios hidrogeológicos locales en el municipio de Leticia, zona de mayor desarrollo urbano, donde las necesidades de agua subterránea se han incrementado en los últimos años debido a los problemas de abastecimiento en la localidad por el déficit de la oferta hídrica que presenta la micro cuenca de la quebrada Yahuaraca y el deterioro de su calidad de agua por contaminación”.(IDEAM, 2015, Pg. 142). El área hidrográfica del Pacífico, en general no ha sido objeto de estudios hidrogeológicos con excepción del área del Patía, una de las principales fuentes de abastecimiento alternas de la región (IDEAM, 2015)

De acuerdo con lo anterior se pudo realizar una representación cartográfica de los pozos a lo largo del territorio nacional.

Figura. 15 Mapa de los sistemas de acuíferos en Colombia

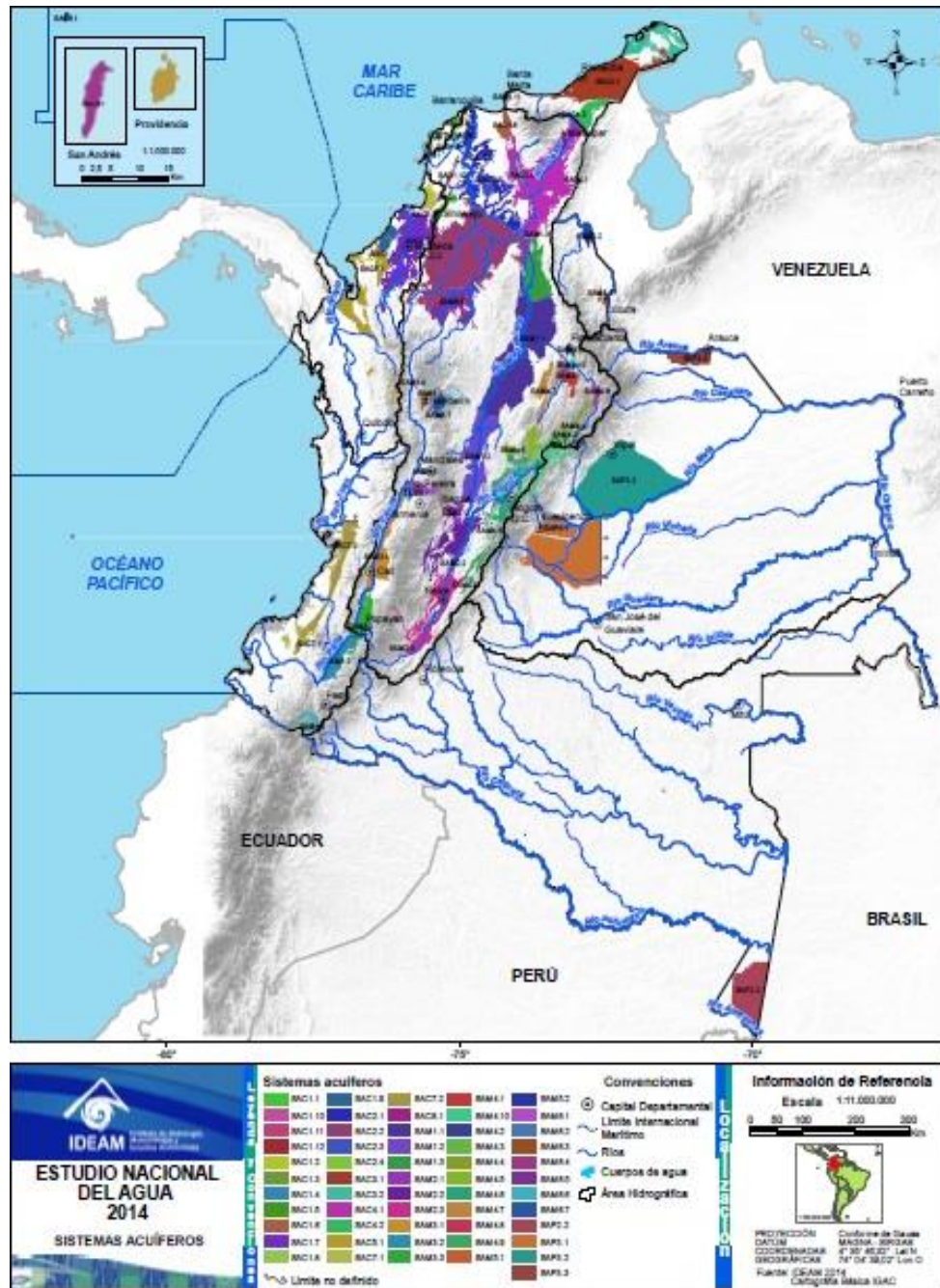


Figura 15. Localización de sistemas acuíferos de Colombia, muestra la ubicación de los sistemas de aguas subterráneas determinados por el IDEAM a lo largo del territorio Nacional dentro de las provincias Hidrogeológicas (IDEAM, 2015).

En cuanto a calidad del recurso hídrico subterráneo en Colombia el monitoreo de su calidad o composición fisicoquímica, es muy general y es uno de los objetivos en los que trabajan las entidades públicas y privadas de acuerdo con documentos consultados, en los que se plantean diferentes metodologías de evaluación de la calidad del agua o carga contaminante, el peligro a la contaminación y la vulnerabilidad intrínseca, debido a que el movimiento de contaminantes desde la superficie hasta llegar al acuífero, esto puede tomar grandes periodos de tiempo antes de que la contaminación sea evidente, pero cuando esto sucede grandes volúmenes de agua se puede ver afectados.

Debido a la creciente problemática de contaminación de las aguas superficiales y el desarrollo de la actividad humana, actividad industrial, producción agrícola, producción pecuaria y extracción minera han afectado también el recurso subterráneo debido al arrastre de material y sustancias contaminantes en necesario saber cómo es afectado este recurso. Colombia presenta caracterización de algunos de pozos de acuerdo a la amenaza a la contaminación, pero estas se han llevado a cabo a partir del desarrollo de actividades generadas en suelo y subsuelo de las áreas aferente a la ubicación del acuífero y ubica los porcentajes se dividen entre amenaza alta y moderada debido a los impactos negativos que pueden recibir por el desarrollo de alguna actividad antrópica.(Montoya & Gaviria, 2011) La falta de información de parámetros físico químicos hace que se generen ciertas incertidumbres en la incidencia de estas en desarrollo de actividades como riego de cultivos, potabilización y su uso en procesos industriales, y como estas actividades también afectan los cuerpo subterráneos debido a que la mayoría de estas cuentan con diagnósticos y estudios geológicos.

Figura. 16 Agua Subterránea en Colombia

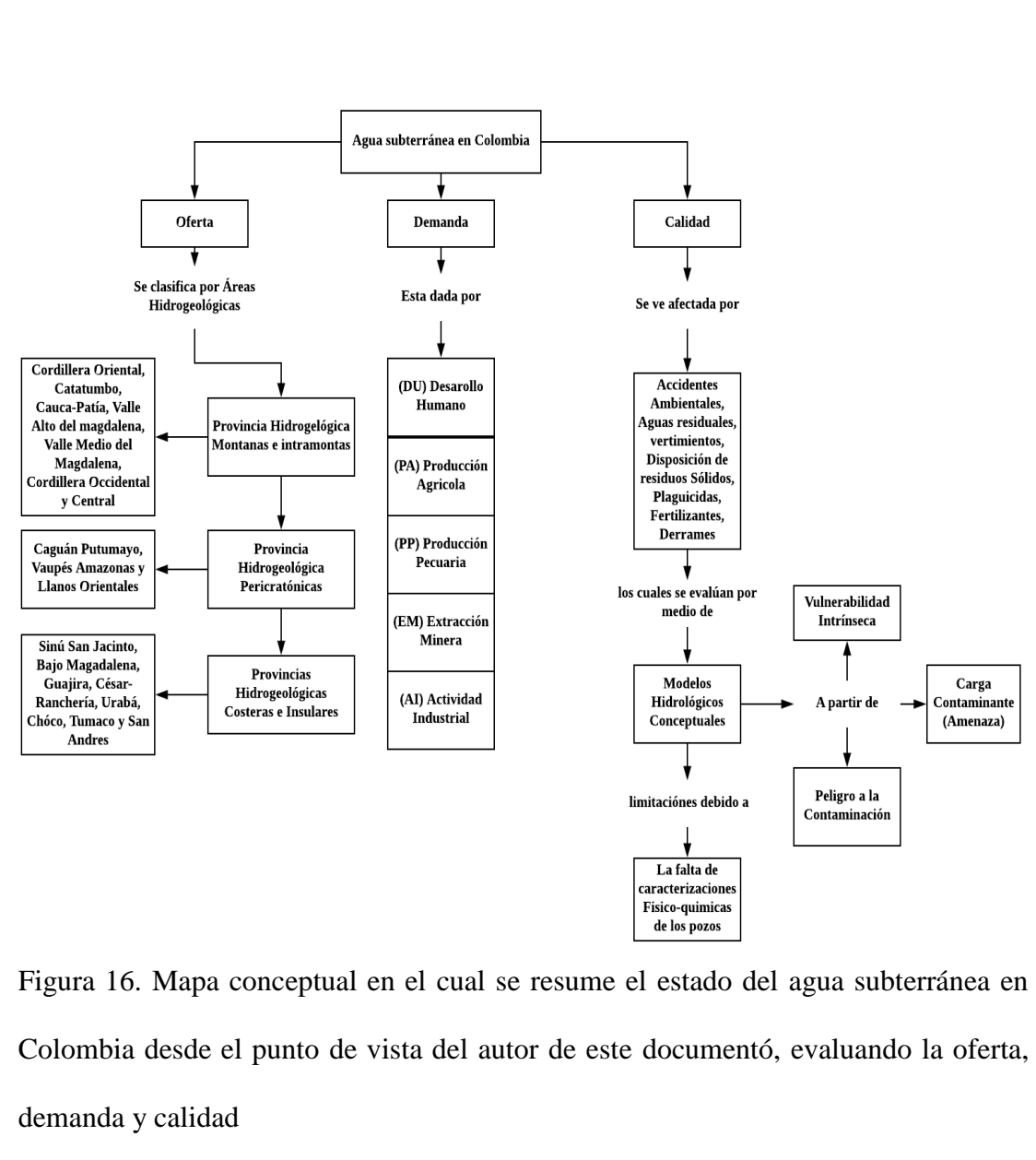


Figura 16. Mapa conceptual en el cual se resume el estado del agua subterránea en Colombia desde el punto de vista del autor de este documentó, evaluando la oferta, demanda y calidad

En la figura anterior, se puede ver como se posiciona el agua subterránea en Colombia de acuerdo con su ubicación, uso e incidencia dada a partir de la calidad del agua bombeada del subsuelo, como se vierte y se lavan suelos con estas agua las cuales tiene la capacidad de arrastrar contaminantes a los acuíferos, temas que los documentos y guías generadas para la conservación y buen manejo del recurso hídrico subterráneo no tratan de forma precisa y clara. Enfocan sus evaluaciones e inventarios en la oferta y demanda, sin tomar como enfoque principal las fuentes de contaminación de los acuíferos

y como estos componentes interfieren dentro del ciclo de recarga y disponibilidad de los acuíferos.

El análisis de la calidad de los cuerpos de agua subterráneo es de vital importancia debido a que por su origen estas aguas pueden generar problemas a los suelos o procesos, pero también puede traer beneficios debido a su composición mineral la cual varía dependiendo de las condiciones climáticas, geológicas y del área aferente al pozo. La evaluación y clasificación del agua de cada pozo es muy importante debido a que nos da un panorama de los posibles usos, afectaciones y ventajas.

7. Capítulo 2 análisis experimentalmente los parámetros básicos de las aguas subterráneas pH del suelo del guarumo en el municipio de alpujarra que es regados con estas aguas.

7.1. Localización la zona de estudio

En el desarrollo de este proyecto se tomó como zona de estudio la Vereda el Guarumo, En Municipio de Alpujarra, el cual se encuentra situado en la altiplanicie de la Cordillera Oriental, ubicado a una altura de 1.361 m.s.n.m. al Sur oriente del Departamento del Tolima, en límites con el Departamento del Huila, sobre el flanco occidental de la Cordillera Oriental, en las coordenadas, Longitud 3.49 y Latitud -74.83. Limita al Norte con Municipio de Dolores en el Departamento del Tolima, Oriente: con los Municipios de Baraya y Colombia en el Departamento del Huila, Occidente con el Municipio de Natagaima en el Departamento del Tolima y Sur con los Municipios de Baraya y Villavieja en el Departamento del Huila (Alcaldía Municipal de Alpujarra, 2015)

Figura, 17 Municipio de Alpujarra

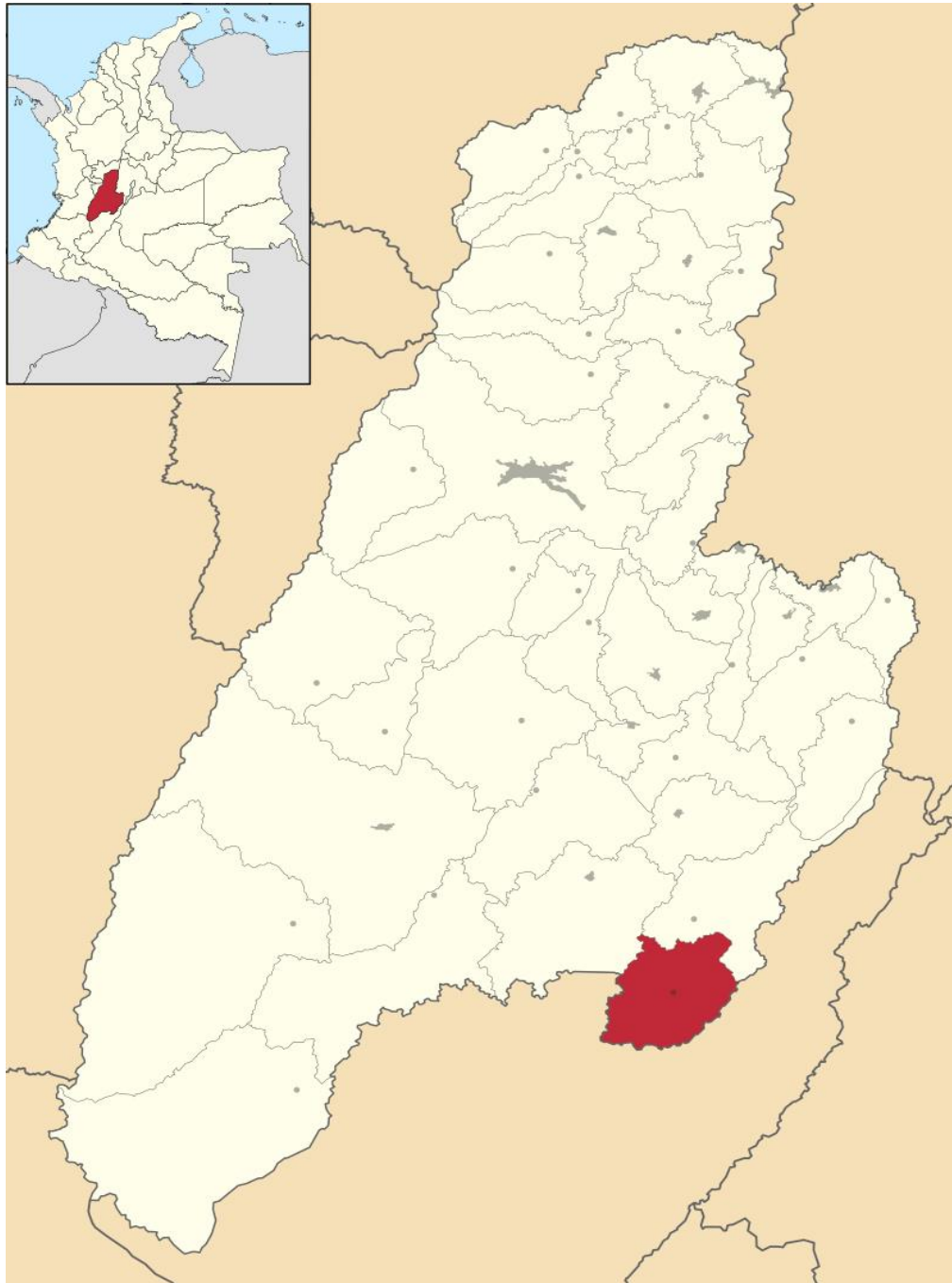


Figura 17. Ubicación del Departamento y el Municipio dentro del territorio Nacional
(Alcaldía Municipal de Alpujarra, 2015)

Figura. 18 Localización del Área de Estudio



Figura 18. Localización del Área de estudio, Imagen satelital en la cual se muestra la ubicación del pozo a través de la plataforma de Google Earth 2017.

El Municipio de Alpujarra cuenta con una extensión de total de 34.914 Ha de las cuales 2.263 Ha están destinadas a la agricultura, siendo el café, piña y arroz los que mayor predominancia, 11.718 Ha destinadas a la producción pecuaria en general a la ganadería extensiva, 927 Ha se encuentran en uso forestal y cerca de 20.009 Ha se encuentran abandonas o sin ninguna actividad productiva. La economía del municipio se basa en la producción de café y ganado vacuno. (Alcaldía Municipal de Alpujarra, 2015)

Debido a la Ubicación el municipio, su cercanía con el desierto de la Tatacoa y la presencia de fenómenos climáticos de origen cálido ha disminuido las precipitaciones y la oferta de agua superficial, tanto que se ha podido observar un aumento significativo en la temperatura promedio de la región.

7.2. Análisis experimental de los parámetros básicos de las aguas subterráneas y el PH del suelo

En el desarrollo de los objetivos de Análisis experimental de los parámetros básicos de las aguas subterráneas y el suelo en la Vereda el Guarumo del municipio de Alpujarra Tolima, se tomaron en cuenta para el recurso agua PH, Dureza, Alcalinidad, Acidez y Conductividad; y para el suelo PH, para este último se tomaron en comparación dos suelo, Uno de ellos regado con el agua extraída del pozo y la segunda regada con un agua superficial que abastece una comunidad en el área aferente del pozo, este con el fin de generar una comparación.

El desarrollo de este muestreo se llevó a cabo de acuerdo con las metodologías plateadas en la guía metodológica estándar métodos, la tesis de grado sobre la caracterización fisicoquímica de los lodos proveniente de una planta de tratamientos, el método analítico para la evaluación de agua residual industrial de una empresa de café del departamento de caldas, el método analítico para la evaluación de la calidad fisicoquímica del agua y diferentes artículos consultados como cumplimiento del primer objetivo en el cual se realizó un análisis de estado de arte de las aguas subterráneas en Colombia, los cuales establecen los protocolos para la toma, transporte, conservación y análisis de las muestras.

7.3. Muestreo

Para el desarrollo de esta actividad se tuvieron en cuenta tiempos de desplazamiento para garantizar la conservación de la muestra con la cadena de frío, de acuerdo con los protocolos establecidos por las guías metodológicas consultadas.

Antes de llevar a cabo la toma de muestras se realizó un reconocimiento del lugar con el fin de identificar las características de topográficas, climatológicas y definir el sistema de muestreo que se debía emplear y la localización de los puntos de muestreo.

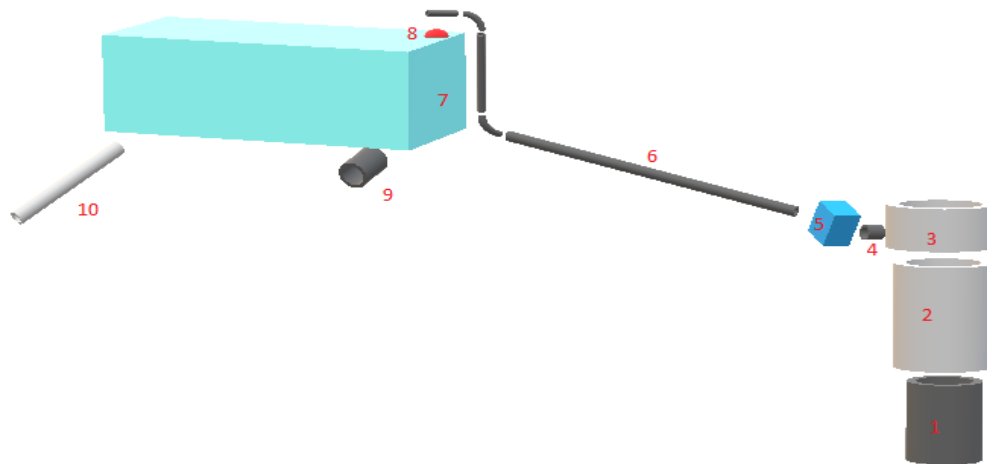
El Área de muestreo se encuentra ubicado dentro del departamento del Tolima en Sur Occidente, en el Municipio de alpujarra, el cual cuenta con diferentes pisos térmicos que van desde los 430 msnm en la vereda al Sur-Occidente del municipio en límites con el departamento del Huila, hasta los 1360 msnm en la vereda el guarumo al Nororiente del municipio en el cual se ubica nuestro punto de interés, en un valle cerca a la cadena montañosa Tamizal con una temperatura promedio de 20 °C.



Dentro del marco del plan de muestreo se tuvo en cuenta como primer aspecto una visita en la cual se pudo identificar el punto de extracción, el método que se utilizó para llevar cabo la perforación, adecuación de pozo y transporte, almacenamiento y distribución del agua subterránea, el cual se describe a continuación.

Tabla. 6 Formato visita de campo

Formato de visita zona de muestreo		
FECHA: 12 de Enero de 2017	Diámetro del pozo	100 cm
Ubicación: Finca Los medios, Alpujarra, Tolima		
Tipo de perforación: Excavación manual		
Bombeo: Automático (Motobomba de 2 Hp)		
Usos: Riego de cultivos y mantenimiento de establos		
Observaciones:		
<p>El pozo se encuentra ubicado sobre un valle, el cual posee un nivel freático muy alto.</p> <p>Cuenta con un profundidad de 6 mts</p> <p>Cuenta con 4 tubos de concreto y posteriormente un revestimiento de cemento y ladrillos</p> <p>Cuenta con una Motobomba de 2 Hp anclada sobre un soporte horizontal entre las paredes del pozo</p> <p>Esta bombea el agua por medio de un tubo de 1 pulgada de pvc, a un tanque de concreto reforzado sobre 9 columnas q lo soportan</p> <p>Este tanque está a 1.50 m sobre el nivel de pozo con el fin de poder distribuir el agua por medio de la gravedad a el resto de la finca</p> <p>Está ubicado en un lugar destinado a la ganadería, rodeado de cafetales y en la parte norte por pino y arbustos de mediano tamaño.</p>		



1. Tubos de cemento
2. Revestimiento de ladrillo y concreto
3. Boca del pozo
4. Tubo galvanizado
5. Motobomba de 2 Hp
6. Tubo de conducción de PVC
7. Tanque de almacenamiento de cemento y hierro
8. Flotador automático encargado de activar la motobomba
9. Válvula de vaciado del tanque
10. Tubo de distribución

Tabla 6. Formato de utilizado en la visita de reconocimiento llevada a cabo al lugar de muestreo en el cual se identificaron diferentes aspectos como la ubicación, características de vegetación, topografía, el sistema de extracción y distribución del pozo.

Figura. 20 Localización del Pozo



Figura 20. Se observa la topografía del terreno y un poco la condiciones climáticas; se evidencia un clima frío, húmedo y rocoso.

Figura. 21 Producción Pecuaria



Figura 21. Zona de pastoreo en la cual se pueden observar plantas de paja debido a la presencia de agua y tierras muy blandas, evidencia el alto nivel freático del lugar.

Figura. 22 Pozo



Figura 22. El pozo se encuentra encerrado, por cuestiones de seguridad, cuenta con una fuente de corriente directa de 230 voltios, en su gran mayoría el pozo está revestido por una pared de ladrillo y cemento como se puede ver en esta fotografía

Figura. 23 Boca del Pozo



Figura 23. Cuenta con un soporte metálico incrustado entre las paredes con el fin de sostener la motobomba y las instalaciones eléctricas del sistema.

Figura. 24 Tanque de Almacenamiento



Figura 24. El agua es bombeada hasta un tanque que se encuentra a 1,50 metros de diferencia a donde se ubica el pozo, cuenta con nueve columnas de concreto y varillas de hierro.

Figura. 25 Almacenamiento



Figura 25. El agua bombeada es regulada por un flotador automático que enciende la motobomba en el momento que el nivel del agua calibrado baja

Figura. 26 Tanque de Almacenamiento



Figura 26. El tanque de almacenamiento distribuye agua para el resto de la finca, utilizando la gravedad.

7.4. Toma de muestras

Para el desarrollo del muestreo se tomó en cuenta información recopilada en la vista en el mes de enero, debido a que la recarga de agua se hace de forma intermitente y por cortos periodos de tiempo, se tomara y analizara un muestra puntual en la entrada al tanque de almacenamiento, en la tabla 8, se muestran los parámetros de análisis según las guías metodológicas, consultada para la calidad de aguas utilizada en el riego de cultivos estacionario y semiestacionarios.

Tabla 7. Parámetros a evaluar para el agua subterránea y el suelo

Parámetros	Unidades	Conservación	Cantidad
Agua	pH	Unidades de pH	
Subterránea	Acidez	(mg/L CaCO ₃)	Peróxido de Hidrogeno 500 ml
	Alcalinidad	(mg/L CaCO ₃)	Peróxido de Hidrogeno 500 ml
	Conductividad	(CE μS/cm)	
	Dureza	(mg/L CaCO ₃)	Peróxido de Hidrogeno 500 ml
Suelo regado	pH	Unidades de pH	500 gr

Tabla 7. Muestra los parámetros de evaluación para el agua subterránea y el suelo, las unidades que manejan estos parámetros, la sustancia utilizada para la conservación de las muestras y el volumen que se debe tomar para cada uno.

Antes de realizar la toma de muestras, se debe realizar un inventario de los materiales, recipientes que se requieren para el desarrollo de la toma de muestras.

Tabla. 8 Materiales para el análisis de los parámetros

Analito	Pre tratamiento	Recipiente	Lavado
Determinar			
Agua			
Acidez	Agua destilada o desionizada	Plástico o Vidrio	Biodegradable
Alcalinidad			neutro al 5% en
Dureza			agua ligeramente caliente
Suelo			
pH del Suelo	-	plástico	-

Materiales
Nevera de icopor
tres recipientes de plástico de 1 litro
Geles de refrigeración
pH-metro
Conductivímetro
Palin
Bolsas Plásticas de cierre hermético

Tabla 8. Esta tabla muestra los materiales y características de cada uno de ellos de acuerdo al muestreo que se va a realizar

La medición de parámetros en campo (pH y Conductividad) se realiza generalmente mediante equipos portátiles, tales como sondas pHmetro y conductímetros. Para la captura de los datos de campo es necesario seguir las indicaciones de revisión y calibración de los equipos y diligenciar completamente la información requerida en el formato de captura de datos de campo, el cual varía según el tipo de agua a muestrear (Londoño et al., 2010., p. 56).

Para la medición de estos parámetros se sumerge directamente en la mitad de la sección transversal, a una profundidad entre 20 y 30 cm de la superficie, en una zona de poca turbulencia y se procede a la lectura. Si esto no es posible, ya sea por la turbulencia o por la longitud del cable, se purga el muestreado, se toma una muestra, que se transfiere a un balde plástico evitando la agitación e inmediatamente se procede a la medición. (IDEAM, 2007, pág. 4)

El procedimiento para la toma de muestras puntuales se podrá desarrollar a través de la utilización de un recipiente de un volumen conocido. Se recomienda organizar la totalidad de botellas a llenar. Las botellas deben contar con un rótulo en el que se indica código del punto, lugar de muestreo, el nombre del parámetro a que se va a evaluar, el tipo de preservación, se purgan dos o tres veces todas las botellas con el agua destinada

al análisis; desechando tales enjuagues y se procede a llenar las botellas, homogenizando el contenido del balde por agitación constante con una varilla de plástico, La muestra siempre se extrae del balde a través de la llave, nunca se deben sumergir las botellas en el mismo, debido a que esto puede contaminar la muestra (IDEAM, 2007).

Para la toma de la muestra de suelo de debe escavar con la ayuda de una herramienta un hueco de 30x30 cm a una profundidad de 20 a 40 cm según las condiciones del suelo y se toma una porción de 500 gramos aproximadamente en una bolsa de sellado hermético (IDEAM, 2007., p. 6).

7.5. Cadena de frío

Desde el momento de la toma de muestras y hasta su llegada al laboratorio, éstas se deben conservar en refrigeración a 4°C, evitando la congelación. Los recipientes no deberán ser llenados completamente, excepto algunos casos específicos (DBO, sulfuros, entre otros), ya que se pueden generar rupturas o explosiones por cambios de temperatura y presión, por lo cual es aconsejable dejar un espacio libre ente el contenido y la tapa. (IDEAM, 2007, pág. 16)

Todas las muestras deberán ser almacenadas en una misma nevera; Los recipientes deberán ser colocados en posición vertical evitando derrames, con suficientes hielo intercaladas de tal manera que se alcance una temperatura cercana a los 4° C. Se debe verificar que las botellas no se caigan, ni se abran, ni se les desprenda el rótulo. Después de embaladas se tapa y se sella la nevera. Es aconsejable colocarle un rótulo con la firma de quien hizo el muestreo, la fecha y la hora, adherido de tal manera que se rompa una vez la nevera sea abierta (Sello de seguridad). (IDEAM, 2007, pág. 16)

7.6. Métodos de análisis del agua subterránea

7.6.1. Acidez del agua

La Acidez es una medición de las propiedades agregadas del agua; Los ácidos minerales fuertes, los ácidos débiles tales como el carbónico, acético, y las sales hidrolizadas como las ferrosas y sulfatos de aluminio, Pueden Contribuir a la acidez del agua; el CO₂ es el principal causante de la acidez en las aguas naturales (Londoño et al., 2010., p. 59).

Los iones de Hidrogeno presentes en una muestra son resultado de la disociación o hidrolisis de los solutos que reaccionan con la adición de álcali; la adición depende del punto final o del indicador usado. En la titulación de ácidos fuertes y la estandarización de reactivos(Londoño et al., 2010).

Titulación con indicadores

Luego de haber llevado a cabo la titulación y obtener los datos se genera una tabla de laboratorio con el fin de llevar a cabo la aplicación de la ecuación de acidez que se muestra continuación:

Figura. 27 Determinación de Acidez

$$[\text{Acidez}] \text{ mg CaCO}_3/\text{L} = \frac{(A \times B) \times 50 \times 1000}{C}$$

A = mL de la Solucion (NaOH)gastados

B = Nolaridad de NaOH

C = Volumen de la muestra

Figura 27. Ecuación que nos permite conocer el valor de acidez a partir de los mL de solución gastados, Normalidad de NaOH y el volumen de la muestra.

Tabla. 9 Resultados Acidez

Datos de prueba de acidez				
Volumen de la Muestra (mL)		50		NaOH 0.02 N
M1 (Muestra No 1)	pH	8.39	Volumen Gastado (mL)	0.2
M2(Muestra No 2)	pH	8.446	Volumen Gastado(mL)	0.3
pH Promedio		8.428	Temperatura (°C)	18
Resultados Acidez Carbonacia mgCaCo3/L				
M1 (Muestra Numero 1)				4
M2(Muestra Numero 2)				6
Promedio				5

Tabla 9. Formato utilizado para la toma de datos y reporte de los resultados obtenidos en la prueba de Acidez llevado a cabo en el laboratorio

Figura. 28 Titulación Acidez



Figura 28. Muestra el cambio de color o viraje luego de haber llevado a cabo la titulación para la prueba de acidez.

7.6.2. Alcalinidad

La alcalinidad en la mayor parte de los recursos acuíferos naturales es causada por las sales de bicarbonatos disueltos, que se forman por la acción del CO₂ sobre los materiales básicos. Otras sales débiles como silicatos, fosfatos, boratos, también pueden contribuir en pequeñas cantidades a la alcalinidad (IDEAM, 2005., p. 2). Algunos ácidos orgánicos poco resistentes a la oxidación biológica forman sales que aumentan la alcalinidad en las aguas contaminadas y en estado anaerobio, se pueden producir sales de ácidos débiles tales como propiónicos, acéticos e hidrosulfúricos que pueden contribuir a la alcalinidad (IDEAM, 2005., p. 2).

En el desarrollo de esta prueba se busca determinar la alcalinidad total causada por carbonatos, bicarbonatos, Hidróxidos, o las combinaciones de estos en la muestra.

Al someter el agua del pozo del municipio de alpujarra a la determinación de la alcalinidad, se registraron los siguientes resultados, Los cuales se determinaron por medio de la siguiente formula:

Figura. 29 Determinación de Alcalinidad

$$[\text{Alcalinidad Total}] \text{ mg CaCO}_3/\text{L} = \frac{(A \times B) \times 50000}{C}$$

$A = \text{mL de la Solucion (H}_2\text{SO}_4\text{) gastados}$

$B = \text{Nolaridad de H}_2\text{SO}_4$

$C = \text{Volumen de la muestra}$

Figura 29. Ecuación matemática por la cual se halló el valor de alcalinidad de la muestra mediante la operación de los valores obtenidos en la titulación.

Tabla. 10 Resultados Alcalinidad

Datos de prueba de Alcalinidad				
Volumen de la Muestra (mL)		50		H ₂ SO ₄ 0.02 N
M1 (Muestra No1)	pH	8.39	Volumen Gastado (mL)	4
M2(Muestra No 2)	pH	8.446	Volumen Gastado(mL)	4.7
	pH Promedio	8.428	Temperatura (°C)	18
Resultados Alcalinidad mgCaCo3/L				
	M1 (Muestra Numero 1)			80
	M2(Muestra Numero 2)			94
	Promedio			87

Tabla 10. Formato de laboratorio en cual están los valores correspondientes a la titulación y el resultado luego de aplicar la ecuación representada en la figura 29.

Figura. 30 Titulación Alcalinidad



Figura 30. Fotografía que permite observar el cambio de lo color en la muestra, debido la titulación realizada con el fin de conocer la Alcalinidad del cuerpo de agua analizado.

7.6.3. Conductividad

La conductividad en los cuerpos de agua dulce se encuentra primariamente determinada por la geología del área a través de la cual fluye el agua (cuenca). Por ejemplo, aguas que corren en sustrato graníticos tienden a tener menor conductividad, ya que es sustrato está compuesto por materiales que no se ionizan(Londoño et al., 2010., p. 54).

La determinación puede realizarse en el campo o en el laboratorio.

Debido a Ubicación del lugar la conductividad fue tomada en el laboratorio de acuerdo con los parámetros establecidos en las Guías metodológicas, en la cual se registraron los siguientes datos:

Tabla 11. Conductividad

Datos de prueba de Conductividad			
Volumen de la Muestra (mL)	50	Temperatura	118 °C
M1 (Muestra No 1)	pH 88.39	Conductividad (µs/cm)	187.2

Tabla 11. Formato de laboratorio utilizado para mostrar los resultados y datos obtenidos al momento de realizar la prueba de conductividad

Figura 31 Toma de conductividad



Figura 31. Resultados arrojados por el Conductivímetro, en la medición de la conductividad de la muestra.

7.6.4. Dureza

En las aguas naturales, la concentración de calcio y magnesio es habitualmente muy superior a la del resto de alcalinotérreos, por lo que la dureza es prácticamente igual a $[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]$ (IDEAM, 2007., p. 2).

Para el desarrollo del análisis de la dureza se tomaron 3 muestras, las cuales se ajustaron a PH directes con el fin de encontrar el punto óptimo de análisis, de acuerdo con los protocolos establecidos.

Figura 32. Determinación de Dureza

$$[Dureza\ Total] (EDTA)\ mg\ CaCO_3/L = \frac{(A \times B) \times 100091}{C}$$

$A = Volumen\ de\ EDTA\ gastados$

$B = Molaridad\ del\ EDTA$

$C = Volumen\ de\ la\ muestra$

Figura 32. Ecuación utilizada en la determinación del valor cuantitativo de la dureza total del agua a partir de los datos obtenidos en la titulación

Tabla 12 Resultado Dureza

Datos de prueba de dureza total				
Volumen de la Muestra (mL)			50	EDTA 0.1M
M1 (Muestra No 1)	pH	9.773	Solución Buffer (mL)	0.1
M2(Muestra No 2)	pH	10.36	Solución Buffer (mL)	0.2
M3(Muestra No 3)	pH	10.581	Solución Buffer (mL)	0.3
Temperatura (°C)				23
Resultados Dureza Total (EDTA) mgCaCo3/L				
M1 (Muestra Numero 1)				30.03
M2(Muestra Numero 2)				44.04
M3(Muestra Numero 3)				18.02

Tabla 12. Formato utilizado en la toma y caculos de los datos obtenidos de la titulación realizada para la determinación de la dureza del agua subterránea

Figura 33. Determinación Dureza



Figura 33. En la Fotografía se puede evidenciar el cambio de color, de rojo vinoso a azul de acuerdo a los protocolos y guías metodológicas establecidas y consultadas para la determinación de la dureza de un agua.

7.6.5. pH del agua

La medida del pH es una de las pruebas más importantes y frecuentes utilizadas en el análisis químico de aguas. El pH representa la concentración de H^+ en su logaritmo negativo. Las aguas naturales normalmente tienen pH en la zona de 4 a 9 y la mayoría son ligeramente básicas debido a la presencia de bicarbonatos y carbonatos de metal alcalinos y alcalinotérreos (Londoño et al., 2010).

Tabla. 13 Resultados determinación de PH

Datos de prueba de pH			
Volumen de la Muestra (mL)	80	Temperatura	18 °C
M1 (Muestra Numero 1)	pH	8.39	

Tabla 13. Formato de laboratorio orientado a la determinación de pH del agua problema

7.6.6. Método de análisis del suelo regado con el agua subterránea

En el desarrollo del proyecto de investigación, dentro del marco y objetivos planteados en los cuales se analizó experimentalmente unos parámetros físicos químicos básicos del suelo. Este parámetro permitirá generar una relación directa entre los parámetros fisicoquímicos del agua analizados, con el pH del suelo regado con estas aguas y a partir de los datos obtenidos y por medio del estado de arte consultado, generar un diagnostico analítico de como a influenciado la carga mineral aportada con el agua a el suelo del Guarumo en el Municipio de Alpujarra Tolima.

Para el desarrollo de la toma del pH del suelo se tomó como referencia de la tesis Características fisicoquímicas de los lodos provenientes de una planta tratamiento de aguas residuales industrial de una empresa de café del departamento de Caldas.

PH del suelo

En la determinación de valor en la escala de pH para el suelo regado se realizó por medio de método potencio métrico relación solido agua (1:1).(Gómez, 2016)

El pH es muy importante en las propiedades del suelo debido a que este regula las condiciones químicas del suelo y su fertilidad, aumentando o disminuyendo la asimilabilidad de los diferentes nutrientes indispensables para el desarrollo las plantas y microorganismos, ya que su medio debe tener condiciones óptimas de pH para su desarrollo; generalmente es próximo a la neutralidad (Gómez, 2016)

Para el desarrollo de este ítem de evaluación de la calidad del suelo se deber realizar un pre tratamiento de secado a 60 °C una mayo temperatura se puede presentar una pérdida de carbono.

Figura. 34 Secado del suelo



Figura 34. Fotografía que evidencia la temperatura a la cual se secó la muestra de suelo sometida a la prueba de determinación de pH

Posterior a esto y de acuerdo con la metodología se debe realizar un tamizado.

Figura. 35 Tamices



Figura 35. Fotografía del orden y los tamices utilizados en la preparación de la muestra del suelo

Cuando se realiza el tamizado se procede a llevar a cabo la segunda parte de análisis, en cual se busca saber el valor que tiene la muestra en la escala de pH.

Procedimiento de determinación de pH

En suelos y lodos orgánicos se debe realizar una relación que permita la total homogenización de la muestra, se deben tomar como mínimo tres replicas para su posterior comparación y determinación de promedios

Con el fin de llevar a cabo una discusión y comparación que nos permita determinar mejor el estado de este cuerpo subterráneo, se tomó también en cuenta un suelo regado con el agua de un cuerpo cercano de la cual se conocen sus características fisicoquímicas.

Tabla. 14 Determinación de PH de los suelos

Datos de prueba de pH			
Volumen de la Muestra (mL)	50 ml	Temperatura	118 °C
	Suelo sin regar	Suelo regado	
M1 (Muestra Numero 1)	7.222	7.396	
M2 (Muestra Numero 2)	7.542	7.388	
M3 (Muestra Numero 3)	7.126	7.498	
M4 (Muestra Numero 4)	7.122	7.517	
M5 (Muestra Numero 5)	7.158	7.467	
M6 (Muestra Numero 6)	pH 7.169	pH 7.395	
M7 (Muestra Numero 7)	7.095	7.428	
M8 (Muestra Numero 8)	7.049	7.468	
M9 (Muestra Numero 9)	7.083	7.457	
Promedio	7.174	7.446	

Tabla 14. Formato utilizado en la determinación de los valores en la escala de PH para el suelo regado con el agua subterránea y el suelo regado con el agua superficial con la cual se generó una comparación.

Figura. 36 Determinación del pH del suelo



Figura 36. Fotografía que muestra cómo se llevaron a cabo la determinación del PH para los dos suelos en análisis

8. Resultados

Luego de haber llevado a cabo los análisis para el agua y los suelos se pueden analizar y caracterizar el agua subterránea y el suelo regado con esta. En la siguiente tabla se puede observar las propiedades evaluadas del agua, los valores Obtenidos y las condiciones cualitativas de acuerdo con establecido en las guías de análisis desarrolladas por el IDEAM, CORPOICA y el Ministerio de Medio Ambiente.

Tabla. 15 Resultados de Caracterización del Agua

Tabla de Resultados de Caracterización Básica de Agua subterránea			
Parámetro	Valor	Unidad	Valor
pH Agua Sub	8.43	Unidades de pH	Normal
pH del Suelo Regado	7.47	Unidades de pH	Normal
Conductividad	187.2	($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Buena
Acidez Carbonacia	0.5	mg CaCO_3/L	Análisis y reporte
Alcalinidad	87	mg CaCO_3/L	Media
Dureza	44.0	mg CaCO_3/L	Blanda

Tabla 15. Recopilación de los resultados cuantitativos y cualitativos obtenidos en el laboratorio para el agua subterránea.

Con los resultados obtenidos podemos ver que el agua subterránea se encuentra en condiciones de PH normales, característico de las aguas subterráneas sin alteraciones por otras sustancias diferentes a las aportadas por el suelo, estos valores se dan debido a la presencia de iones de carbonato y bicarbonato de calcio, los cuales se dan debido a presencia de rocas sedimentarias en el acuífero, en esta área por rocas calizas, que reaccionan debido a la lavado de las aguas subterráneas que contiene CO_2 . Con valores medios de alcalinidad. Debido a su origen, no se descarta la baja concentración de Hierro, aluminio, magnesio y zinc por el color aparente que presenta el agua en este lugar. Debido a lo anterior se puede decir que el pozo no presenta problemas de inhibición de minerales y nutrientes, necesarios para el crecimiento de plantas, también se puede afirmar la baja

concentración de sales de magnesio y calcio, es decir que este cuerpo de agua subterráneo se encuentra dentro de las condiciones óptimas para su uso en actividades de origen industrial, agrícola y pecuario, su acidez es baja lo que permite gran disponibilidad de nutrientes que favorecen el desarrollo de estos procesos productivos; dentro de los rangos de uso doméstico, no puede ser consumida sin tratamientos previos, debido a que no cumple con los valores de calidad establecidos para agua potable, pero si dentro de los valores de aguas curdas aptas para potabilizar.

Debido a su ubicación el pozo el cual se encuentra entre dos sistemas de acuíferos evaluados por el IDEAM, los sistemas de Purificación-Saldaña, ubicado en el valle Alto de Magdalena y el sistema Neiva-Tatacoa, en los cuales están constituidos por suelos con porosidad media, baja permeabilidad, rocas sedimentarias, gravas y arcillas, los cuales presentan una dinámica de flujo y recarga principalmente por infiltración directa agua lluvia y cuerpos de agua que escurren de la cordillera oriental, los cuales alimentan y recargan estos pozos. Estas aguas en cuanto a calidad son calificadas como bicarbonatadas, cálcicas y bicarbonatadas cálcico-sódicas con restricciones para el consumo humano, pero aptas para el riego de cultivos (Vargas, Campilla, García & Rodríguez, 2013). Con el diagnóstico dado por el IDEAM y la ubicación de pozo en estudio en el municipio de Alpujarra, podemos ver que este comparte características similares con los dos sistemas de acuíferos de municipios lindantes y que las aguas extraídas pueden ser utilizadas en riego de cultivos, mantenimiento de infraestructuras destinadas a producciones pecuarias (Gómez, 2016) y sin presentar alteraciones de los suelos como se puede ver en la evaluación del PH del suelo el cual se encuentra en el rango de 7.47 Unidades de PH, con condiciones medianamente básicas, óptimo para cultivos, con buena disponibilidad de Calcio y Magnesio, moderada disponibilidad de Fósforo y baja disponibilidad de micronutrientes. Pese a esto se debe tener precaución y estar

analizando el PH del suelo debido a que, los suelos con valores de PH superiores a 7.5 puede indicar un aumento en contenido de carbonatos de calcio, el cual puede generar impedimentos en la absorción de nutrientes por parte de la planta limitando el crecimiento, debido a la carencia de fosforo y hierro, los cuales son retenidos por el calcio formando compuestos insolubles que las plantas no pueden asimilar.

De acuerdo con anterior y mediante la comparación de los parámetros de Acidez, Alcalinidad, Conductividad, Dureza y pH, del pozo con un cuerpo de agua superficial que abastece el acueducto del corregimiento El Carmen. este se tomó debido a que comparten las características hidrometeorológicas y topográficas, con el fin conocer más acerca de la calidad del agua del pozo, debido a que el agua superficial cumple con los parámetros de calidad de agua potable a acepción por el microbiológico, en el cual se evidencia gran cantidad de coliformes Totales y Escherichia Coli.

Tabla. 16 Comparación del Agua

Comparación del agua del Pozo con el cuerpo de agua superficial			
Agua superficial		Agua subterránea	
Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
pH	7.53	pH	8.43
Acidez	2.57	Acidez	0.5
Alcalinidad	11.75	Alcalinidad	87
Dureza	7.4	Dureza	44.0
Conductividad	30.2	Conductividad	187.2
PH del suelo	7.17	PH del suelo	7.47
Regado		Regado	

Tabla 16. da los parámetros de evaluación del agua superficial y subterránea, seleccionados para generar una comparación que permita una evaluación más exacta de la calidad del agua, esto debido a que se tuvieron limitación en la evaluación de algunos parámetros necesarios debido a las instalaciones y equipos necesarios del laboratorio.

Es así como se pueden identificar los valores e incidencia del agua en el lavado de los suelos, el agua subterránea presenta cargas de minerales como calcio y magnesio los cuales elevan los valores en algunos parámetros influyentes en la estabilización del PH del suelo el cual se encuentra en estado neutro, debido al origen y los minerales que arrastra el agua del pozo desde el subsuelo. El agua superficial presenta una baja cantidad de presencia de calcio y magnesio, catalogada como agua suave la cual no altera el PH del suelo el cual se encuentra en un estado neutro, con valores de acidez y conductividad óptimos de acuerdo con la normativa de evaluación de este cuerpo de agua.

Pese a que la diferencias entre los parámetros de las dos fuentes se puede observar, que no generan alteración o aportes de acidificación de los suelos debido a que la carga mineral que arrastra son óptimas para el riego de cultivos.

9. Conclusiones

En la Evaluación del impacto de las aguas subterráneas en sistemas agrícolas en la Vereda el Guarumo del en el municipio de Alpujarra, se realizaron cinco pruebas al agua y una a suelo con el fin de generar una relación directa entre los parámetros del agua y su incidencia con el suelo regado con esta agua, utilizados en la siembra de cultivos estacionarios y semiestacionarios, en el cual se pudo determinar que el agua bombeada desde el subsuelo se encuentra en condiciones de pH normales, sin alteraciones por otras sustancias diferentes a las aportadas por el suelo, debido al origen de las aguas que lavan las paredes del subsuelo diluyendo minerales presentes en las rocas, es decir que este pozo de agua subterráneo está dentro de los condiciones óptimas para su uso en actividades agrícolas y pecuario, debido a que su acidez es baja lo que permite gran disponibilidad de nutrientes que necesarios para el desarrollo y crecimiento de las plantas y frutos, sin presentar alteración en suelo regado. Dentro de los rangos de uso doméstico, no puede ser consumida sin tratamientos previos, debido a que no cumple con los valores de calidad

establecidos para agua potables, pero si dentro de los valores de aguas curdas aptas para potabilizar.

Mediante el análisis de estado de arte de las aguas subterráneas en Colombia, a partir de revisión de documentos oficiales publicados por entidades públicas, privadas y educativas con gran influencia dentro de ordenamiento del recurso hídrico subterráneo en Colombia, se pudo concluir que el agua subterránea cada vez es más importante e influyente en el desarrollo agroindustrial del país, debido a que el agua ubicada en el subsuelo ha sido tomado como una estrategia de adaptación para suplir demandas en regiones afectadas por fenómenos extremos de variabilidad climática y desabastecimiento de cuerpos superficiales, generando la búsqueda de un sistema integrado de Gestión del recurso hídrico desde la oferta demanda y calidad, que pese a los grandes esfuerzos todavía se observan limitantes en cuanto a la calidad debido a la falta de información de caracterización de los pozos. El Ministerio de Medioambiente y desarrollo sostenible plantea a futuro nuevas metas y estrategias que permitan llenar los vacíos existentes dentro de la demanda, oferta y la calidad del recurso subterráneo.

El análisis experimentalmente los parámetros básicos (Alcalinidad, Acidez, Dureza, Conductividad y pH) de las aguas subterráneas en la Vereda el Guarumo del municipio de Alpujarra Tolima, permitieron establecer valores y rangos de calidad, los cuales se encuentra un agua blanda, con buena conductividad, alcalinidad media, bajas concentraciones de Carbonatos, dentro de un pH óptimo para el desarrollo de actividades agrícolas y pecuarias presentes en las zona de estudio. Estos análisis cuantitativos en comparación con la revisión de tema permitieron generar una caracterización hidrogeológica del lugar donde se encuentra el acuífero y los posibles componentes minerales que posee esta agua y como esta puede favorecer la fertilidad del suelo debido al arrastre de minerales del subsuelo.

El Análisis experimental el pH del suelo del Guarumo en el municipio de Alpujarra que es regado con estas aguas y el pH del suelo regado con el agua superficial utilizada como fuente abastecedora de acueducto se realizaron mediante el método potencio-métrico relación solido agua (1:1), el cual permitió determinar el valor en unidades de PH en el cual se encontró que el suelo regado con el agua subterránea y el suelo regado con el agua superficiales cuentan con condiciones medianamente básicas, óptimos para cultivos, con buena disponibilidad de Calcio y Magnesio, moderada disponibilidad de Fosforo y baja disponibilidad de micronutrientes. Pero el suelo regado con agua subterránea se encentra cerca de superar el valor de pH 7.5 y este puede ser indicador del aumento del contenido de carbonatos de calcio, el cual puede limitar las absorción de nutrientes por parte de la planta limitando el crecimiento.

10. Recomendaciones

Dentro de las recomendaciones se proponen acciones encaminadas a preservar la calidad y el buen uso del recurso a partir de gestiones e ideas de proyectos que impulsen el conocimiento del recurso subterráneo y los factores incidentes dentro de su ciclo.

Propuestas de trabajo que se propones a partir de la consecución de este proyecto de grado:

- Se recomienda la aplicación de un modelo hidrológico matemático que permita determinar un balance hídrico del pozo a partir de recolección de información hidrimetereológicas disponible de la zona con el fin de generar índices de calidad para el acuífero.
- Dentro del parámetro de calidad se recomienda someter el agua del pozo a análisis microbiológicos y determinación de metales debido a que por las condiciones del laboratorio y materiales disponibles no se pudo desarrollar estas pruebas, se

recomiendan con la finalidad de conocer con mayor detalle las composición y limitantes del este pozo.

- El análisis del suelo se debe hacer de manera periódica, con el fin de analizar la variaciones de PH y determinar de una manera más precisa y con mayor soporte la incidencia del agua en el suelo, actividades antrópicas y climatológicas.
- La composición de los suelos es fundamental en los procesos de infiltración, escorrentía y recarga de los acuíferos. Debido a esto se recomienda el desarrollo de una caracterización del suelo en la cual se puedan evaluar condiciones de permeabilidad, saturación e hidráulica del suelo con el fin de conocer, a condiciones de recarga del acuífero.

Medidas que se deben adoptar con el fin de garantizar el buen manejo y uso del recurso hídrico subterránea:

- La composición de las aguas depende directamente del entorno que las rodea y las actividades que se generen en el área aferente de la ubicación del pozo, por ello se recomienda el buen manejo de pesticidas, abonos y desechos generados por los cultivos de café, caña y el pastoreo de ganado vacuno, debido a que estos pueden infiltrarse hasta el acuífero y generar problemas de contaminación en el cuerpo de agua durante largos periodos de tiempo hasta casi ser una afectación permanente.
- Debido a lo anteriormente nombrado se recomienda un monitoreo periódico de la calidad del agua del pozo y del suelo que es regado con esta agua con el fin de evaluar el estado del acuífero y que esto permita la toma de medidas preventivas o de corrección pertinentes que garanticen la calidad y disponibilidad del recurso.
- El uso eficiente del agua es una de las estrategias más importantes en la búsqueda de un desarrollo sostenible, por ello se recomienda la aplicación de sistemas de riego

por goteo, recirculación y aprovechamiento del agua utilizada en el lavado de establos y cultivo de peces con el fin de disminuir la demanda del pozo y aumentar el ciclo productivo del agua, el cual puede ser utilizado como agua de riego debido a la carga orgánica que puede arrastrar después de cumplir su función primaria.

11. REFERENCIAS

- Aguas subterráneas - Secretaria Distrital de Ambiente. (2013). Retrieved February 26, 2018, from <http://ambientebogota.gov.co/aguas-subterraneas>
- Alcaldía Municipal de Alpujarra. (2015). Generalidades de Alpujarra.
- Bautista Curz, A., Barra Etchevers, J., Del Castillo, R. F., & Gutierrez, C. (2004). La Calidad del Suelo y sus Indicadores. *Ecosistemas*, 13, 8.
- Campillo, R., & Sadzawka, A. (2009). La Acidificación de los Suelos. Origen y Mecanismo Involucrados. *INIA*, 2, 17.
- Días Delgado, C., Alberich Esteller, M. V., & Lopez Vera, F. (2005). *Recurso Hidrico*. Retrieved from http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/rh01/ebook_rh01/rh01.pdf
- García A., (2012). Criterios Modernos para la evacuación de la calidad del Agua para riego. (p. 35). (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación – FAO)
- Gálvez Ordoñez, J. J. (2011). *Ciclo Hidrologico*. Lima.
- Gómez, L., & Merchan, A. (2016). *Caracterizacion Fisicoquimica de los lodos proveninetes de una plnata de tratamiento de agua residual industrial de uan empresa de café del departamento de Caldas*. Universidad Catolica de Manizales.
- Guerrero, A. (2005). *GESTION DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN COLOMBIA*. Bogotá, D.C.
- IDEAM. (2007). *Instituto De Hidrologia, Meteorología Y Estudios Ambientales. Ideam-Meteo* (Vol. 8). Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/pH+en+agua+por+Electrometría.pdf/ec53b64e-91eb-44c1-befe-41fcfccdff1>

- IDEAM. (2015). Agua Subterranea. In *Estudion Nacional del Agua 2014* (p. 496). Bogotá, D.C.
- Londoño, A., Giraldo, G., & Gutierrez, Á. (2010). Métodos analíticos para la evaluación de la calidad fisicoquímica del agua. *Environment International*, 1(1), 1–149. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/49658/7/9789588280394.pdf>
- López Geta, J. A., Fornés Azcoite, J. M., Ramos Gonzáles, G., & Villarroya Gil, F. (2009). *Las Aguas Subterrneas. Un Recurso Natural del Suelo*. Madrid.
- Ministerio de Ambiente, V. y D. T. (2003). Perforacion Manual de Pozos Profundos de Pequeño Diametro. In *GUIA RAS-007* (p. 55).
- Ministerio de Ambiente vivienda y desarrollo territorial. (2010). *Politica Nacional para la Gestion del Recurso Hidrico*.
- Ministerio de Medio Ambiente de España. (2000). *Libro Blanco del Agua*. Retrieved from http://www.cedex.es/CEDEX/LANG_CASTELLANO/ORGANISMO/CENTYLA B/CEH/Documentos_Descargas/LB_LibroBlancoAgua.htm
- Montoya, D., & Gaviria, J. (2011). *Las aguas subterráneas un recurso vital para la sostenibilidad*. Medellin.
- Navarro, A. (2002). Conceptos Basicos de Hidrogeologia. In *Las Aguas Subterrneas: Impotancia y Perspectiva* (p. 217). Madrid.
- Ojeda Gutiérrez, C. (2016). *Agua Subterrane y Agricultura*. Retrieved from <http://comeii.com/comeii2016/congreso2016/php/ponencias/magistral/dia2/COME II-MM16005.pdf>
- Organizacion Panamericana de la Salud. (2004). *Manual de Perforacion de Posos y*

Equipamiento con Bombas Manuales.

- Prado, B., Siebe, C., Wolf, B. A., Martínez Hernández, L., & Mora, L. (2015). El Suelo. *CONABIO*, 9. Retrieved from <http://www.biodiversidad.gob.mx/Biodiversitas/Articulos/biodiv122art2.pdf>
- San, D., Castillo, C., Yudis, S., Osorio, Y., Liliana, B., & Vence, P. (2009). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS UBICADAS EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y*. Retrieved from https://www.corpocesar.gov.co/files/EVALUACION_MFQ.PDF
- Universidad de Murcia. (2010). La Edafosfera. In *El suelo como Interface* (p. 19). Murcia. Retrieved from http://www.um.es/sabio/docs-cmsweb/materias-may25-45/tema_6.pdf
- Vargas O., Campillo A., Garcia H., Rodriguez O.; (2013). *Aguas Subterranas en Colombia Una Vision General*. (M. y E. A. Instituto de Hidrologia, Ed.).
- Vélez, M. (1999). *Hidraulica de Aguas Subterranas*. Medellin.
- Villodas, R. (2008). INFILTRACION. In *Hidrologia I* (p. 178). Argentina. Retrieved from <https://es.scribd.com/document/98266576/LIBRO-HIDROLOGIA-I-y-II-Ing-Ruben-Villodas>