

EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LOS RÍOS OCOA Y GUATIQUEÍA SOBRE LA CALIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA DE LA VEREDA EL GUAMO, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO, META.



EIDER DUVAN GARZÓN MEDINA
ESTEFANY BASTIDAS QUINTERO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO
2019

EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LOS RÍOS OCOA Y GUATIKUÍA SOBRE LA
CALIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA DE LA VEREDA EL GUAMO, UBICADA EN EL
MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO, META.

EIDER DUVAN GARZÓN MEDINA
ESTEFANY BASTIDAS QUINTERO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental

Asesor

HENRY CONTRERAS LEÓN
Ingeniero Ambiental y Sanitario

Codirector

JORGE ELIECER PARDO MAYORGA
Ingeniero de Sistemas y Civil

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2019

Autoridades Académicas

P. JOSÉ GABRIEL MESA ANGULO, O.P.

Rector General

P. EDUARD GONZÁLEZ GIL, O.P.

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ANTONIO BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. RODRIGO GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TABÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decano Facultad de Ingeniería Ambiental

Nota De Aceptación

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decano de Facultad

HENRY CONTRERAS LEÓN

Director Trabajo de Grado

Villavicencio, octubre 2019

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo primeramente a Dios por habernos otorgado la sabiduría necesaria y permitirnos haber llegado hasta este momento tan importante de nuestra formación profesional. A nuestras familias por ser el pilar más importante y por demostrarnos siempre su cariño y apoyo incondicional en todo momento.

A la memoria de nuestra amiga y colega Jennifer Xilena Huertas Hernández, que desde lo alto del cielo siempre nos acompaña.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado lo largo de mi carrera dándome la sabiduría y una vida llena de aprendizajes y experiencias, a mis familiares Luz medina, Rubén Hernández y Juan Hernandez por los valores que me han inculcado, por el apoyo incondicional, pero sobre todo por darme la oportunidad de crecer como persona y como profesional. Al igual, doy gracias a Diana Yepes, Stella Medina, Adolfo Yepes, Nidia Yepes, Jeimy Yepes por ser una parte importante y acompañarme a largo de mi vida, llenándola de grandes momentos que hemos compartido y que para mí son inolvidables, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad, siendo uno de los pilares importantes para no darme por vencido. De igual forma agradezco a todos mis amigos por todos los momentos compartidos en todo el trayecto de mi carrera universitaria.

Eider Duvan Garzón Medina

Agradezco primeramente a Dios por haberme otorgado la sabiduría necesaria a lo largo de mi carrera universitaria y durante el desarrollo de este trabajo, a mis padres Isaac y Ninfa, a mi tío Henry, mis hermanos Jorge Enrique, Gonzalo y María Fernanda, de quienes siempre recibí su apoyo incondicional para llegar a la conclusión de este trabajo y en general a todos mis familiares, amigos y colegas porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento me ayudaron en los momentos difíciles.

Estefany Bastidas Quintero

A los ingenieros Henry Contreras León y Jorge Eliecer Pardo por su apoyo, dedicación y tiempo brindado, por darnos la oportunidad de crecer profesionalmente y compartir con nosotros su conocimiento. De igual forma a nuestra decana de facultad la ingeniera Yésica Natalia Mosquera Beltrán y todos aquellos docentes que pusieron un granito de arena durante el desarrollo del mismo.

Por último, pero no menos importante, a nuestra Alma Mater, la Universidad Santo Tomás por abrirnos las puertas y permitirnos formar como profesionales íntegros e idóneos ante esta sociedad que hoy lo amerita.

Eider Duvan Garzón Medina & Estefany Batidas Quintero

Contenido

	Pág.
Resumen.....	12
Introducción	14
1. Capítulo I Preliminares.....	16
1.1. Planteamiento del Problema	16
1.2. Objetivos.....	18
1.2.1. Objetivo General	18
1.2.2. Objetivos Específicos	18
1.3. Justificación	19
1.4. Alcance	20
2.1. Antecedentes.....	21
3. Capítulo III Marco de Referencia.....	23
3.1. Marco Teórico	23
3.1.1. Ciclo hidrológico y agua subterránea.....	23
3.1.2. Movimiento de las aguas subterráneas.....	23
3.1.3. Química y calidad del agua subterránea	24
3.1.4. Importancia del agua subterránea	25
3.1.5. Interacciones agua superficial y subterránea	25
3.1.6. Agua subterránea en Colombia.....	26
3.1.7. Generalidades de los suelos en la Orinoquía	27
3.1.8. Análisis de varianza ANOVA de un factor.....	28
4. Marco Conceptual.....	30
4.1. Marco Legal.....	35
5. Capítulo III Metodología.....	36
5.1. Diseño De Investigación Y Temporalidad Del Estudio.....	36
5.2. Área De Estudio.....	37
5.2.1. Fase I: Caracterización del área de estudio.	37
5.2.2. Fase II: Muestreo y medición de parámetros	38
5.2.3. Tamaño y toma de muestras	39
5.2.4. Recolección de muestras y determinación de parámetros fisicoquímicos	39

5.2.5. Determinación de Alcalinidad.	40
5.2.6. Determinación de Dureza	40
5.2.7. Determinación de demanda química de oxígeno (DQO).....	41
5.2.8. Determinación de demanda biológica de oxígeno (DBO ₅).....	42
5.2.9. Determinación de parámetros físicos del suelo.....	43
5.2.9.1. Determinación de la porosidad	45
6. Fase III. Análisis de parámetros	46
7.1. Caracterización del área de estudio	48
7.1.1. Visitas de reconocimiento.....	48
7.2. Litología del suelo	53
7.3. Determinación de parámetros de calidad de agua	55
7.3.1. Temporada de bajas precipitaciones	55
7.3.2. Temporada de altas precipitaciones	55
7.3.4. Temperatura	56
7.3.5. Conductividad eléctrica	57
7.3.6. Potencial de Hidrógeno (pH)	58
7.3.7. Alcalinidad.....	59
7.3.8. Dureza.....	60
7.3.9. Demanda Biológica de Oxígeno	61
7.3.10. Demanda Química de Oxígeno.....	62
7.4. Correlación de parámetros fisicoquímicos del agua.....	63
7.4.1. Análisis sobre la varianza ANOVA Alcalinidad	63
7.4.2. Correlación de Dureza	65
7.4.3. Correlación de Demanda Biológica de Oxígeno	66
7.4.4. Correlación de Demanda Química de Oxígeno	68
8. Análisis y discusión.....	69
9. Conclusiones	71
10. Recomendaciones.....	73
11. Referencias bibliográficas	74
12. Apéndices	80

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de la Dureza por CaCO ₃ en el agua, Según OMS	34
Tabla 2. Norma vigente recurso hídrico.....	35
Tabla 3. Parámetros Evaluados y su forma de análisis suministrados	38
Tabla 4. Cantidad de muestras establecidas por temporadas	39
Tabla 5. Ficha VISOCOLOR ® HE Dureza total H 20F	41
Tabla 6. valores de la densidad aparente relacionados con el espacio poroso	44
Tabla 7. Factores para la corrección de la densidad del agua.....	44
Tabla 8. Valores totales de porosidad del suelo	45
Tabla 9. Puntos de muestreo de los Ríos Ocoa, Guatiquía y aljibes de a vereda El Guamo	48
Tabla 10. Porosidad del suelo para cada uno de los aljibes de la vereda El Guamo	54
Tabla 11. Estadístico F para cada aljibe y cada uno está asociado a un P-valor	64
Tabla 12. Estadístico F por aljibe y su significancia P-valor. Por Bastidas & Garzón 2019. ..	64
Tabla 12. Continuación de datos	65
Tabla 13. Estadístico F por aljibe y su significancia P-valor. Por Bastidas & Garzón 2019. ..	65
Tabla 14. Estadístico F por aljibe y su significancia P-valor. Por Bastidas & Garzón 2019. ..	66
Tabla 15. Estadístico F por aljibe y su significancia P-valor. Por Bastidas & Garzón 2019. ..	67
Tabla 16. Estadístico F por aljibe y su significancia P-valor. Por Bastidas & Garzón 2019. ..	67
Tabla 17. Estadístico F por aljibe y su significancia P-valor. Por Bastidas & Garzón 2019. ..	68

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 2. Diagrama Metodológico. Por Bastidas & Garzón, 2019	36
Figura 3. Diferentes usos del suelo de la vereda el Guamo Villavicencio, Meta. Por Bastidas & Garzón, 2019.....	37
Figura 4. Río Ocoa en temporada de bajas precipitaciones. Por Bastidas & Garzón 2019.....	55
Figura 6. Río Guatiquía en temporada de altas precipitaciones. Por Bastidas & Garzón 2019.	56

Lista de Gráficos

	Pág.
Gráfico 1. curva patrón en un rango establecido (0 - 450 mg/LO ₂) a 500 nm para cálculo de la DQO. Por Bastidas & Garzón 2019.....	42
Gráfico 2. Perfil topográfico y niveles de agua de los aljibes portuguesa y Santa Clara. Por Bastidas & Garzón 2019.	49
Gráfico 3. Perfil topográfico y niveles de agua de los aljibes Escuela, Tienda y García. Por Bastidas & Garzón 2019.	50
Gráfico 4. Perfil topográfico y niveles de agua aljibe Esperanza. Por Bastidas & Garzón 2019.	51
Gráfico 5. Perfil topográfico y niveles de agua de los aljibes Maracos y Trompo. Por Bastidas & Garzón 2019.....	51
Gráfico 6. Perfil topográfico y niveles de agua del aljibe Cóndor. Por Bastidas & Garzón 2019.	52
Gráfico 7. Perfil topográfico y niveles de agua del aljibe Amparo. Por Bastidas & Garzón 2019.	53
Gráfico 8. Temperaturas en °C del agua de ríos y aljibes monitoreados en temporadas de altas y bajas precipitaciones. Por Bastidas & Garzón 2019.	57
Gráfico 9. Conductividad eléctrica (μS/cm) del agua de ríos y aljibes monitoreados en temporadas de altas y bajas precipitaciones. Por Bastidas & Garzón 2019.....	58
Gráfico 10. Potencial Hidrógeno del agua de ríos y aljibes monitoreados en temporadas de altas y bajas precipitaciones. Por Bastidas & Garzón 2019.	59
Gráfico 11. Alcalinidad (mg/L CaCO ₃) del agua de ríos y aljibes monitoreados en temporadas de altas y bajas precipitaciones. Por Bastidas & Garzón 2019.	60
Gráfico 12. Dureza (mg/L CaCO ₃) del agua de ríos y aljibes monitoreados en temporadas de altas y bajas precipitaciones. Por Bastidas & Garzón 2019.	61
Gráfico 13. DBO en mg/L O ₂ del agua de ríos y aljibes monitoreados en temporadas de altas y bajas precipitaciones. Por Bastidas & Garzón 2019.	62
Gráfico 14. DQO en mg/L O ₂ del agua de ríos y aljibes monitoreados en temporadas de altas y bajas precipitaciones. Por Bastidas & Garzón 2019.	63

Resumen

El abastecimiento de agua potable a nivel mundial en cantidad y calidad cada vez es más insuficiente, las fuentes hídricas superficiales se tornan más escasas por su contaminación, y por ello muchas poblaciones ha tomado como alternativa el abastecimiento de agua por medio de fuentes subterráneas, sin tener en cuenta sus condiciones de calidad. Teniendo en cuenta esta problemática, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la incidencia de los ríos Ocoa y Guatiquía sobre la calidad de agua subterránea de los aljibes de la vereda El Guamo, ubicada en el municipio de Villavicencio- Meta, mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos como pH, temperatura, conductividad, alcalinidad, dureza, DBO y DQO. Para tal fin se seleccionaron 10 aljibes utilizados actualmente por la comunidad y por cada tramo de río se establecieron dos puntos de muestreo (aguas arriba y aguas abajo); a cada fuente hídrica se le realizaron 10 muestreos en temporada de bajas precipitaciones (marzo, abril, agosto, septiembre) y 10 en temporada de altas precipitaciones (mayo, junio, julio), también se tuvo en cuenta la porosidad del suelo, los niveles de las láminas de agua y las diferencias de alturas entre ríos y aljibes.

Así mismo, mediante un análisis de varianza ANOVA y de acuerdo con la cercanía de los aljibes con los ríos, se correlacionaron los parámetros fisicoquímicos de calidad de agua, en donde los que tuvieron mayor incidencia fueron la alcalinidad y la dureza. Para el caso de la alcalinidad, el río Ocoa en temporada de altas precipitaciones presentó incidencia en el 70% de los aljibes y en temporada de bajas precipitaciones en el 50% y el río Guatiquía incidió en ambas temporadas en el 60% de los aljibes. Para el caso de la dureza, nuevamente el río Ocoa presentó incidencia en altas precipitaciones en el 70% de los aljibes y en bajas precipitaciones en el 80%; el río Guatiquía en altas precipitaciones incidió en el 40% de los aljibes y en bajas precipitaciones en el 60%, siendo el aljibe la Escuela sobre el cual tuvo mayor incidencia.

Finalmente, ninguno de los aljibes se encuentra en condiciones óptimas de calidad que permitan realizar un abastecimiento y consumo directo de agua a los habitantes de dicha comunidad, debido a sus altos valores de DBO y DQO se considera agua contaminada.

Palabras Clave: Agua subterránea, calidad de agua, fuente hídrica, infiltración, parámetros fisicoquímicos.

Abstract

The supply of drinking water worldwide in quantity and quality is increasingly inadequate, surface water sources are more scarce due to pollution, and therefore many populations have taken as an alternative the supply of water through underground sources, without taking into account their quality conditions. Taking into account this problem, the present work aims to evaluate the incidence of the Ocoa and Guatiquía rivers on the quality of the underground water of the reservoirs of the El Guamo village, located in the municipality of Villavicencio Meta, through the analysis of physicochemical parameters such as pH, temperature, conductivity, alkalinity, hardness, BOD and COD. For this purpose, 10 reservoirs currently used by the community were selected and two sampling points (upstream and downstream) were established for each stretch of river; each water source had 10 samples in the low rainfall season (March, April, August, September) and 10 in the high rainfall season (May, June, July), the porosity of the soil, the levels were also taken into account of the water sheets and the differences in heights between rivers and reservoirs.

Likewise, by means of an ANOVA analysis of variance and according to the proximity of the reservoirs with the rivers, the physicochemical parameters of water quality were correlated, where those with the highest incidence were alkalinity and hardness. In the case of alkalinity, the Ocoa river in the season of high rainfall occurred in 70% of the reservoirs and in the season of low rainfall in 50% and the Guatiquía river affected the seasons in 60% of the reservoirs. In the case of hardness, again, the Ocoa River had an incidence in high rainfall in 70% of the reservoirs and in low rainfall in 80%; the Guatiquía river in high rainfalls affected 40% of the reservoirs and low rainfall in 60%, the cistern being the school on which it had the highest incidence.

Finally, none of the reservoirs is in optimal quality conditions that specifically provides a direct supply and consumption of water to the inhabitants of said community, because of its high BOD and COD values it is considered a contaminated water.

Key Word: Groundwater, quality of water, water source, infiltration, physico-chemical parameters.

Introducción

El abastecimiento de agua potable a nivel mundial en cantidad y calidad cada vez es más insuficiente, más de 2.100 millones de personas viven en países que experimentan un alto estrés físico por el agua, generando conflictos e incluso violencia y en última instancia tendencias crecientes de desplazamiento y migración. Por su parte los recursos hídricos superficiales cada vez se tornan más escasos y la demanda de agua aumenta más, impulsada por una combinación entre el acelerado crecimiento poblacional, el desarrollo socioeconómico y cambios en los modelos de consumo. Debido a lo anterior, muchos países han acudido a nuevas fuentes que garanticen la oferta de agua para consumo humano, dentro de ellas la captación de aguas subterráneas; viables para complementar la disponibilidad de agua superficial, especialmente en los periodos donde hay mayor escasez hídrica (Mihelcic & Zimmerman, 2011).

A nivel mundial cerca de dos mil millones de personas se abastecen de agua subterránea, con una extracción anual de entre 600 y 700 Km³, el cual representa un 20% del consumo de agua dulce (Enrique et al., 2013). Sin embargo, a estas se les atribuye un amplio rango de sustancias tóxicas, incluyendo químicos orgánicos sintéticos, trazas metálicas y microorganismos patógenos que resultan del mismo desarrollo de actividades antropogénicas e incluso de la misma interacción que existe entre cuerpos de agua superficial y cuerpos de agua subterránea (Mihelcic & Zimmerman, 2011).

La OMS¹ menciona que las enfermedades relacionadas con la contaminación del agua para consumo humano representan una carga importante en la salud, ya que pueden generar a quienes la consumen, enfermedades como diarrea, cólera, fiebre tifoidea, entre otras que dependen de sus características fisicoquímicas y microbiológicas (Organización Mundial de la Salud, 2019).

El territorio colombiano por su ubicación geográfica, la variedad topográfica y su régimen climático, manifiesta una extensa red fluvial superficial favoreciendo el almacenamiento de aguas subterráneas, de manera que ha demostrado que cuenta con gran potencial hídrico; por su parte, la Orinoquía presenta variaciones de escorrentía creciente del piedemonte hacia la zona baja, de

¹ Organización Mundial de la Salud (2019)– en inglés World Health Organization. Organismo especializado de las Naciones Unidas, cuyo objetivo es alcanzar para todos los pueblos el máximo grado de salud.

manera que por sus características pluviométricas, hace al piedemonte llanero una zona de recarga de acuíferos de gran depósito de agua subterránea, sin embargo, se evidencia que la tradición de explotación del recurso en el área es de menor proporción por falta de estudios regionales (IDEAM, 2019).

La captación de agua subterránea es actualmente la alternativa más viable por sus condiciones topográficas, geográficas y sociales en la vereda El Guamo ubicada en el municipio de Villavicencio- Meta, ya que no existen fuentes de agua cercanas en condición de calidad que satisfagan su demanda, pues las dos únicas fuentes superficiales existentes (río Ocoa y Guatiquía) no se encuentran en condiciones para hacer captación de agua para consumo humano (Para, Desarrollo, & Del, 2018b). El río Ocoa por su parte contiene metales como arsénico, cadmio, plomo, níquel y cromo en altas concentraciones, según estudios realizados en la zona (Alejandra & Pulido, 2018) (P. Morales & Rojas, 2018).

Teniendo en cuenta que por temas de infiltración el agua de una fuente superficial puede incidir en la calidad de una fuente subterránea, y además por la misma necesidad de la comunidad al no conocer la calidad de agua que consumen, la presente investigación planteó evaluar la incidencia que tienen los ríos Ocoa y Guatiquía sobre la calidad de agua subterránea de la vereda El Guamo, mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos como temperatura, potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica, alcalinidad, dureza, demanda biológica de oxígeno (DBO), y demanda química de oxígeno (DQO) tanto en la fuente superficial – ríos Ocoa y Guatiquía, como en la fuente subterránea – aljibes de la vereda.

1. Capítulo I Preliminares

1.1. Planteamiento del Problema

El desarrollo de las actividades antrópicas como la agricultura, la ganadería, la industria y la minería, entre otras generan grandes presiones en las fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, de manera que por su contaminación y escasez puede deteriorar la calidad de vida de la población. Aunque las fuentes hídricas son numerosas, actualmente una quinta parte de la población mundial enfrenta crisis y estrés hídrico², como consecuencia de la sobreexplotación, la contaminación y la gestión de forma insostenible del recurso hídrico (Tuesca, Ávila, SIsa, & Pardo, 2015).

Debido a esta misma situación, muchas poblaciones han tomado como alternativa el abastecimiento de agua por medio de fuentes subterráneas; a estas fuentes de abastecimiento se asocian flujos menores, pero con capacidad natural de filtración que disminuye sólidos suspendidos totales (SST) y, por ende contribuye con la eliminación de la turbiedad, sin embargo, las aguas subterráneas pueden contener altos niveles de sólidos disueltos como hierro, magnesio, calcio, entre otros que alteran los parámetros de calidad de agua y la hacen inadecuada para consumo humano directo (Mihelcic & Zimmerman, 2011).

Actualmente la vereda El Guamo de la ciudad de Villavicencio-Meta enfrenta una problemática en cuanto al abastecimiento de agua para consumo humano, ya que las únicas fuentes de agua cercanas son el Río Ocoa y el Río Guatiquía (Para, Desarrollo, & Del, 2018a). Por su parte el río Guatiquía presenta vertimientos puntuales, debido a las dinámicas rurales de la población con mayor concentración de actividades agropecuarias de los municipios de San Juanito, El Calvarío y parte del municipio de Villavicencio (Para et al., 2018b). Por otra parte, la cuenca del río Ocoa se ubica en la zona Norte del departamento del Meta, así mismo, es subcuenca del río Guatiquía, a lo largo de su recorrido la calidad de la fuente hídrica se ve afectada, debido a las múltiples descargas de agua residual generadas por las actividades antrópicas que se desarrollan en su

² Según la UNEP, el estrés hídrico ocurre cuando la demanda por agua es mayor que la cantidad disponible durante un cierto periodo, o cuando la calidad es baja y restringe su uso. (AgroDer, 2012).

territorio en la zona alta y media de la cuenca. La ciudad de Villavicencio en gran medida habita en la cuenca del río Ocoa, realizando sus actividades socioeconómicas, en su corriente principal donde se identifican varios usos y demandas del recurso como abastecimiento doméstico, agrícola, industrial y finalmente recepción de vertimientos puntuales de aguas residuales urbanas y aguas depuradas, de manera que se le atribuye un alto grado de contaminación afectando la calidad del agua y por ende se considera inviable su captación (Gonzales, 2014).

Estudios realizados en un tramo del río Ocoa comprendido entre la desembocadura del Caño Maizaro hasta el puente Murujuy, ponen en evidencia la presencia de metales pesados en dicha fuente hídrica, dentro de ellos el arsénico, presentando concentraciones entre 51 $\mu\text{g/L}$ - 126 $\mu\text{g/L}$, el cadmio con concentraciones 3 $\mu\text{g/L}$ - 5 $\mu\text{g/L}$ (Alejandra & Pulido, 2018), en el caso de plomo se encontraron concentraciones que sobrepasan los niveles de referencia establecidos por normas nacionales e internacionales, en el caso de níquel y cromo sobrepasan los valores máximos (0,05 mg/L) establecidos en el Decreto 1594 de 1984; las posibles causas de la existencia de estos metales en ese tramo del río se asocian a las descargas de la zona urbana, la escorrentía y a los vertimientos de la industria petrolera Apiay (P. Morales & Rojas, 2018).

Teniendo en cuenta lo anterior, la vereda El Guamo no cuenta con sistemas de abastecimiento de agua potable, de manera que el agua subterránea es su alternativa más viable para consumo, de igual forma faltan monitoreos que permitan conocer las condiciones de calidad de agua subterránea de la cual se abastecen dicha comunidad; por tanto se hace difícil conocer el potencial de riesgo al cual se exponen cuando hacen uso de dicho recurso pues por las cercanías con los ríos, es posible que el agua que llega a los aljibes mediante los cuales extraen el agua subterránea, está contaminada por la conexión o cercanía de las fuentes hídricas del río Ocoa y río Guatiquía, por los eventos de inundación que se presentan y por las condiciones edafológicas del suelo en la zona.

Presentando esta problemática, esta investigación se desarrolla con la finalidad de dar respuesta a la pregunta de investigación: ¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos de calidad de agua de los ríos Ocoa y Guatiquía, que inciden sobre la calidad de agua subterránea de la vereda El Guamo, ubicada en el municipio de Villavicencio, Meta?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Evaluar la incidencia que tiene los ríos Ocoa y Guatiquía sobre la calidad del agua subterránea de la vereda El Guamo ubicada en el municipio de Villavicencio, Meta.

1.2.2. Objetivos Específicos

- ✓ Delimitar las zonas de mayor influencia a partir de las características geomorfológicas de la vereda El Guamo.
- ✓ Determinar la calidad de agua de los aljibes y de las fuentes hídricas río Ocoa y Guatiquía, mediante parámetros fisicoquímicos.
- ✓ Analizar los parámetros fisicoquímicos de la calidad de agua correlacionando sus variables en aljibes y cuerpos hídricos.

1.3. Justificación

La disponibilidad de agua para consumo humano puede variar de acuerdo a su calidad, pues aunque existan varios cuerpos de agua no se da garantía de que todos cumplan con condiciones de calidad para hacer captación, debido a que pueden contener sustancias solubles que alteran parámetros fisicoquímicos de calidad de agua y a su vez la hacen inadecuada para el consumo humano, así su apariencia sea de agua limpia; es por esto que todas las personas deben disponer de un abastecimiento suficiente, seguro y accesible.

El acceso al agua con garantías sanitarias ha sido una de las mayores preocupaciones en la comunidad de la vereda El Guamo, pues, aunque la vereda se encuentra rodeada por dos fuentes hídricas (río Ocoa y Guatiquía) los estudios realizados a estas dos fuentes no dan garantía para realizar captación. La única fuente alterna que tienen es el agua subterránea que es captada mediante aljibes, sin embargo, los 104 habitantes de esta comunidad manifiestan que han venido presentando problemas en su salud por el consumo directo de dicha agua; también aseguran que algunas características organolépticas del agua como el color y sabor están alteradas.

Esta investigación busca evaluar la incidencia que tienen los río Ocoa y Guatiquía sobre la calidad del agua subterránea de la vereda El Guamo, teniendo en cuenta la cercanía con los aljibes, los eventos de inundación de la zona y las condiciones edafológicas del suelo; y a su vez determinar la calidad del agua mediante parámetros fisicoquímicos que presentan dichas fuentes hídricas, proporcionando información útil a toda la comunidad de la vereda, dado que mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura, conductividad, alcalinidad, dureza, DBO, DQO) se pueden conocer las condiciones en las que se encuentran el agua subterránea. Finalmente, con este proyecto se afrontó una problemática local, de tal manera que es posible informar a entidades competentes de la región la necesidad que presenta la comunidad al no contar con sistemas de tratamiento de agua potable, y a su vez se pueden generar estudios posteriores que planteen soluciones y contribuyan con el mejoramiento de la calidad de vida de dicha comunidad.

1.4. Alcance

La evaluación de la incidencia de las fuentes hídricas superficiales de los ríos Ocoa y Guatiquía sobre la calidad de agua subterránea, en términos espaciales se llevó a cabo en la zona Norte del departamento del Meta, específicamente en los tramos que colindan dichas fuentes hídricas con la vereda El Guamo ubicada en el municipio de Villavicencio, Meta.

El lugar de estudio se seleccionó por la carencia de un sistema de abastecimiento de agua potable para consumo humano y por la influencia de los vertimientos industriales y vertimientos urbanos que se presentan durante el paso de las fuentes hídricas río Ocoa y Guatiquía por las dinámicas rurales de la población, con mayor concentración de actividades agropecuarias y producto de las actividades municipales de Villavicencio que se desarrollan en la zona alta y media de la cuenca del río Ocoa, de manera que el agua subterránea es la única alternativa que tiene la población de la vereda El Guamo para abastecerse.

La población a quien va dirigido el presente estudio son las entidades ambientales y a la academia, con el propósito de abordar la problemática que presenta la vereda El Guamo, con lo anterior se pretende generar soluciones y medidas de manejo adecuadas al agua subterránea para mejorar su calidad y así contribuir con el mejoramiento de la calidad de vida de la población de la vereda.

En términos temporales, la evaluación de la incidencia de las fuentes hídricas río Ocoa y Guatiquía en la calidad de agua subterránea de la vereda El Guamo, se llevó a cabo en el primer y segundo semestre del año 2019, posteriormente, se realizó a través de 20 muestreos que se llevaron a cabo en un periodo de siete meses (marzo – septiembre) los cuales abarcaron 10 muestras en temporada con bajos niveles de precipitación y 10 muestras en temporada con altos niveles de precipitaciones, estas se realizaron tanto en el tramo de los ríos Ocoa y Guatiquía colindantes con la vereda, como en los aljibes mediante los cuales se abastece dicha comunidad. Es de resaltar que para el análisis del agua subterránea se seleccionaron estratégicamente 10 aljibes de la vereda de acuerdo con su cercanía con los ríos Ocoa y Guatiquía, para evaluar la calidad de agua ([Apéndice A](#))

2. Capítulo II Antecedentes

2.1. Antecedentes

La degradación de la calidad de agua tanto superficial como subterránea ha despertado gran preocupación a nivel mundial, ya que está siendo contaminada por agentes químicos, biológicos, y contaminantes orgánicos e inorgánicos resultantes de diversas actividades humanas (Dev & Bali, 2018), que ponen a su vez en riesgo la salud pública, es por esto que se le han dedicado varias investigaciones en torno a la calidad del agua superficial y subterránea como fuentes de abastecimiento, pero además se han realizado estudios con el fin de determinar las interacciones que ocurren entre ambas fuentes.

En Cuajinicuilapa, Guerrero, México es una población que se encuentra en el estado de Guerrero y limita con el estado de Oaxaca, evidencia la interacción entre aguas superficiales y subterráneas a través zonas hiporreicas por medio del uso de la hidroquímica y el análisis multivariado en el acuífero de Cuajinicuilapa, este acuífero está formado por rellenos aluviales que cubren una fosa tectónica, lo que permite almacenar agua subterránea, la recarga principal se lleva a cabo por las corrientes superficiales a través de la superficie de contacto definida por materiales granulares permeables y las rocas impermeables, así como por infiltraciones de agua de lluvia precipitada de manera directa, el acuífero no presenta problemas de abatimiento debido a los escurrimientos superficiales y el régimen de lluvias. Sin embargo, la calidad fisicoquímica del acuífero es ligeramente alterada en especial por cuerpos de agua superficiales que presentan eutrofización por su aislamiento de las corrientes superficiales y su falta de renovación debido a que sólo se renuevan cuando se presentan grandes avenidas (Sandoval-Montes & Rodríguez-Rocha, 2012).

Otro estudio que se relaciona con esta investigación, fue realizado en Laos, Vietnam y en el cual se determinó la idoneidad del agua para consumo humano, mediante el análisis de parámetros de calidad de agua y también del suelo, ya que se considera como una variable que puede influir en la calidad del agua a través de la infiltración de contaminantes (Brindha, Pavelic, & Sotoukee, 2019). A pesar de que para efectos de esta investigación no se tendrán en cuenta el análisis de

parámetros del suelo, el estudio anterior es pertinente ya que pone en evidencia que el agua subterránea se ve alterada por contaminantes proveniente desde la superficie del suelo.

A nivel nacional se realizó un estudio en la cuenca del río Neusa - Cundinamarca, teniendo en cuenta las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas de la zona; uno de los principales resultados fue que en épocas de altas precipitaciones los volúmenes de agua subterránea son mayores en comparación con épocas de bajas precipitaciones, además teniendo en cuenta el comportamiento de volúmenes y caudales calculados se encontró una relación directa de agua superficial – subterránea, pues en los meses donde hay exceso de caudal el río es denominado perdedor y en los meses de estiaje es ganador, recibiendo hasta un 20% de aporte del acuífero (Depósitos de Terraza Alta); sin embargo es de resaltar que por las condiciones topográficas de la zona, representada como altas pendientes, la recarga de los acuíferos allí existentes, por parte del río Neusa es baja, puesto que existe mayor escorrentía que infiltración (Díaz Zerrate & Otálvaro Barco, 2014)

Por otra parte, a nivel local y regional se desarrollaron dos estudios en un tramo del río Ocoa comprendido entre la desembocadura del Caño Maizaro hasta el puente Murujuy. En el primer estudio evaluaron la presencia y distribución del arsénico y cadmio, teniendo en cuenta variables ambientales y Morfométricas como caudal, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH y temperatura; encontraron altas concentraciones de dichos metales, para el caso del arsénico los niveles más altos (51 $\mu\text{g/L}$ - 126 $\mu\text{g/L}$) se dieron durante la temporada con bajas precipitación y en el caso del cadmio las concentraciones más altas (3 $\mu\text{g/L}$ - 5 $\mu\text{g/L}$) se presentaron en la temporada con bajas precipitaciones (Alejandra & Pulido, 2018). En el segundo estudio evaluaron la presencia y distribución de los metales pesados cromo, níquel y plomo; encontraron concentraciones de metales como Plomo, Níquel y Cromo; se evidenció que el metal con mayor presencia fue el Plomo, sobrepasando los niveles de referencia establecidos por normas nacionales e internacionales; además, se encontraron concentraciones de Níquel y Cromo que sobrepasan los valores máximos establecidos en el Decreto 1594 de 1984; las posibles causas de la existencia de estos metales en ese tramo del río se asocian a las descargas de la zona urbana, la escorrentía y a los vertimientos de la industria petrolera Apiay (P. Morales & Rojas, 2018).

3. Capítulo III Marco de Referencia

3.1. Marco Teórico

3.1.1. Ciclo hidrológico y agua subterránea

El agua se encuentra en la atmósfera, en la superficie terrestre y en el suelo en sus diferentes estados; debido a que la tierra es un sistema cerrado, la cantidad total del agua se mantiene. El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte re-circulatorio e indefinido, gracias a factores como la evaporación y la gravedad terrestre que hace que el agua condensada descienda por medio de precipitaciones y escurrimientos. Este ciclo comienza con el paso del agua desde la superficie terrestre hacia la atmósfera por medio de la evaporación, luego el vapor de agua se enfría y condensa en gotas que dan formación a las nubes, estas junto con las masas de aire húmedo son empujadas por el viento, el cual estimula un choque entre nubes cargadas que al encontrarse demasiado pesadas ocasionan la precipitación, desprendiendo gotas de agua en forma de lluvia, nieve o granizo. El agua sigue descendiendo, al llegar nuevamente a la superficie una parte fluye hacia los cursos de agua, la otra parte se infiltra y penetra el suelo atravesando varias capas hasta formar parte de los depósitos subterráneos para convertirse en agua subterránea.

3.1.2. Movimiento de las aguas subterráneas

El agua subterránea se almacena y se mueve en las formaciones geológicas que tienen poros o fracturas específicas que determinan la facilidad con la que el agua puede fluir por entre estos mismos; en un perfil del subsuelo generalmente sobresalen dos zonas, la no saturada y la saturada (Paula, Caraballo, & Xavier, 2012).

La zona no saturada o también conocida como zona de aireación se encuentra situada entre la superficie del terreno y el nivel freático. Esta a su vez se divide en la zona edáfica, donde los procesos químicos y biológicos del suelo se tornan más variados e intensos, pues es allí hasta donde llegan las raíces de la vegetación existente y además se encuentra abundante materia orgánica, su importancia radica en que almacena nutrientes vitales para la biosfera, además transmite agua y otras sustancias desde la superficie terrestre hasta los acuíferos y viceversa; en la zona vadosa o intermedia ocurre percolación, debido a que el agua se mueve hacia zonas inferiores

por la gravedad, y finalmente la franja capilar que se caracteriza por los estrechos conductos ocupados por agua y sujetos a fuerzas capilares que ayuda a ascender el fluido desde la zona saturada. (Paula et al., 2012).

La zona saturada se encuentra debajo de la superficie freática, en esta se encuentran poros y fisuras llenos de agua, denominada agua subterránea; esta zona está separada de la zona no saturada por el nivel freático. (Paula et al., 2012).

Los principales factores que influyen en el movimiento de las aguas subterráneas son la porosidad, la permeabilidad y la infiltración. La porosidad varía entre los diferentes tipos de roca y depende del tamaño, la forma y disposición del material que compone la roca; la porosidad total es definida como la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total de determinado material; cuando la porosidad está asociada a los espacios entre granos de la roca, se habla de porosidad primaria, mientras que cuando los vacíos de las rocas son generados por fisuras o fracturas, se habla de porosidad secundaria. En cuanto a la permeabilidad se dice que depende de los vacíos o aperturas interconectadas de las rocas y se relaciona con la porosidad ya que en cuanto menor sean los vacíos o espacios porosos, más lento será el movimiento del agua; es por esto que la manera en cómo estén conectados los vacíos determina la facilidad con la que el agua puede moverse por medio de ellos (Paula et al., 2012).

3.1.3. Química y calidad del agua subterránea

La composición química del agua subterránea según (Maria, Carolina, & Maria, 2011) depende de:

- ❖ Las características del agua que se infiltra
- ❖ Los tipos de suelos y rocas por donde atraviesa
- ❖ Los procesos químicos y microbiológicos que ocurren en el suelo

La calidad de agua subterránea, según (López, Fornés, Ramos, & Villarroja, 2009) responde a una serie de parámetros fisicoquímicos como la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica, alcalinidad, dureza, acidez, DBO, DQO, pero también a una serie de sustancias disueltas que se han ido incorporando al agua a través de procesos naturales. Entre las sustancias inorgánicas disueltas se encuentran principalmente los iones mayoritarios de cloruros, sulfatos, nitratos, bicarbonatos, calcio, magnesio, sodio y potasio; iones minoritarios y elementos trazas como

arsénico, cadmio, cobre, hierro, zinc, entre otros, pero además puede contener virus, bacterias, algas, hongos y protozoos.

Conocer la composición del agua subterránea, no solamente sirve para asignarle un uso, sino que además ayuda a conocer los procesos naturales por los que ha atravesado desde que se infiltró al suelo hasta que es extraída, es decir indica cómo ha funcionado el acuífero en donde se ha almacenado naturalmente dicha agua y a su vez permite conocer el flujo del agua del acuífero, es decir si se trata de un acuífero de recarga, de circulación, de almacenamiento o de descarga.

3.1.4. Importancia del agua subterránea

Las aguas subterráneas son un recurso de gran importancia para el ser humano, ya que asocian calidad y cantidad; desde el siglo XX el agua subterránea ha sido catalogada como el principal reservorio hídrico del planeta, pues alrededor de 10.000.000 Km³ de agua dulce están almacenados en acuíferos y es utilizada a nivel mundial por cerca de dos mil millones de personas, con una extracción anual de entre 600 y 700 Km³, el cual representa un 20% del consumo de agua dulce, convirtiéndose en una fuente importante de agua dulce accesible para la agricultura, la industria y el uso doméstico (Enrique et al., 2013).

(Rosa & Salazar, 2018) menciona que “La importancia del agua subterránea no sólo radica en ser una de las principales fuentes de agua para consumo humano, sino que también posee un papel ecológico fundamental en el equilibrio de los ecosistemas y en la subsistencia de todos los seres vivos”. Por su parte el agua subterránea cuenta con mecanismos de descarga natural que le permiten emerger a la superficie y aflorar formando cuerpos de agua, manantiales, humedales, pantanos, entre otros ecosistemas que sirven como hábitat de varias especies y a su vez ayudan a mantener procesos ecológicos; sin embargo dichos procesos se ven afectados por la sobreexplotación de las aguas subterráneas en términos de captación de altos caudales usados principalmente para riego en la agricultura, pero también en términos de calidad por la descarga al suelo de sustancias contaminantes como los pesticidas, los desechos industriales y otras sustancias que se infiltran y llegan hasta donde se encuentran los acuíferos.

3.1.5. Interacciones agua superficial y subterránea

El estudio de las interacciones entre el agua superficial y subterránea, se enfoca principalmente en dos procesos; el primer proceso de recarga y descarga de agua subterránea, puede variar tanto

temporal como espacialmente dependiendo la zona donde se infiltra o aflora el agua, es decir, obedece tanto a la topografía del terreno como de las condiciones de caudales máximos o mínimos, pues en época de invierno donde los caudales son máximos, un río puede infiltrar agua al sistema subterráneo, mientras que en época de verano donde los caudales son mínimos, el agua subterránea puede emerger y aportar agua a las fuentes superficiales; el segundo proceso es el estudio de la parte bioquímica y geocológica que acontece en la zona hiporreica con el fin de analizar el intercambio y la degradación de contaminantes cuando hay interacción de agua superficial – subterránea (Ramachandran, Krishnamurthy, Jayaprakash, & Shanmugasundharam, 2018).

Aunque las aguas subterráneas suelen ser más difíciles de contaminar comparada con las superficiales, la composición natural de las primeras, puede verse afectada por causas naturales como el clima, la temperatura, el terreno por el cual se desplaza, el tiempo de residencia en el acuífero o por factores antrópicos como el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas en prácticas agrícolas, el vertimiento de aguas residuales en el terreno, la lixiviación de residuos urbanos, fugas en depósitos de combustibles, e incluso por temas de infiltración de aguas superficiales altamente contaminadas (López et al., 2009).

Dentro de las metodologías empleadas para conocer la interacción entre las aguas superficiales y subterráneas están: el análisis estadístico mediante el desarrollo de matrices de correlación de diferentes parámetros hidrogeoquímicos y en el cual una variable puede predecir el comportamiento de otra; los modelos de superficie terrestre para simular la infiltración del agua de los ríos y los procesos hidrológicos a lo largo de los corredores de los mismo; y finalmente la diferencia entre la elevación de un río y una cabecera de agua subterránea de referencia a través de la conductancia del río (Zampieri, Serpetzoglou, Anagnostou, Nikolopoulos, & Papadopoulos, 2012).

3.1.6. Agua subterránea en Colombia

En algunas regiones de Colombia las aguas subterráneas son reconocidas como fuentes alternas de abastecimiento de agua para consumo humano o para llevar a cabo proyectos agroindustriales, mientras que en otras regiones donde el acceso a las aguas superficiales es limitado en términos de cantidad y calidad, el agua subterránea se ha convertido en la única fuente disponible para hacer captación de dicho recurso (IDEAM - Instituto de Hidrología, 2015a)

Según la FAO en un informe Regional de América del Sur, Centroamérica y el Caribe (FAO

AQUASTAT, 2015) menciona que la disponibilidad de agua en Colombia varía entorno a la complejidad geológica del territorio y a las condiciones topográficas, geológicas y climáticas; además en dicho informe indica que el 36% del territorio nacional tiene aptitud para el aprovechamiento de agua subterránea, sin embargo aunque en las últimas décadas se ha ido incrementando estudios en el tema de agua subterránea, aún existe la necesidad de dedicar estudios que se enfoquen en la caracterización y cuantificación de recursos hídricos del país.

Por otra parte, INGEOMINAS resalta que el potencial de aguas subterráneas en Colombia es alto, pues en el Atlas de Agua Subterránea (2004) el 75% del territorio colombiano presenta almacenamiento de agua subterránea y en donde el área con mayores posibilidades hidrogeológicas representada en un 56% corresponde a la Orinoquía, la Amazonía y la Costa Pacífica (IDEAM, 2018), sin embargo existen bajos niveles de conocimiento académico y técnico enfocado al recurso hídrico subterráneo, razón por la cual no se contribuye en la planificación y manejo de dicho recurso.

En los departamentos como la Guajira y Sucre, según (Jimenez Armenta & Gallardo Amaya, 2016) el agua subterránea es casi que considerada como la única fuente de agua para consumo humano; en el caso de Sucre se estima que el 91,7% de la población es abastecida con agua subterránea captada a través de pozos profundos. Por otra parte, en el departamento del Cesar, exactamente en el Valle del río Cesar se hace uso del agua subterránea, pero sin tener en cuenta aspectos de calidad y cantidad, es decir en dicha zona se carece del uso eficiente y sostenible del agua subterránea.

3.1.7. Generalidades de los suelos en la Orinoquía

Los suelos en la Orinoquia están representados principalmente por Oxisoles y Ultisoles, originados a partir de los sedimentos que fueron transportados por los ríos provenientes de la Cordillera Oriental, en general son suelos que se caracterizan por tener un pH fuertemente ácido, bajos contenidos de bases intercambiables, alta presencia de caolinitas, óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio. Sin embargo, en las Llanuras aluviales del Piedemonte o también llamadas vegas del plano inundable, donde el relieve es plano a ligeramente ondulado y las pendientes son menores a 7%, se encuentran los suelos Entisoles e Inceptisoles, que tienden a ser fértiles, puesto que reciben aportes de nutrientes a causa de las crecientes procedentes de las áreas altas del piedemonte, sin embargo, son suelos sujetos a inundaciones y encharcamientos periódicos que se

relacionan con las épocas de mayor precipitación (Rincon Alvaro, n.d.).

En el departamento del Meta, específicamente en el sector de planicie aluvial y altiplanicie los suelos se caracterizan por sus colores pardos resultantes de la concentración de óxidos de hierro, en cuanto a texturas dependen de la clase y evolución de los materiales parentales, pues según análisis de granulometría y textura de suelos por parte del IGAC, se han encontrado texturas desde arcillosas hasta arenosas, por presentar material de origen ígneo, sedimentario y metamórfico; en cuanto a la estructura predominan las estructuras blocosas subangulares debido a la alta concentración de sesquióxidos de hierro y aluminio que a su vez actúan como cementantes de los agregados estructurales.

A lo largo y ancho de grandes ríos como Upía, Guatiquía, Guayuriba, Meta, entre otros que descienden desde la cordillera iniciando con un régimen trezado y cambiando a régimen meándrico a medida que la pendiente va siendo menos pronunciada, se encuentran los suelos de planicie aluvial, dicho paisaje se caracteriza por tener altitudes entre los 100 y 500 msnm, con clima cálido húmedo, temperaturas promedio de 24°C y precipitaciones promedias anuales que pueden llegar a ser mayores de 2000 mm. El material de origen de dichos suelos está constituido por sedimentos aluviales mixtos depositados sobre capas de fragmentos rocosos de diferente tamaño y composición como piedra, cascajo y gravilla y el drenaje externo, interno y natural es variable, pues depende fundamentalmente del grado de pendiente del terreno (Rincon Alvaro, n.d.). En las terrazas bajas del río Guatiquía, en donde se encuentran alturas inferiores a 200 msnm, los suelos se caracterizan por ser pobremente drenados, con texturas finas a moderadamente gruesas que los catalogan con una buena permeabilidad y retención de humedad media - alta; además se caracterizan por presentar en algunos sectores profundidades efectivas superficiales limitada por el nivel freático, con tendencia medianamente ácida en la superficie y fuerte en la profundidad, su drenaje interno es lento a medio, en cuanto a contenidos nutricionales se presentan calcio, magnesio, potasio, fósforo y carbón orgánico en cantidades medias a bajas, con saturaciones altas de aluminio y hierro que junto con la alta susceptibilidad a los encharcamientos causados por el agua lluvia como por el desbordamiento de los ríos y el nivel freático se convierten en limitantes para el uso y manejo de estos suelos.

3.1.8. Análisis de varianza ANOVA de un factor

El análisis de varianza ANOVA es una prueba estadística que sirve para contrastar la igualdad de

medias de tres o más poblaciones independientes y con distribución normal, con la finalidad de determinar si existen diferencias significativas entre las poblaciones, o si por el contrario, la respuesta en cada población es independiente a los factores; se trata entonces de un contraste paramétrico que extiende al caso de N poblaciones el contraste de la igualdad de medias entre dos poblaciones independientes. Si el modelo consta de más de un factor se estaría hablando de análisis de varianza factorial, pero si sólo existe una única variable se conoce como ANOVA de un factor (Bakieva, M., González Such, J. y Jornet, 2019).

El análisis de varianza ANOVA de un factor se utiliza para comparar el valor medio de una variable dependiente cuantitativa entre los grupos o categorías de la variable independiente, basándose en un contraste de hipótesis. La hipótesis nula que se contrasta en el ANOVA de un factor es que las medias poblacionales son iguales, es decir, que los grupos poblacionales no difieren en el valor medio de la hipótesis y en el caso contrario se estaría aprobando la hipótesis alterna (las medias poblacionales no son iguales) (Bakieva, M., González Such, J. y Jornet, 2019). Al aplicar ANOVA de un factor, se calculan un estadístico denominado F (se llama F en honor al estadístico Ronald Fisher) y su significación o P -valor. El F se obtiene al estimar la variación de las medias entre los grupos de variables independientes y dividirla por la estimación de la variación de las medias dentro de los grupos; entre más difieren las medias de una variable dependiente entre los grupos de la variable independiente, el valor de F será más alto; para el caso de la significancia se tiene en cuenta un nivel de confianza del 95%, cuando $P \geq 0,05$, se acepta la hipótesis nula, si $P < 0,05$ se rechaza la H_0 y se acepta la H_a .

4. Marco Conceptual

A continuación, se mencionan algunos conceptos importantes para estudios enfocados en el análisis de calidad de agua subterránea y la incidencia de las fuentes superficiales:

Para efectos de esta investigación se entenderán como **fuentes de abastecimiento** aquellos cursos o depósitos de agua superficial o subterránea que se desvían o de los cuales se capta agua para ser usada en un sistema de suministro a la población (Ministerio de La Protección Social, 2007). Las razones para elegir el tipo de fuente, depende de la calidad, cantidad, la seguridad del abastecimiento, pero además del costo de construcción y operación; en el caso de las fuentes de agua superficiales se incluyen ríos, lagos y acuíferos no confinados, las desventajas de dichas fuentes es que son más susceptibles a la contaminación por descargas de aguas residuales, mientras que en el caso de las aguas subterráneas están mejor protegidas de la contaminación y específicamente la producida por actividad biológica, aunque puede llegar a tener concentraciones de sustancias químicas.

El agua precipitada que no se infiltra en el suelo y que regresa a la atmósfera por medio de la evaporación o transpiración se conoce como **agua superficial**. Se encuentra sobre toda la superficie terrestre en forma de pantanos, ríos, lagos o depósitos artificiales y aunque el 70% del planeta esté cubierto por agua, técnicamente menos del 1% es agua disponible para consumo humano. El agua superficial se puede contaminar por fuentes no puntuales como la agricultura y ganadería o por fuentes puntuales como el vertimiento de aguas negras y desechos industriales (CONAGUA, 2011) .

Se conoce como **agua subterránea** aquella que se encuentra debajo de la superficie terrestre saturando los poros y fisuras del terreno, de manera que el agua subterránea depende de la naturaleza del suelo y de la vegetación. Es un agua que se encuentra en constante movimiento, aunque la velocidad en la que circula (que por lo general es lenta), depende de la permeabilidad y porosidad de la roca. Por su prolongado contacto con las formaciones geológicas por medio de las cuales se desplaza, la composición química de las aguas subterráneas en comparación con las aguas de escorrentía superficial suele presentar mayor concentración de iones disueltos como calcio, magnesio, sodio, potasio, sulfatos, cloruros, entre otros que se encuentran condicionados a factores como el pH (varía entre 6,5 – 8), la temperatura (aumenta 1 °C por cada 33 metros de profundidad)

y el oxígeno disuelto (0 – 5 mg/L) del agua subterránea. Sin embargo, la composición de estas aguas puede verse modificada por factores naturales como el clima, el tipo de terreno, el tiempo de permanencia del agua en el acuífero, o también por factores antrópicos que degradan las características naturales del agua debido a la infiltración de sustancias como hidrocarburos, plaguicidas, disolventes halogenados y otros (López et al., 2009).

El **aljibe** es aquella excavación manual de gran diámetro (4 – 5 m) que alcanza el nivel freático donde se encuentra disponible el agua subterránea; es considerado como un depósito de agua domiciliario, capaz de abastecer a los usuarios de forma continua ante posibles servicios intermitentes o cuando existen cambios en demanda de agua, sin embargo, dichos depósitos presentan inconvenientes como la pérdida de calidad de agua, atribuida al tiempo de permanencia en el depósito antes de ser consumida y a la misma infiltración de sustancias contaminantes (IDEAM, 2015).

Se conoce como **nivel freático** a la distancia que hay desde la superficie del terreno hasta la superficie del agua subterránea y en donde la presión del agua subterránea coincide con la presión atmosférica; también se conoce como la línea de división de la zona no saturada y la zona de saturación de los acuíferos (IDEAM - Instituto de Hidrología, 2015b).

En relación con las diferentes fuentes de agua con fines de consumo humano de origen subterránea o superficial se tiene en cuenta específicamente los **parámetros fisicoquímicos de calidad**, estos se conocen como aquellas sustancias químicas solubles e insolubles presente en el agua que son de origen natural o se dan por actividades antropogénicas definiendo la composición química y física del recurso (Zahariev et al., 2009).

Un **acuífero** es una formación geológica capaz de almacenar en los poros del suelo y circular libremente de manera lenta y en dirección de la pendiente considerables cantidades de agua subterránea, que puede extraerse para el desarrollo de diferentes actividades humanas o también puede emerger y alimentar a diferentes cuerpos de agua superficial (IDEAM - Instituto de Hidrología, 2015b). Existen varios tipos de acuíferos:

- **Acuífero libre o freático**, es aquella formación permeable saturada que está limitada en la parte inferior por una capa impermeable y en el límite superior se vincula con la superficie del terreno, pues se encuentra abierto en forma de ríos, lagos o lagunas y sometido a la presión atmosférica.

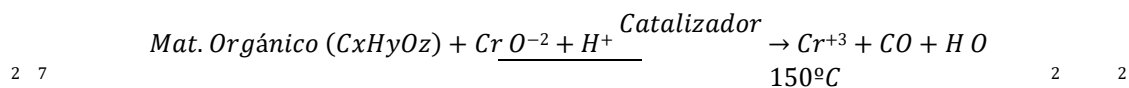
-**Acuífero confinado**, es una formación permeable que se encuentra completamente saturada de

agua, se encuentran limitados superior e inferiormente por capas impermeables que favorecen el confinamiento de agua subterránea, la presión a la que están sometidos es mayor a la atmosférica.

- **Acuíferos semi-confinados, al igual que los confinados, estos** se encuentran sometido a una presión mayor a la atmosférica, sin embargo, algunas capas que lo confinan no son completamente impermeables, permitiendo así una vinculación vertical del agua (Béjar, 2007).

La **Demanda biológica de oxígeno (DBO₅)** es una medida de la cantidad de oxígeno que utilizan los microorganismos para la degradación de la materia orgánica en condiciones aeróbicas, en un periodo de cinco días y a una temperatura constante de 20°C (Olga et al., 2007); el incremento de la DBO provoca la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua, lo cual ocasiona condiciones de anoxia y a su vez produce efectos negativos en las comunidades biológicas de los ecosistemas acuáticos; un agua con una DBO menor a 3 mg/L es considerada como no contaminada y por ende es apta para todo tipo de uso, una DBO entre 3 y 6 mg/L es considerada como un agua de buena calidad que puede ser apta para consumo humano solamente si recibe tratamientos convencionales de potabilización; cuando la DBO está entre 6 y 10 mg/L es un agua con indicios de contaminación atribuida a la descarga de aguas residuales que han sido tratadas biológicamente; y finalmente un agua que tenga una DBO de 30 mg/L ya es considerada como un agua totalmente contaminada (Knepper, Kwon, & Nielsen, 2015).

La **Demanda química de oxígeno (DQO)** es conocida como la cantidad de oxígeno en mg/L consumido en la oxidación de materia orgánica presente en una muestra de agua, esta difiere de la DBO debido a que esta última prueba solo se detecta el material orgánico degradado biológicamente o que es biodegradable, mientras que en la determinación de DQO todo el material orgánico biodegradable y no biodegradable es químicamente oxidado por medios químicos, en la mayoría de las pruebas de DQO se utiliza como oxidante el dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇) con iones plata como catalizador en un solución de ácido sulfúrico (H₂SO₄) en estas condiciones, en un tiempo de dos horas de digestión, a una temperatura de 150°C, el Cromo (VI) pasa a el estado de oxidación Cromo (III) :



oxidando la materia orgánica y convertirla en dióxido de carbono y agua; el valor de la DQO siempre será mayor que el de la DBO₅ (Baca, 2000).

La **Densidad aparente del suelo** es una propiedad del suelo que está directamente relacionada con la estructura del mismo, es de gran interés debido a que refleja el grado de compactación, así como la facilidad de circulación del aire y agua del suelo por medio del cálculo de porosidad, de manera que es la responsable del drenaje rápido del exceso de agua y, por ende, de la aireación del suelo; La densidad aparente es un buen indicador de la calidad del suelo (Marconi, 2011).

La **densidad relativa del suelo** es una manera de indicar el grado de compactación de un suelo, no proporciona información acerca de los procesos físicos del suelo, debido a que sólo tiene en cuenta la densidad de las partículas. Sin embargo, participa en el cálculo de las propiedades del suelo como la porosidad (Marconi, 2011).

Para efectos de esta investigación se entiende como **porosidad** un parámetro físico del suelo que indica el espacio poroso del suelo que puede ser ocupado por agua o aire; no todos los suelos contienen las mismas cantidades de poros, dentro del espacio poroso se pueden distinguir los micro poros los cuales son importantes en el almacenamiento del agua y macro poros del aire; los macro poros no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, de manera que son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces de las plantas, mientras que los micro poros retienen agua (Marconi, 2011).

La **alcalinidad** del agua puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos o su capacidad para reaccionar con iones hidrógeno, debe conocerse la alcalinidad para calcular las cantidades de productos químicos que se deben agregar para su tratamiento. Un agua alcalina generalmente tiene altas unidades de pH y puede contener grandes niveles de sólidos disueltos, la

alcalinidad en las aguas naturales se debe principalmente a la presencia de iones de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos; la alcalinidad está estrechamente relacionada con el pH, pues a valores de pH inferiores a 7, los iones de hidrógeno [H⁺] en el agua disminuyen significativamente la alcalinidad (Manahan, 2006).

La **dureza** es la presencia de metales alcalinotérreos en el agua estas contiene un alto nivel de minerales y posee cantidades variables descompuestos, en particular sales de magnesio y calcio, la dureza en el agua es el resultado de la disolución y lavado de los minerales que componen el suelo y las rocas, de manera que en aguas subterráneas es más frecuente, aunque algunos vertimientos de aguas residuales pueden presentar y aportar dureza a una fuente natural. Según la clasificación de la Organización Mundial de la Salud (OMS) existen varios tipos de dureza, a continuación, en la tabla 1 se presenta la clasificación de la dureza por concentraciones de CaCO₃ (Rodríguez Zamora., 2009).

Tabla 1. Clasificación de la Dureza por CaCO₃ en el agua, Según OMS

Concentración de CaCO ₃ /mg/L	Tipo
0 – 60	Blanda
61 – 120	Moderadamente dura
121 – 180	Dura
>180	Muy dura

Nota: tipos de dureza según la Organización Mundial de la Salud (OMS)

La **conductividad eléctrica** del agua se define como la habilidad de conducir o transmitir calor, electricidad o sonido; esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración y su movilidad, las unidades de medida se denominan mhos, donde la millonésima parte de un mhos es igual a un micromhos o microsiemens (como es conocido comercialmente, μS); la medición de la conductividad se ve afectada por el número de iones disueltos en la solución y se incrementará conforme a la cantidad y movilidad de los iones (HACH, 2000)

4.1. Marco Legal

Para efecto del proyecto se tuvo en cuenta la legislación ambiental pertinente a calidad de agua potable para consumo humano, enmarcada como:

Tabla 2. Norma vigente recurso hídrico.

LEYES DEL CONGRESO DE LA REPÚBLICA Y DECRETOS		
<u>Normativa</u>	<u>Art</u>	<u>Reglamentación</u>
Decreto 155 de 2004	2	Se define acuífero como unidad de roca o sedimento, capaz de almacenar y transmitir agua en cantidades significativas
Decreto Ley 2811 DE 1974	134	Corresponde al Estado garantizar la calidad del agua para consumo humano, y en general, para las demás actividades en que su uso es necesario
	137	Serán objeto de protección y control especial: Las aguas destinadas al consumo doméstico humano y animal
	149	Se entiende por aguas subterránea las subálveas y las que se encuentran bajo la superficie del suelo, que brotan en forma natural, como las fuentes y manantiales captados en el sitio de afloramiento, o las que requieren para su aprovechamiento obras como pozos, galerías filtrantes u otras similares.
Decreto 1575 de 2007	3	Las características físicas, químicas y microbiológicas, que puedan afectar directa o indirectamente la salud humana, así como los criterios y valores máximos aceptables que debe cumplir el agua para el consumo humano, serán determinados por los ministerios de salud y de ambiente
	8	Las direcciones territoriales de salud (autoridades sanitarias), ejercerán vigilancia sobre la calidad del agua para consumo humano.
Resolución 2115 de 2007	2	El agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas.
	7	Las características químicas del agua para consumo humano tienen efectos económicos e indirectas sobre la salud.

Nota: marco normativo para Colombia para recurso hídrico en términos de calidad y aprovechamiento. Adaptado por Bastidas & Garzón, 2019

5. Capítulo III Metodología

5.1. Diseño De Investigación Y Temporalidad Del Estudio

El presente corresponde a una descripción cuantitativa y cualitativa, pues hace uso de medios tradicionales estadísticos para medir resultados de manera concluyente. Para efectos de esta investigación, fue necesario el reconocimiento del relieve de la zona de estudio mediante perfiles que permitieron conocer las diferencias de alturas y distancias entre las fuentes hídricas superficiales y los aljibes, un análisis de parámetros físicos del suelo (densidad aparente, densidad real, porosidad), corroborando así la información existente de la litología de la zona. A su vez fue necesaria la recolección y análisis de datos como pH, temperatura, conductividad, alcalinidad, dureza, DBO₅ y DQO, tanto del agua subterránea de la vereda, como del agua superficial del tramo del río Ocoa y Guatiquía que colinda con dicha vereda. Se estableció como factor de diseño: evaluar la incidencia de los ríos Ocoa y Guatiquía sobre la calidad de agua subterránea de la vereda El Guamo, ubicada en el municipio de Villavicencio, Meta.



Figura 1. Diagrama Metodológico. Por Bastidas & Garzón, 2019

En cuanto al análisis de parámetros se tuvo en cuenta las variables dependientes e independientes del estudio, como variable independiente se tiene la temporalidad (altas y bajas precipitaciones) y los niveles de agua tanto del río Ocoa y Guatiquía como de los aljibes; como

variables dependientes se tendrán los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad, alcalinidad, DBO, DQO)

5.2. Área De Estudio

El presente estudio se desarrolló sobre los tramos de los ríos Ocoa y Guatiquía, colindantes con la vereda El Guamo, ubicada al oriente del municipio de Villavicencio; el área seleccionada conforma una extensión de 23 Km², esta zona se encuentra en el área rural y sus usos del suelo son dedicados a la agricultura y ganadería (Figura 3).

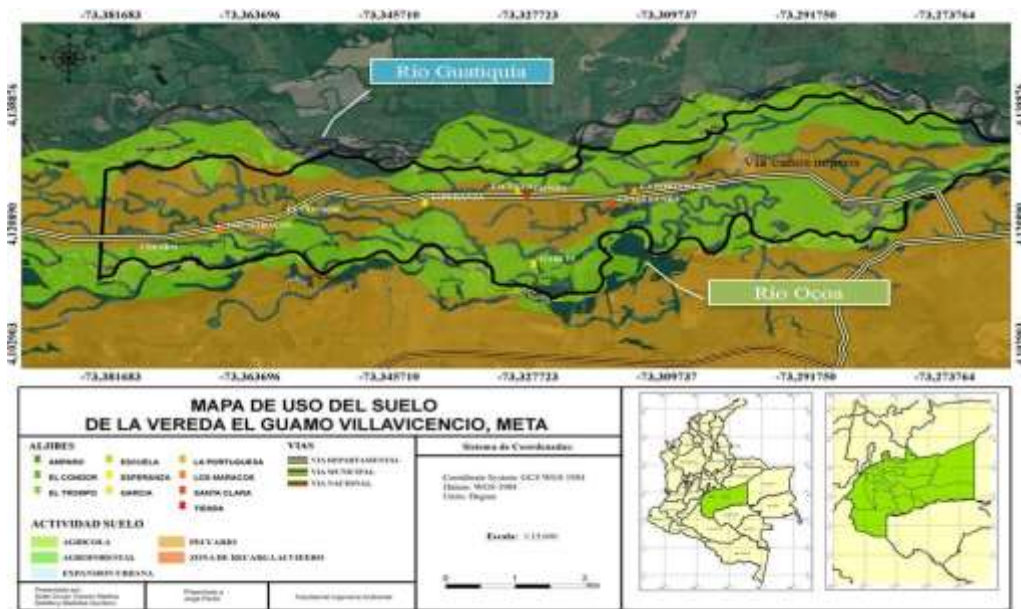


Figura 2. Diferentes usos del suelo de la vereda el Guamo Villavicencio, Meta. Por Bastidas & Garzón, 2019.

La temporalidad del estudio fue de ocho meses los cuales abarcarán temporadas con bajas precipitaciones y con altas precipitaciones; para ello, se ha considerado un conjunto de actividades por fase, a saber:

5.2.1. Fase I: Caracterización del área de estudio.

- En esta fase se realizaron visitas de reconocimiento a la vereda El Guamo, ubicada en el municipio de Villavicencio - Meta con el fin de localizar los aljibes mediante una georreferenciación, de manera que se estimaron los puntos a monitorear de acuerdo a la cercanía de las fuentes hídricas superficiales río Ocoa y Guatiquía con respecto a la

ubicación de los aljibes, los eventos de inundaciones que se presentan en la zona en la temporada de altas precipitaciones, las condiciones edafológicas del suelo. Además, se realizó un levantamiento altimétrico y planimétrico de esta zona determinando los cambios de pendiente e identificando los flujos de agua superficial con su respectivo recorrido (escorrentía) y a su vez la búsqueda de información secundaria para conocer la litología de suelos de la zona.

5.2.2. Fase II: Muestreo y medición de parámetros.

Principalmente, para el desarrollo de muestreo y medición de parámetros fisicoquímicos para la determinación de las condiciones de calidad de agua subterránea de los aljibes de la vereda El Guamo con respecto a los ríos Ocoa y Guatiquía se realizó en campo (*In Situ*) los cuales comprende los datos de niveles de láminas de agua de aljibes, parámetros físicos (temperatura, conductividad) y químicos (Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, dureza, alcalinidad, pH) del agua; teniendo en cuenta los protocolos para la toma de muestras de aguas suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (tabla 3).

Así mismo, se recolectaron muestras de suelo cercanas a cada aljibe, con el fin de analizar la porosidad.

Tabla 3. Parámetros Evaluados y su forma de análisis suministrados

Parámetro	Unidad	Tipo de Análisis	Método	Volumen de Muestra	Equipo
Temperatura	°C	In-situ	Electrométrico	-	Multiparametro Wtw 3630
Ph	Unidad pH	In-situ	Electrométrico	-	
Conductividad	(μ S/cm)	In-situ	Electrométrico	-	
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	Ex-situ	Volumétrico	500 ml	Kit reactivo Alcalino
Dureza	mg/L CaCO ₃	Ex-situ	Volumétrico	500 ml	Kit reactivo dureza
DBO ₅	mg/L O ₂	Ex-situ	Incubación	500 ml	Incubadora
DQO	mg/L O ₂	Ex-situ	Espectrofotómetro	500 ml	Spectroquant prove 600
Porosidad	%	Ex situ	Cilindro	-	Cilindro

Nota: Información de parámetros físico químicos a evaluar de las muestras a realizar, así como su método de análisis. Por Bastidas & Garzón, 2019

5.2.3. Tamaño y toma de muestras.

El tamaño de la muestra se encuentra determinado por el número de aljibes a muestrear establecido para la zona de estudio, la toma de muestras y mediciones en el agua permitió conocer la calidad tanto de la parte superficial como de la subterránea; para ello se tomaron diferentes muestras aguas arriba y aguas abajo de los ríos Ocoa, Guatiquía y en los aljibes. Se realizó un muestreo simple, debido a que se toma en lugares específicos; posteriormente, para el muestreo del agua superficial la toma de muestra se realizó cerca a la orilla (0.5 a 1 metro) y a una profundidad de (15 a 30 centímetros), y para el agua subterránea se extrajeron muestras de agua del nivel de lámina de agua del aljibe (tabla 4).

Tabla 4. Cantidad de muestras establecidas por temporadas

Temporada		Altas precipitaciones	Bajas precipitaciones
FUENTE HÍDRICA	Superficial río Ocoa y Guatiquía	10 por tramo	10 por tramo
	Subterránea Aljibes	10 por Aljibe	10 por Aljibe

Nota: El total de muestras en temporadas de Altas y Bajas precipitaciones para las fuentes hídricas río Ocoa, Guatiquía y aljibes son de 280 Por Bastidas & Garzón, 2019

Para el análisis de suelo se recolectó una muestra cerca a cada aljibe, es decir, un total de 10 muestras de suelo, para analizar la porosidad, teniendo en cuenta la densidad aparente y densidad real.

5.2.4. Recolección de muestras y determinación de parámetros fisicoquímicos

La toma de muestras de agua para la determinación de parámetros físicos y químicos se realizó siguiendo los lineamientos de toma de muestras de aguas superficiales para la red de calidad suministrado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el cual describe los requerimientos, instrucciones y cuidados que se deben tener en cuenta para las mediciones de campo y la toma de muestras de aguas superficiales. Una vez tomadas, se preservaron conforme lo establece el procedimiento para el muestreo en agua por el IDEAM.

Para el análisis de suelo, se tuvo en cuenta la metodología del Manual de Prácticas de Campo y de Laboratorios de Suelos del SENA.

5.2.5. Determinación de Alcalinidad.

Para determinar la Alcalinidad total se emplea una mezcla de reactivos indicadores (anaranjado de metilo). Posteriormente, para comenzar el análisis se utilizaron recipientes previamente limpios para tomar y acarrear las muestras de agua (enjuagados con agua destilada).

Inicialmente se midieron 50 mL de muestra a analizar, posterior a ello se sirvieron los 50 mL en un Erlenmeyer de 250 mL agregando y agitando unas pocas gotas de reactivo indicador (anaranjado de metilo), hasta evidenciar una coloración leve, se tituló bajo bureta de 25 ml con solución de Ácido Nítrico con una concentración conocida (0.1 N), agitando y añadiendo gota a gota hasta el viraje a color rosa, luego se determinó el volumen de ácido gastado. La determinación debe ser realizada preferentemente dentro de las primeras 24 horas a partir de la colecta, de igual forma, durante el muestreo, el almacenamiento o la titulación de la muestra se pueden ganar o perder gases disueltos, tales como Dióxido de Carbono (CO₂), Ácido sulfhídrico (H₂S) o Amoniac (NH₃), que contribuyen a la acidez o alcalinidad. Esta determinación permite comprobar la existencia de hidróxidos (OH⁻), carbonatos (CO₃⁻) y bicarbonatos (HCO₃) en el agua.

$$\text{Alcalinidad, mgCaCO}_3/\text{L} = \frac{(A * N * 50.000)}{\text{Ml de muestra}}$$

Donde:

A: mL de ácido estándar gastados

N: normalidad del ácido estándar

5.2.6. Determinación de Dureza.

El kit de dureza total VISOCOLOR ® HE Dureza total H 20F, se basa en el método de Titulación complexométrica, el cual emplea la solución de indicador H 20 que contiene trietanolamina 20–45 % y etanol 20–35 % y una solución de valoración TL H 20 que será suministrados hasta evidenciar cambios de color en la muestra de rojo a verde, la lectura de la dureza total se realiza en mmol/L dada las mediciones de la jeringa.

Primeramente, se lavó repetidamente el tubo de ensayo con la muestra de agua y se llenó hasta la marca anular, se añadió 2 gotas de solución de indicador H 20 F (la muestra de agua se torna de color rojo) y se procedió a agitar. Luego se colocó la punta de goteo en la jeringa y se tomó la solución de valoración TL H 20 F hasta el valor 0 de la escala de la jeringa (la pequeña burbuja de aire por debajo del émbolo no estorba la valoración), luego se añadió gota a gota la solución de valoración a la muestra de agua contenida en el tubo de ensayo lentamente, hasta que el color rojo cambie completamente a verde y finalmente se realizó la lectura de la dureza total en mmol/L; si se colorea de verde la dureza del agua es $< 0,5$ °d. La dureza se determina debido a su contenido de iones alcalinotérreos (iones de calcio y magnesio). Este contenido depende de las condiciones geológicas que el agua encuentra durante su curso y puede variar ampliamente.

Tabla 5. Ficha VISOCOLOR ® HE Dureza total H 20F

Referencia	915005 Macherey Nagel
Rango de medición:	0,5 – 20,0 °d o 0,1 – 3,6 mmol/L Ca ²⁺
Tipo:	Kit de ensayo titrimétrico
Presentación:	Reactivos en solución + accesorios x 200 Determinaciones

Nota: Información general del kit VISOCOLOR ® HE Dureza total H 20F Por Bastidas & Garzón 2019

5.2.7. Determinación de demanda química de oxígeno (DQO).

En la determinación de la DQO se tomó una muestra de 2,5 ml de la muestra a analizar y se depositó en un tubo de digestión, se aplicó 1,5 ml de dicromato de potasio, y 3,5 ml de solución de Ácido Sulfúrico y Sulfato de plata, una vez preparada la mezcla, los tubos de digestión se taparon bien y se llevaron a digestión en el termo reactor a 150°C durante 2 horas, transcurrido el tiempo se dejó enfriar, su medición se realizó por medio del instrumento Spectroquant prove 600 (Espectrofotómetro) y finalmente se realizaron los cálculos de conversión en la curva patrón, cabe resaltar que para aumentar la exactitud se recomienda medir contra una muestra en blanco de preparación propia (cubeta de reacción + agua libre de DQO). Las muestras tomadas se preservaron por adición de Ácido Nítrico (1 mL de HNO₃ /500 mL de muestra) y se mantuvo refrigerada hasta el momento del análisis. El tiempo máximo de vida útil de la muestra es de veintiocho días.

Para el cálculo de la DQO se tuvo en cuenta la curva patrón basada en concentraciones conocidas en un rango establecido (0 - 450 mg/L O₂) a 500 nm, utilizada para determinar la cantidad de sustancias susceptibles a ser oxidadas por medios químicos que presenta la muestra. (grafico 1)

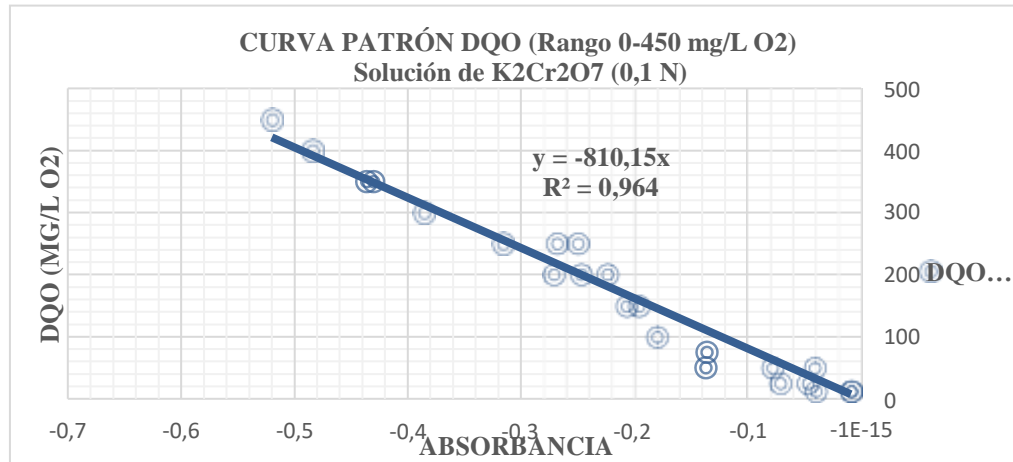


Gráfico 1. curva patrón en un rango establecido (0 - 450 mg/L O₂) a 500 nm para cálculo de la DQO. Por Bastidas & Garzón 2019.

5.2.8. Determinación de demanda biológica de oxígeno (DBO₅).

En la determinación de la concentración de la materia orgánica del agua subterránea, se midió la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica degradable mediante el ensayo DBO a cinco días. Para la toma de la muestra se utilizó frascos plásticos de polipropileno de 500 mL de capacidad, el análisis se efectuó dentro de las 24 horas siguientes a la toma de la muestra.

Principalmente, se tomó tres botellas Winkler de 293 ml para cada muestra debidamente rotuladas y limpiadas con detergente biodegradable, abundante agua de la llave y agua destilada, luego se adicionó 3 ml de la muestra a analizar y 1 ml de Solución tampón de fosfato, Solución de sulfato de magnesio, Solución de cloruro de calcio y Solución de cloruro de hierro (III) (previamente preparados según guía IDEAM), se adicionó agua de dilución solamente hasta la mitad del cuello de la botella para evitar pérdida de muestra al realizar la medición. Posterior a ello, se leyó el oxígeno inicial con el Multiparametro Wtw 3630, se adicionó más agua de dilución

para sellar la botella Winkler, posterior a ello se llevó a incubadora durante 5 días y finalmente al quinto día se leyó el Oxígeno disuelto residual. El procesamiento de los datos y cálculos de los mismo se efectuó la siguiente ecuación

$$DBO_5, \text{ mgO}_2/\text{L} = \frac{(OD \text{ Inicial} - OD \text{ Residual})}{Vm} * V$$

Donde:

OD Inicial: Oxígeno disuelto Inicial

V: Volumen de la botella Winkler (valor promediado es de 293 ml)

OD Residual: Oxígeno disuelto Final (final del 5 día)

Vm: Volumen de alícuota de la muestra

5.2.9. Determinación de parámetros físicos del suelo

5.2.9.1. Determinación de la densidad aparente

La densidad aparente se determinó por el método del cilindro, el cual consiste en tomar una muestra del suelo de manera vertical en un cilindro de acero, se pesó la muestra para conocer el peso de suelo en estado húmedo y luego se llevó al horno a una temperatura de 105°C por 24 horas, posteriormente se volvió a determinar el peso, pero en este caso del suelo ya seco. Con la ayuda de un pie de rey digital se tomó el diámetro y altura de cada uno de los cilindros en los cuales estaba contenida la muestra y con dichos datos se calculó el volumen de cada uno. La densidad aparente se determinó con la siguiente ecuación:

$$Da = \frac{PSS}{\pi r^2 h}$$

Donde:

Da: Densidad aparente

r²: Radio del cilindro

PSS: Peso del Suelo Seco

h: Altura del cilindro

La densidad aparente varía desde 0.1 (g/cm³) o menos en suelos orgánicos hasta 1.6 (g/cm³) en suelos minerales, posteriormente, para la interpretación de la densidad aparente del suelo, se tuvo en cuenta los valores de la densidad aparente relacionados con el espacio poroso (tabla 6)

Tabla 6. valores de la densidad aparente relacionados con el espacio poroso

Espacio de sólidos	Densidad Aparente (g/cm³)
Orgánico	0,1
Arcilla	1,1
Franco	1,4
Arena	1,8
Compactado	2,0

Nota: Relación de la Variaciones de la densidad aparente del suelo. Por Bastidas & Garzón 2019

5.2.9.2. Determinación de la densidad real

La densidad real se calculó por el método del picnómetro, para comenzar se pesaron los picnómetros (con capacidad de 25 ml) con sus respectivas tapas, luego se le introdujo 10 gr de suelo seco, nuevamente se pesaron, seguidamente se le adicionó agua destilada hasta la mitad del volumen del picnómetro y se llevaron a la plancha de calentamiento hasta alcanzar el punto de ebullición. Después de enfriado el picnómetro junto con su contenido, se agregó nuevamente agua destilada, se taparon y se pesaron nuevamente. Luego se removió todo el contenido del picnómetro, se llenó completamente de agua destilada, se pesó nuevamente y se midió la temperatura.

Tabla 7. Factores para la corrección de la densidad del agua

Factores de corrección	
Temperatura °C	Densidad del agua g/cm³
18	0.99897
20	0.99862
22	0.99823
24	0.99780

Nota: Para la corrección de la densidad del agua se tuvo en cuenta la temperatura del agua. Por Bastidas & Garzón 2019

Finalmente, para el cálculo de la densidad real se tuvo en cuenta la siguiente ecuación:

$$Dr = Dw * \frac{(Ws - Wa)}{(Ws - Wa) - (Wsw - Ww)}$$

Dónde:

Dr: Densidad real

Wsw: peso del picnómetro más suelo y agua

Dw: densidad del agua a temperatura observada

Ww: peso del picnómetro más agua

Ws: peso del picnómetro más el suelo

Wa: peso del picnómetro vacío

5.2.9.1. Determinación de la porosidad

La porosidad de cada muestra de suelo, se calculó después de obtener los datos de densidad aparente y densidad real, mediante la aplicación de la ecuación.

$$P = 1 - \frac{Da}{Dr} * 100$$

Dónde:

P: porosidad

Dr: densidad real

Da: densidad aparente

Para la interpretación de la porosidad del suelo, se tuvo en cuenta (tabla 8)

Tabla 8. Valores totales de porosidad del suelo

Porosidad Total	Interpretación
<30	Muy Baja
30-40	Baja
40-50	Medida
50-60	Alta
>60	Muy alta

Nota: Rangos de porosidad en % Para la interpretación de la porosidad del suelo Por Bastidas & Garzón 2019

6. Fase III. Análisis de parámetros

Se realizó el análisis de varianza ANOVA mediante el software IBM SPSS versión 22.0, el cual permitió correlacionar los parámetros fisicoquímicos del agua superficial con los del agua subterránea y con ello saber si habían diferencias entre las medias de los diferentes grupos, y a su vez explorar en qué grupos se daban las diferencias y su significancia estadística, evaluando así la incidencia de algunos parámetros fisicoquímicos de los ríos Ocoa y Guatiquía en la calidad de agua subterránea de la vereda El Guamo, representada por los aljibes seleccionados. En el caso de la correlación como variables independientes estuvieron los ríos y como variables dependientes los aljibes.

Previo al análisis de varianza ANOVA se realizó una prueba de normalidad de datos para cada parámetro a analizar, que permitió establecer si el conjunto de datos cuantitativos de la variable dependiente, en este caso de los aljibes tenían una distribución consistente con una distribución normal (en forma de campana) donde las desviaciones estándar con respecto a la media establecen valores de referencia para estimar el porcentaje de las observaciones de los datos. Se aplicó la prueba de KOLMOGOROV SMIRNOV, ya que es un procedimiento de bondad de ajuste, que permite medir el grado de concordancia existente entre la distribución de un conjunto de datos y una distribución teórica específica. Su objetivo es señalar si los datos provienen de una población que tiene la distribución teórica especificada, es decir, contrasta si las observaciones podrían razonablemente proceder de la distribución especificada. Cuando $P \geq \alpha$ es decir $>0,05$, se acepta la hipótesis nula (hay distribución normal), si $P < \alpha$ (0,05) se rechaza la H_0 y se acepta la H_a . En este caso se procede a una prueba paramétrica para el análisis de relación entre variables.

H_0 = Los datos se aproximan a la distribución normal $P \geq \text{Alpha}(\alpha)$

H_a = Los datos NO se aproximan a la distribución normal $P < \text{Alpha}(\alpha)$

Por otra parte, es de resaltar que los parámetros de calidad de agua que se correlacionaron fueron alcalinidad, dureza, DBO y DQO para ríos y aljibes teniendo en cuenta las temporadas de altas y bajas precipitaciones, pero también de acuerdo a la cercanía, es decir, el río Ocoa aguas arriba se correlacionó con los aljibes Esperanza, Trompo, Cóndor, Maracos y Amparo y aguas abajo con

los aljibes Portuguesa, Santa Clara, García y el río Guatiquía aguas arriba se correlacionó con los aljibes Tienda, Escuela, Esperanza, Trompo, Maracos y Cóndor y aguas abajo con los aljibes Portuguesa y Santa Clara, teniendo en cuenta lo anterior se planteó cuatro hipótesis generales:

H₀ = No existen diferencias estadísticamente significativas entre los aljibes y el agua del río Ocoa (medias iguales) $P_{\text{valor}} > 0,05$

H_a = Si existen diferencias estadísticamente significativas entre los aljibes y el agua del río Ocoa (medias diferentes) $P_{\text{valor}} < 0,05$.

H₀ = No existen diferencias estadísticamente significativas entre los aljibes y el agua del río Guatiquía (medias iguales) $P_{\text{valor}} > 0,05$.

H_a = Si existen diferencias estadísticamente significativas entre los aljibes y el agua del río Guatiquía aguas arriba (medias diferentes) $P_{\text{valor}} < 0,05$.

7. Capítulo V. Resultados

7.1. Caracterización del área de estudio

7.1.1. Visitas de reconocimiento

En esta primera fase metodológica, se identificaron los aljibes y posteriormente se eligieron de acuerdo con su cercanía con las fuentes hídricas río Ocoa y Guatiquía, obteniendo información de coordenadas de la zona. A continuación (tabla 9).

Tabla 9. Puntos de muestreo de los Ríos Ocoa, Guatiquía y aljibes de a vereda El Guamo

Nº	Descripción	Coordenadas Geográfica	
		Oeste	Norte
1	Finca La Portuguesa	73°31'39.65"	4°1'25.57"
2	Finca Santa Clara	73°31'68.77"	4°12'36.35"
3	Finca García	73°32'69.16"	4°11'46.85"
4	Tienda	73°32'78.56"	4°12'51.74"
5	Escuela	73°32'90.32"	4°12'55.77"
6	Finca La Esperanza	73°34'10.56"	4°12'39.13"
7	Finca El Trompo	73°35'63.68"	4°12'33.17"
8	Finca El Cóndor	73°35'96.89"	4°1'22.06"
9	Finca Los Maracos	73°36'74.93"	4°11'97.26"
10	Finca Amparo	73°37'89.85"	4°11'64.26"
11	Río Ocoa Aguas Arriba	73°37'86.77"	4°11'58.71"
12	Río Ocoa Aguas Abajo	73°31'76.30"	4°11'94.86"
13	Río Guatiquía Aguas Arriba	73°18'37.70"	4°07'57.80"
14	Río Guatiquía Aguas Abajo	73°19'55.30"	4°07'39.00"

Nota: los puntos a muestrear se establecieron mediante una georreferenciación teniendo en cuenta la zona de mayor influencia de los ríos. Por Bastidas & Garzón, 2019.

El levantamiento topográfico permitió conocer las elevaciones de los aljibes y de las fuentes hídricas río Ocoa y Guatiquía. A continuación, se representan los niveles del terreno mediante perfiles topográficos y alturas laminares del agua subterránea de los aljibes y fuentes hídricas en temporadas de altas y bajas precipitaciones.

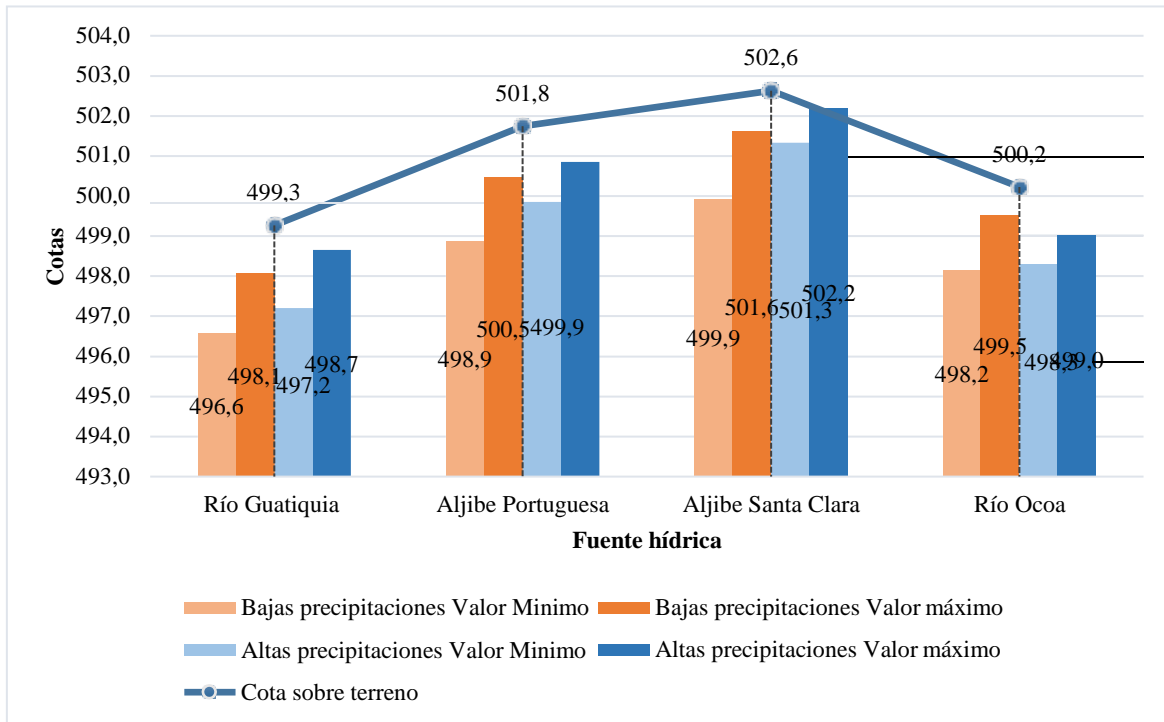


Gráfico 2. Perfil topográfico y niveles de agua de los aljibes portuguesa y Santa Clara. *Por Bastidas & Garzón 2019.*

En el gráfico 2 se muestran los niveles de terreno y las alturas de las láminas de agua de los aljibes Portuguesa y Santa Clara con respecto a las fuentes hídricas río Ocoa y Guatiquía, en donde se evidencia que el río Ocoa en el tramo de las dos fincas se encuentra más alto en comparación con el río Guatiquía, pues este presenta una elevación del terreno de 500.2 msnm a diferencia del Guatiquía que tiene una elevación de 499.3 msnm, de igual forma se observa que las láminas de agua de los aljibes para las dos temporadas se encontraron por encima de los niveles de agua de los ríos, es de resaltar que el aljibe de la finca Santa Clara fue el que alcanzó mayores niveles de láminas de agua en comparación con el Aljibe de la finca la Portuguesa.

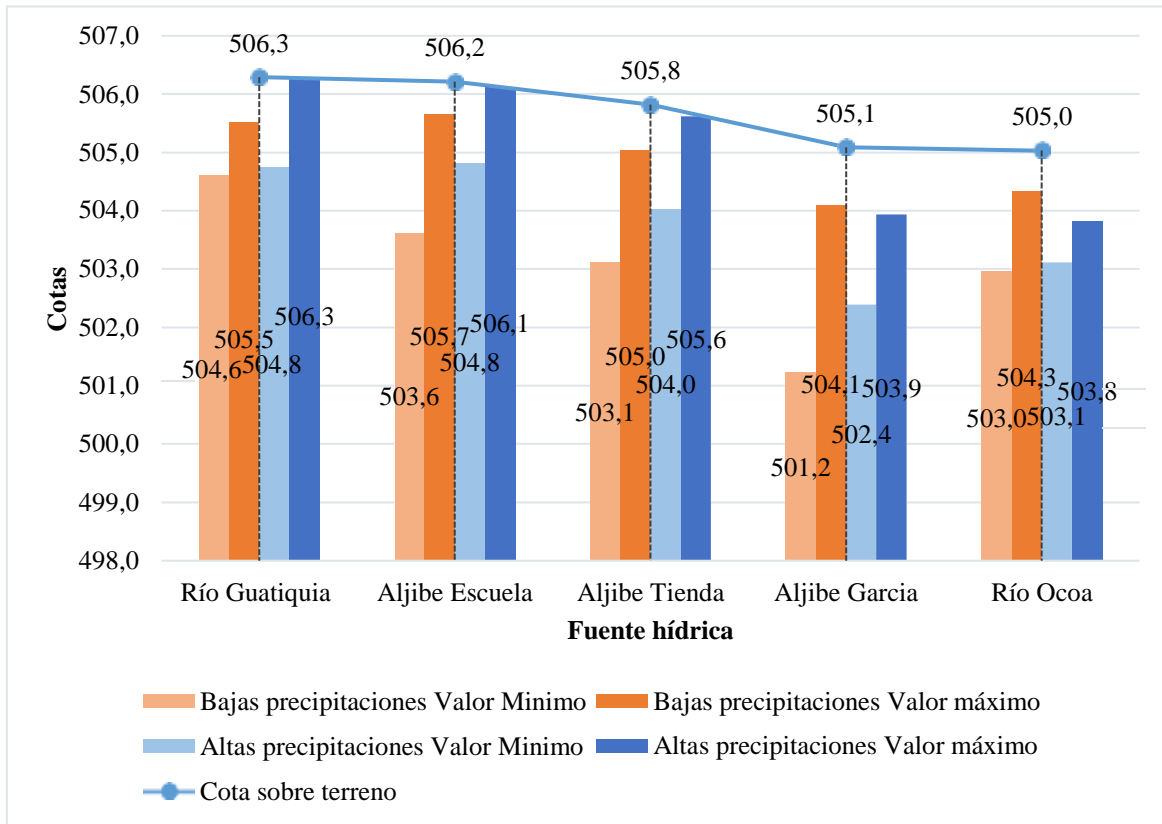


Gráfico 3. Perfil topográfico y niveles de agua de los aljibes Escuela, Tienda y García. *Por Bastidas & Garzón 2019.*

En el gráfico 3, para el tramo de la Escuela, la Tienda y García, se evidencia que la fuente hídrica río Guatiquía se encuentra a 506 msnm, siendo mayor que el río Ocoa ya que este presenta una elevación de terreno de 505.0 msnm, de igual forma se observa que las láminas de agua tanto del aljibe la Escuela como las del río Guatiquía en temporadas de altas precipitaciones fueron las mismas, debido a que en dicha temporada la lámina de agua del río Guatiquía superó el nivel del terreno desbordándose y por medio de escorrentía permitió que el agua de dicho río hiciera parte del aljibe la Escuela por sus diferencias de elevaciones; para el caso del aljibe la Tienda, este presenta una elevación de 505.8 msnm siendo más bajo que el río Guatiquía y más alto con respecto al río Ocoa. Sin embargo, los niveles de agua fueron altos y muy similares a las láminas de agua del río Guatiquía, además se evidencia que la elevación del terreno del aljibe García y del río Ocoa se encuentra a la misma altura, es por esto que en la temporada de altas precipitaciones los niveles de agua en las dos fuentes hídricas son similares, pero en temporadas de bajas precipitaciones los niveles de agua fueron mayores en el río Ocoa.

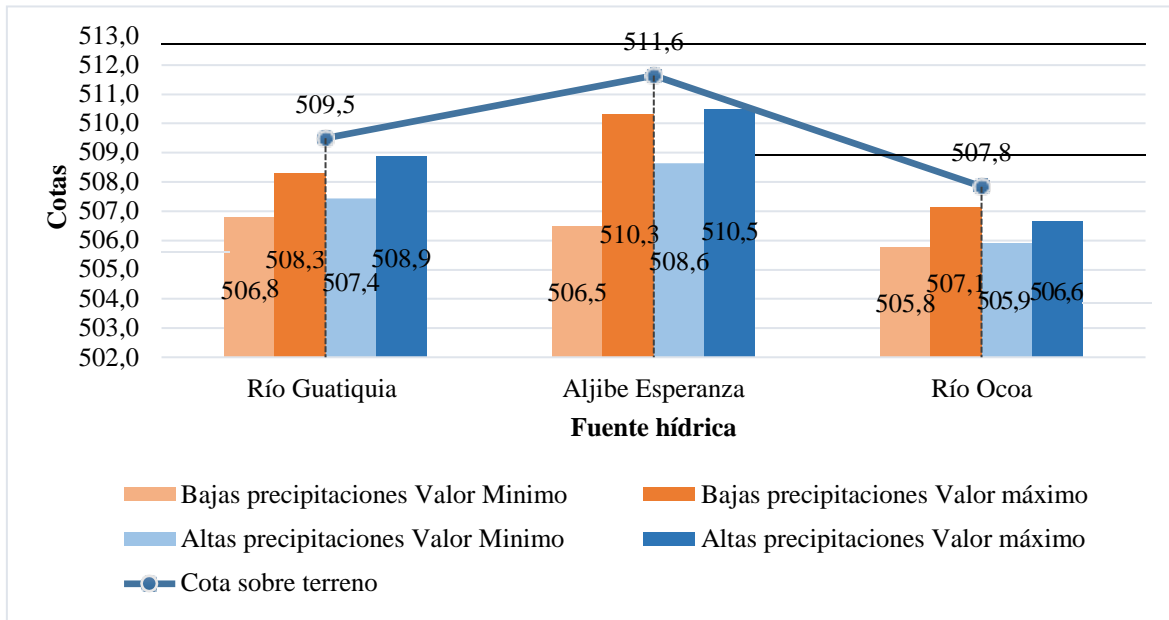


Gráfico 4. Perfil topográfico y niveles de agua aljibe Esperanza. *Por Bastidas & Garzón 2019.*

En el gráfico 4, para el tramo de la esperanza, se observa que el nivel de terreno del aljibe se encuentra más alto con respecto a las fuentes hídricas superficiales, sin embargo, se evidencia que el río Guatiquía sigue siendo más alto que el río Ocoa. Los niveles de agua del aljibe en temporada de altas y bajas precipitaciones son mayores que los del río Ocoa, pero con respecto al río Guatiquía estos son similares en temporada de altas y más aún en temporadas de bajas precipitaciones pues sus diferencias son mínimas.

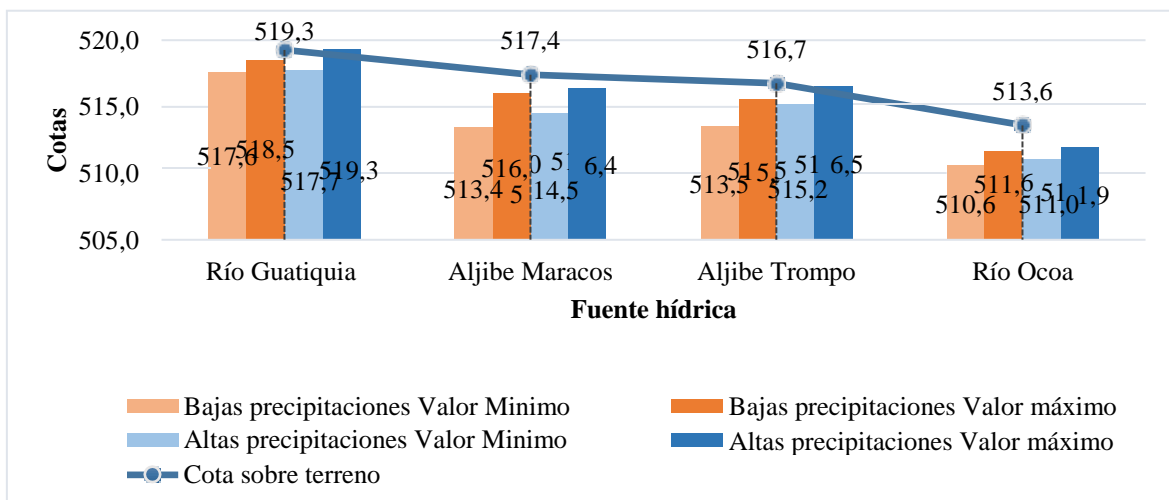


Gráfico 5. Perfil topográfico y niveles de agua de los aljibes Maracos y Trompo. *Por Bastidas & Garzón 2019.*

En el gráfico 5, para el tramo de los aljibes Maracos y Trompo, se evidencia que el río Guatiquía se encuentra a mayor altura con una cota de elevación de 519.3 msnm y el río Ocoa se encuentra más bajo con una cota de 513.6 msnm, para el caso de los dos aljibes las elevaciones fueron muy similares alcanzando una diferencia tan solo una diferencia de 0.7 metros; además las láminas de agua en temporadas de bajas precipitaciones en dichos aljibes fueron similares, pero menores a las láminas de agua del río Guatiquía y mayores con respecto a las del río Ocoa, en temporada de altas precipitaciones las láminas de aguas de los aljibes fueron similares, superando los niveles de agua del Ocoa.

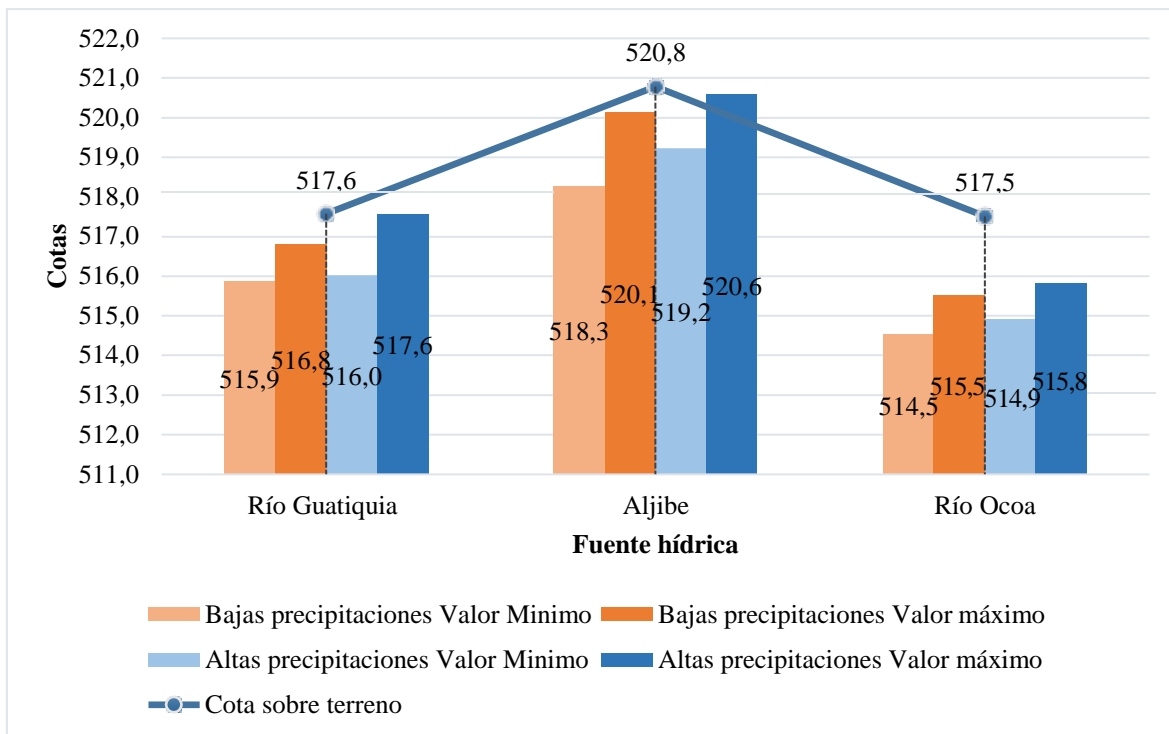


Gráfico 6. Perfil topográfico y niveles de agua del aljibe Cándor. *Por Bastidas & Garzón 2019.*

En el gráfico 6, para el tramo del aljibe El Cándor, se observa que el nivel del terreno del aljibe está por encima de los niveles de las fuentes hídricas río Ocoa y Guatiquía, de igual forma se evidencia que las elevaciones del río Guatiquía y Ocoa son similares pues solo presentan una diferencia de 0.1 metro; además los niveles de agua del aljibe en temporadas de altas y bajas precipitaciones son superiores con respecto a las fuentes hídrica superficiales, pero el Guatiquía en sus niveles de agua para ambas temporadas supera al río Ocoa.

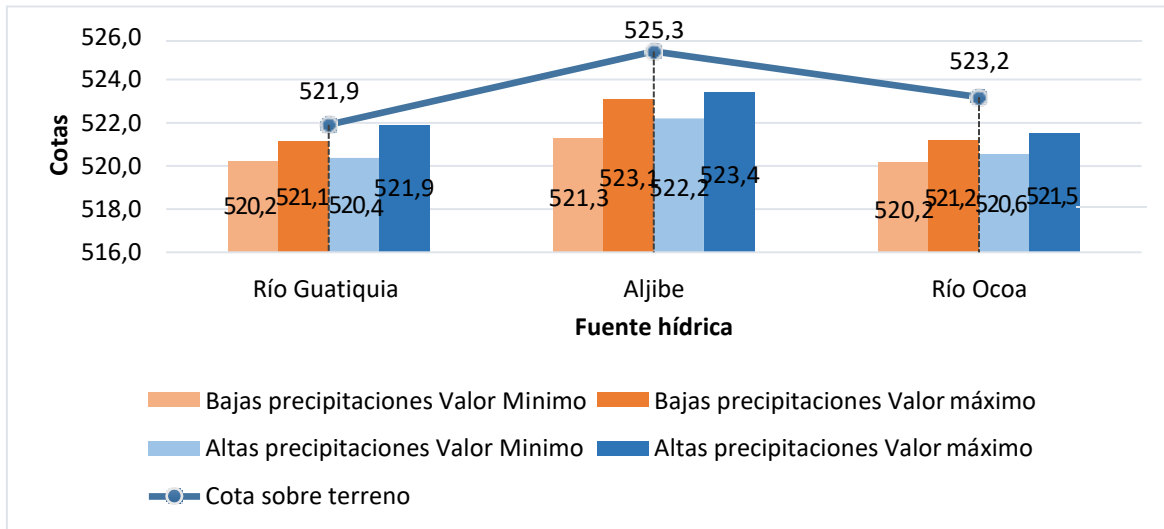


Gráfico 7. Perfil topográfico y niveles de agua del aljibe Amparo. *Por Bastidas & Garzón 2019.*

En el gráfico 7 se muestra el perfil de terreno para el aljibe Amparo, encontrándose a una cota de terreno de 525,3 msnm, es decir está por encima de los dos ríos; a su vez las láminas de agua de dicho aljibe se mantuvieron iguales en las dos temporadas (bajas y altas precipitaciones). Por otra parte, se evidencia que en este tramo el río Ocoa alcanza una elevación mayor en comparación con el río Guatiquía, sin embargo, en ambas fuentes superficiales los niveles de láminas de agua fueron similares y casi constantes en las dos temporadas.

7.2. Litología del suelo

La vereda El Guamo, ubicada en el departamento del Meta, se localiza entre los ríos Ocoa y Guatiquía, presentando a nivel superficial depósitos cuaternarios, principalmente en el abanico reciente de Villavicencio, conocido geológicamente como terrazas. Es una zona catalogada por INGEOMINAS como un depósito de llanura aluvial (Q2-IIa); destacada por ser llanura de inundación, formada durante prolongados regímenes pluviométricos que ocasionaron la saturación de los ríos y a su vez la ruptura de sus cauces, inundando así las zonas laterales, ayudada por la topografía casi plana del terreno y a las mínimas diferencias de nivel entre los depósitos de los ríos.

Edafológicamente la llanura aluvial se compone de materiales arcilloso limosos con colores que varían entre rojo intenso a grises suaves, también presentan fragmentos de rocas sueltas y redondeadas de composición cuarzosa, que se le atribuyen a drenajes mayores y entre los cuales se encuentran el río Guatiquía y el río Ocoa (C. Morales, 2010). Se observa que la densidad aparente es baja pues mantuvo un rango de 0.15 (g/cm³) a 0.42 (g/cm³), de manera que es representativo en suelos orgánicos siendo indicador de un alto porcentaje de porosidad (Jiménez, 2001).

Tabla 10. Porosidad del suelo para cada uno de los aljibes de la vereda El Guamo

Aljibes	Áreas de estudio	Densidad Aparente Suelo (gr/cm ³)	Densidad Relativa Suelo (gr/cm ³)	Porosidad del suelo (%)
A1	La Portuguesa	0,29	2,54	89
A2	Santa Clara	0,22	2,33	90
A3	García	0,31	2,45	87
A4	La Tienda	0,24	2,13	89
A5	Escuela	0,15	2,72	95
A6	La Esperanza	0,28	2,40	88
A7	El Trompo	0,42	2,49	83
A8	Los Maracos	0,29	2,54	89
A9	El Cóndor	0,27	2,43	89
A10	Amparo	0,36	2,32	84

Nota: Relación de valores de la Densidad aparente de los aljibes de la vereda El Guamo y su porcentaje de porosidad del suelo densidad. Por Bastidas & Garzón 2019

En la litología del suelo, se puede apreciar que en términos generales que la porosidad de las muestras de suelo recolectadas cerca a cada aljibe fue muy alta, ya que mantuvo un rango entre el 80 – 90%; indicando que el suelo de la zona en estudio es altamente poroso y con capacidades de retención de humedad e infiltración elevadas ([Apéndice B](#)) (Marconi, 2011). Sin embargo, es de resaltar que el aljibe de la Escuela alcanzó el máximo nivel de porosidad con un valor de 94,6%. Contrastando las características litológicas del suelo y las diferencias altitudinales del terreno, se denota que estas inclinaciones convergen hacia los aljibes, situación que se pronuncia en temporadas de altas precipitaciones, las zonas planas se inundan y el cauce del río Guatiquía se desborda y por accionar de las escorrentías superficiales su caudal es transportado a los aljibes y logran infiltrarse rápidamente.

7.3. Determinación de parámetros de calidad de agua

Como se detalló en la metodología, para determinar la calidad de agua tanto en los aljibes como en las fuentes superficiales río Ocoa y Guatiquía, se realizaron muestreos de agua teniendo en cuenta las temporadas de bajas y altas precipitaciones.

7.3.1. Temporada de bajas precipitaciones

Se realizaron diez (10) muestreos, correspondientes a los meses de marzo, abril, agosto y septiembre del 2019, los niveles de agua más bajos de los ríos se presentaron en marzo y parte abril, se evidenció alteración en sus características organolépticas y físicas (color y olor).



Figura 3. Río Ocoa en temporada de bajas precipitaciones. *Por Bastidas & Garzón 2019.*

7.3.2. Temporada de altas precipitaciones

Se realizaron también diez (10) muestreos, en los meses de mayo, junio y julio del 2019; en esta temporada las precipitaciones eran constantes y el nivel de agua era alto, tanto en la fuente de agua subterránea representada por los aljibes, como también en los ríos Ocoa y Guatiquía. Por otra parte, durante esta época fue notoria la presencia de personas realizando labores de pesca, a lo largo del río Ocoa y para el 12 de junio el río Guatiquía se desbordó en el sitio de nuestro aguas arriba, es decir, alcanzó la misma altura del terreno en esa parte, inundando gran parte de la zona donde se encuentra ubicada la Escuela de la misma vereda.



Figura 4. Río Guatiquía en temporada de altas precipitaciones. *Por Bastidas & Garzón 2019.*

7.3.4. Temperatura

A continuación, en el gráfico 8, se observa el comportamiento de la temperatura en cada punto de muestreo y teniendo en cuenta las temporadas de altas y bajas precipitaciones; se evidencia que la temperatura máxima alcanzada en temporada de bajas precipitaciones fue de 30.0 °C en una fuente hídrica subterránea correspondiente al aljibe de la Escuela y la temperatura mínima para la misma temporada fue de 23.2 °C correspondiente a la fuente hídrica superficial, río Guatiquía.

Estas fluctuaciones de temperaturas se puede asociar principalmente a la radiación solar existente en el momento de hacer el monitoreo, pues por temas de distancia era imposible monitorear a una hora determinada, sin embargo siempre se tuvo en cuenta un rango de tiempo a monitorear que abarcó desde las 7:00 am hasta las 10:00 am; también dicha fluctuación se asocia a la escorrentía, pues en aguas superficiales debido al constante movimiento y a los cambios de flujo, la temperatura siempre será menor en comparación con la del agua subterránea, ya que el flujo de la fuentes subterráneas se encuentra controlado por las propiedades de porosidad e infiltración del suelo, es decir, la velocidad a la que se mueve el agua subterránea que de hecho es lenta, hace que la temperatura sea relativamente constante y mayor a la de un agua superficial que siempre está en constante movimiento.

Sin embargo, también es posible afirmar que el aljibe de la Escuela en comparación con los otros aljibes presentó la mayor temperatura en la temporada con bajas precipitaciones, debido a que se encontraba parcialmente expuesto a la radiación solar, a diferencia de otros aljibes que se encuentran cerca a zonas con arborización y por ende sus temperaturas tienden a ser más bajas.

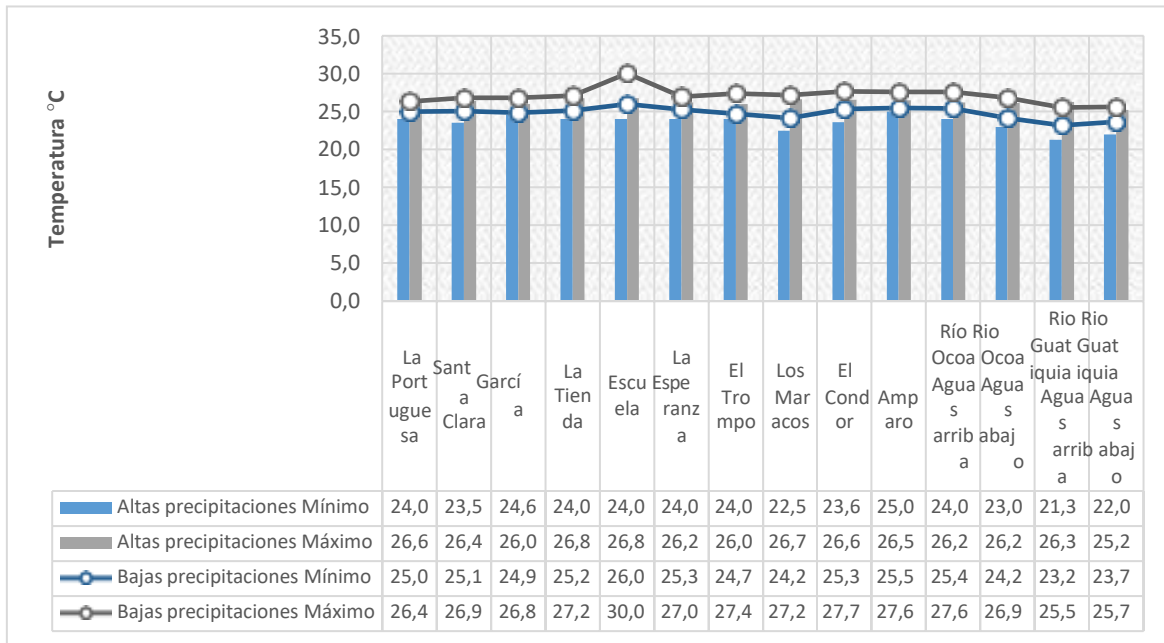


Gráfico 8. Temperaturas en °C del agua de ríos y aljibes monitoreados en temporadas de altas y bajas precipitaciones. *Por Bastidas & Garzón 2019.*

7.3.5. Conductividad eléctrica

En el gráfico 9 se ilustran los valores mínimos y máximos alcanzados por la conductividad en los aljibes y en los ríos, en las temporadas de bajas y altas precipitaciones. Se observa que el valor máximo de conductividad en las fuentes subterráneas fue alcanzado por el aljibe La Portuguesa (362 $\mu\text{S/cm}$), en la temporada de altas precipitaciones, mientras que el valor mínimo de conductividad (43,8 $\mu\text{S/cm}$) corresponde al aljibe del Amparo, en la misma temporada. Sin embargo, es de resaltar que la fuente hídrica con mayor conductividad en ambas temporadas fue el río Guatiquía con un rango entre 202,6 $\mu\text{S/cm}$ - 380 $\mu\text{S/cm}$, dicha conductividad puede estar afectada por factores como el terreno por el que atraviesa, la disolución de rocas y materiales, el tipo de sales presentes, la temperatura y el pH de la misma agua.

Comparando con la legislación colombiana, se deduce que las fuentes de agua subterránea representadas por los aljibes y las fuentes superficiales correspondientes a los ríos Ocoa y Guatiquía, que fueron monitoreadas están por debajo del valor máximo aceptable (1000 $\mu\text{S/cm}$) para agua de consumo humano, estipulado en el Artículo 3 de la Resolución 2115 de 2007.

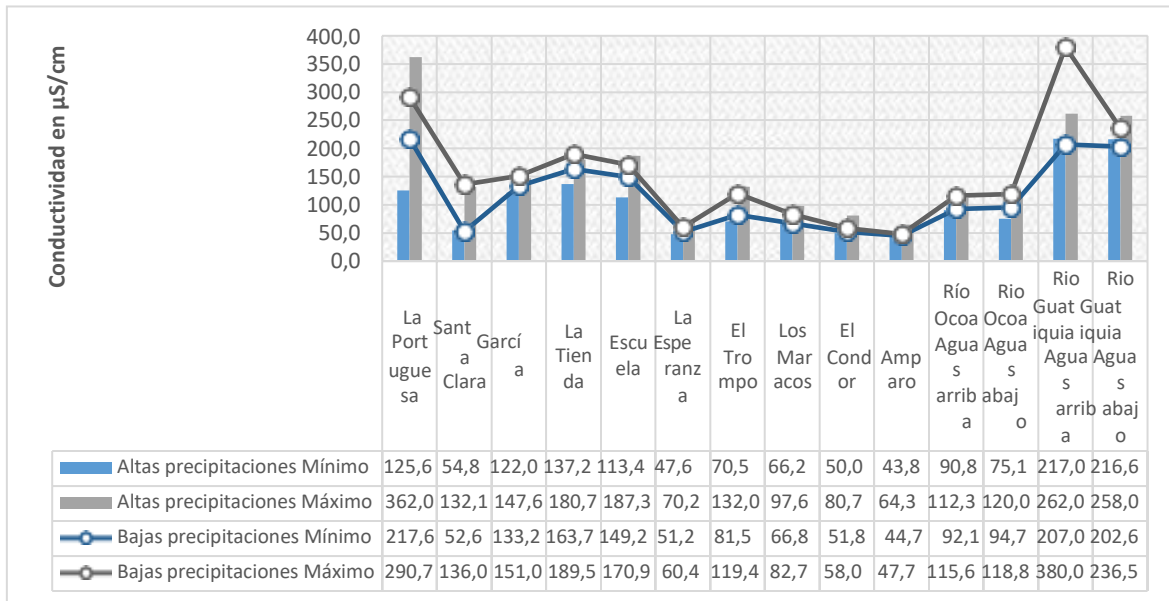


Gráfico 9. Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) del agua de ríos y aljibes monitoreados en temporadas de altas y bajas precipitaciones. *Por Bastidas & Garzón 2019.*

7.3.6. Potencial de Hidrógeno (pH)

En el gráfico 10 se muestran las variaciones de pH que presentaron los aljibes y ríos monitoreados. A partir de dicho gráfico se puede decir que los niveles de pH más altos se dieron en las temporadas con altas precipitaciones y en el cual el aljibe con mayor valor de pH (8,9) fue El Trompo. En general los valores de pH se encontraron entre un rango de 5,4 – 8,9 es decir, son aguas con tendencia ligeramente ácida a ligeramente alcalina. Por otra parte, es de resaltar que dicho parámetro no cumple en su totalidad con las exigencias en agua para consumo, pues en la mayoría de las fuentes hídricas monitoreadas, independientemente de la temporalidad, se encontraron unidades de pH por debajo de 6,5 a diferencia de aljibes como García, La Esperanza y El Trompo que tuvieron valores dentro del rango que estipula el Decreto 2115 de 2007 (6,5 – 9,0 unidades de pH).

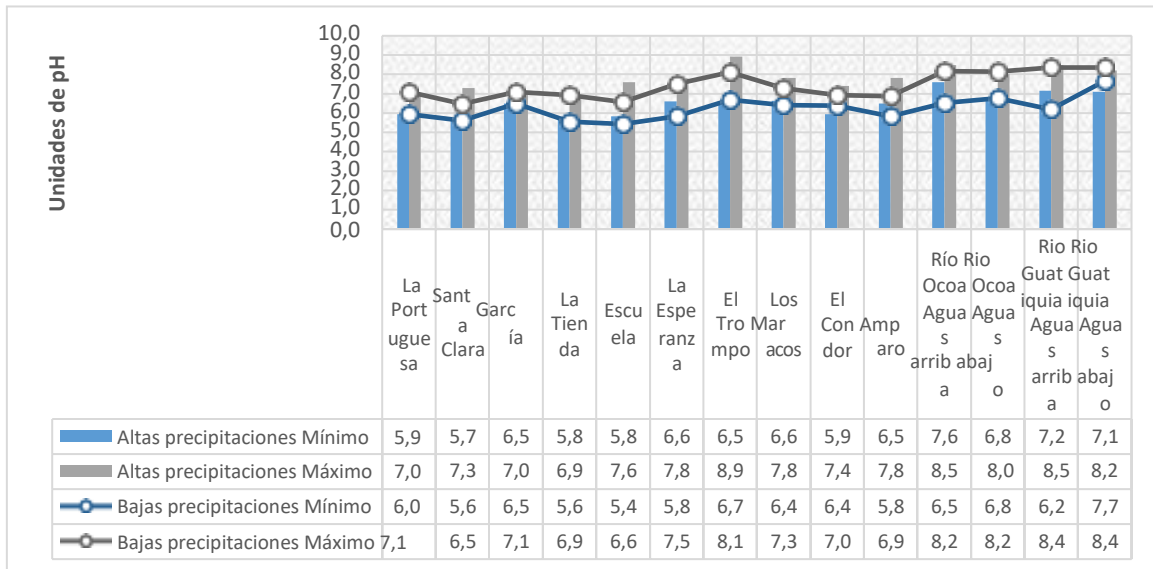


Gráfico 10. Potencial Hidrógeno del agua de ríos y aljibes monitoreados en temporadas de altas y bajas precipitaciones. *Por Bastidas & Garzón 2019.*

7.3.7. Alcalinidad

En el gráfico 11 se muestran los valores máximos y mínimos de alcalinidad alcanzados por los ríos y aljibes monitoreados. En primera instancia lo que se puede evidenciar a partir del mismo gráfico, es que, a nivel general en todas las fuentes hídricas monitoreadas, la alcalinidad se vio afectada por la temporada de bajas precipitaciones, pues fue en dicha temporada donde se alcanzaron los máximos valores. La fuente hídrica río Ocoa en la zona de aguas abajo alcanzó el valor máximo de alcalinidad (200 mg/L CaCO₃); al contrastar dicho parámetro con los valores de pH ya anteriormente ilustrados en el gráfico 10 es evidente que hay una relación estrecha entre estos dos parámetros, ya que efectivamente el río Ocoa estuvo dentro de las fuentes hídricas con mayor tendencia hacia la alcalinidad, con un valor máximo de 8,5 unidades de pH. Teniendo en cuenta la normativa colombiana y de acuerdo al parámetro de alcalinidad, se deduce que el río Ocoa en este caso es la única fuente hídrica que tiende a ser inviable para consumo humano directo, ya que alcanzó el valor máximo aceptable de alcalinidad total (200 mg/L CaCO₃).

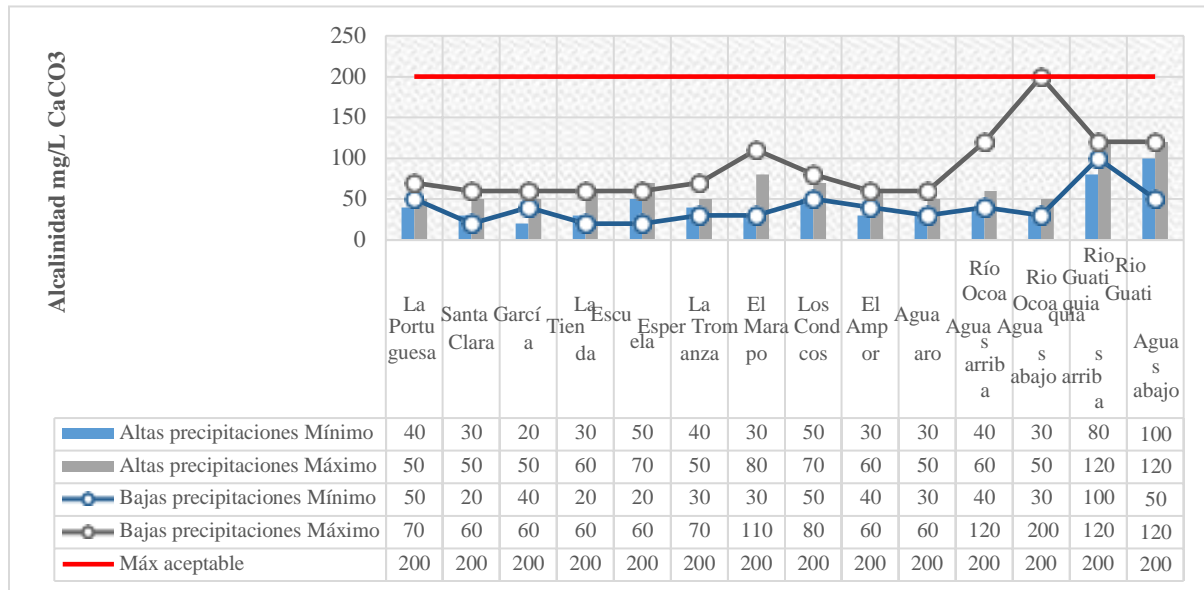


Gráfico 11. Alcalinidad (mg/L CaCO₃) del agua de ríos y aljibes monitoreados en temporadas de altas y bajas precipitaciones. *Por Bastidas & Garzón 2019.*

7.3.8. Dureza

En el gráfico 12 se evidencia los valores de dureza total de los aljibes y ríos monitoreados en temporadas de altas y bajas precipitaciones, se puede observar que los valores máximos de dureza fueron alcanzados por las fuentes hídricas río Guatiquía y el aljibe La Portuguesa con un valor 159,5 mg/L CaCO₃ en temporadas de bajas precipitaciones y para altas precipitaciones el valor máximo de dureza fue de 129, 6 mg/L CaCO₃ alcanzado por el aljibe la Portuguesa. Teniendo en cuenta la clasificación de la dureza en el agua por las concentraciones de CaCO₃, en su mayoría son aguas moderadamente duras a duras, sin embargo, aljibes como Santa Clara, La Tienda, La Esperanza, El Trompo y El Amparo en ambas temporadas presentaron concentraciones menores a 60 mg/L CaCO₃ asociadas a agua blandas; de las dos fuentes hídricas superficiales, el río Guatiquía fue el que alcanzó mayor concentración de mg/L CaCO₃ siendo un agua muy dura.

De manera general tanto aljibes como los ríos Ocoa y Guatiquía se encuentra en el valor máximo aceptables de dureza (300 mg/L CaCO₃) que estipula el Decreto 2115 de 2007.

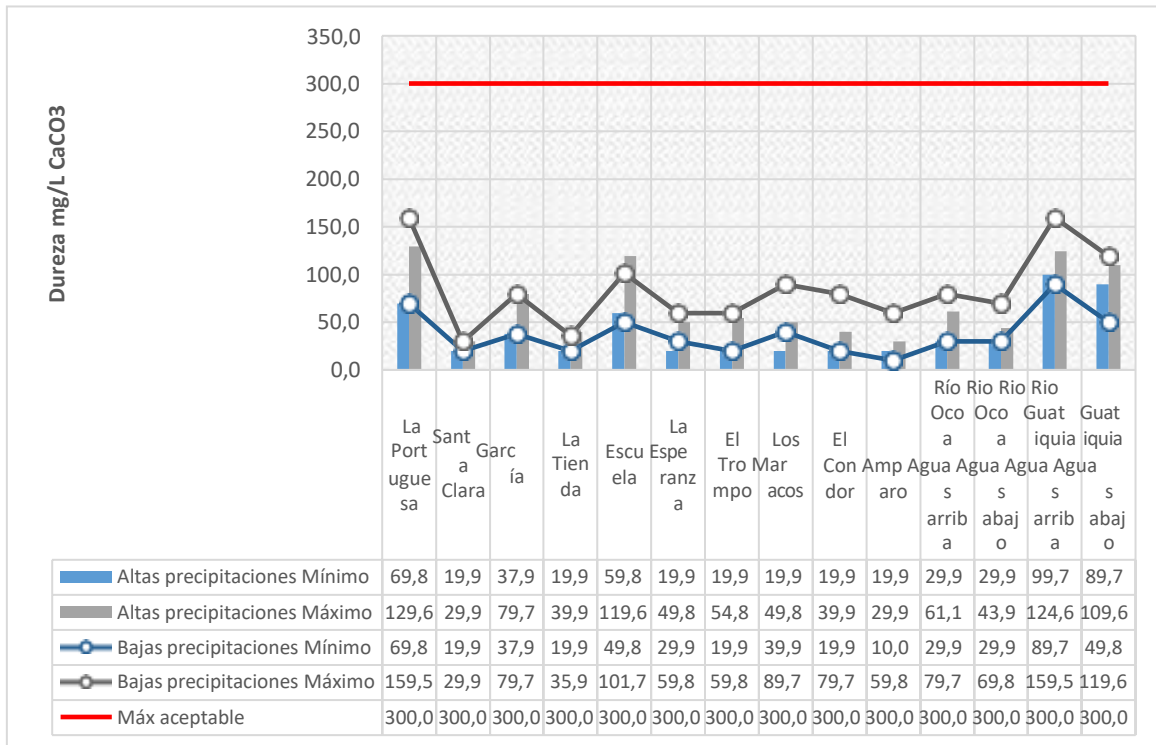


Gráfico 12. Dureza (mg/L CaCO₃) del agua de ríos y aljibes monitoreados en temporadas de altas y bajas precipitaciones. *Por Bastidas & Garzón 2019.*

7.3.9. Demanda Biológica de Oxígeno

En el gráfico 13 se evidencian los valores de la demanda biológica de oxígeno de los aljibes y los ríos Ocoa y Guatiquía monitoreados en temporadas de bajas y altas precipitaciones, se puede observar que el mayor valor de DBO mg/l O₂ se presentó en la fuente hídrica río Ocoa con un valor de 310,9 mg/l O₂ en temporada de bajas precipitaciones y para la misma temporada el valor mínimo de DBO fue alcanzado por el aljibe Los Maracos con un valor de 6,8 mg/l O₂; en altas precipitaciones el valor máximo se presentó en el aljibe El Amparo con un valor de 241,6 mg/L O₂ y para la misma temporada el valor mínimo fue alcanzado por el aljibe García con 3,2 mg/L O₂.

En general en dicho parámetro se presentaron fluctuaciones que se asocian al mismo desarrollo de actividades antrópicas de la comunidad, pues muy cerca de aljibes como Portuguesa y Santa Clara se encuentran los pozos sépticos a donde llegan las aguas residuales domésticas, hay presencia cercana también de galpones de pollos y corrales para ganadería, que pueden aportar por

medio de escorrentía superficial materia orgánica a los aljibes por medio de los cuales hacen captación de agua.

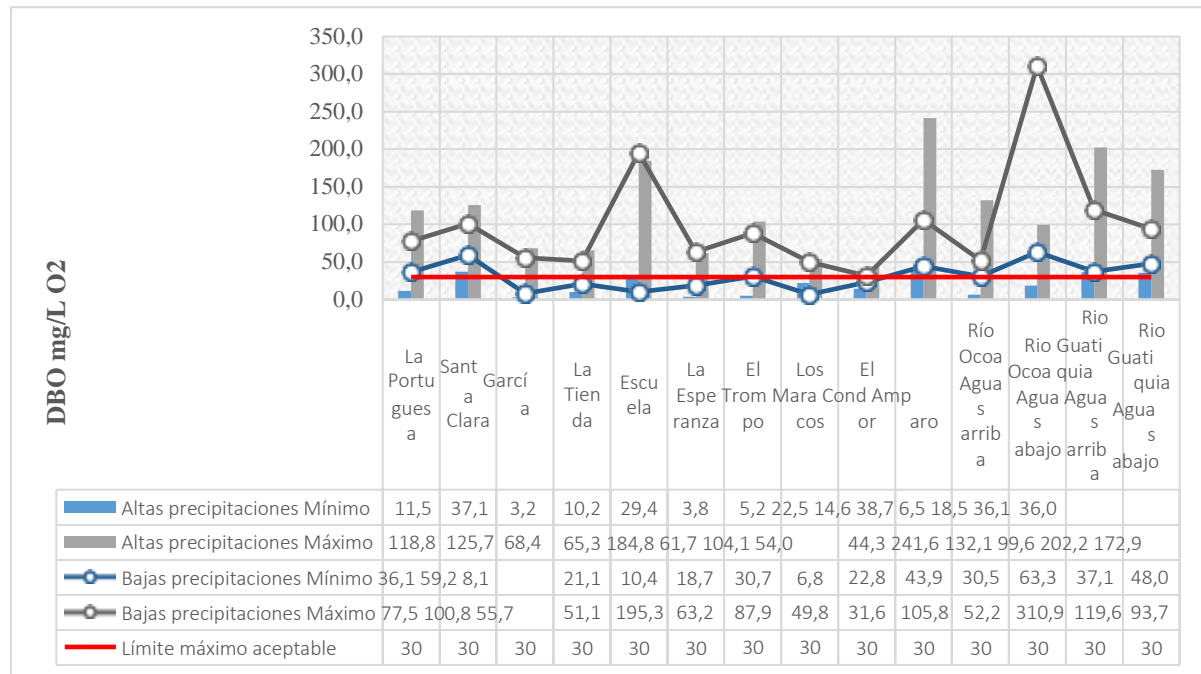


Gráfico 13. DBO en mg/L O₂ del agua de ríos y aljibes monitoreados en temporadas de altas y bajas precipitaciones. *Por Bastidas & Garzón 2019.*

7.3.10. Demanda Química de Oxígeno

En el gráfico 14 se observa los valores de DQO para los ríos y aljibes en las dos temporadas. Los máximos valores de DQO en general fueron alcanzados en temporadas de bajas precipitaciones y en donde los aljibes con mayor valor fueron la Escuela (436,7 mg/L O₂) y Amparo (423,7 mg/L O₂); en la misma temporada, de las dos fuentes hídricas superficiales el río Ocoa obtuvo el máximo valor con 421,3 mg/L O₂. Sin embargo es de resaltar que río Guatiquía alcanzó sus máximos valores en temporada de altas precipitaciones (324 mg/L O₂) y a nivel general fue la fuente hídrica que mantuvo una tendencia de datos entre sí misma, tanto en cada tramo de monitoreo (aguas arriba y aguas abajo) como en cada una de las temporadas.

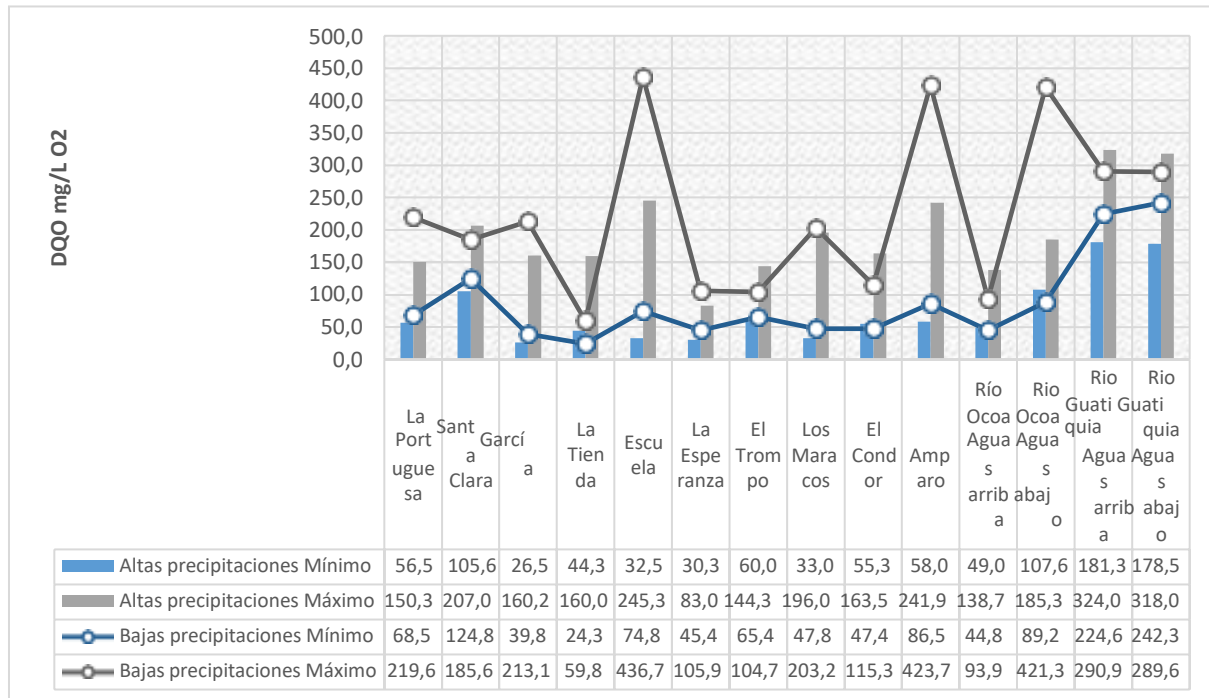


Gráfico 14. DQO en mg/L O₂ del agua de ríos y aljibes monitoreados en temporadas de altas y bajas precipitaciones. *Por Bastidas & Garzón 2019.*

7.4. Correlación de parámetros fisicoquímicos del agua

7.4.1. Análisis sobre la varianza ANOVA Alcalinidad

En la tabla 11 del ANOVA para el río Ocoa se observa que el estadístico F en este análisis toma valores diferentes para cada aljibe y cada uno está asociado a un P-valor. Para el caso en estudio en las temporadas de altas y bajas precipitaciones los aljibes Trompo, Amparo, Santa Clara y García presentan un P_valor > 0,05, este resultado indica que no existen diferencias significativas entre la fuente superficial y subterránea, es decir, el parámetro de alcalinidad por parte del río Ocoa presenta incidencia en dichos aljibes, atribuida a factores como la diferencia mínima de cotas entre aljibes y río por tramo (ver gráfico 2, 3, 5 y 7), las distancias y las condiciones edafológicas del suelo marcada por una alta porosidad. Sin embargo, es de resaltar que la misma fuente superficial incide en los aljibes Esperanza, Maracos, Cónдор en altas precipitaciones y Portuguesa solo en bajas precipitaciones.

Tabla 11. Estadístico F para cada aljibe y cada uno está asociado a un P-valor

ANÁLISIS SOBRE LA VARIANZA ANOVA				
<u>ALCALINIDAD</u>	Altas precipitaciones		Bajas precipitaciones	
	F	Sig.	F	Sig.
Aljibe	Río Ocoa aguas arriba			
Esperanza	1,150	0,43	12,492	0,015
Trompo	0,569	0,698	5,146	0,069
Maracos	1,561	0,315	25,498	0,004
Cóndor	2,316	0,191	174,56	0,000
Amparo	0,904	0,526	5,203	0,068
Aljibe	Río Ocoa aguas abajo			
Portuguesa	-	-	25,475	0,152
Santa Clara	0,123	0,943	35,775	0,129
García	1,245	0,373	24,275	0,156

Nota: El análisis de Varianza Anova Fuentes hídricas Río Ocoa y Guatiquía con respecto a los aljibes se realizó de acuerdo a su cercanía con las fuentes y por tramos. Por Bastidas & Garzón 2019.

En la tabla 12 del ANOVA para el río Guatiquía se observa que solamente los aljibes Tienda, Esperanza, Trompo y Cóndor presentan un P_valor > 0,05 en ambas temporadas salvo los aljibes Escuela y Maracos que presentan alta correlación solo en temporada de altas precipitaciones, y los aljibes Portuguesa y Santa Clara en temporada de bajas precipitaciones. De acuerdo a lo anterior su incidencia se asocia principalmente a que el río Guatiquía se encuentra a una altura mayor de terreno en comparación a dichos aljibes, a su vez es de destacar que en temporada de altas precipitaciones se presentaron desbordamientos de dicha fuente superficial y junto con la alta porosidad del suelo que se encuentra entre un 80 – 90%, permite que las aguas del río se muevan en dirección hacia los aljibes bien sea por infiltración o por escorrentía superficial.

Tabla 12. Estadístico F por aljibe y su significancia P-valor. *Por Bastidas & Garzón 2019.*

ANÁLISIS DE LA VARIANZA ANOVA				
<u>ALCALINIDAD</u>	Altas precipitaciones		Bajas precipitaciones	
	F	Sig.	F	Sig.
Aljibe	Río Guatiquía aguas arriba			
Tienda	1,76	0,302	0,465	0,788
Escuela	0,867	0,571	8,003	0,033
Esperanza	0,352	0,859	2,611	0,187

Tabla 13. Continuación de datos

Trompo	2,393	0,209	3,682	0,115
Maracos	0,658	0,676	7,089	0,041
Cóndor	5,308	0,065	0,637	0,687
Aljibe	Río Guatiquía aguas abajo			
Portuguesa	97,662	0,00	0,098	0,987
Santa Clara	10,25	0,013	0,355	0,857

Nota: El análisis de Varianza Anova Fuentes hídricas Río Ocoa y Guatiquía con respecto a los aljibes se realizó de acuerdo a su cercanía con las fuentes y por tramos. Por Bastidas & Garzón 2019.

7.4.2. Correlación de Dureza

En la tabla 13 del ANOVA para el parámetro de dureza, el río Ocoa en las temporadas de altas y bajas precipitaciones incide sobre los aljibes Esperanza, Trompo, Maracos, Cóndor, Amparo, Portuguesa y García, obteniendo un P_valor > 0,05 es decir, en temas de dureza hay incidencia por parte del río Ocoa sobre dichos aljibes, asociada principalmente a la cercanía, ya que en este caso el aljibe más alejado (Trompo) se encuentra a 882,15 m de distancia. En el caso del aljibe Santa Clara, el río Ocoa aguas también incide, pero solamente en temporada de bajas precipitaciones, por la cercanía ya que la distancia entre las dos fuentes es de 432,31 m.

Tabla 14. Estadístico F por aljibe y su significancia P-valor. *Por Bastidas & Garzón 2019.*

ANÁLISIS DE LA VARIANZA ANOVA				
DUREZA	Altas precipitaciones		Bajas precipitaciones	
	F	Sig.	F	Sig.
Aljibe	Río Ocoa aguas arriba			
Esperanza	0,476	0,782	0,661	0,696
Trompo	0,742	0,631	0,245	0,932
Maracos	0,179	0,957	0,257	0,926
Cóndor	1,059	0,491	0,217	0,947
Amparo	0,226	0,933	0,798	0,629
Aljibe	Río Ocoa aguas abajo			
Portuguesa	0,144	0,958	1,464	0,316
Santa Clara	22,475	0,002	1,382	0,336
García	0,925	0,516	1,811	0,245

Nota: El análisis de Varianza Anova Fuentes hídricas Río Ocoa y Guatiquía con respecto a los aljibes se realizó de acuerdo a su cercanía con las fuentes y por tramos. Por Bastidas & Garzón 2019.

En la tabla 14 del ANOVA se evidencia que el río Guatiquía incidió en las temporadas de altas y bajas precipitaciones solamente en los aljibes Escuela, Trompo y Esperanza; mientras que en el aljibe Tienda, Maracos, Cándor y Santa Clara sólo incidieron en una temporada. De acuerdo a lo anterior, una alta correlación indica que dicha fuente hídrica superficial presenta incidencia sobre los aljibes debido a la cercanía (distancias entre 300 - 900 m) y a las mínimas diferencias de pendientes por tramos evidenciadas en los perfiles de terreno (menores a 3 metros). A su vez es de resaltar que los niveles de láminas de agua del río Guatiquía en temporada de altas precipitaciones fueron mayores con respecto a los aljibes Escuela y Tienda (como se observa en el gráfico 3) y por tanto se ve reflejado en una alta correlación del parámetro dureza.

Tabla 15. Estadístico F por aljibe y su significancia P-valor. *Por Bastidas & Garzón 2019.*

ANÁLISIS DE LA VARIANZA ANOVA				
<u>DUREZA</u>	Altas precipitaciones		Bajas precipitaciones	
	F	Sig.	F	Sig.
Aljibe	Río Guatiquía aguas arriba			
Tienda	1,656	0,364	-	-
Escuela	0,296	0,905	6,146	0,147
Esperanza	1,398	0,422	0,527	0,78
Trompo	3,27	0,179	0,578	0,755
Maracos	21,25	0,015	0,33	0,887
Cándor	10,422	0,041	0,173	0,967
Aljibe	Río Guatiquía aguas abajo			
Portuguesa	6,055	0,037	19,99	0,016
Santa Clara	40,044	0,001	0,977	0,554

Nota: El análisis de Varianza Anova Fuentes hídricas Río Ocoa y Guatiquía con respecto a los aljibes se realizó de acuerdo a su cercanía con las fuentes y por tramos. Por Bastidas & Garzón 2019.

7.4.3. Correlación de Demanda Biológica de Oxígeno

En la tabla 15 del ANOVA para el parámetro de DBO, solamente hay incidencia por parte del río Ocoa aguas abajo y en temporadas de altas precipitaciones en los aljibe Portuguesa y Santa Clara, pues alcanzaron un P_valor > 0,05. Lo anterior se asocia principalmente a la cercanía de dichos aljibes con respecto al tramo del río Ocoa ya que el aljibe Portuguesa se encuentra a una distancia de 586,11 m y el aljibe Santa Clara se encuentra a una distancia de 432,31 m.

Tabla 16. Estadístico F por aljibe y su significancia P-valor. *Por Bastidas & Garzón 2019.*

ANÁLISIS DE LA VARIANZA ANOVA				
DBO	Altas precipitaciones		Bajas precipitaciones	
	F	Sig.	F	Sig.
Aljibe	Río Ocoa aguas abajo			
Portuguesa	38,892	0,121	-	-
Santa Clara	0,346	0,85	-	-
García	9075,646	0,008	-	-

Nota: El análisis de Varianza Anova Fuentes hídricas Río Ocoa y Guatiquía con respecto a los aljibes se realizó de acuerdo a su cercanía con las fuentes y por tramos. Por Bastidas & Garzón 2019.

En la Tabla 16 del ANOVA, el río Guatiquía se presenta incidencia en las temporadas de altas y bajas precipitaciones en los aljibes Esperanza, Maracos y Cóndor. Para el caso del aljibe Tienda solamente presentó incidencia en temporada de bajas precipitaciones y para el caso del aljibe Trompo sólo hay incidencia en altas precipitaciones. Dicha incidencia se corrobora ya que los niveles de láminas de agua del río Guatiquía en temporada de altas precipitaciones son mayores con respecto al nivel de terreno, presentando desbordamientos e infiltración del agua en los aljibes.

Tabla 17. Estadístico F por aljibe y su significancia P-valor. *Por Bastidas & Garzón 2019.*

ANÁLISIS DE LA VARIANZA ANOVA				
DBO	Altas precipitaciones		Bajas precipitaciones	
	F	Sig.	F	Sig.
Aljibe	Río Guatiquía aguas arriba			
Tienda	-	-	0,133	0,959
Escuela	-	-	-	-
Esperanza	1,069	0,622	0,574	0,756
Trompo	9,249	0,244	1504,617	0,02
Maracos	0,316	0,864	3,429	0,388
Cóndor	1,664	0,527	0,773	0,693

Nota: El análisis de Varianza Anova Fuentes hídricas Río Ocoa y Guatiquía con respecto a los aljibes se realizó de acuerdo a su cercanía con las fuentes y por tramos. Por Bastidas & Garzón 2019.

7.4.4. Correlación de Demanda Química de Oxígeno

En la Tabla 17 para ANOVA de los valores de DQO, solamente se encontró significancia al correlacionar los aljibes con el río Ocoa aguas arriba, sin embargo, sólo se dio en temporadas de altas precipitaciones. Los aljibes que alcanzaron un P_valor > 0,05 fueron Esperanza, Trompo, Maracos y Amparo asociado a principalmente a factores como la cercanía entre aljibes – río y al alto porcentaje de porosidad que se encuentra por encima del 83% favoreciendo la acumulación y circulación del agua subterránea.

Tabla 18. Estadístico F por aljibe y su significancia P-valor. *Por Bastidas & Garzón 2019.*

ANÁLISIS DE LA VARIANZA ANOVA				
DOO	Altas precipitaciones		Bajas precipitaciones	
	F	Sig.	F	Sig.
Aljibe	Río Ocoa aguas arriba			
Esperanza	2,299	0,461	-	-
Trompo	0,918	0,656	-	-
Maracos	97,896	0,077	-	-
Cóndor	853,251	0,026	-	-
Amparo	68,822	0,091	-	-

Nota: El análisis de Varianza Anova Fuentes hídricas Río Ocoa y Guatiquía con respecto a los aljibes se realizó de acuerdo a su cercanía con las fuentes y por tramos. Por Bastidas & Garzón 2019.

En los [Apéndice C– I](#) se muestra detalladamente por cada parámetro físicoquímicos correlacionado las incidencias que tienen las fuentes hídricas superficiales sobre los aljibes en las temporadas de altas y bajas precipitaciones. Finalmente, para clarificar la especificidad del fenómeno, en el **Apéndice J** se espacializa exactamente las áreas de protección de ronda hídrica, de igual forma se contempla las Unidades estratigráficas que obedecen a una zona de llanura de inundación, y a su vez donde se ilustra la localización de los aljibes destacando factores como distancia entre fuentes hídricas superficiales y subterráneas.

8. Análisis y discusión

Esta investigación permitió determinar si existe factores incidentes que aportan los ríos Ocoa y Guatiquía sobre los aljibes de la vereda El Guamo, mediante parámetros de calidad del agua como alcalinidad, dureza, Demanda Biológica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno se plantea una correlación directa de estas variables sobre los aljibes, además se tiene en cuenta las alturas de las láminas de agua, las elevaciones de terreno y la porosidad del suelo, pues estos factores son determinantes en la recarga de las aguas subterráneas y en particular en la recarga de los aljibes.

Para los parámetros de pH y temperatura no se realizó el análisis de varianza ANOVA de un factor, puesto que los datos presentaron una misma tendencia en aljibes y ríos en temporadas de altas y bajas precipitaciones; por consiguiente, los parámetros no son determinantes para considerarlos como factores incidentes, siendo poco representativa en la correlación estadística, ya que al haber poca variación en los datos las dos fuentes hídricas superficiales presentarían incidencia en los aljibes, sin embargo, dichos parámetros se tuvieron en cuenta para ver cómo afectaba el quimismo de las aguas, pues las diferencias de temperatura y pH pueden influir en la solubilidad de determinadas sustancias y por ende afectan directamente otros parámetros de calidad como lo son alcalinidad, dureza y conductividad.

En el caso de la alcalinidad se presentó un $P_valor > 0,05$ indicando una incidencia significativa por parte de la fuente hídrica río Ocoa en la calidad de agua de los aljibes Trompo, Amparo, García y Santa Clara en temporadas de altas y bajas precipitaciones. En los aljibes Esperanza, Maracos y Cóndor tuvo incidencia en temporada de altas precipitaciones, y en el aljibe Portuguesa sólo se presentó incidencia en temporada de bajas precipitaciones. El río Guatiquía presentó incidencia significativa en los aljibes Tienda, Escuela, Esperanza, Trompo y Cóndor principalmente en temporadas de altas precipitaciones.

Dichas incidencias están relacionadas con las elevaciones de terreno, pues las diferencias en las alturas entre ríos y aljibes son mínimas (menores a 3 metros), además la alta porosidad del suelo que se encuentra entre un rango del 80 – 90% (Apéndice B), permite que el agua de los ríos se infiltre y llegue a ser parte de los aljibes, de manera que los parámetros fisicoquímicos analizados están mostrando correlación por factores como la cercanía que presentan las fuentes hídricas

superficiales con respecto a los aljibes, además al ser una zona de depósitos y llanuras aluviales permite que se presenten eventos de inundación en temporada de altas precipitaciones, generando un aporte de las fuentes hídricas superficiales río Ocoa y Guatiquía a las fuentes de agua subterránea.

En las temporadas de altas y bajas precipitaciones, los aljibes y las fuentes superficiales río Ocoa y Guatiquía presentaron variaciones significativas, sin embargo, los valores de la DQO siempre fueron superiores a los valores de la DBO, estas variaciones se deben principalmente a que las fuentes hídricas presentan sustancias orgánicas que pueden oxidarse químicamente pero no biológicamente, ya que su descomposición bioquímica de organismos no es tan completa como el método químico.

Por otra parte, en la correlación ANOVA los valores de DBO y DQO, de los ríos Ocoa y Guatiquía presentaron incidencia en temporada de altas precipitaciones en los aljibes Esperanza, Trompo, Maracos, Cóndor y Amparo, asociada principalmente a la cercanía y a las mínimas diferencias de cotas entre los puntos de muestreo (río – aljibe); de igual forma el nivel freático de la zona indica que el medio de transporte de las aguas tiene un espesor entre 0,9 y 3,85 metros (Apéndice K), corroborando que la zona es un depósito aluvial que presenta un porcentaje de porosidad alto, permitiendo que exista una conexión del agua que circula por el medio poroso del suelo e incide en los aljibes.

Finalmente es de resaltar que el parámetro de conductividad no se tuvo en cuenta para hacer la correlación puesto que los datos no presentaron una tendencia de distribución normal y por tanto en la realización del análisis de varianza ANOVA no tenían ninguna significancia.

9. Conclusiones

La zona en estudio es una llanura de inundación puesto que se encuentra en medio de dos cuerpos hídricos (río Ocoa y Guatiquía), además presenta porcentajes de porosidad altos que varían desde un 80 - 90% indicando que puede recibir aportes de las fuentes hídricas cercanas a través de la infiltración y por la misma movilización que van teniendo las aguas en el subsuelo.

El nivel freático de la zona en estudio tiene un espesor que esta alrededor de los 3 metros, entre las temporadas de altas y bajas precipitaciones; en aljibes como Santa Clara en temporada de bajas precipitaciones se encontró agua a sólo 2,70 metros a partir del nivel de terreno y la máxima profundidad fue alcanzada por el aljibe la Esperanza en la misma temporada con 5,15 metros de profundidad.

Mediante la medición de parámetros de calidad del agua subterránea, se demostró que los 10 aljibes con fines de abastecimiento de la vereda El Guamo y las fuentes hídricas río Ocoa y Guatiquía no son aceptables para su captación y consumo directo, pues los valores de DQO y DBO indican que son aguas contaminadas, todos los aljibes superaron el rango de DBO estipulado en el título C del RAS 2000 donde la DBO entre 6 y 10 mg/L es un agua con indicios de contaminación atribuida a la descarga de aguas residuales que han sido tratadas biológicamente y una DBO de 30 mg/L ya es considerada como un agua totalmente contaminada; por otro lado, parámetros como alcalinidad, dureza, conductividad y pH tienen valores estables en comparación con la normativa colombiana de calidad de agua potable el cual señala las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano (Resolución 2115 de 2007).

Teniendo en cuenta el análisis de varianza ANOVA de un factor para los parámetros de alcalinidad, dureza, Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda química de oxígeno (DQO), se demostró que existe una incidencia de algunos parámetros de calidad de agua de las fuentes hídricas superficiales río Ocoa y Guatiquía en los aljibes, siendo la alcalinidad y la dureza los parámetros con mayor incidencia en temporadas de altas y bajas precipitaciones, puede ser

porque este tipo de sustancias no son afectadas por fenómenos de degradación natural por la misma dinámica de los cuerpos de agua, lo que ocasiona cierta estabilidad temporal y espacial a la hora de comparar dos puntos, mientras que a la DBO y la DQO la afecta los procesos de autodepuración de las mismas fuentes hídricas, los cuales pueden ser temporales y espaciales.

Para el caso de la dureza, el río Ocoa en el tramo aguas arriba presentó la mayor influencia, en las dos temporadas de altas y bajas precipitaciones en los aljibes Esperanza, Trompo, Maracos, Cónдор y Amparo y aguas abajo en los aljibes Portuguesa y García. El río Guatiquía aguas arriba en este parámetro incidió en los aljibes Escuela, Esperanza y Trompo en las dos temporadas; sin embargo, los máximos valores de dureza se encontraron en temporada de bajas precipitaciones.

En la correlación de parámetros de calidad de agua en los aljibes y fuentes superficiales ríos Ocoa y Guatiquía para el análisis estadístico ANOVA de un factor, la DBO Y DQO no tuvieron una significancia representativa en las dos temporadas, pues son parámetros que varían y dependen de la contaminación por materia orgánica y sustancias inorgánicas presentes en cada cuerpo hídrico o que pueden llegar a las aguas superficiales por la descarga de aguas residuales domésticas e industriales y a aguas subterráneas por la infiltración de contaminantes producto del desarrollo de actividades antrópicas.

Los parámetros fisicoquímicos mostraron una correlación entre las fuentes hídricas superficiales y las fuentes hídricas subterráneas, indicando así que los ríos sí son incidentes en los aljibes, y esto a su vez se corrobora con factores como la cercanía entre río - aljibe, los eventos de inundaciones en temporada de altas precipitaciones, los niveles de las láminas de agua, las condiciones edafológicas del suelo y la diferencia de alturas de terreno.

10. Recomendaciones

A partir de este estudio se recomienda dar continuidad con una investigación en parámetros microbiológicos, concentraciones de metaloides y metales pesados, pero también desarrollando una modelación hidrogeológica que permita conocer mejor la incidencia de los ríos Ocoa y Guatiquía sobre los aljibes de la zona, ya que no es suficiente con un análisis ANOVA. Además, es importante realizar estudios de incrustación e infiltración teniendo en cuenta trazadores químicos para determinar si el agua de los ríos realmente se infiltra y contamina los acuíferos.

De igual forma se sugiere a CORMACARENA y a la Unidad de Saneamiento Ambiental del municipio de Villavicencio, como entidades competentes, realice monitoreos mensuales en los aljibes mediante los cuales los habitantes de la vereda El Guamo captan agua subterránea, pues existen varios factores por los cuales dicho recurso se está viendo afectado y por ende la salubridad de la comunidad, al hacer consumo directo de dicha agua.

Por otra parte, se recomienda futuros estudios en donde se alíen tanto la academia como entidades gubernamentales con el fin de diseñar sistemas de tratamiento del agua subterránea de la vereda El Guamo, con el fin de hacerla totalmente apta para consumo humano teniendo en cuenta la legislación colombiana pertinente a calidad de agua potable para consumo humano.

11. Referencias bibliográficas

- Agroder. (2012). *Huella Hídrica En México En El Contexto De Norteamérica*. WWF México Y Agroder. Mexico D.F: Agroder. Retrieved From <Http://Www.Huellahidrica.Org/Reports/Agroder>, 2012. Huella Hídrica En México.Pdf
- Alejandra, I., & Pulido, B. (2018). *Evaluación De La Presencia Y Distribución De Los Metales Pesados Cromo, Níquel Y Plomo En El Río Ocoa, En La Zona Comprendida Entre La Desembocadura Del Caño Maizaro Hasta El Puente Murujuy, Municipio De Villavicencio - Meta*. Universidad Santo Tomás Sede Villavicencio, Meta. Retrieved From <Http://Repository.Usta.Edu.Co/Handle/11634/12075>
- Baca, G. (2000). *Introducción A La Ingeniería Industrial*. Mexico D.F: Grupo Editorial Patria. Retrieved From Https://Books.Google.Com.Co/Books?Id=Enlhbaaaqbaj&Dq=Introducción+A+La+Ingeniería+Industrial.&Source=Gbs_Navlinks_S
- Bakieva, M., González Such, J. Y Jornet, J. (2019). SPSS: ANOVA De Un Factor De Medidas Independientes. *Guía Para El Análisis De Datos Con El SPSS*, 251–266. Retrieved From Https://Www.Uv.Es/Innomide/Spss/SPSS/SPSS_0702b.Pdf
- Béjar, M. V. (2007). *Drenaje*. Costa Rica: Editorial Tecnológica De Costa Rica. Retrieved From <Https://Books.Google.Com.Co/Books?Id=Cmzprbtaan0c>
- Brindha, K., Pavelic, P., & Sotoukee, T. (2019). Environmental Assessment Of Water And Soil Quality In The Vientiane Plain, Lao PDR. *Groundwater For Sustainable Development*, 8(June 2018), 24–30. <Https://Doi.Org/10.1016/J.Gsd.2018.08.005>
- CONAGUA. (2011). Agua En El Mundo. *Estadísticas Del Agua En México.*, 1–126. Retrieved From <Http://Www.Imf.Org/External/Pubs/Ft/Weo/2010/01/Weodata/Weoselgr.AspX>,
- Dev, R., & Bali, M. (2018). Journal Of The Saudi Society Of Agricultural Sciences Evaluation Of Groundwater Quality And Its Suitability For Drinking And Agricultural Use In District Kangra Of Himachal Pradesh , India. *Journal Of The Saudi Society Of Agricultural Sciences*, 1–7. <Https://Doi.Org/10.1016/J.Jssas.2018.03.002>
- Díaz Zerrate, C. A., & Otálvaro Barco, J. J. (2014). *Determinación Del Almacenamiento De Agua Subterránea Presente En Los Acuíferos De La Cuenca Del Río Neusa, Cundinamarca*,

- Mediante El Análisis De Información Hidrológica E Hidrogeológica*. Universidad Católica De Colombia. Retrieved From [Http://Hdl.Handle.Net/10983/2122](http://hdl.handle.net/10983/2122)
- Enrique, R., Caravantes, D., Carlos, L., Peña, B., Carlos, L., Cejudo, A., & Flores, E. S. (2013). Presión Antropogénica Sobre El Agua Subterránea En México : Una Aproximación Geográfica Anthropogenic Pressure On Groundwater In Mexico : A Geographical Approach, (54), 93–103. [Https://Doi.Org/Http://Dx.Doi.Org/10.14350/Rig.32452](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14350/Rig.32452)
- FAO AQUASTAT. (2015). Informe Regional De América Del Sur, Centroamérica Y El Caribe. Retrieved July 14, 2019, From [Http://Www.Fao.Org/Nr/Water/Aquastat/Countries_Regions/COL/Indexesp.Stm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/col/indexesp.stm)
- Gonzales, M. (2014). Evaluación De La Situación Actual De Las Fuentes De Vertimientos En La Ciudad De Villavicencio-Meta En Función Del Desarrollo De Una Propuesta De Sostenibilidad Ambiental De Factores Relacionados Con La Salud Pública En Poblaciones Aledañas. *Semillas Ambientales*, 8, 6. Retrieved From [Http://Revistas.Udistrital.Edu.Co/Ojs/Index.Php/Bsa/Article/View/9348](http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/bsa/article/view/9348)
- HACH. (2000). Manual De Analisis De Agua: Procedimientos Fotometricos, De Titulacion Y Microbiologicos De HACH Company, (970), 220.
- Hanna Instruments. (2005). Demanda Química De Oxígeno Y Materia Orgánica, (5411), 1–2.
- IDEAM. (2015). *Principios Básicos Para El Conocimiento Y Monitoreo De Las Aguas Subterráneas En Colombia*.
- IDEAM. (2018). *Reporte De Avance Del Estudio Nacional Del Agua ENA 2018. Estudio Nacional Del Agua* (Instituto). Bogotá D.C: IDEAM,2018. Retrieved From [Http://Www.Andi.Com.Co/Uploads/Cartilla_ENA_2018.Pdf](http://www.andi.com.co/uploads/cartilla_ena_2018.pdf)
- IDEAM. (2019). Estudio Nacional Del Agua 2018. In *Estudio Nacional Del Agua 2018*. Bogotá D.C: Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales. Retrieved From [Http://Documentacion.Ideam.Gov.Co/Openbiblio/Bvirtual/023858/ENA_2018.Pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023858/ena_2018.pdf)
- IDEAM - Instituto De Hidrología, M. Y E. A. (2015a). AGUAS SUBTERRANEAS - IDEAM. Retrieved July 14, 2019, From [Http://Www.Ideam.Gov.Co/Web/Agua/Aguas-Subterranas](http://www.ideam.gov.co/web/agua/aguas-subterranas)
- IDEAM - Instituto De Hidrología, M. Y E. A. (2015b). HIDROLOGÍA. Retrieved July 14, 2019, From [Http://Www.Ideam.Gov.Co/Web/Atencion-Y-Participacion-Ciudadana/Hidrologia](http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/hidrologia)
- Jiménez, A. C. A. (2001). *Suelos Tropicales* (Editorial). San José - Costa Rica: Euned. Retrieved From [Https://Books.Google.Com.Co/Books?Id=L6tavpwk8goc](https://books.google.com.co/books?id=L6tavpwk8goc)

- Jimenez Armenta, & Gallardo Amaya. (2016). Caracterización Del Agua Subterránea En El Valle Superior Del Río Cesar -, *11*, 37–50. Retrieved From [Http://Webcache.Googleusercontent.Com/Search?Q=Cache:Kwzsf6vzxuykj:Revistas.Ufpso.Edu.Co/Index.Php/Ringenio/Article/Download/282/220+&Cd=2&HI=Es-419&Ct=Clnk&GI=Co](http://Webcache.Googleusercontent.Com/Search?Q=Cache:Kwzsf6vzxuykj:Revistas.Ufpso.Edu.Co/Index.Php/Ringenio/Article/Download/282/220+&Cd=2&HI=Es-419&Ct=Clnk&GI=Co)
- Kaufmann, B. Y. K. (2005). Calidad De Agua Y Contaminacion De Agua Subterranea, (March), 25–27.
- Knepper, M. A., Kwon, T.-H., & Nielsen, S. (2015). Molecular Physiology Of Water Balance. *New England Journal Of Medicine*, *372*(14), 1349–1358. <https://doi.org/10.1056/Nejmra1404726>
- López, J., Fornés, J., Ramos, G., & Villarroya, F. (2009). *Las Aguas Subterráneas Un Recurso Natural Del Subsuelo. Instituto Geológico Y Minero De España*. <https://doi.org/10.1073/Pnas.1530604100>
- Manahan, S. E. (2006). *Introducción A La Química Ambiental*. Mexico D.F: Reverté. Retrieved From <https://books.google.com.co/books?id=5NR8DIk1n68C>
- Marconi, J. (2011). *El Suelo*. Córdoba, ARGENTINA: El Cid Editor | Apuntes. Retrieved From <http://ebookcentral.proquest.com/lib/Bibliotecaustasp/detail.action?docid=3202031>
- Maria, V., Carolina, O., & Maria, V. (2011). *Aguas Subterraneas Enfoque Practico*. (Universidad Nacional De Colombia, Ed.). Bogotá D.C: Ingeominas Instituto Colombiano De Geología Y Minería, 2011. Retrieved From https://sabio.eia.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=15030&shelfbrowse_itemnumber=21812
- Mihelcic, J. R., & Zimmerman, J. B. (2011). *Ingeniería Ambiental: Fundamentos, Sustentabilidad, Diseño*. (2011 Alfaomega, Ed.) (Reimpresión). Alfaomega. Retrieved From <https://books.google.com.co/books?id=3kgbmweacaaj>
- Ministerio De La Protección Social. Decreto No. 1575 De 2007, Diario Oficial § (2007). <https://doi.org/10.1111/J.0954-6820.1937.Tb03385.X>
- Morales, C. (2010). Integración De La Cartografía Geológica De Los Llanos Orientales: Departamento Del Meta Y Sector Suroccidental Del Departamento De Casanare, 1–81. <https://doi.org/10.1039/C4TB01501K>
- Morales, P., & Rojas, R. (2018). *Evaluación De La Presencia Y Distribución De Arsénico Y Cadmio En El Río Ocoa, Municipio De Villavicencio, Meta*. Universidad Santo Tomás Sede

- Villavicencio. Retrieved From <https://Repository.Usta.Edu.Co/Handle/11634/13700>
- Olga, M., Bacterióloga, N. R., Actualizado, R. Y., María, P. :, Gaitan, S., & De Alimentos, I. (2007). Demanda Bioquímica De Oxígeno 5 Días, Incubación Y Electrometría. *Ideam*, 2, 13. Retrieved From <http://Www.Ideam.Gov.Co/Documents/14691/38155/Demanda+Bioquímica+De+Oxígeno.Pdf/Ca6e1594-4217-4aa3-9627-D60e5c077dfa>
- Organizacion Mundial De La Salud. (2019). Agua. Retrieved September 10, 2019, From <https://Www.Who.Int/Es/News-Room/Fact-Sheets/Detail/Drinking-Water>
- Para, C., Desarrollo, E. L., & Del, S. (2018a). Subdirección de gestión ambiental programa de tasas retributivas 2018 documentación del proceso de consulta para el dbo5 y sst estado de calidad de agua del Tramo 1 - rio Guatiquia. Retrieved From <http://Www.Cormacarena.Gov.Co/VERSION-2009/Tasa Retributiva/MONITOREO FUENTES HIDRICAS/PROCESO DE CONSULTA/6. TR-006-18 RIO GUATIQUIA.PDF>
- Para, C., Desarrollo, E. L., & Del, S. (2018b). Subdirección de gestión ambiental programa de tasas retributivas 2018 documentación del proceso de consulta para el dbo5 y sst estado de calidad de agua del tramo 1 y 2 - rio ocoa Villavicencio, octubre De 2018. Retrieved From <http://Www.Cormacarena.Gov.Co/VERSION-2009/Tasa Retributiva/MONITOREO FUENTES HIDRICAS/PROCESO DE CONSULTA/7. TR-007-18 RIO OCOA.PDF>
- Paraíso, D. D. El, Carolina, A., & Velásquez, R. (2011). Caracterización Regional De La Calidad Del Agua Subterránea Y Superficial En El Caracterización Regional De La Calidad Del Agua Subterránea Y Superficial En El Departamento De El Paraíso , Honduras.
- Paula, M., Caraballo, C., & Xavier, J. M. (2012). *Manual De Agua Subterránea*. Montevideo - Uruguay: Denad Internacional SA. Retrieved From https://S3.Amazonaws.Com/Academia.Edu/Documents/35397075/Manual-De-Agua-Subterranea-Bajo.Pdf?Response-Content-Disposition=Inline%3BFilename%3dmanual_De_Agua_Subterranea_Bajo.Pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F201
- Pérez-López, E. (2016). Control De Calidad En Aguas Para Consumo Humano En La Región Occidental De Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 29(3), 3.

<https://doi.org/10.18845/Tm.V29i3.2884>

- Ramachandran, A., Krishnamurthy, R. R., Jayaprakash, M., & Shanmugasundharam, A. (2018). Environmental Impact Assessment Of Surface Water And Groundwater Quality Due To Flood Hazard In Adyar River Bank. *Acta Ecologica Sinica*. <https://doi.org/10.1016/J.CHNAES.2018.08.008>
- Rincon Alvaro. (N.D.). Degradacion Y Recuperacion De Praderas En Los Llanos Orientales De Colombia. Villavicencio, Meta: CORPOICA. Retrieved From http://Bibliotecadigital.Agronet.Gov.Co/Bitstream/11348/6687/1/2006718164141_Degradacion_Y_Recuperacion_De_Praderas.Pdf
- Rodríguez, M. (2012). Las Aguas Subterráneas. Factores Que Determinan El Almacenamiento Y Circulación De Las Aguas Subterráneas. Prospección. Captación De Aguas Subterráneas: Usos Y Problemas Asociados. Contaminación De Las Aguas Subterráneas. El Agua Subterránea En España (P. 24). Retrieved From https://www.academia.edu/5476478/Las_Aguas_Subterráneas._Factores_Que_Determinan_El_Almacenamiento_Y_Circulación_De_Las_Aguas_Subterráneas._Prospección._Captación_De_Aguas_Subterráneas_Usos_Y_Problemas_Asociados._Contaminación_De_Las_Aguas_Subterráneas._E
- Rodríguez Zamora., J. (2009). Parámetros Físicoquímicos De Dureza Total En Calcio Y Magnesio, Ph, Conductividad Y Temperatura Del Agua Potable Analizados En Conjunto Con Las Asociaciones Administradoras Del Acueducto, (ASADAS), De Cada Distrito De Grecia, Cantón De Alajuela, Noviembre. *Pensamiento Actual*, 9(12), 125–134. Retrieved From <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/pensamiento-actual/article/view/2842>
- Rosa, A., & Salazar, B. (2018). El Agua Subterránea Y Su Importancia Socioambiental, 16–21. Retrieved From <http://www.uaslp.mx/comunicacion-social/documents/divulgacion/revista/quince/227/227-04.pdf>
- Sandoval-Montes, I. D. C., & Rodriguez-Rocha, J. (2012). Evidencias De Interacción Entre Aguas Superficiales Y Subterráneas. *Realidad, Datos Y Espacio. Revista Internacioanl De Estadística Y Geografía*, 3(2), 116-.
- Tuesca, R., Ávila, H., Sisa, A., & Pardo, D. (2015). *Fuentes De Abastecimiento De Agua Para Consumo Humano* (Zoila Soto). Barranquilla (Colombia) ©: Xi, 213 Páginas : Il. Col., Mapas Col. ; 24 Cm. ISBN 978-958-741-615-2 (Impreso) ISBN. Retrieved From

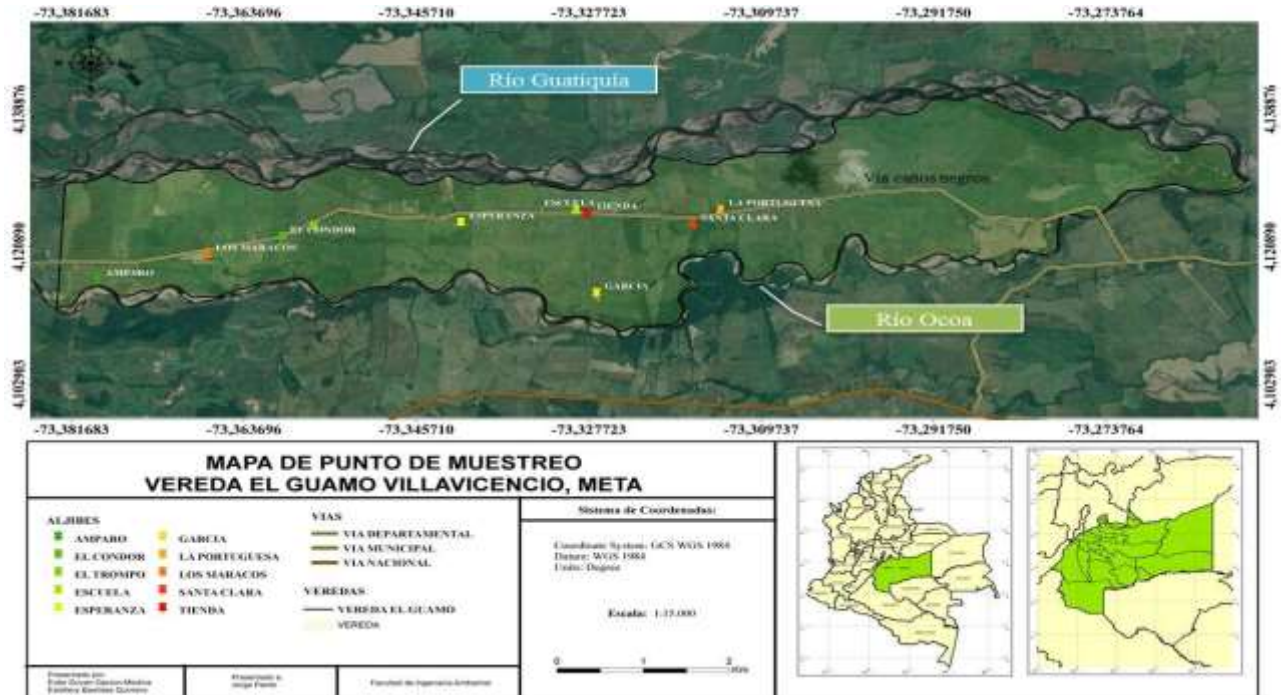
Manglar.Uninorte.Edu.Co/.../9789587416169%2520efuentes%2520de%2520abastecimient
os%252

Zahariev, T., Anastassov, V., Girov, K., Goranova, E., Grozdinski, L., Kniajev, V., & Stankev, M. (2009). Prevalence Of Primary Chronic Venous Disease: The Bulgarian Experience. *International Angiology*, 28(4), 303–310.

Zampieri, M., Serpetzoglou, E., Anagnostou, E. N., Nikolopoulos, E. I., & Papadopoulos, A. (2012). Improving The Representation Of River-Groundwater Interactions In Land Surface Modeling At The Regional Scale: Observational Evidence And Parameterization Applied In The Community Land Model. *Journal Of Hydrology*, 420–421, 72–86. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.041>

12. Apéndices

Apéndice A. Puntos de muestreo de agua subterránea de la Vereda el Guamo Villavicencio, Meta Por Bastidas & Garzón, 2019



Apéndice B. Porcentajes de porosidad de los aljibes de agua subterránea de la vereda El Guamo Villavicencio, Meta



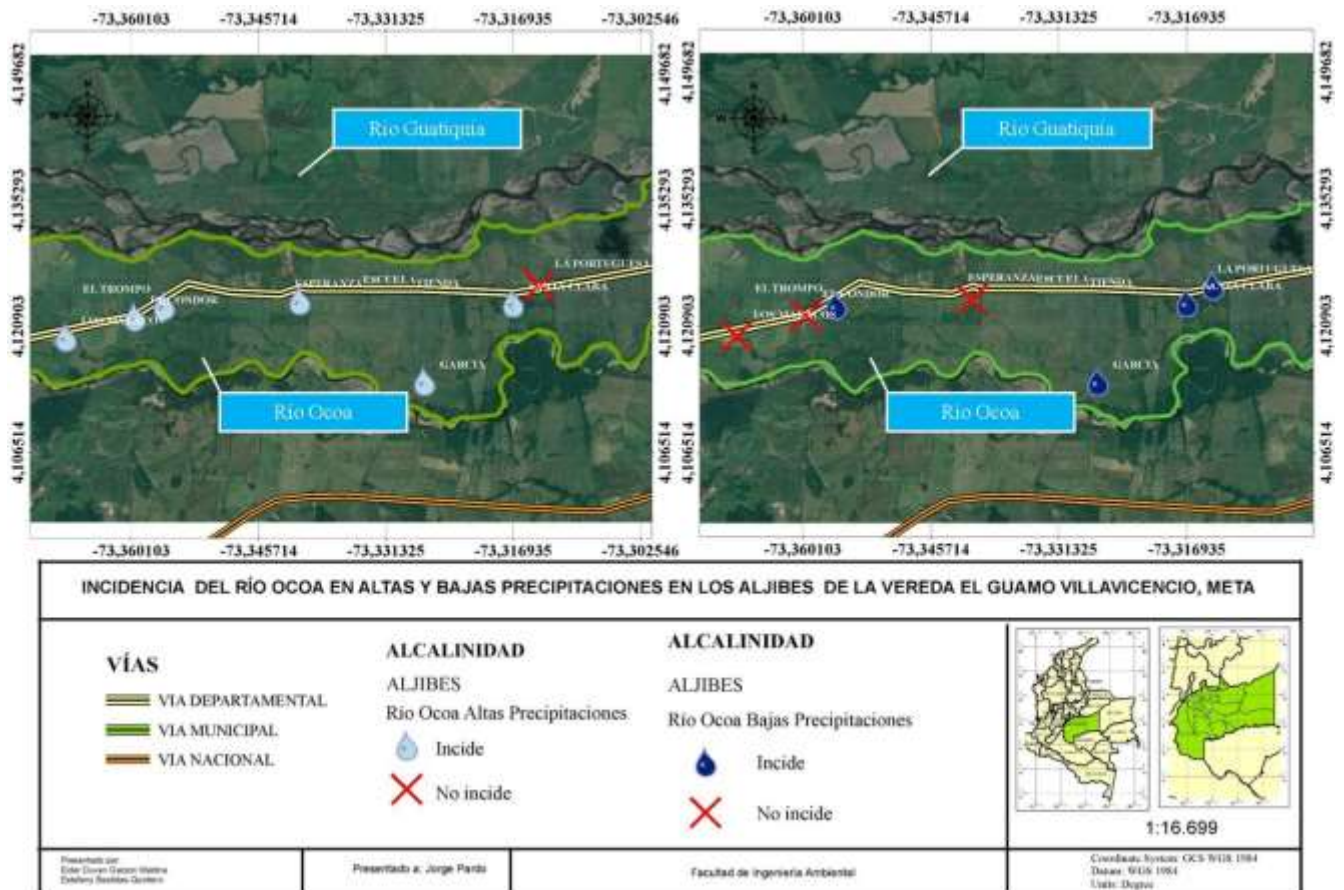
Apéndices C. Incidencias que tienen las fuentes hídricas superficiales sobre los aljibes en las temporadas de altas y bajas precipitaciones según parámetros fisicoquímicos correlacionados.

ALJIBES	Parámetro	Río Ocoa		Río Guatiquía	
		Altas precipitaciones	Bajas precipitaciones	Altas precipitaciones	Bajas precipitaciones
Portuguesa	Alcalinidad	No incide	No incide	No incide	Incide
	Dureza	Incide	Incide	No incide	No incide
	DBO	Incide	No incide	No incide	No incide
	DQO	No incide	No incide	No incide	No incide
Santa Clara	Alcalinidad	Incide	Incide	No incide	Incide
	Dureza	No incide	Incide	No incide	Incide
	DBO	Incide	No incide	No incide	No incide
	DQO	No incide	No incide	No incide	No incide
García	Alcalinidad	Incide	Incide	No incide	No incide
	Dureza	No incide	No incide	No incide	No incide
	DBO	No incide	No incide	No incide	No incide
	DQO	No incide	No incide	No incide	No incide
Tienda	Alcalinidad	No incide	No incide	Incide	Incide
	Dureza	No incide	No incide	Incide	No incide
	DBO	No incide	No incide	No incide	Incide
	DQO	No incide	No incide	No incide	No incide
Escuela	Alcalinidad	No incide	No incide	Incide	No incide
	Dureza	No incide	No incide	Incide	Incide
	DBO	No incide	No incide	No incide	No incide
	DQO	No incide	No incide	No incide	No incide
Esperanza	Alcalinidad	Incide	No incide	Incide	Incide
	Dureza	Incide	Incide	Incide	Incide
	DBO	No incide	No incide	Incide	Incide
	DQO	Incide	No incide	No incide	Incide
Trompo	Alcalinidad	Incide	Incide	Incide	Incide
	Dureza	Incide	Incide	Incide	Incide
	DBO	No incide	No incide	No incide	Incide
	DQO	Incide	No incide	No incide	No incide
Maracos	Alcalinidad	Incide	No incide	Incide	No incide
	Dureza	Incide	Incide	No incide	Incide
	DBO	No incide	No incide	Incide	Incide
	DQO	Incide	No incide	No incide	No incide

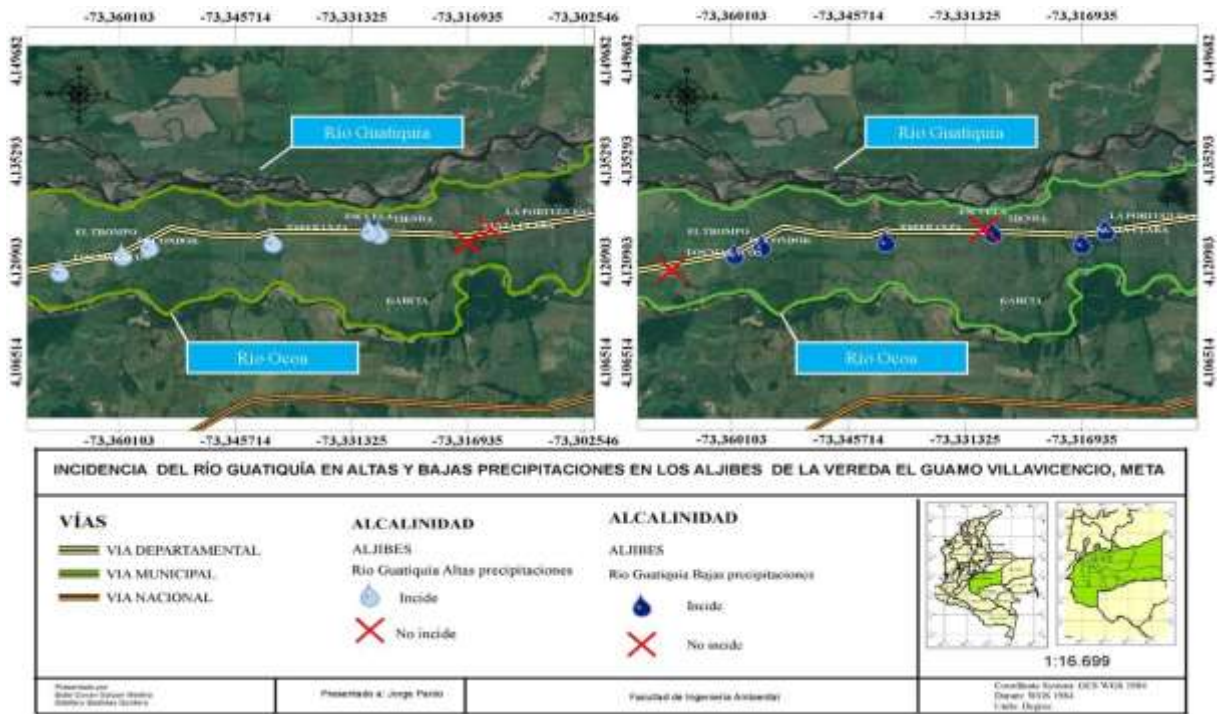
Apéndice C. Continuidad de datos

Cóndor	Alcalinidad	Incide	No incide	Incide	Incide
	Dureza	Incide	Incide	No incide	No incide
	DBO	No incide	No incide	No incide	Incide
	DQO	No incide	No incide	No incide	No incide
Amparo	Alcalinidad	Incide	Incide	No incide	No incide
	Dureza	Incide	Incide	No incide	No incide
	DBO	No incide	No incide	No incide	No incide
	DQO	Incide	No incide	No incide	No incide

Apéndices D. Mapa de la incidencia de la alcalinidad de la fuente hídrica Río Ocoa en el agua subterránea de los aljibes de la vereda El Guamo



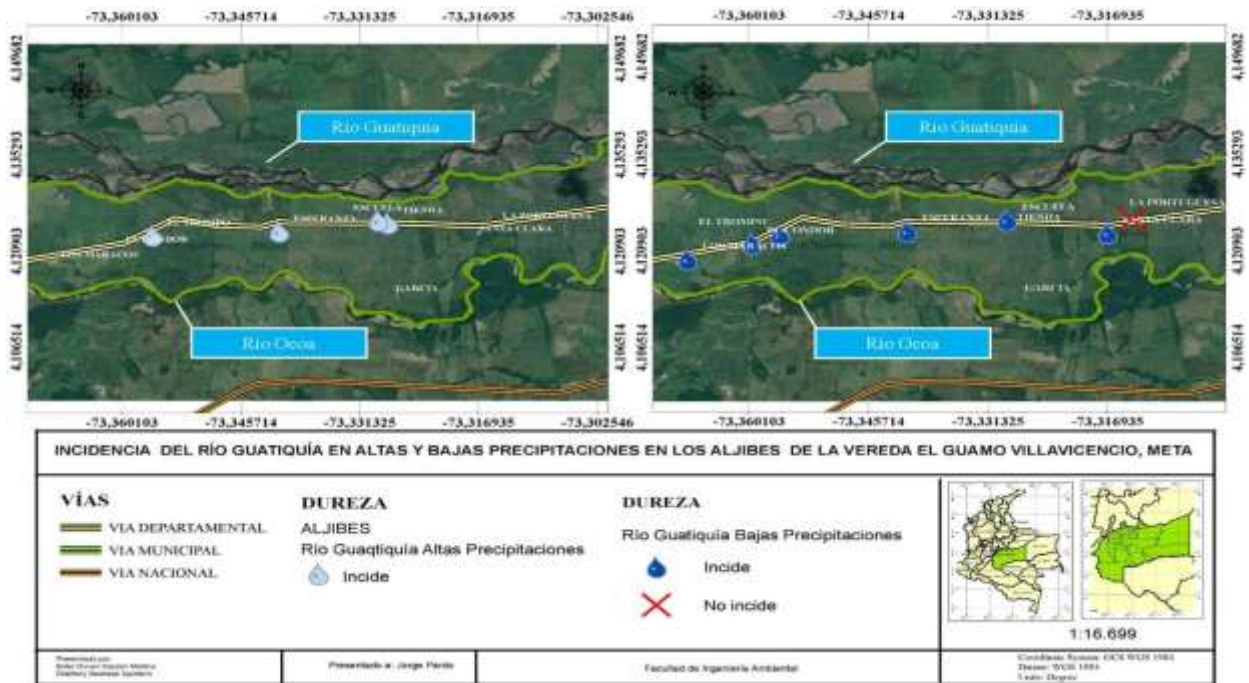
Apéndices E. Mapa de la incidencia de la alcalinidad de la fuente hídrica Río Guatiquía en el agua subterránea de los aljibes de la vereda El Guamo



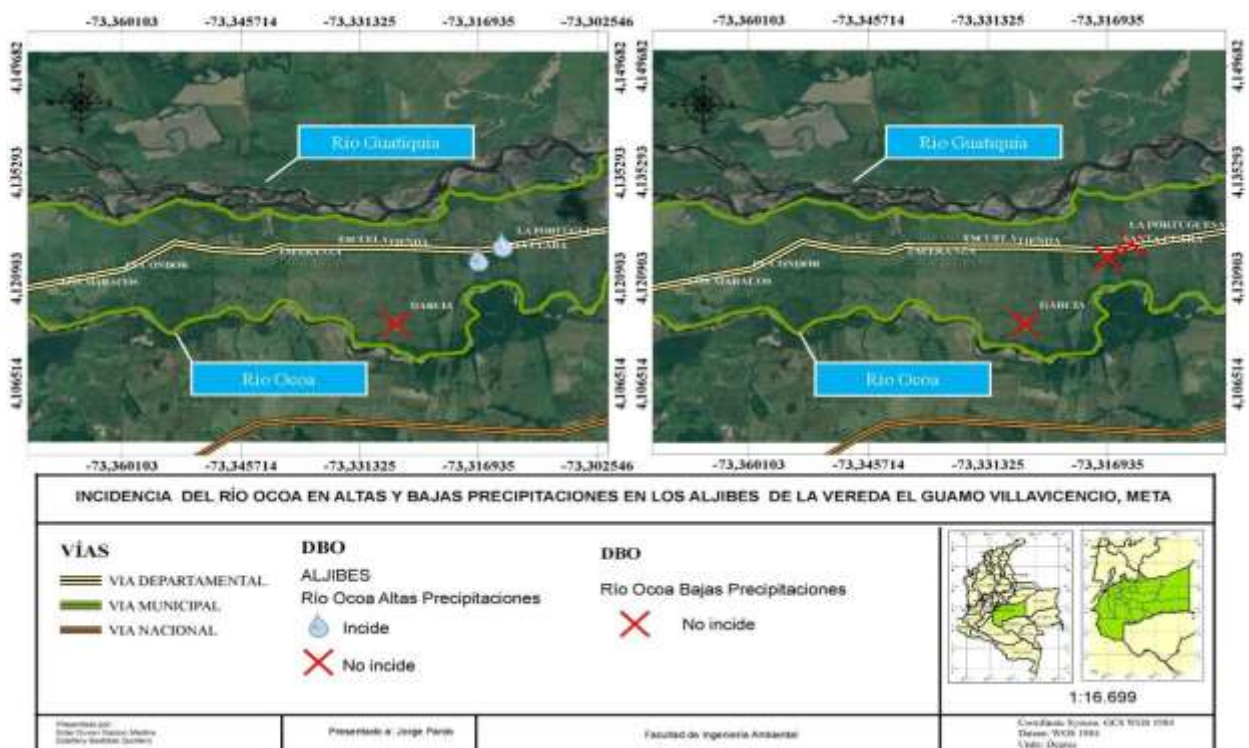
Apéndices F. Mapa de la incidencia de la Dureza de la fuente hídrica Río Ocoa en el agua subterránea de los aljibes de la vereda El Guamo



Apéndices G. Mapa de la incidencia de la Dureza de la fuente hídrica Río Guatiquía en el agua subterránea de los aljibes de la vereda El Guamo



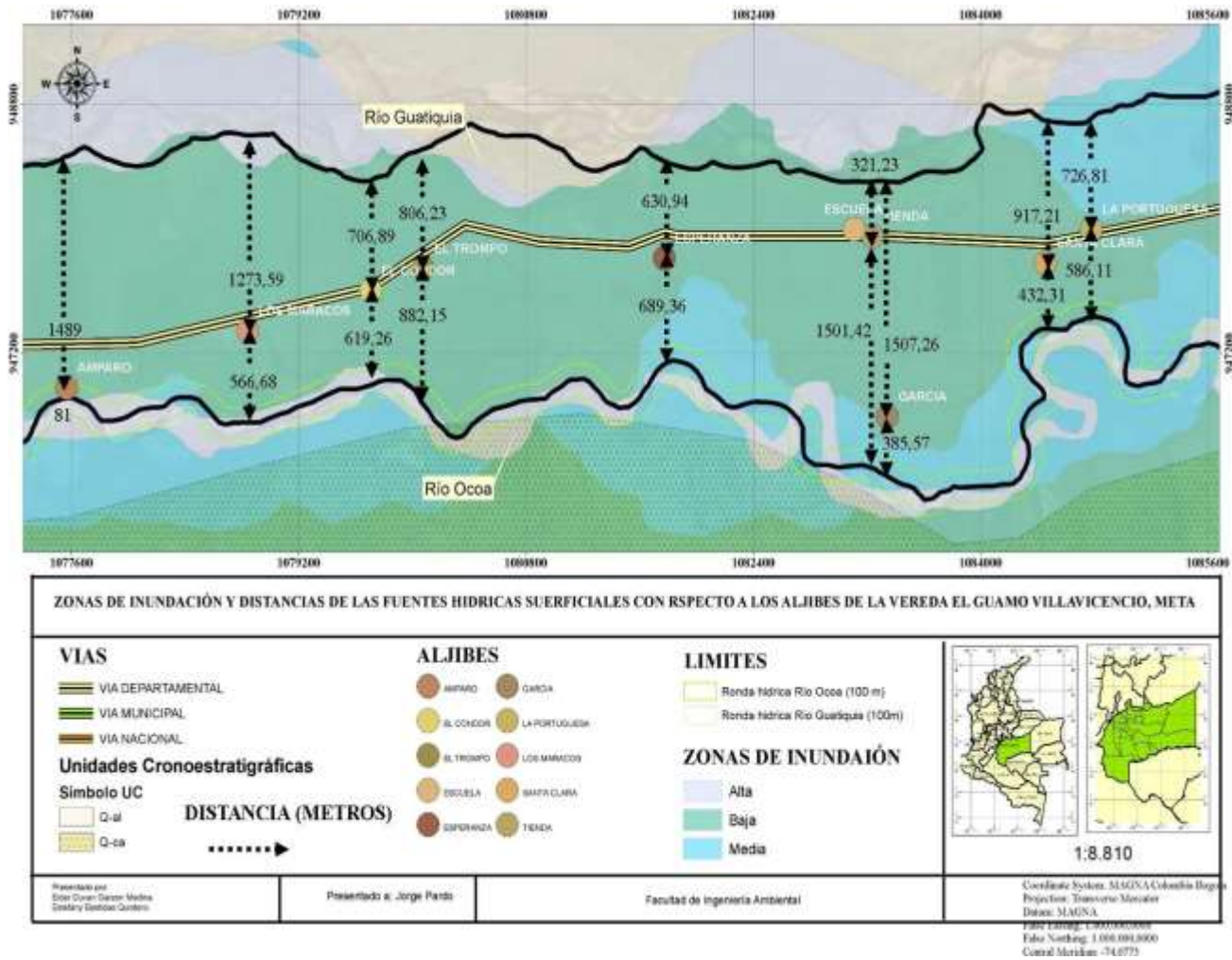
Apéndices H. Mapa de la incidencia de la DBO de la fuente hídrica Río Ocoa en el agua subterránea de los aljibes de la vereda El Guamo



Apéndices I. Mapa de la incidencia de la DBO de la fuente hídrica Río Guatiquía en el agua subterránea de los aljibes de la vereda El Guamo



Apéndices J. zonas de inundación y distancias de las fuentes hídricas superficiales con respecto a los aljibes de la vereda el guamo Villavicencio, meta



Apéndices K. Espesor del nivel freatico de los aljibes de la vereda El Guamo Villavicencio, Meta

Punto Muestreado	Bajas precipitaciones		Altas precipitaciones		Espesor nivel freático	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Bajas precipitaciones	Altas precipitaciones
La Portuguesa	1,28	2,9	0,9	1,9	1,59	1,0
Santa Clara	1,00	2,7	0,5	1,3	1,70	0,9
García	1,00	3,9	1,2	2,7	2,85	1,6
La Tienda	0,79	2,7	0,2	1,8	1,91	1,6
Escuela	0,55	2,6	0,1	1,4	2,05	1,3

Apéndice K. continuación de datos

La Esperanza	1,30	5,2	1,2	3,0	3,85	1,9
El Trompo	1,20	3,2	0,7	2,1	2,00	1,4
Los Maracos	1,39	4,0	1,1	2,9	2,61	1,8
El Condor	0,64	2,5	0,2	1,6	1,87	1,4
Amparo	2,20	4,0	1,9	3,1	1,80	1,2