	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		i(173)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	DAYHANA ANDREA DIAZ GUTIERREZ		
FACULTAD	CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA AMBIENTAL		
DIRECTOR	YERMIS FABIAN VELEZ		
TÍTULO DE LA TESIS	DETERMINACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL MEDIANTE APLICACIÓN DE SOFTWARE ARCGIS Y HEC – HMS, Y DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA) EN ÉPOCAS DE MÁS LLUVIA, EN LA PARTE MEDIA Y BAJA DE LA MICROCUENCA QUEBRADA LA CRISTALINA EN EL COSTADO ORIENTAL DEL PARQUE NACIONAL NATURAL EL COCUY, COMO INSUMO PARA VALORACIÓN DE SUS SERVICIOS ECO-SISTÉMICOS.		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>ESTE ESTUDIO NACE DE LA NECESIDAD DEL PARQUE NACIONAL NATURAL EL COCUY POR GENERAR INSUMOS PARA LA VALORACIÓN DE SUS VOC, AL CUAL PERTENECE LA MICROCUENCA QUEBRADA LA CRISTALINA. EN ESTE PROYECTO SE DETERMINÓ LA OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL, LA CALIDAD DEL AGUA EN LA PARTE MEDIA Y BAJA DE LA MICROCUENCA EN ESTUDIO, Y ADICIONALMENTE SE SIMULÓ LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL DEL CAUCE PRINCIPAL, PERMITIENDO IDENTIFICAR LUGARES CON POSIBLE RIESGO DE INUNDACIÓN.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 173	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM: 1

DETERMINACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL MEDIANTE
APLICACIÓN DE SOFTWARE ARCGIS Y HEC – HMS, Y DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE
AGUA (ICA) EN ÉPOCAS DE MÁS LLUVIA, EN LA PARTE MEDIA Y BAJA DE LA
MICROCUEENCA QUEBRADA LA CRISTALINA EN EL COSTADO ORIENTAL DEL
PARQUE NACIONAL NATURAL EL COCUY, COMO INSUMO PARA VALORACIÓN DE
SUS SERVICIOS ECO-SISTÉMICOS

AUTOR:

DAYHANA ANDREA DIAZ GUTIERREZ

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental

DIRECTOR:

YERMIS FABIAN VELEZ
INGENIERO AMBIENTAL

ASESOR:

MIGUEL DARIO CAMACHO BLANCO
INGENIERO FORESTAL

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE
INGENIERÍA AMBIENTAL

Ocaña, Colombia

Abril, 2018

Dedicatoria

Dedico esta investigación en primer lugar a Dios padre todo poderoso, que fue mi fortaleza y soporte incondicional, a mis maravillosos padres: Ana Rita Gutiérrez Sierra y Richard Manuel Díaz Amell, quienes fueron mi motivación y ejemplo. A mi abuela: Emperatriz Elena Sierra Alvis, que con su bondad siempre supo aconsejarme. A mi futuro esposo: Miguel Darío Camacho Blanco, con quien conté incondicionalmente. Y por último a mi bebe, que en el cielo descansa y me enseñó lo valiosa que es la vida.

Agradecimientos

Mi más profundo agradecimiento a:

El parque nacional natural por permitir realizar la tesis bajo su coordinación, y por toda la información suministrada. Al equipo humano del PNN el Cocuy, en especial al equipo del costado oriental, por su apoyo y acompañamiento en todo el proceso.

A mi director de tesis Yermis Fabián Vélez por direccionar mi tesis con empeño y dedicación. A mi asesor Miguel Darío Camacho Blanco por aclarar mis dudas y apersonarse de mi investigación y cuyos aportes contribuyeron a la formación de la tesis.

A la Universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña, por la educación que me impartieron. A la oficina de planeación de la alcaldía de Tame por la información suministrada. A la ingeniera Leidy Gonzales Guzmán por los datos suministrados sobre la estación del IDEAM.

A don Paulino, Rene Oswaldo Sáenz, Pedro Tibaduisa, Cristian Leonardo Vera Vello, José Fermín Vera Ortiz, Raúl Ortiz, José Raúl Carbajal, por su acompañamiento en los recorridos de campo. A don Mario Roa y Lida Villamizar por la dedicación a la hora de tomar los datos en la estaciones pluviométricas pertenecientes a la red de monitoreo agroclimático del PNN el Cocuy.

A mis hermanas y hermano quienes con su afán de verme graduada me llenaban de energía para continuar con la investigación. A doña Yolanda Blanco Niño y a don Misael Antonio Camacho por acogerme en su casa, su hospitalidad y tratarme como un miembro más de su familia.

Y a todas aquellas personas quienes me dieron una voz de aliento y confiaron en mí.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1. Determinación de la oferta hídrica superficial mediante aplicación de software ArcGIS y HEC – HMS, y del índice de calidad de agua (ICA) en épocas de más lluvia, en la parte media y baja de la microcuenca Quebrada La Cristalina en el costado oriental del Parque Nacional Natural el Cocuy, como insumo para valoración de sus servicios eco-sistémicos	2
1.1 Problema de investigación.....	2
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Formulación del problema.....	5
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
1.5 Justificación.....	6
1.6 Delimitaciones.....	7
1.6.1 Operativa	7
1.6.2. Conceptual.....	8
1.6.3. Geográfica	9
1.6.4. Temporal.....	9
Capítulo 2. Marco Referencial	10
2.1 Marco Teórico	10
2.1.1 Antecedentes.....	11
2.2 Marco Histórico.....	11
2.3 Marco Contextual	15
2.3.1 Ubicación Geopolítica y Accesos.....	17
2.4 Marco Conceptual	19
2.5 Marco legal.....	36
Capítulo 3. Diseño Metodológico.....	39
3.1 Tipo de investigación.	39
3.2 Población.	39

3.3 Muestra.....	40
3.4 Metodología para la obtención de la Información.....	42
3.4.1 FASE 1.	42
3.4.2 FASE 2.	44
3.4.3 FASE 3.	48
3.4.4 FASE 4.	51
4. Análisis y Discusión de Resultados	57
4.1 FASE 1. Diagnóstico de los componentes biofísicos de la microcuenca Quebrada La Cristalina necesarios para realizar el ejercicio de la modelación de la escorrentía superficial. 57	
4.1.1. Parámetros morfométricos.....	57
4.1.2. Aspectos generales de la microcuenca.	74
4.2 FASE 2. Analizar la información que permita calcular y conocer la oferta hídrica superficial que proporciona la microcuenca Quebrada La Cristalina en la parte media y baja.85	
4.2.1 Hidrología de la microcuenca Quebrada La Cristalina.	85
4.2.2. Aforos	87
4.2.3. Determinación de la relación lluvia – escorrentía por el método SCS (Soil Conservation Service).	90
4.3 FASE 3. Simular la escorrentía superficial del cauce principal en condiciones normales y para eventos de variabilidad climática máximas, por medio de un modelo hidrológico, con el fin de analizar los impactos que pueda generar la variación de la oferta hídrica sobre la microcuenca.	96
4.3.1 Trabajo de campo	96
4.3.2 Oferta hídrica total para un evento máximo de lluvias registrado el mes de mayo 2017.....	99
4.3.3. Evento de simulación para una precipitación máxima presentada en el mes mayo de 2017.....	100
4.3.4. Evento de inundación	104
4.4 Fase 4. Calidad del agua superficial en la parte media y baja de la microcuenca Quebrada La Cristalina, por medio del Índice de Calidad de Agua en Corrientes Superficiales (ICA).....	106
4.4.1. Cálculo del valor de cada variable.....	106

4.4.2. Determinación del indicador del índice de calidad de agua superficial (ICA)	116
4.4.3. Análisis de otras variables de calidad calculadas.....	118
Conclusiones.....	127
Recomendaciones.....	128
Referencias Bibliográficas	129

Lista de Tablas

Tabla 1. Territorial andes nororientales	16
Tabla 2. Categorías para la clasificación propuesta por Gravelius	24
Tabla 3. Densidad de drenaje o longitud de cauces según el resultado de la fórmula.....	25
Tabla 4. Relieve según el resultado de la pendiente media superficial	30
Tabla 5. Muestra de los componentes.....	40
Tabla 6. Muestra para el cálculo de la oferta hídrica.....	40
Tabla 7. Muestra para el subsistema hidrológico.....	41
Tabla 8. Perfiles transversales del cauce.....	50
Tabla 9. Recipientes y cantidades de las muestras para análisis de laboratorio	54
Tabla 10. Variable que están involucradas en el cálculo del indicador ICA	56
Tabla 11. Longitud de los cauces.....	58
Tabla 12. Numero de orden de la cuenca.....	58
Tabla 13. Razón de bifurcación	59
Tabla 14. Longitud media de los cauces.....	59
Tabla 15. Clasificación de coeficiente de compacidad (Kc).....	62
Tabla 16. Caracterización de la densidad	63
Tabla 17. Textura según la densidad que presente un cauce	65
Tabla 18. Datos para determinar la pendiente por el Método de Taylor y Schwarz.....	67
Tabla 19. Datos para hallar la pendiente media superficial por el método índice de pendiente	67
Tabla 20. Pendiente media superficial	68
Tabla 21. Clasificación del relieve según la pendiente media	69
Tabla 22. Información necesaria para construcción de la curva hipsométrica de la quebrada la cristalina.....	71
Tabla 23. Información necesaria para hallar altura media de la microcuenca de la quebrada la cristalina.....	73
Tabla 24. Datos estaciones climatológica, hidrométricas y pluviométricas utilizadas.....	75
Tabla 25. Datos históricos de temperatura media, máxima y mínima registrada para la década (2005-2015) en °C de la estación del municipio de Tame del IDEAM.....	76
Tabla 26. Datos de la temperatura media, estaciones pluviométricas y del IDEAM	77

Tabla 27. Datos históricos medios mensuales de humedad relativa (%) de la estación de Tame – Arauca.....	79
Tabla 28. Coberturas según la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia.....	80
Tabla 29. Tipos de suelos presentes en la microcuenca quebrada la cristalina	82
Tabla 30. Datos históricos de los valores totales mensuales de precipitación en (mm) estación Tame	85
Tabla 31. Promedio de precipitación	86
Tabla 32. Caudales tomados en periodos de lluvia y sequia para la parte media y baja de la microcuenca	88
Tabla 33. Cálculo para el número de curva promedio	90
Tabla 34. Resultados diarios del hidrograma unitario para el mes de mayo 2017	91
Tabla 35. Resultados del hidrógrafa para el mes de enero	93
Tabla 36. Datos obtenidos sección parte media.....	97
Tabla 37. Análisis para la sección transversal media	97
Tabla 38. Datos obtenidos sección parte baja.....	98
Tabla 39. Análisis para la sección transversal baja.....	98
Tabla 40. Registro OD en la parte media y baja del cauce	106
Tabla 41. Rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencias eco-sistémicas frecuentes	106
Tabla 42. Fórmula para hallar los porcentajes de saturación OD en la parte media y baja de la Quebrada La Cristalina	108
Tabla 43. Calculo del IOD para la parte media y baja del cauce en estudio	109
Tabla 44. Cálculo del ISST.....	110
Tabla 45. Características del agua según la conductividad.....	111
Tabla 46. Determinación del IC.E. en la parte media y baja de la Quebrada La Cristalina aplicando la ecuación propuesta por (Ramírez y viña)	112
Tabla 47. Cálculo del IDQO según concentración.	113
Tabla 48. Tipo de sustancia según el nivel de pH.	113
Tabla 49. Clasificación del agua según el pH.....	114
Tabla 50. Fórmula para hallar el IPH en la parte media y baja de la Quebrada La Cristalina ..	115

Tabla 51. Categorías de valores que puede tomar el indicador Calificación de la calidad del agua	116
Tabla 52. Cálculo del indicador ICA para la parte media y baja del cauce en estudio.....	117
Tabla 53. Clasificación de la dureza en el agua, según OMS.....	119
Tabla 54. Tipo de alcalinidad según el pH	119
Tabla 55. Características de los nitritos y nitratos	120

Lista de Figuras

Figura 1. Ubicación del Parque Nacional Natural El Cocuy en los Andes Nororientales.....	17
Figura 2. Metodología general para el logro de los objetivos propuestos	42
Figura 3. Componentes biofísicos para simulación de escorrentía superficial.....	42
Figura 4. Escorrentía para los complejos de suelo según su cobertura (CN).	46
Figura 5. Variables que se deciden averiguar en laboratorio para los dos sitios de muestreo...	53
Figura 6. Mapa base microcuenca la Cristalina	57
Figura 7. Características hidrológicas de las cuencas pequeñas y grandes.....	60
Figura 8. Perfil longitudinal del cauce microcuenca quebrada La Cristalina.	66
Figura 9. Mapa pendiente de la microcuenca quebrada la cristalina	70
Figura 10. Curva hipsometrica de la microcuenca quebrada La Cristalina	72
Figura 11. Curva hipsometrica según el tipo de rio	72
Figura 12. Ubicación espacial de la estacione utilizada para la obtención de datos.....	75
Figura 13. Temperatura registrada en la estación del IDEAM en el municipio de Tame	76
Figura 14. Comparación temperaturas registradas en la estaciones agroclimáticas versus datos generados por le estación del IDEAM en el municipio de Tame.	78
Figura 15. Variación anual de la humedad relativa (%) de la estación de Tame, 2005-2015 ...	79
Figura 16. Porcentaje de cobertura vegetal presente en la microcuenca	80
Figura 17. Mapa de coberturas de la microcuenca quebrada la cristalina	81
Figura 18. Porcentaje del área del microcuenca en estudio según su tipo de suelo.....	82
Figura 19. Mapa suelos de la microcuenca quebrada la cristalina. Fuente: Autor, 2018	84
Figura 20. Precipitación década registrada por el IDEAM.....	85
Figura 21. Puntos de aforo desde la parte baja hasta la parte media	87
Figura 22. Caudales para la parte media y baja de la microcuenca y en diferentes periodos....	89
Figura 23 Imagen resultados de la simulación para el mes mayo 2017.....	92
Figura 24. Imagen modelación periodo menos lluvia.....	94
Figura 25 OHND en la parte media y baja para los periodos de más y menos lluvia	95
Figura 26. Levantamiento sección transversal del 27 de mayo 2017	96
Figura 27. Sección trasversal parte baja	97
Figura 28. Hidrograma y hietograma para el evento del día 31 mayo del 2017.....	99

Figura 29. Resultado de la modelación para el evento del día 31 mayo del 2017	99
Figura 30. Simulación 1 para una precipitación máxima presentada en el mes mayo de 2017.	100
Figura 31. Simulación 2 para una precipitación máxima presentada en el mes mayo de 2017.	100
Figura 32. Flujonormal	101
Figura 33. Flujo evento 31 de mayo	101
Figura 34. Supuesto de evento máximo	102
Figura 35. Flujo normal	102
Figura 36. Flujo evento 31 de mayo	102
Figura 37. Supuesto de evento máximo	103
Figura 38. Sección con riesgo de inundación con menos lluvia	103
Figura 39. Sección con riesgo de inundación con más lluvia	104
Figura 40. Sección con riesgo de inundación con supuesto evento de inundación	104
Figura 41. Dependencia del OD respecto a la Temperatura	107
Figura 42. OD del cauce en estudio	107
Figura 43. Registro de conductividad eléctrica.....	112
Figura 44. Datos de pH	114
Figura 45. Resultados de los 5 subíndices de calidad.....	116
Figura 46. Relación alcalinidad y pH	120
Figura 47. Resultados de NO ₂ y NO ₃ en el agua del cauce de la Quebrada La Cristalina	121
Figura 48. Concentraciones de ST, SDT Y SST, obtenidos en la parte media y baja del cauce	122
Figura 49. Resultados obtenidos de turbidez y color real	123
Figura 50. Resultado de las variables microbiológicas.....	124

Introducción

Los servicios ecosistémicos que brindan las cuencas hidrográficas son indispensables para la supervivencia de miles de especies en el planeta, de aquí radica la importancia de conocer el estado en el que se encuentran nuestros recursos, para implementar acciones de mejoramiento y mantenimiento, con el fin de asegurar a las futuras generaciones el derecho a un ambiente digno.

Este proyecto nace a raíz de la falta de información que se posee sobre la microcuenca Quebrada La Cristalina, y la falta de insumos que posee el Parque Nacional Natural el Cocuy, que le permitan definir el valor de los servicios ecosistémicos que esta brinda. Así mismo cabe resaltar que la microcuenca Quebrada La Cristalina es fuente abastecedora del acueducto la cristalina, la cual presta el servicio a de agua potable a 13 veredas del municipio de Tame.

Con esta situación a flote, se decide crear un insumo con el fin de conocer el estado actual e identificar posibles impactos que pueda presentar la microcuenca en estudio. Sabiendo de antemano, que el uso irracional de los servicios ecosistémicos de una cuenca, provoca serios problemas ambientales a las comunidades internas, externas y futuras, por el eminente agotamiento de dichos recursos.

La importancia de este proyecto radica en que genera conocimientos indispensables para lograr adelantar procesos de gestión por parte de las entidades competentes, con el fin de evitar futuros conflictos y generar solución a los presentes como por ejemplo los que acarrea el cambio climático, el crecimiento poblacional, los cuales provocan la destrucción de áreas forestales, con el fin de establecer cultivos y actividades agropecuarias, generando serios problemas de erosión, transporte de material erosionado y sedimentación, ocasionando infertilidad de las tierras, y por ende aumenta el riesgo por inundaciones y disminuye la capacidad de los cauces para producir agua.

Capítulo 1. Determinación de la oferta hídrica superficial mediante aplicación de software ArcGIS y HEC – HMS, y del índice de calidad de agua (ICA) en épocas de más lluvia, en la parte media y baja de la microcuenca Quebrada La Cristalina en el costado oriental del Parque Nacional Natural el Cocuy, como insumo para valoración de sus servicios eco-sistémicos

1.1 Problema de investigación

El PNN EL Cocuy actualmente presenta un vacío de información sobre sus ecosistemas y los recursos que lo componen, escenario que ha creado en él la necesidad de obtener conocimientos principalmente sobre sus valores objeto de conservación (VOC), entre los cuales se encuentra la Micro-cuenca Quebrada La cristalina (Portafolio del cocuy 2014).

1.2 Planteamiento del problema

En la actualidad la caracterización de la base natural de los sistema de PNN en marcan sus investigaciones sobre los componentes físicos y bióticos de la base natural, mediante la generación de conocimiento sobre la estructura, función, presiones y estado de conservación de los ecosistemas. Dadas las amenazas que existen sobre la biodiversidad y la dinámica acelerada de transformación de los ecosistemas, se hace necesario incrementar los refuerzos de caracterización de los ecosistemas y los recursos que lo componen. (Portafolio de proyectos PNN cocuy).

El Parque Nacional Natural El Cocuy con el afán de dar respuestas a vacíos de información evidenciados en el diagnóstico situacional del área protegida, el cual nos permite conocer sus objetivos de conservación y visualizar los valores objeto asociados a ellos, así como las amenazas y presiones a las cuales están sometidas, las vulnerabilidades propias de cada uno y las respuestas a las estrategias de gestión, ha definido en el portafolio de investigaciones aspectos relacionados con el manejo y uso adecuado de sus microcuencas que se encuentran dentro del área protegida, para lo cual este estudio aportará insumos importantes para la toma de decisiones relacionados con la microcuenca quebrada la Cristalina.

Es importante señalar que en el costado oriental del Parque Nacional Natural El Cocuy, los estudios realizados han sido escasos, y han estado condicionados por la difícil accesibilidad, por factores asociados al conflicto armado. Sin embargo es un área que por sus particularidades en el paisaje, sus formaciones geológicas, su recurso hídrico, sus ecosistemas, su contexto cultural, entre otros, se hace potencialmente un área de interés para el desarrollo de investigaciones.

Es importante evidenciar que para alcanzar los objetivos del proyecto, será necesario el trabajo conjunto con la comunidad, que permita complementar la investigación científica y el conocimiento empírico y tradicional, de tal forma que el producto de la investigación aporte conocimiento para la toma de decisiones. Con el fin de producir la información necesaria para la conservación de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas, de manera que éstos orienten y sean el soporte del fortalecimiento en la capacidad de gestión del área protegida y su zona de influencia, relacionadas con la conservación y la sostenibilidad ambiental, así como los procesos para la elaboración de políticas públicas, instrumentación normativa y técnica, planes de ordenamiento territorial, entre otros, y la planificación territorial social y sectorial.

El Pueblo Indígena Uwa o tunebo que traduce “gente inteligente que sabe hablar” descendientes de los Chibcha conocida como la mayor cultura indígena en Colombia. Hoy por hoy el territorio Uwa, se localizan en la Sierra del Cocuy– Sarare, y el piedemonte de la Cordillera Oriental de los Andes, y las sabanas planas del departamento de Arauca y Casanare también comprende áreas de los departamentos de Boyacá, Santander y Norte de Santander. Los Uwa mantienen una interpretación del mundo en términos de inversión y combinación de propiedades sobre distintos ejes (sabiduría, feminidad, fertilidad, etc.); modelo de organización social, económico y político que ha estado sujeto a continuas transformaciones y adaptaciones. (Cocuy, 2014).

No sobra anotar, que los estudios que se realicen o involucren a la comunidad Indígena U’wa, deberán ser aprobados en concertación con las autoridades indígenas, estos temas de relacionamiento con los U’wa, se irán abordando a medida que avance el proceso de régimen especial de manejo (REM) en el cual el parque y su administración se encuentra trabajando.

Nuestros recursos hídricos están sometidos a una gran presión. Todavía se necesita más información fiable sobre la calidad y cantidad de agua disponible, y cómo esta disponibilidad

varía en el tiempo y de un lugar a otro. Las actividades humanas influyen de muchas formas en el ciclo del agua y es necesario comprender y cuantificar sus efectos para conseguir una gestión responsable y sostenible de los recursos hídricos. Se ha demostrado los cambios en el clima están afectando la disponibilidad de agua, la contaminación, las desviaciones de agua y las incertidumbres acerca de la cantidad de agua disponible ponen en peligro el crecimiento económico, el medio ambiente y la salud. A menudo, el agua subterránea se sobreexplota y se contamina. Para aumentar el abastecimiento de agua, los métodos tradicionales (como la recolección del agua de lluvia) se están combinando con tecnologías más punteras como la desalinización y la reutilización del agua. Un mayor apoyo político facilitaría la recopilación de información, lo que a su vez permitiría tomar mejores decisiones sobre la gestión del agua (GreenFacts, www.greenfacts.org).

La microcuenca de la Quebrada la Cristalina se encuentra ubicada en el departamento de Arauca en el municipio de Tame en las veredas de Malvinas y Aguas Claras, zonas que viven un escenario complicado debido a la presencia de comunidades indígenas y campesinas. La parte alta de la cuenca se encuentra por encima de los 600 msnm y la cual hace parte del PNN El Cocuy, allí se encuentran asentados algunos resguardos de la comunidad indígena los U'wa.

En la parte media y baja de la cuenca se concentran las comunidades campesinas las cuales se abastecen del recurso hídrico que provee la quebrada, por medio del acueducto La Cristalina. Cabe resaltar que El PNN Cocuy se ha venido trabajando en temas de conservación y sostenibilidad para mejorar la oferta y la calidad del agua; sin embargo, se debe incluir el tema investigativo para que la comunidad conozca la importancia de los recursos naturales y el manejo que se les debe dar. Otros factores a tener en cuenta son la presencia de grupos al margen de la ley y las vías de acceso lo que en ocasiones dificultan la realización de investigaciones sobre los valores objeto de conservación (VOC) del área protegida (AP); sin embargo, en los últimos años se evidencia el compromiso por parte de la entidad y de la comunidad en generar conocimiento acerca de los recursos naturales, su uso, manejo y conservación que permitan a futuro utilizarlos de una manera más sostenible.

1.3 Formulación del problema

¿Cuál es la oferta hídrica superficial y el índice de calidad de agua (ICA) en épocas de más lluvia en la parte media y baja de la microcuenca Quebrada La Cristalina, como insumo para valorar los servicios ecosistémicos que esta brinda?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar la oferta hídrica superficial mediante aplicación software ArcGIS y HEC – HMS, y del índice de calidad del agua (ICA) en épocas de más lluvia en la parte media y baja de la microcuenca Quebrada La Cristalina en el costado oriental del PNN El Cocuy, como insumo para la valoración de sus servicios eco-sistémicos.

1.4.2 Objetivos específicos

Realizar el diagnóstico de los componentes biofísicos de la microcuenca Quebrada La Cristalina, necesarios para realizar el ejercicio de simulación de la escorrentía superficial.

Analizar la información que permita calcular y conocer la oferta hídrica superficial que proporciona la microcuenca Quebrada La Cristalina en la parte media y baja.

Simular la escorrentía superficial del cauce principal en condiciones normales y para eventos de variabilidad climática máximas, por medio de un modelo hidrológico, con el fin de analizar los impactos que pueda generar la variación de la oferta hídrica sobre la microcuenca.

Examinar la calidad del agua superficial en la parte media y baja de la microcuenca Quebrada La Cristalina, por medio del índice de calidad de agua en corrientes superficiales (ICA).

1.5 Justificación

La investigación científica es indispensable para consolidar una base de conocimientos sobre el funcionamiento de los sistemas biológicos a todas las escalas. Es importante saber cómo están constituidas las comunidades en cuanto a su composición y estructura, pero es aún más importante conocer su dinámica, es decir, la variación espacio-temporal de los procesos ecológicos, tales como tasas naturales de perturbación y regeneración de los ecosistemas. Así mismo, es importante saber cuáles son los procesos demográficos más importantes en el sostenimiento de poblaciones de distintos tipos de organismos, principalmente aquellos vulnerables o amenazados (Kattan & Murcia, 2000).

De acuerdo con el Programa de Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, los servicios co-sistémicos son indispensables para la supervivencia de la vida humana en el planeta, algo posible solamente si se garantiza la estructura y el funcionamiento de la biodiversidad. Por tanto, las áreas naturales protegidas se convierten en una de las estrategias, para asegurar los beneficios que se derivan de la biodiversidad (PMA Cocuy).

El Parque Nacional Natural El Cocuy se encuentra ubicado en la Región Andes Nororientales y en la Región Orinoquia. (Decreto 2372 del 2010). Según el Decreto 1454 del 28 de junio de 2011 hace parte de la Dirección Territorial Andes Nororientales. Esta es un territorio complejo, allí se ubican ocho de las cincuenta y ocho áreas protegidas del Sistema de Parques Nacionales, su extensión es de 643.781,62 hectáreas aproximadamente, de las cuales al Parque Nacional Natural El Cocuy le corresponde cerca del 48% (Eraso, 2012).

El área protegida provee diferentes servicios eco-sistémicos como la generación de oxígeno, captura de dióxido de carbono (CO₂) regulación hídrica, climática, provisión de alimento, especies de uso cultural, diversidad genética, atractivo paisajístico entre otras. Sin embargo, es lo relacionado con el recurso hídrico lo que ha llamado la atención ya que la mayor parte de dicho recurso que provee el parque drena hacia las cuencas del Rio Casanare y Rio Arauca, beneficiando a todos los habitantes que se encuentran aguas abajo (PMA cocuy).

Sin embargo, aún existen vacíos sobre los servicios eco-sistémicos que aporta el área protegida a las comunidades locales y regionales. Sumado a esto la constante demanda y

procesos de transformación han generado ruptura sobre los corredores riparios en especial sobre el río Tame y la quebrada la Cristalina. Dada la importancia que representa el recurso hídrico para El Parque Nacional Natural El Cocuy y con base en sus lineamientos y la capacidad operativa del área se seleccionó el Cauces de la microcuenca la Cristalina (Cuenca del Arauca) Como VOC (valor objeto de conservación) a nivel de servicios eco-sistémicos (PMA Cocuy).

Esta fuente hídrica suministra de agua al acueducto La Cristalina que presta el servicio de agua para consumo humano y uso agropecuario a trece veredas el Municipio de Tame en el departamento de Arauca; pese a la importancia que representa la micro cuenca en el momento posee pocos estudios que valoren la oferta y calidad del recurso por lo cual el estudio pretende suplir en parte los vacíos de información y de esta manera tomar acciones de manejo que permitan garantizar en el tiempo el recurso hídrico en cantidad y calidad. Con el fin de crear el insumo base para futuros proyectos de conservación hídrica.

El estudio permitirá trazar la línea base para abordar el tema en el manejo de las demás cuencas hidrográficas priorizadas como valor objeto de conservación del parque ya que el tema de valoración del recurso hídrico en el costado oriental del parque es relativamente nuevo y el Parque Nacional Natural El Cocuy avanza en el proceso como pionero a nivel nacional; adicionalmente el trabajo permite al estudiante afianzar sus conocimientos adquiridos en ciclo de formación e innovar en la forma de abordar el tema de valoración y manejo del recurso hídrico a nivel nacional.

1.6 Delimitaciones

1.6.1 Operativa

La temática del proyecto se enmarcará en los siguientes actividades: determinación de la oferta hídrica mediante la modelación del caudal en diferentes escenarios, para lo cual es necesario recolectar y analizar la información biofísica del área de estudio, así mismo se determinará la calidad del agua de la microcuenca Quebrada por medio de los parámetros básicos del índice de calidad de agua los cuales son: (PH, DQO, Conductividad eléctrica, Solidos Suspendidos Totales SST, Temperatura, OD), algunos de estos parámetros se obtendrán en las

salidas de campo que se realicen al área de estudio con equipos de PNN El Cocuy y con el acompañamiento de los profesionales de la entidad.

1.6.2. Conceptual

Realizar el trabajo de campo en la microcuenca Quebrada La Cristalina en el costado oriental del PNN El Cocuy, donde se incluye la recolección y análisis de la información de los componentes suelo, clima, fauna y flora para desarrollar el ejercicio de modelación hidrológica de la microcuenca, así mismo, determinar la calidad del agua y la oferta hídrica, sumado al análisis del comportamiento que presenta la oferta del cauce en eventos de variabilidad climática, la base conceptual se enmarca en los siguientes términos:

Oferta hídrica:” La oferta hídrica superficial se refiere al volumen de agua continental, almacenada en los cuerpos de agua superficiales en un periodo determinado de tiempo” (Feliz Darío Sanchez, 2010). Calidad del agua: “Son los atributos que presenta el agua, de manera tal, que reúna criterio de aceptabilidad para diversos usos” (Gomez). Sistema biofísico: “El Sistema Biofísico los conforman los recursos naturales y el ambiente. Estudia integralmente la naturaleza y los elementos que en síntesis dan origen al paisaje o unidad de análisis, resultado de la interacción de factores y procesos como el clima, el agua, las rocas, el relieve, los suelos, la vegetación, la fauna, los cultivos, la temperatura, la infraestructura, la población y las amenazas naturales” (PALENQUE, 2008). Modelación hidrológica: “La modelación hidrológica es una herramienta de gran importancia para el estudio de avenidas que se ha extendido por todo el mundo, fundamentalmente en países desarrollados. En la actualidad, con el empleo de estos modelos, se realiza el análisis y la prevención de las inundaciones; además, es posible manejar hipótesis suficientemente realistas o previsibles que ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en la ordenación del territorio en torno a los ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia. Incluso, alertar a los servicios de protección civil y establecer protocolos de actuación ante posibles situaciones de peligro por intensas lluvias (Dueñas 1997)” (IDEAM, <http://www.ideam.gov.co>) Escorrentía superficial: “La Escorrentía Superficial o Directa es la precipitación que no se infiltra en ningún momento y llega a la red de drenaje moviéndose sobre la superficie del terreno por la acción de la gravedad. Corresponde a la

precipitación que no queda tampoco detenida en las depresiones del suelo, y que escapa a los fenómenos de evapotranspiración” (Hidrología). Variabilidad climática: “La variabilidad climática es una medida del rango en que los elementos climáticos, como temperatura o lluvia, varían de un periodo a otro” (CIFEN). Modelo hidrológico: “Un modelo hidrológico es pues una representación simplificada de un sistema real complejo llamado prototipo, bajo forma física o matemática” (IDEAM). Cuenca hidrográfica:” se refiere a la definición geográfica de la misma, es el contorno o límite de la misma que drena agua en un punto en común” (Gálves, 2011) Cuenca hidrológica:” se suele entender como una unidad para la gestión que se realiza dentro de la cuenca hidrográfica”. Y Microcuenca:” Una micro cuenca es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una Sub-cuenca” (Gálves, 2011).

1.6.3. Geográfica

El trabajo de campo de este proyecto se desarrollara principalmente en la microcuenca Quebrada La Cristalina, ubicada en el departamento de Arauca en el municipio de Tame en la vereda Malvinas y aguas claras. Gran parte de la microcuenca se encuentra en la zona de amortiguación del costado oriental del PNN Cocuy, por otro lado la parte alta de la microcuenca se encuentra ubicado el resguardo indígena los U’wa.

1.6.4. Temporal

En la elaboración del presente proyecto se establecen cinco (5) meses a partir de la aprobación por parte de comité curricular, en el cual incluye el trabajo de campo (toma de muestras- aforos- modelación).

Capítulo 2. Marco Referencial

2.1 Marco Teórico

El programa piloto nacional de adaptación al cambio climático del INAP (Integración Nacional Adaptación Program) realizado por Fabián Mauricio Caicedo Carrascal el 16 de diciembre del 2009, se describen los protocolos del ciclo del agua, red de monitoreo en alta montaña y se realiza una propuesta de modelación para una cuenca, en esta última se da conocer un protocolo de modelación que parte de la claridad del objetivo de la modelación para poder formular un modelo conceptual compuesto por información disponible, de campo o satelital la cual debe ser calibrada y validada para poder ser simulada, y posteriormente realizar el análisis y presentación de los resultados obtenidos, para así ser auditados, una vez se le de este tratamiento a dicha información se prosigue a elegir el tipo de modelo a emplear. (Carrascal, 2009)

En la guía técnica para la formulación de los POMCAS en el anexo A (Diagnóstico), encontramos las orientaciones técnicas que sirven de referencia para identificar y definir los parámetros, variables, indicadores y fuentes de información útiles para establecer la caracterización de una cuenca, en donde se le dará mayor relevancia a las características biofísica a la hora de realizar este proyecto.

Ernesto Torres Quintero y Eulises González Naranjo en su proyecto aplicación del modelo de simulación HEC-RAS para la emisión de pronostico hidrológicos de inundaciones en tiempo real, en la cuenca media del rio Bogotá – sector Alicachin, dan a conocer la importancia que tiene la implementación de un modelo de simulación hidráulica a la hora de generar pronósticos hidrológicos de inundación en tiempo real, así mismo les permitió generar el pronóstico de la dinámica de los niveles del agua en eventos extremos de inundación, definiendo las cotas de inundación a través de perfiles transversales, simulando de manera aproximada el comportamiento de la dinámica del recurso hídrico (Naranjo & Quintero, 2010).

2.1.1 Antecedentes

La microcuenca Quebrada “la Cristalina” actualmente es fuente abastecedora del acueducto La Cristalina localizada en las veredas de Malvinas y aguas claras en el municipio de Tame - Arauca. Esta microcuenca actualmente es un valor objeto de conservación del PNN el Cocuy debido al valor que representa sus servicios eco-sistémicos que en la actualidad no se conocen a ciencia cierta. Desde parques se han venido realizando procesos de conservación y preservación del área de amortiguación de la microcuenca, también se expone la importancia de la misma a la comunidad Tameña así como sus beneficiarios directos.

Desde tiempos inmemorables En la parte alta de la microcuenca se encuentra el resguardo indígena U’wa quienes han vivido el goce de los servicios que les provee la microcuenca por esto mismo reconocen la importancia de este afluente. La mayor parte de esta quebrada se encuentra conformada por una seba basal hasta la parte media en su parte baja se caracteriza por ser un ecosistema de piedemonte.

Por otro lado esta microcuenca carece de pocos estudios a nivel general o que viene creando un vacío a la hora de generar información sobre su estado actual e histórico y por ende es difícil generar una posible trayectoria con veras a predecir sus condiciones futuras. Debido a este escenario el PNN el Cocuy abre sus puertas a generar espacios de investigación con el fin de llenar estos vacíos y así poder generar acciones para el manejo adecuado de este valor objeto de conservación.

2.2 Marco Histórico

La actividad humana y los factores naturales vienen agotando de forma acelerada los recursos hídricos disponibles en todo el mundo. Sin embargo en la última década la sociedad se viene concienciando sobre la necesidad de mejorar la gestión y la protección del agua, en compañía de los avances científicos y de las buenas prácticas, que en muchos escenarios no se les da la atención adecuada, sumado a esto tenemos las actividades humanas en especial las relacionadas a la urbanización, el crecimiento demográfico, la elevación del nivel de vida, han llevado a que las presiones sobre los recursos hídricos sigan aumentando a través del tiempo, por otra parte los efectos generados por la creciente competencia por el agua y la contaminación,

se ven agravados por el cambio climático y las variaciones en las condiciones naturales (GreenFacts, RECURSOS HIDRICOS (Resumen del 2 informe de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo).

En cuanto a estas últimas podemos observar que los países sub-americanos son afectados con mayor frecuencia por inundaciones y por deslizamientos de tierra. Mientras que los países de Centro-américa y el caribe suelen ser afectados por los ciclones tropicales. Sin mencionar que muchos países se ven afectadas por sequias que en ocasiones se prolongan por varios años (Naturales, 1990).

La Tierra, con sus diversas y abundantes formas de vida, que incluyen a más de 6.000 millones de seres humanos, se enfrenta en este comienzo del siglo veintiuno con una grave crisis de gestión de los recursos hídricos, inicialmente causada por la utilización de métodos inadecuados (WORLD WATER, 2003). En donde los países de América latina y Caribe han tenido que adoptar diversas medidas incluso legislativas sobre la vigilancia de la calidad del agua y la difusión del tratamiento de las aguas servidas, pero muchos países cuentan con una buena legislación que a menudo no llega a cumplirse (Naturales, 1990).

Sin embargo cabe mencionar que en los últimos años se han venido organizando grandes conferencias sobre el agua, algunas de estas son: El tercer Foro Mundial del Agua en el año del 2003 (en Japón) y con el Año Internacional del Agua Dulce, la cual modifica la percepción sobre la crisis del agua y amplía la comprensión de las respuestas necesarias para la misma crisis. Gracias a la conferencia del Mar del Plata en el año de 1977 se marca el comienzo de las actividades globales encaminadas al agua, como la del Decenio Internacional de Agua Potable y Saneamiento (1981-1990), que nos mostró la necesidad de efectuar una enorme expansión en el suministro básico de agua y de servicios sanitarios para cubrir los requisitos actuales y los del futuro próximo. En el año de 1992 se establecen cuatro principios en la conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente de Dublín, que a la fecha siguen siendo válidos y los cuales son: «El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente», «El aprovechamiento y la gestión del agua debe inspirarse en un planteamiento basado en la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles», «La mujer desempeña un papel fundamental en el

abastecimiento, la gestión y la protección del agua», «El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina y debería reconocérsele como un bien económico»). En este mismo año de 1992 se realizó la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) que permitió la adopción de la Agenda 21, la cual contribuyó a la movilización de las poblaciones en favor del cambio y favoreció la todavía lenta evolución de las prácticas de gestión del agua. Este proceso se continuó con el segundo Foro Mundial del Agua de la Haya en el año 2000 y la Conferencia Internacional sobre el Agua Dulce de Bonn en el 2001 en donde se establecieron metas para mejorar la gestión del agua (WORLD WATER, 2003).

En la actualidad, la política del agua todavía se rige por inquietudes políticas y económicas a corto plazo que no tienen en cuenta la ciencia ni la buena gestión. Se necesitan soluciones tecnológicas punteras y mayor financiación, así como más datos sobre los recursos hídricos (GreenFacts). Es así como Colombia no ha desconocido este tema por completo, y los gobernantes han tenido que implementar leyes, normas, tratados y estatutos para controlar el abastecimiento y el aprovechamiento de este importante recurso, he aquí algunos de los tratados que ha firmado Colombia con respecto al adecuado uso del agua: el Acuerdo de Cooperación Amazónica, ratificado por la Ley 29 de 1998, en el cual hace referencia a las cuencas amazónicas y la importancia que tienen en la Amazonía, por su biodiversidad y la contaminación de los cuerpos de agua por culpa de la tala de árboles, la Declaración de Estocolmo de 1972, nos habla sobre el desarrollo sostenible mediante la preservación del medio ambiente. “Los recursos naturales de la tierra incluidos el aire, el agua, la tierra, la flora y la fauna y especialmente muestras representativas de los ecosistemas naturales, deben preservarse para beneficio de las generaciones presentes y futuras, mediante una cuidadosa planificación y ordenación, según convenga”. Colombia crea el SINA y el Ministerio del Medio Ambiente, que trata principalmente sobre la utilización de los recursos hídricos gracias al Análisis Mundial de Cooperación de los Estados en Río de Janeiro, que entra en vigor el 21 de marzo de 1994 y en Colombia lo recoge la Ley 99 de 1993. Para Colombia la promoción de modalidades agrícolas sostenibles a la luz de las consideraciones del cambio climático según el protocolo de Kioto de diciembre del 1997 se establece por medio de la Ley 629 del 27 de diciembre del año 2000 (Guerrero & Sandoval, 2006).

Por otro lado es de vital importancia que los fenómenos climáticos y sus factores sean monitoreados regularmente, ya que el agua tiene riesgos y amenazas tanto por ausencia como por exceso y el país debe estar preparado para evitarlos y afrontarlos. Como ejemplo de su importancia tenemos el caso del fenómeno cálido del pacífico en los años 1997-1998, el cual produjo la reducción de más del 50% de los caudales, en donde los ríos prácticamente se secaron y las poblaciones no tuvieron abastecimientos de agua. Esta situación permitió entender más el fenómeno del niño y cómo reaccionar ante los efectos de un nuevo evento, pero sobre todo a considerar la posibilidad de la existencia de un escenario caótico de continuar con el indebido manejo de los recursos naturales, entre ellos los relacionados a calidad del agua (Ramírez, 2003).

Por otro lado en el nororiente colombiano, sobre las estribaciones de la cordillera Oriental, se encuentra ubicado El Parque Nacional Natural El Cocuy. Su zona de influencia es el resultado de dinámicas ambientales, sociales, políticas y económicas sobre las cuales se han planteado figuras de ordenamiento del territorio de acuerdo a los momentos históricos. En 1959 el Estado colombiano a través de la Ley 2da alinderó 850.000 has del nororiente de Colombia como Zona de Reserva Forestal del Cocuy, declarando dentro de ella dos grandes complejos naturales, el Complejo de paramo Natural el Cocuy y La región del Sarare, incluyendo al oriente la selva basal y en el costado occidental las zonas de transición entre lo alto andino y el bosque seco andino, en la cuenca del Chicamocha. Dieciocho años después, en 1977, sobre parte del territorio de la Reserva Forestal, el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente (INDERENA), adscrito en su momento al ministerio de agricultura, creó entre otros, el Parque Nacional Natural El Cocuy (PNN El Cocuy), con aproximadamente 306.000 hectáreas, y en la actualidad adscrito a Parques Nacionales Naturales (PNN), hoy parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (PNNC, 2015).

El área de influencia del PNN El Cocuy dadas las condiciones históricas que han llevado a moldear el paisaje bajo la sombra de la Sierra Nevada, bajo una cultura común Uwa-Lache, hoy es considerado por el equipo del área protegida como la región Cocuy-Sarare Sin embargo, ésta área protegida se encuentra inmersa dentro de diferentes figuras de ordenamiento territorial la cual involucra los departamentos de Boyacá, Arauca, Casanare, Santander y Norte de Santander, Cocuy, la Hoya del Casanare, el Complejo de Páramos de El Cocuy, la Región del Sarare y

finalmente las Provincias de Norte, Gutiérrez y Valderrama en Boyacá, García Rovira en Santander y Pamplona en Norte de Santander (PNNC, 2015).

Por medio de un modelo hidrológico se busca representar los escenarios máximos de variabilidad climática y la generación de caudales en la microcuenca Quebrada la Cristalina localizada en las veredas de Malvinas y aguas clara del municipio de Tame en el departamento de Arauca. La modelación hidrológica tiene sus inicios a comienzos del siglo XIX utilizada en ese entonces en el diseño de obras hidráulicas, no fue hasta mediados del siglo XX que se limitó a expresiones matemáticas simples con el fin de representar mecanismos individuales involucrados en los procesos del ciclo hidrológico. En la década de los 60, con la llegada de la revolución digital, se realizó el primer intento por representar casi en su totalidad al ciclo hidrológico en una cuenca. Surge así el Standford Watershed Model-SWM de Crawford y Linsley en 1966 (Singh, 1995). Sin embargo, las máquinas disponibles para ese entonces eran costosas y muy lentas respecto a los estándares actuales, por lo tanto los programas eran limitados en tamaño y complejidad (Beven, 2001). Como consecuencia, la modelación hidrológica fue planteada principalmente en forma agregada (Vieux, 2004). La aparición de computadoras con mayor capacidad, y el aumento de la disponibilidad de datos distribuidos provenientes de sensores remotos y de herramientas proporcionadas por los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han permitido el desarrollo de estos modelos en campo (Criado & Illereas, 2016).

2.3 Marco Contextual

Los municipios del costado oriental del PNN El Cocuy abarcan el 62,18% del total del área protegida así: la Salina (0,26%), Tame el (44,98%), Fortul (12,23%) y Cubara (4, 75%). Toda la zona aledaña al costado oriental se encuentra bajo la jurisdicción de Corporinoquia, además se encuentran otros municipios con influencia en la zona de amortiguación del área protegida como es el caso de Saravena en Arauca y Sácama en Casanare. El gradiente altitudinal que cubre el PNN El Cocuy va desde los 600 msnm en Fortul hasta los 533° m.s.n.m. en el pico de Ritacua Blanco – Güican, y dentro de este gradiente altitudinal encontramos los biomas de selva basal, selva andina, glacial y paramo; constituyéndose como el área protegida con mayor gradiente altitudinal dentro del Sistema De Parques Nacionales Naturales De Colombia (PNNC, 2005).

Por decreto 2372 El Parque Nacional Natural El Cocuy se encuentra ubicado en la Región Andes Nororientales y en la Región Orinoquia, Según el Decreto 1454 del 28 de junio de 2011 hace parte de la Dirección Territorial Andes Nororientales. Esta región agrupa los departamentos de: Cesar, Norte de Santander, Santander, Arauca, Casanare y Boyacá, en donde el 46 % del área corresponden a ecosistemas naturales y el resto de área corresponden a zonas transformadas (54%) (Eraso, 2012).

La Territorial Andes Nororientales, es un territorio complejo en donde se ubican ocho de las cincuenta y ocho áreas protegidas del Sistema de Parques Nacionales, cuya área es de 643.781,62 hectáreas aproximadamente, de las cuales el Parque Nacional Natural El Cocuy representa cerca del 48% (Cocuy, 2014)

Respecto al área de los municipio que componen el área de conservación del PNN el Cocuy, Güicán le aporta al parque el 77% de su territorio, seguido de Chiscas (56%), Fortul (35%), El Cocuy (28%), Tame (25%), Cubará (12%), La Salina (0,3) y Chita (0,01%) (PNNC, 2015).

Tabla 1

Territorial andes nororientales

Tipo de Área	Área Protegida	Área (Ha)	% Parque Nacional Natural Andes Nororientales
Parque Nacional Natural	Parque Nacional Natural Pisba	35.000	5,43%
	Parque Nacional Natural El Cocuy	306.000	47,53%
	Parque Nacional Natural Tama	48.000	7,46%
	Parque Nacional Natural Catatumbo-Bari	158.125	24,56%
	Parque Nacional Natural Serranía de Los Yarigués	78.837	12,24%
Santuarios de Fauna y Flora	Santuario de Flora y Fauna Iguaque	6.750	1,05%
	Santuario de Fauna y Flora Guanenta Alto Río Fonce	10.429	1,62%
Área Natural Única	Área Natural Única Los Estoraques	640	0,10%
TOTAL		643.781	100%

Fuente: Grupo Sistema de Información Geográfica, Dirección Territorial Andes Nororientales.

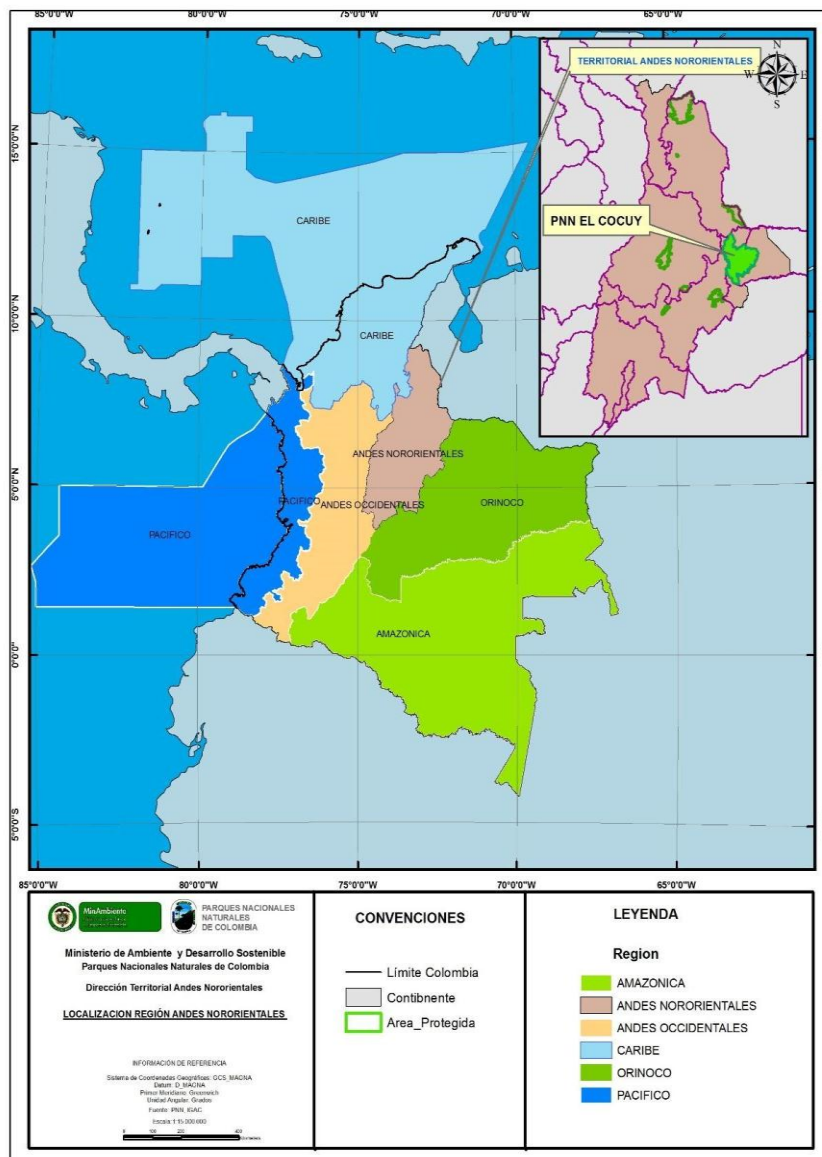


Figura 1. Ubicación del Parque Nacional Natural El Cocuy en los Andes Nororientales. **Fuente:** Documento plan de manejo del PNN EL COCUY

2.3.1 Ubicación Geopolítica y Accesos

El PNN EL Cocuy se localiza en el extremo norte de la Cordillera Oriental en jurisdicción de los departamentos de Boyacá, Casanare, Arauca. El resguardo indígena U'wa se encuentra a una hora de Chuscal en el municipio de cubara a tres horas del municipio de Tame por vía terrestre. Las 306.000 Hectáreas del parque se encuentran en un gradiente Altitudinal que va desde los 600 m.s.n.m. hasta los 5330 m.s.n.m., conformado por ecosistemas característicos de

los biomas nivales hasta pie de monte llanero, pasando por bosque andino de piso cálido y templado, bosque andino de niebla, páramo y súper páramo y dada la amplia variedad de ecosistemas dentro del parque podemos encontrar con una gran riqueza de especies animal y vegetal (PNNC, 2015).

En cuanto a la presencia de los resguardos indígenas que se traslapan en la actualidad con el Parque Nacional Natural El Cocuy encontramos a los Uwa con las comunidades de Bachira, Róyota y Sínsiga en Boyacá, agrupados por la Asociación de Autoridades Tradicionales y Cabildo U'was (ASOU'WAS) así mismo las comunidades de los resguardos de Angosturas, Valles del Sol, Civariza y Laguna Tranquila en Arauca, los cuales están agrupados en la Asociación de cabildos y Autoridades Tradicionales Indígenas del Departamento de Arauca (Cocuy, 2014).

Administrativamente en la actualidad la sierra pertenecen a los municipios de El Cocuy y Güicán en Boyacá y al municipio de Tame en Arauca. Por sus características naturales de interés científico y paisajístico, el área nevada de la sierra y sus alrededores hacen parte del Parque Nacional Natural El Cocuy y se encuentra bajo la administración de Parques Nacionales Naturales adscrita al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (PNNC, 2015).

La dinámica hídrica del PNN El Cocuy es uno de los más importantes valores en cuanto a los servicios eco-sistémicos que se brinda a los habitantes de la región Cocuy-Sarare. Sin embargo existe un vasto desconocimiento sobre las microcuencas, humedales, biomas y cómo estos aportan a la dinámica ambiental, social y económica. Cerca del 93% de las aguas del PNN drenan a la vertiente oriental de la Cordillera Oriental, el 38% para la cuenca del río Arauca y 55% para la cuenca del río Casanare y el restante 7% corresponden a la vertiente occidental de la cordillera, cuenca media del río Chicamocha. En forma agrupada, todas las unidades eco-sistémicas asociadas al bioma proporcionan una gran diversidad de paisajes y hábitats, que contribuyen a la diversificación de la fauna presente en la zona de vida. Pese a esto las regiones como el piedemonte llanero son las menos estudiadas y gran parte de su fauna es desconocida, sabiendo que es en los ecosistemas de la parte inferior de las cordilleras donde se concentra la mayor diversidad (Hernández et al., 1992; Galeano et al., 2006). En la actualidad el piedemonte llanero una de las zonas de vida más alteradas debido a procesos de urbanización y a la

expansión de la frontera agrícola y ganadera (Cáceres-Andrade y Urbina-Cardona, 2009). Adicionado a esto el panorama empeora si tenemos en cuenta que es escasa la información con respecto a los efectos de transformación de los ecosistemas originales por las actividades antrópicas en el piedemonte llanero (Cocuy, 2014).

2.4 Marco Conceptual

El Convenio sobre la Diversidad Biológica define el término biodiversidad a la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente o ecosistema, así como los complejos ecológicos de los cuales hacen parte, y el ecosistema lo definen como un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su interacción como unidad funcional con el medio no viviente que lo rodea. (Cocuy, 2014).

El Pueblo Indígena Uwa o tunebo que traduce “gente inteligente que sabe hablar” pertenecen a la macro-familia indígena y lingüística Chibcha, conocida por ser la mayor cultura indígena en Colombia, y cuyos territorios se extendían por gran parte del altiplano Cundi-boyacense, y en centro y norte de la cordillera oriental de los Andes colombianos. El territorio Uwa, ocupa hoy parte de las colinas de la Sierra en la región del Cocuy– Sarare, y el piedemonte de la Cordillera Oriental de los Andes, y las sabanas planas del departamento de Arauca y Casanare también comprende áreas de los departamentos de Boyacá, Santander y Norte de Santander (Cocuy, 2014).

Lisinsley, Kohler, y Paulus en 1997 definen una cuenca es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar o a un lago a través de un único río, Una cuenca hidrográfica también es definen como la unidad morfo-gráfica superficial y natural cuyos límites se definen principalmente por una divisoria geográfica de aguas precipitadas en un territorio específico. La cual funciona como un sistema indivisible e interdependiente en donde hay una estrecha relación entre los habitantes de la cuenca y las actividades que se desarrollan en cada una de las partes de esta. (Cocuy, 2014)

Para determina las características morfométricas y fisiográficas se toma como referencia, el documento Londoño A. del 2001 los cuales se exponen a continuación.

La morfometría es la caracterización cuantitativa de determinados rasgos propios de la superficie terrestre que son fijos y solo cambian por fenómenos geológicos. La morfometría aplicada a la geometría entrega valores numéricos que permitan comparar una parte de la superficie con otra de manera exacta. Por ella existen métodos para medir las diferentes dimensiones de una cuenca ya que ella no es un ante plano, posee tamaño a lo largo, ancho, y profundo y se estudia bajo tres aspectos lineales de área y relieve (Londoño, 2001).

Aspectos lineales

Se refiere fundamentalmente a las características de la longitud respecto al área de una cuenca.

- **Perímetro:** Es la medición de la longitud o límite envolvente del área, en kilómetros o metros.
- **Longitud Axial:** Es la distancia entre la desembocadura y el punto más lejano sobre el eje de la cuenca.
- **Longitud de la cuenca:** Se refiere a medir longitudinalmente cada uno de los drenajes.
- **Longitud máxima (Lm) o recorrido principal del cauce:** Es la distancia entre el punto de desagüe y el punto más lejano de la cuenca siguiendo la dirección de drenaje. El recorrido principal, es la máxima distancia recorrida por el flujo de agua dentro de la cuenca.

Numero de orden de la cuenca (Horton).

De un mapa topográfico con el sistema de cauces, los drenajes pequeños se denominan de orden uno (1), cuando se juntan dos cauces de orden uno se forman segmentos de cauce de orden dos (2), al unirse dos segmentos de orden dos, se forman uno de orden tres (3) y así sucesivamente.

El número de orden de Horton es directamente proporcional al tamaño de la cuenca, a las dimensiones de los cauces y a la descarga de la escorrentía. Después de asignar su número de

orden a cada elemento del sistema de drenaje, los segmentos de cada orden (u) son contados con el fin de obtener el número de segmentos de un orden dado (Nu) (Londoño, 2001).

Razón de bifurcación (RB).

Se define como la relación del número del cauce de un orden dado (Nu), sobre el número de cauces del orden inmediatamente superior ($Nu + 1$). El número de cauces de un orden dado es menor que para el orden inmediatamente inferior, pero mayor ordenes inmediatamente superior. De esta manera se establece que el número de cauces forma una serie geométrica inversa con el número de orden.

Cuando los valores de la razón de bifurcación son bajos, existen picos fuertes en el hidrógrama; y cuando son altos, el hidrógrama es más uniforme. También, como norma general, valores muy altos de la razón de bifurcación permiten esperar cuencas alargadas, con multitud de tributarios de primer orden, vertiendo a una sola corriente principal.

Longitud media de los cauces (LU).

La longitud media (Lu) de un segmento de cauce de orden (u) es una propiedad dimensional que indica el tamaño y características de los componentes de un sistema de drenaje y su cuenca contribuyente. La longitud de los cauces se mide directamente de los mapas topográficos con el curvímeter. Para obtener la longitud media se suman las longitudes de todos los cauces de ese orden y se divide por el número de cauces (Nu) de ese orden. Horton establece que las longitudes de los segmentos de cauces de cada orden tienden a ser aproximadamente una secuencia geométrica directa en la cual el primer término es la longitud media de los segmentos de primer orden (Londoño, 2001).

Aspectos del área:

La determinación de los parámetros de área tiene como finalidad establecer, mediante índices promedios, la forma de la cuenca, parámetro este que está estrechamente relacionado con la torrencialidad de la misma; determinar la distribución de los cauces por unidad de superficie, valor que facilitan comprender con qué rapidez se concentran las aguas en el cauce principal, y qué tan rápido se produce el proceso de evacuación de las mismas y, además, refleja algunas

características de la geología, topografía, suelos, cobertura vegetal y régimen de lluvias, presentes en la cuenca.

Área de la cuenca:

El área de una cuenca hidrográfica se define como el total de la superficie proyectada sobre un plano horizontal, que contribuye con el flujo superficial a un segmento de cauce de orden dado, incluyendo todos los tributarios de orden menor.

La medición del área de una cuenca, en una sección considerada, se hace utilizando el planímetro, o la malla de puntos.

Ancho promedio

El ancho promedio de la cuenca se calcula dividiendo el área de la cuenca por su longitud axial.

$$\text{Ancho promedio} = \frac{\text{Area}}{\text{Longitud axial}}$$

Forma de la cuenca

La forma de la cuenca puede afectar las condiciones de las descargas, es decir, en la cantidad de precipitación que recibe e influye directamente en la forma del hidrograma, y el efecto más importante es sobre el tiempo de concentración el cual depende de la longitud y pendiente de la corriente. Los factores geológicos principalmente, son los encargados de modelar la fisiografía de una región y, particularmente las formas que tienen las cuencas hidrográficas.

Por la importancia de la configuración del área varios autores han tratado de cuantificar esta características por medios de índices o coeficientes, los cuales relación en movimiento del agua y la respuesta de la cuenca a este movimiento. Además, ofrece la posibilidad de comparar varias cuencas en tamaño localización y características geológicas similares la forma se puede cuantificar atreves de varios índices. Entre ellos tenemos (Londoño, 2001).

Factor de forma de Horton (RF).

El factor de forma de Horton expresa la relación existente entre el área de la cuenca (A), y el cuadrado de la longitud máxima o longitud axial de la misma (Lb). Los valores menores a uno corresponden a una cuenca rectangular y mayores o iguales a uno son compactas.

$$Rf = \frac{A}{Lb^2}$$

Dónde:

Rf = Factor de forma de Horton

Lb = Longitud máxima de la cuenca

A = Área de la cuenca

Razón circular de Miller (RC).

Miller utilizó una razón circular adimensional Rc definida como la razón del área total de la cuenca (A), con el área del círculo (Ac), que tiene el mismo perímetro de la cuenca. Los valores de esta razón disminuyen en la medida que las cuencas se van haciendo más alargada (Londoño, 2001).

$$Rc = \frac{A}{Ac} \quad Pc = 2\pi r \quad r = \frac{Pc}{2\pi}$$

Rc = Razón circular adimensional de Miller

A = área de la cuenca

Ac = área del círculo = perímetro de la cuenca (Pc) = $2\pi r$

Pc = perímetro de la cuenca

r = radio

$0.9 \leq Rc \leq 1$ Corta

$0.6 \leq Rc \leq 0.9$ Medianamente Corta

$0.4 \leq Rc \leq 0.6$ Alargada

$Rc \leq 0.4$ Muy alargada

Razón de elongación de Schum (RE).

Se define como la razón del diámetro de un círculo (Dc) que tiene la misma área de la cuenca (A), a la longitud máxima de la cuenca (Lb).

$$Re = \frac{Dc}{Lb} \quad Re = 1.1284 \frac{\sqrt{A}}{Lb}$$

Coefficiente de compacidad de Gravelius (KC).

El coeficiente de compacidad se obtiene al relacionar el perímetro de la cuenca (P), con el perímetro de un círculo (Pc), que tiene la misma área de la cuenca (A).

$$Kc = \frac{P}{Pc} \quad Kc = 0.2821 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Tabla 2

Categorías para la clasificación propuesta por Gravelius

Valores de Kc	Forma	Características
1.00 - 1.25	Compacta o redonda a oval redonda	Cuenca torrencial
1.25 - 1.50	Oval redonda a oval oblonga	Presenta peligros torrenciales, pero no iguales a la anterior
1.50 - 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga	Son las cuencas que tienen menos torrencialidad

Índice de alargamiento (IA).

Este índice, propuesto por Horton, relaciona la longitud máxima de la cuenca (Lb), con su ancho máximo (a), medido perpendicularmente a la dimensión anterior.

$$Ia = \frac{Lb}{a}$$

Índice de homogeneidad (IH).

Inicialmente P. Pinchemel sugirió un índice de homogeneidad igual a la relación del área de la cuenca (A), a la de un ovoide que tiene por eje mayor una longitud igual a la longitud máxima de la cuenca.

Posteriormente F. Terns, modificó este índice, remplazando el área del ovoide por el área de un rectángulo (Ar), cuyas dimensiones son iguales a la longitud máxima (Lb), y ancho máximo (a) de la cuenca (Londoño, 2001).

$$Ih = \frac{A}{Ar}$$

Índice asimétrico (IA).

Este índice, propuesto por F. Terns, resulta del cociente de dividir el área de las vertientes mayor (A (+)) y menor (A (-)), las cuales son separadas por el cauce principal.

$$IA = \frac{A(+)}{A(-)}$$

El índice asimétrico evalúa la homogeneidad, en la distribución de la red de drenaje.

Densidad de drenaje (D).

La longitud total de los cauces dentro de una cuenca hidrográfica (L), dividida por el área total de drenaje (A), define la densidad de drenaje o longitud de cauces por unidad de área. Este parámetro se expresa en Km/Km² (Londoño, 2001).

$$D = \frac{L}{A}$$

Tabla 3

Densidad de drenaje o longitud de cauces según el resultado de la fórmula

DENSIDAD (Km / Km ²)	CARACTERISTICAS
Baja densidad ≤ 1	Zonas de alta resistencia a la erosión, alta permeabilidad del suelo, densa vegetación, relieve suave de 12 al 12%
Media densidad 1 - 3	Se presenta en zonas de media resistencia, baja permeabilidad, susceptible a erosión por cobertura vegetal escasa, material de arrastre sólido, relieve ligeramente inclinado.
Alta densidad > 3	Se presenta en suelos de baja resistencia a la erosión, baja capacidad de infiltración, poca permeabilidad, arrastre de material sólido, baja capacidad de almacenamiento e infiltración, relieve abrupto, escasa cobertura vegetal y rápida concentración de escurrimiento.

Este es un índice importante, puesto que refleja la influencia de la geología, topografía, suelos y vegetación, en la cuenca hidrográfica, y está relacionado con el tiempo de salida del escurrimiento superficial de la cuenca.

Una densidad de drenaje alta, refleja una cuenca muy bien drenada que debería responder, relativamente rápido, al influjo de la precipitación. Una cuenca con baja densidad de drenaje refleja un área pobremente drenada, con respuesta hidrológica muy lenta.

Características de densidad de drenaje.

Constante de mantenimiento de cauces (C).

Se conoce como el inverso de la densidad de drenaje (D) que nos indica el área en Km² necesaria para mantener o abastecer un Km de cauces.

$$C = \frac{1}{D}$$

Frecuencia de cauces (F).

Otro parámetro similar a la densidad de drenaje, es la frecuencia de cauces, que se define como el cociente entre el número cauces existentes en la cuenca (NC) y la superficie de la misma (A). Se expresa en número de cauces por kilómetro cuadrado (Londoño, 2001).

$$F = \frac{Nc}{A}$$

La utilización conjunta de la densidad de drenaje y la frecuencia de cauces, facilita, en gran medida, la clasificación de cuencas, ya que, en muchas ocasiones, existen cuencas muy diferentes con la misma frecuencia de cauces, que pueden distinguirse calculando su densidad de drenaje, o a la inversa.

Textura de drenaje.

Se divide el área de la cuenca en cuadros iguales y se toman la muestra completamente al azar, y toman 5 muestras al azar, las cuales se clasifican de acuerdo a los siguientes parámetros.

Teniendo en cuenta la estrecha relación existente entre la textura y la densidad de drenaje, y con el fin de eliminar la subjetividad que se puede presentar al calificar la textura, se ha optado por relacionar las calificaciones de textura de drenaje con la escala de valores asignada a la densidad de drenaje, de tal forma que a una densidad de cauces menor a 1,5 Km/Km², corresponde una textura de drenaje gruesa; entre 1,5 y 3,0 Km/Km², se tiene una textura media, y mayor de 3,0 Km/Km², la textura es fina. Esta clasificación es válida cuando se trabaja con planchas cartográficas a escala 1:25.000 (Londoño, 2001).

- Textura fina: Es alta densidad de drenaje.
- Textura media: Baja densidad de drenaje.
- Textura gruesa: Muy baja densidad de drenaje.

Aspectos del relieve.

Desde el punto de vista hidrológico, la cuenca se describen a partir de una serie de parámetros que en combinación con los morfométricos y fisiográficos son los determinantes de las crecidas y su influencia. Las características hidrológicas son:

Gradientes del cauce.

Para realizar el análisis de los gradientes del cauce es necesario disponer de un plano topográfico con curvas de nivel, donde se muestre, además, el desarrollo longitudinal del cauce principal y sus tributarios más importantes.

Perfil longitudinal del cauce.

El perfil longitudinal de un cauce se puede mostrar, gráficamente, mediante la representación de la altura en las ordenadas, como una función de la distancia horizontal en las abscisas. La altura, comúnmente, se da en metros, por encima de un nivel de referencia, y la distancia en metros o en kilómetros, medida desde la desembocadura hasta el punto más alto o cualquier otro punto de referencia. Para cauces de alta descarga y orden, se usa un factor grande de exageración vertical, en tanto que en cuencas de orden bajo y regiones de gran relieve, no se requiere (Londoño, 2001).

Cuando los perfiles se plotean de mapas topográficos la elevación de los cauces se estiman de las curvas de nivel, y la distancia a la medida entre curvas.

Pendiente media del cauce.

La influencia de la pendiente media total de la corriente se nota, principalmente, en la velocidad de flujo, y en la duración de subida o en la duración total de las avenidas y, por consiguiente, juega un papel importante en la forma del hidrograma. Su influencia se acopla a la de la longitud de la corriente.

La pendiente media total de las corrientes de agua, indica, también, el aspecto de la variación de algunas características físicas, químicas y biológicas de las aguas. En este sentido, por ejemplo, una corriente de pendientes pronunciadas tendrá siempre aguas mejor oxigenadas y mineralizadas, debido a la mayor turbulencia y la mayor capacidad de erosión y transporte. En conexión con el contenido de oxígeno y la mineralización, las condiciones biológicas serán, a su vez, más favorables.

La pendiente media del cauce se puede calcular por los siguientes métodos: método de los valores extremos, método de la compensación de áreas o pendiente racional, y el método propuesto por Taylor y Schwarz.

Método de los valores extremos.

Para establecer el valor promedio de la pendiente del cauce (P_m) por este método, es necesario conocer la diferencia de nivel entre la cabecera del cauce y su desembocadura (Δh), o cualquier otro punto o sección considerada, y la longitud de la corriente (L), hasta la desembocadura o sección. El método consiste en determinar el desnivel entre los puntos más elevado y más bajo del cauce y, luego, dividir este valor entre la longitud del mismo (Londoño, 2001).

$$P_m = \frac{\Delta h}{L} * 100$$

Δh = Diferentes de cota.

Esta pendiente equivale a calcular la pendiente de la línea que une el punto más bajo con el más alto, del perfil longitudinal del cauce.

Este método puede ser utilizado en cauces de poca longitud, o de muy poca variación altitudinal, en donde el perfil del cauce casi que coincide con la recta que une los puntos extremos.

Método de compensación de áreas o pendiente racional

Este método consiste en determinar la pendiente de la línea que, dibujada desde el punto más bajo, corta el perfil, de tal modo, que el área por encima de la línea, y limitada por el perfil,

sea igual al área por debajo de la línea e igualmente delimitada por el perfil longitudinal del cauce. Con este método lo que se busca es compensar los tramos de mayor pendiente con los de menor pendiente.

Para calcular la pendiente racional se sigue el siguiente procedimiento:

- Se mide el área bajo el perfil longitudinal del cauce.
- El área bajo el perfil se asimila al área de un triángulo rectángulo, de base conocida.
- A partir de la fórmula del área del triángulo rectángulo, se calcula la altura del triángulo que tiene una base igual a la longitud del cauce, y un área igual al área determinada bajo el perfil longitudinal del mismo. Esta altura, sumada a la cota más baja del cauce, determina la cota hasta la cual debe llegar la línea que, dibujada desde el punto más bajo, corta el perfil, de tal modo, que compensa las áreas de mayor pendiente, con las de menor pendiente.

La pendiente de la línea trazada equivale a la pendiente racional del cauce.

$$Pr = \frac{h}{D} \quad A = \frac{b \cdot h}{2} \quad h = \frac{2A}{b}$$

h= altura buscada

D= Distancia máxima en x

A= Área bajo la curva en Km²

b= Base del triángulo conocida

Método de Taylor y Schwarz.

Para el cálculo de la pendiente media del cauce (Pm), Taylor y Schwarz utilizaron la pendiente de un canal uniforme de la misma longitud y distribución de flujo que el cauce principal. Puesto que la velocidad del flujo es proporcional a la raíz cuadrada de la pendiente, este proceso equivale a ponderar segmentos del cauce de acuerdo con la raíz cuadrada de sus pendientes (Pi), lo cual da, relativamente, menor peso a las partes más pendientes de la zona alta del cauce. De acuerdo con lo anterior, si el canal estuviese dividido en n partes iguales, un índice simple de la pendiente media del cauce sería:

$$Pm = \left(\frac{\sum_{i=0}^n \sqrt{P_i}}{n} \right)^2$$

Gradientes de la superficie.

La pendiente del terreno es un factor importante en el proceso de flujo de superficie, y es, por lo tanto, un parámetro que tiene influencia en el régimen hidrológico, particularmente en cuencas pequeñas, donde el proceso de flujo de superficie puede ser el factor dominante en la determinación de la forma del hidrógrama.

Pendiente media superficial método de Horton.

Se elabora a partir de la longitud total de curvas de nivel (L) y la distancia entre ellas (E).

$$PH = \frac{\sum L * E}{A}$$

PH= Pendiente media superficial de Horton.

L= Longitud de cada curva a nivel en m.

E= Equidistancia entre curvas de nivel.

Tabla 4

Relieve según el resultado de la pendiente media superficial

Pm	Relieve	Símbolo
0 – 3	Plano	P1
3 – 7	Suave	P2
7 – 12	Mediano	P3
12 – 20	Ondulado	P4
20 – 35	Medianamente ondulado	P5
35 – 50	Fuertemente ondulado	P6
50 – 75	Muy fuertemente ondulado	P7
>75	Escarpado	P8

Pendiente media superficial

Las condiciones de pendientes de una cuenca pueden ser mostradas en el mapa de pendientes, el cual indica de inclinación de las superficies. De la información anterior se saca el promedio ponderado tomando como factor de ponderación el área de cada rango.

La pendiente media superficial es de importancia al tener influencia en la velocidad de escorrentía superficial y en la infiltración, es decir; a mayor pendiente mayor velocidad de escorrentía superficial, menor infiltración y mayor susceptibilidad de erosión.

$$P_s = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + A_3P_3 \dots \dots + A_nP_n}{A} = \frac{\sum XY}{A}$$

$A \dots A_n$ = Área entre curvas de acuerdo a las pendientes.

$P = Y$ = Pendiente

$A = X$ = Área de la cuenca.

Aspectos altitudinales de las cuencas

El análisis hipsográfico permite determinar ciertos parámetros relacionados con la distribución de las alturas en la cuenca, los cuales ayudan a comprender cómo es el devenir de los caudales en la misma, y a determinar, mediante curvas y figuras geométricas, el cubrimiento, en superficie, de los diferentes rangos altitudinales.

Importancia de la elevación de la cuenca

La variación altitudinal de una cuenca hidrográfica tiene mucha importancia por constituir, en zonas montañosas, el criterio de variación territorial del rendimiento, escurrimiento, escorrentía o caudal específico de las corrientes de agua.

En condiciones de régimen hidrológico natural, los rendimientos medios de una cuenca crecen con la elevación media de la cuenca, hasta ciertos valores correspondientes al plafón promedio de las nubes que producen precipitaciones, arriba de los cuales empiezan a disminuir.

Lo anterior, se debe a la variación de las precipitaciones con la altura, siendo el escurrimiento una función directa de la cantidad de precipitaciones. Esta variación, desde luego, no es la misma en cualquier región, sino que para cada zona, con condiciones climáticas específicas, se encuentra un tipo distinto de relación.

Los gradientes de variación de la escorrentía media con la altura están en estrecha relación con la variación de los gradientes de las precipitaciones medias, en función de la altura. Generalmente, los gradientes de crecimiento de la escorrentía son reducidos en las regiones bajas, que circundan las montañas, van creciendo con la altura sobre las vertientes, disminuyen alrededor de la altura del plafón promedio de las nubes, y se vuelven negativos más arriba.

En cuanto a la variación territorial de otros elementos del régimen hidrológico, la altura de la cuenca también tiene notable importancia. Generalmente, esto es bastante evidente con relación a la temperatura del agua, que está directamente relacionada con las temperaturas del aire, dentro del área de captación de la cuenca hidrográfica. La concentración de sedimentos también puede variar con la elevación media de la cuenca, por constituir, esta última, el criterio de variación de la esorrentía. A su vez, la concentración de sedimentos, en condiciones de homogeneidad litológica, crece en función del escurrimiento superficial, lo que indica una mayor capacidad de erosión y de arrastre. En este aspecto, desde luego, se encuentran, frecuentemente, excepciones, determinadas por las condiciones litológicas de la capa superficial del suelo.

En cuanto a las características físicas, químicas y biológicas de las aguas, estas también varían en función de la altura media de la cuenca, debido, principalmente, a la relación que existe entre la temperatura del agua y la altura, y a la importante interdependencia que hay entre la temperatura, y las principales características físico-químicas y biológicas del agua.

Curva hipsométrica

Cuando uno o más factores de interés en la cuenca hidrográfica dependen de la elevación, es útil saber cómo es la distribución altitudinal de su territorio. Esta distribución se puede mostrar por medio del histograma de las áreas comprendidas en los distintos rangos de altura. Sin embargo, como el devenir de los caudales en una sección fluvial depende, en forma acumulativa, de todo lo que ocurre aguas arriba de ella, se prefiere representar la distribución altitudinal mediante una curva de área-elevación o curva hipsométrica, la cual permite establecer, para cada altura, el área comprendida en la cuenca, y situada a una altura mayor que la que es dada.

La curva hipsométrica, o curva hipsográfico, es la representación gráfica del relieve de una cuenca. Representa el estudio de la variación de la elevación de los varios terrenos de la cuenca, con referencia al nivel medio del mar. Esta variación puede ser indicada por medio de un gráfico que muestre el porcentaje de área de drenaje que existe por encima, o por debajo de varias elevaciones.

Para construir la curva hipsométrica, se debe medir el área comprendida entre los límites de la cuenca y bajo cada isohipsa, y ordenar esta información según se muestra en la tabla 10.

Para trazar la curva hipsométrica, se representan, en un sistema de coordenadas, las alturas en la ordenada, en función del área acumulada, por encima o por debajo de una cierta elevación, en la abscisa. Es conveniente utilizar las áreas acumuladas en porcentaje, en lugar de su valor absoluto, particularmente cuando se desea realizar comparaciones entre varias cuencas hidrográficas.

Altura media.

La altitud y la elevación media de una cuenca son importantes, por la influencia que ejercen sobre la precipitación, sobre las pérdidas de agua por evaporación y transpiración y, consecuentemente, sobre el caudal medio.

Su determinación se hace a partir de un plano topográfico, empleando el método que se describe a continuación.

Método área-elevación.

La elevación media de la cuenca hidrográfica se determina como el promedio ponderado de las alturas que se encuentran dentro de la cuenca considerada.

La elevación media, por este método, viene dada por la siguiente ecuación:

$$\bar{H} = \frac{\frac{H_1 + 2H_2}{3} * A^1 + \frac{H^2 + H^3}{2} * A^2 + \dots + \frac{2H_{n-1} + H_n}{3} * A_n}{A^1 + A^2 + A^3 + \dots + A_{n-1} + A_n}$$

\bar{H} = Elevación media de la cuenca, en metros.

$H_1, H_2, H_3, \dots, H_n$ = Altura indicada por las curvas de nivel, desde el punto más bajo hasta la divisoria más alta, en metros.

A_1, A_2, A_3, A_n = Área comprendida entre curvas de nivel y la divisoria de aguas, en Km²

Observando la fórmula para el cálculo de la altura media, a cada superficie parcial, comprendida entre dos curvas de nivel, se le asigna la altura resultante de la semisuma de los valores de las curvas de nivel consideradas. Solamente, para las superficies marginales, comprendidas entre una curva de nivel y la divisoria de aguas, se consideran elevaciones medias

diferentes del valor de la semisuma de alturas circundantes, elevaciones que son más cercanas a los valores de las curvas de nivel, razón por la cual a la curva de nivel se le da un peso mayor (se pondera por 2).

Otros conceptos

Una cuenca también se conoce como hoya hidrográfica, cuenca de drenaje y cuenca imbrífera. Una cuenca hidrográfica y una cuenca hidrológica se diferencian en que la primera se refiere exclusivamente a las aguas superficiales, mientras que la cuenca hidrológica incluye las aguas subterráneas (acuíferos) (Criado & Illereas, 2016).

El parteaguas desde el punto de vista teórico es una línea imaginaria que une los máximos puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes pero de exposición opuesta desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de drenaje la cual es la zona más baja (Cocuy, 2014).

Las zonas geográficas de una cuenca, es el lugar en donde el impacto del agua es distinto aunque se mantiene una estrecha relación e interconexión entre ellas. La parte alta conocida como cabecera de la cuenca hidrográfica es la zona que presenta la mayor captación de agua de lluvias y ayuda con la regulación y suministro de agua durante el resto del año a las otras partes de la cuenca. La parte media de la cuenca hidrográfica es la zona de amortiguación entre las acciones antrópicas de la parte alta de la cuenca y los efectos que se evidencian en la parte baja de la cuenca. La parte baja de la cuenca hidrográfica, en esta zona se evidencian los impactos positivos y negativos de las acciones que se desarrollan por el hombre (Cocuy, 2014)

La hidrología proviene del griego hidro que significa agua y según Chow, Maidment, y Mays en el año 1994 se entiende por la ciencia que se dedica al estudio de las aguas de la tierra, así como su presencia, distribución y circulación a través del ciclo hidrológico. El objetivo principal de la hidrología es estudiar las interrelaciones que existen entre el agua y su ambiente, en especial los componentes del ciclo hidrológico (Criado & Illereas, 2016).

La modelación hidrológica es una herramienta de gran importancia para el estudio de las corrientes que se extienden por todo el mundo. Hoy por hoy el uso de modelos se realizan para el análisis y la prevención de las inundaciones de dichas corrientes; además, es posible manejar

posibles escenarios realistas o predecibles que ofrezcan un cierto grado de confianza a la hora de tomar decisiones, ya sea para la ordenación del territorio en torno a los ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras e incluso, para alertar a los servicios de protección civil y establecer medidas de prevención ante posibles situaciones de amenazas por intensas lluvias.

Un modelo hidrológico es pues una representación simplificada de un sistema real complejo llamado prototipo, bajo forma física o matemática. De manera matemática, el sistema real está representado por una expresión analítica. En un modelo hidrológico, el sistema físico real que generalmente representamos es la 'cuenca hidrográfica' y cada uno de los componentes del ciclo hidrológico. De esta manera el modelo matemático ayudará a tomar decisiones en materia de hidrología, por lo que es necesario tener conocimiento de entradas al sistema y salidas a partir del sistema, para verificar si el modelo es representativo del prototipo (IDEAM, 2014).

Los modelos hidrológicos en cualquier ámbito de la ciencia se clasifican en: modelos físicos reducidos lo cuales se basan en la reducción a una determinada escala del prototipo, modelos analógicos estos analizan un sistema a partir de otro regido por teorías similares, modelos matemáticos que representan el sistema por un conjunto de ecuaciones y sentencias lógicas que expresan las relaciones entre variables y parámetros (Criado & Illereas, 2016)

Los Sistema de información geográfica SIG, nos permite la integración de los resultados de la modelación hidrológica y las diferentes características físico-geográficas de las cuencas en un sistema, con fines de prevención hidrológica en un posible pronóstico de inundaciones y la correspondiente toma de decisiones. Por otro lado estos sistemas facilitan el tratamiento de la información hidrológica gracias a que incluyen procedimientos diseñados para realizar la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelación y presentación de datos geo-referenciados. Gracias a los SIG el proceso de modelación hidrológica acelera su desarrollo y aplicación, a modo de plataforma de experimentación rápida sobre nuevas ideas y conceptos, y por ende sus resultados pueden ser incorporados al proceso de toma de decisiones y en la ordenación del territorio (Estrada Sifontes, 2015).

Software ArcGIS es una plataforma de información completa sobre los sistema de software, pertenecientes al campo de los SIG, que nos permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica, en donde se agrupan diversas

aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de la información geográfica. Así mismo nos permite crear, analizar, almacenar y difundir datos, modelos, mapas y globos en 3D, poniéndolos a nuestra disposición. De igual forma esta plataforma es utilizada por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios (resources).

El estudio hidrológico es el mecanismo a través del cual se realiza lo mejor posible una estimación confiable de los caudales máximos diarios que circulan por un cauce natural. Esta información es de vital importancia, puesto que un error en los caudales implica un error en el estudio hidráulico, mediante el cual se estiman los niveles de inundación para los caudales dados de acuerdo con los periodos de retorno previamente establecidos (García *et al.*, 1999). Este estudio también nos inicia la determinación de las características morfo-métricas de la cuenca, que incluye: la delimitación, el área y la longitud de esta, altura máxima y mínima del cauce principal, índice de compacidad o Gravelius, curva hipsométrica, pendiente media, caracterización de la red de drenaje y el perfil altimétrico batimetría del cauce principal, suelos de la cuenca, pendientes del terreno, precipitación media (Criado & Illereas, 2016).

2.5 Marco legal

Constitución política de Colombia de 1991: La constitución toma las riquezas naturales y el ambiente sano como principio fundamental para los todos ciudadanos plasmados en el Título I en el su artículo 8 y en el Título II, Capitulo 2, artículo 63 y Capítulo 3, en sus artículos 79 al 80.

Decreto ley 2278 de 1953: Las reglas generales en la vigilancia, conservación, mejoramiento, reserva, repoblación y explotación de bosques; aprovecha miento, comercio, movilización y exportación de productos forestales.

Ley 2 de 1959: Por el cual se dictan normas sobre economía forestal de la Nación y conservación de recursos naturales renovables.” Plasmado en su artículo 1 literal se establece la Zona de Reserva Forestal del Cocuy.

Decreto 4742 de 2005: Sobre tasas por utilización de aguas.

Decreto 1541 de 1978: Reglamentar las normas relacionadas con el recurso agua en todos sus estados.

Ley 23 de 1973: “Por el cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones.

Decreto ley 2811 de 1974: Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

Ley 10 de 1979: la Nación colombiana ejercerá derechos de soberanía para efectos de la exploración, explotación, conservación y administración de los recursos naturales vivos y no vivos del lecho y del subsuelo y de las aguas supra-yacentes; así mismo, ejercerá jurisdicción exclusiva para la investigación científica y para la preservación del medio marino.

Decreto 1449 de 1977: “obligaciones de los propietarios de predio rurales en relación con la conservación, protección y aprovechamiento de las aguas.

Ley 99 de 1993: Creación del ministerio del medio ambiente, encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables

Acuerdo no. 0017 del 2 de mayo de 1977: “Por el cual se reserva, alinda y declara como Parque Nacional Natural área ubicada en el departamento de Boyacá y en la Intendencia de Arauca, se crea el PNN El Cocuy.”

Resolución ejecutiva no. 156 del 6 de junio de 1977: “Por la cual se aprueba el Acuerdo 0017 del 2 de mayo de 1977, originario de la Junta Directiva del Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente - INDERENA-.”

Decreto 622 de 1977: Por el cual se reglamentan parcialmente el sistema de parques nacionales. Buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables, para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del territorio.

Resolución 1275 del 06 de agosto del 2014: La resolución tiene como objeto la adoptar la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal del Cocuy.

Ley 373 de 1997: Programa para el uso eficiente y ahorro del agua.

Decreto 1933 de 1994: Distribución del porcentaje de 6% en las ventas brutas por generación hidroeléctrica.

Decreto 1729 de 2002: La ordenación de las cuencas hidrográficas.

Resolución 104 del 7 de julio de 2003: Adoptar como oficial el documento técnico Criterios y parámetros para la clasificación y Priorización de cuencas hidrográficas en la República de Colombia.

Decreto 00155 de 2004: Por el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas.

Decreto 1900 de 2006: Todo proyecto que involucre en su ejecución el uso del agua tomada directamente de fuentes naturales y que esté sujeto a la obtención de licencia ambiental, deberá destinar el 1 % del total de la inversión para la recuperación, conservación, preservación y vigilancia de la cuenca hidrográfica que alimenta la respectiva fuente hídrica.

Decreto 1575 de 2007: El objeto del presente decreto es establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo.

Decreto 1324 de 2007: Por el cual se crea el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico

Ley 1151 del 2007: Declárense de interés público las áreas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos que surten de agua los acueductos, Los departamentos y municipios dedicarán un porcentaje no inferior al 1% de sus ingresos corrientes.

Decreto 3930 de 2010: Las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.

Decreto 1323 de 2007: “Por el cual se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico

Resolución 2115 de 2007: Se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Capítulo 3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de investigación.

Se realizara una investigación descriptiva de campo, en la cual se aplicaran los conocimientos adquiridos durante el transcurso de la formación académica, en áreas específicas como: cuencas hidrográficas, SIG, formulación de proyecto, ecosistemas, ecología, sistemas fáunicos y florístico, entre otros que son necesarios para comprender el escenario de intervención del proyecto, igualmente para el manejo de diversas herramientas e instrumentos indispensable en la recolección y análisis de datos.

De forma paralela se busca disminuir en gran parte el vacío de información sobre el objeto de estudio (microcuenca quebrada la Cristalina); para esto es necesario generar información biofísica in-situ por medio de levantamientos, aforos y otras actividades. Por otro parte se hará la revisión literaria, seleccionando, clasificando y priorizando los documentos referentes así como la información relevante para la aplicación metodológica para el manejo y análisis de los datos obtenidos (Bermeo, 2012).

3.2 Población.

Microcuenca Quebrada La Cristalina.

El parque Natural Nacional el Cocuy tiene entre sus valores objetos de conservación la Microcuenca Quebrada la Cristalina así como el ecosistema que la conforma. Esta se encuentra ubicada aproximadamente a una altura entre 1900 y 454 msnm en las veredas de aguas claras y Malvinas del municipio de Tame – Arauca, mide aproximada mente 10km de longitud cuya desembocadura se encuentras ubicadas en las siguientes coordenadas (6°39'16.80"N, 71°47'20.14"O) entrega sus aguas al rio la Colorada que a su vez entrega sus aguas al rio Ele que desemboca en el rio Tigre el cual es tributario del rio Arauca. La parte alta de la micro-cuenca colinda con las comunidades indígenas u'was y por ende su área de resguardo. El PNN El Cocuy realiza actividades de conservación a partir de los 600 msnm hacia arriba, allí se encuentra la parte alta y una porción de la parte media de la microcuenca. En la parte media, que corresponde

a la zona con función amortiguadora del PNN El Cocuy, se capta el agua que abastece el acueducto de La Cristalina, que presta el servicio a los habitantes de 13 veredas. (Cocuy, 2014).

3.3 Muestra.

Se realizara una muestra no probabilística intencional por conveniencia, como porción representativa de la población se seleccionaran puntos y segmentos ubicados en la zona media y baja de la microcuenca Quebrada La Cristalina.

Se muestreará los componentes necesarios de los sistemas físico y biótico que conforma la microcuenca, a continuación se indicara la muestra seleccionada para cada componente de los sistemas mencionados con anterioridad.

Tabla 5

Muestra de los componentes

SISTEMA	COMPONENTE	MUESTRA
Físico	Microclima	1% de la zona media y baja
Físico	Precipitación	10 años
Físico	Pedregocidad	Parte media y baja del cauce
Físico	Perfil del rio	Sección media y baja del cauce
Físico	Tipo de suelo	1% del bosque ripario
Físico	Pendiente	De la microcuenca
Biótico	Cobertura	1% del área de estudio

Fuente: Autor del proyecto

La muestra seleccionada para el cálculo de la oferta hídrica será la parte media y baja de la microcuenca, en donde se muestreara la siguiente información.

Tabla 6

Muestra para el cálculo de la oferta hídrica

DATO	PERIODO	PUNTO
Velocidad	1 vez al mes durante un año	Parte media y baja
Profundidad 60%	1 vez al mes durante un año	Parte media y baja
Longitud transversal	1 vez al mes durante un año	Parte media y baja

Fuente: Autor del proyecto

Igualmente se muestreara el subsistema hidrológico para el análisis de la oferta de la microcuenca en eventos de variabilidad climática máximas, pero lo cual se muestrearan los siguientes componentes.

Tabla 7

Muestra para el subsistema hidrológico

SISTEMA	COMPONENTE	MUESTRA
Hidrológico	Precipitación	10 años
Hidrológico	Forma del cauce	Quebrada la cristalina
Hidrológico	Escorrentía	Superficial
Hidrológico	Caudal	
Hidrológico	Volumen de escurrimiento	
Hidrológico	Lamina de escurrimiento	
Hidrológico	Nivel de agua	

Fuente: Autor del proyecto

Para el cálculo de la calidad del agua de micro cuenta se tomara como muestra representativa el punto (1) ubicado en la parte media de la microcuenca Quebrada la Cristalina, en donde se tomaran datos sobre los parámetros básicos del índice de calidad del agua los cuales son:

- pH
- OD
- SST
- DQO
- Conductividad Eléctrica
- Otras variables para complementar el análisis de la calidad del agua.

3.4 Metodología para la obtención de la Información.

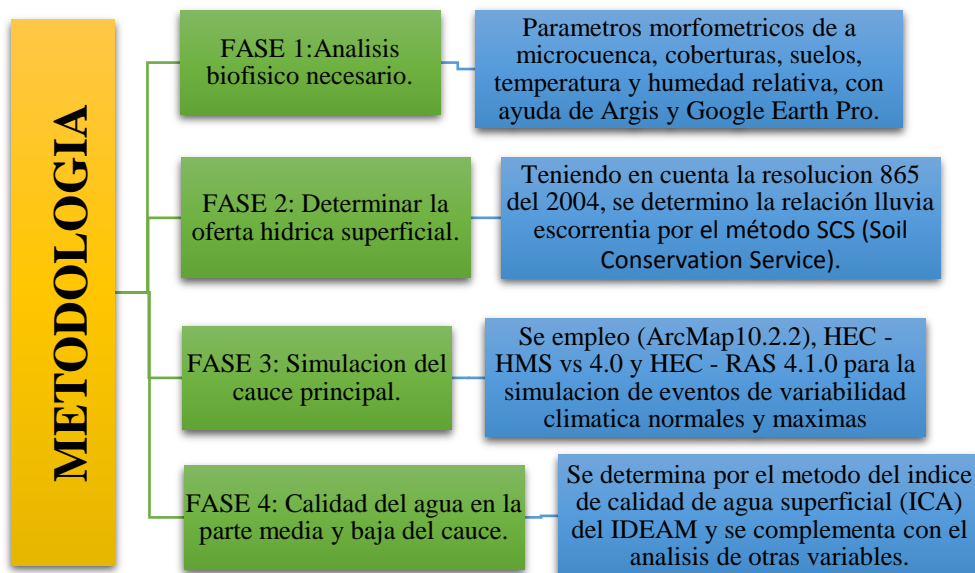


Figura 2. Metodología general para el logro de los objetivos propuestos. **Fuente:** Autor del proyecto.

3.4.1 FASE 1. Metodología para realizar el diagnóstico de los componentes biofísicos de la microcuenca Quebrada La Cristalina, necesario para realizar el ejercicio de la modelación de la escorrentía superficial.

Los componentes biofísicos necesarios para realizar la simulación de la escorrentía superficial en el cauce principal de la microcuenca quebrada la cristalina, son los que se muestran en la siguiente gráfica.

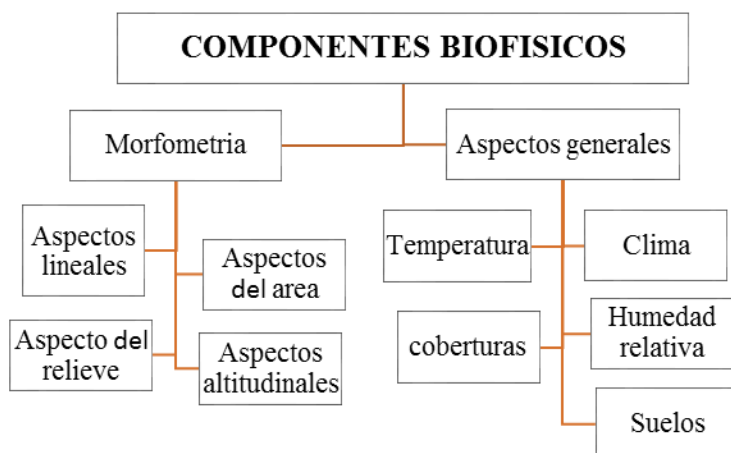


Figura 3. Componentes biofísicos para simulación de escorrentía superficial. **Fuente:** Autor, 2018.

3.4.1.1 Componente morfométrico de la cuenca.

Como primera actividad se realizó la delimitación de la microcuenca, para lo cual se tomó información de Google Earth Pro, varios modelos digitales de elevación a 30 y 12.5 metros de precisión, a partir de este DEM se genera un archivo raster tipo TIN (Red de triángulos irregulares) para la zona de estudio y se extraen las curvas de nivel a 10 m y 50 m. Para la ubicación de los cauces se tomó como base la altimetría que presenta Google Earth Pro y la imagen de satélite mundial que proporciona Arcgis 10.2 del 31 de diciembre del 2011, con una resolución de 0,5 metros, cuya fuente es *digital globe* y su fuente de información es *vivid*.

Para los parámetros relativos a la forma fue necesario calcular a través de archivos shapes: el área de la cuenca, el perímetro, longitud axial, la longitud máxima de la cuenca y ancho de la cuenca. Con estos valores se logró determinar varios parámetros en los que están: el factor forma, el índice de compacidad o coeficiente de Gravellius, índice de asimetría, índice de homogeneidad.

Seguidamente se determinó los parámetros relativos al drenaje tales como la densidad de drenaje en función de la longitud total de los tributarios en km y el área total de la cuenca en km², a partir de esta se logró conocer la textura de drenaje. Adicionalmente, se obtuvo la curva hipsométrica, los datos se extrajeron gracias a la utilización y digitalización en el software ArcGis 10.2 (Anaya, 2012).

Finalmente con la ayuda del DEM y la herramienta de hidrología del Arcgis se logró calcular de pendiente media del cauce de métodos de Taylor y Schwarz y de los valores extremos, para la pendiente media superficial se determinó por medio de los métodos de índice de pendiente y pendiente media superficial y su valor se clasificó de acuerdo a la categorización del IGAC. Con las herramientas del programa Google Earth se logró diseñar el perfil longitudinal del cauce principal de una forma más detallada.

3.4.1.2. Aspectos generales.

- Para determinar los aspectos generales de la cuenca, se tomaron como referencia los siguientes documentos.
- El plan básico de ordenamiento territorial del municipio del Tame – Arauca.

- Pagos por servicios ambientales de la microcuenca la cristalina.
- Plan de ordenamiento Cravo Sur.

3.4.2 FASE 2. Analizar la información que permita calcular y conocer la oferta hídrica superficial que proporciona la microcuenca Quebrada La Cristalina en la parte media y baja.

3.4.2.1. Trabajo de oficina

El cálculo de la oferta hídrica se realiza teniendo en cuenta el decreto 864 del 2004 el cual nos especifica que la oferta hídrica de una cuenca, es el volumen disponible para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre. Para los efectos de calcular la oferta hídrica en la microcuenca quebrada la cristalina se aplicara el tercer caso dispuesto en dicha resolución denominado relación lluvia – escorrentía con la que podemos calcular las abstracciones iniciales de una tormenta tales como la detención superficial y la infiltración o número de curva de escorrentía (CN), y es aplicable para cuencas menores a 250 km² que no cuenten con registros de caudal para estimar la oferta superficial mensual., así mismo sirve para conocer la escorrentía mensual y generar mapas de isolíneas de escorrentía como ayuda para el cálculo de la oferta hídrica superficial (IDEAM G. Y., 2005 -2011), para determinar la relación lluvia escorrentía se debe conocer los siguientes datos.

Número de curva de escorrentía CN, del Soil Conservation Service – SCS, el cual fue desarrollado como un índice que representa la combinación de los grupos hidrológicos del suelo, el uso y la clase de tratamiento de la tierra. Análisis empíricos condujeron a deducir que el CN es función de tres factores: Clase de suelo, la cobertura y las condiciones de humedad antecedente (5 días) (IDEAM G. Y., 2005 -2011). El SCS clasifico hidrológicamente más de 4000 basándose en su potencial de escurrimiento para lo cual los agrupó en los siguientes grupos:

Suelo tipo A, cuyo potencial de escurrimiento es bajo, son suelos con altas capacidades de infiltración cuando están completamente húmedos, lo conforman principalmente arenas y gravas muy bien ordenadas, y poseen una alta transmisión de agua.

Suelo tipo B, tienen una capacidad de infiltración moderadas cuando están completamente húmedos, son suelos medianamente profundos y drenados, con textura entre moderada y muy fina, la velocidad de transición de sus aguas media.

Suelo tipo C, su capacidad de infiltración es baja cuando están completamente húmedos, principalmente son suelos que una textura fina o moderadamente fina, con baja transmisión de agua.

Y suelos tipo D, poseen una infiltración muy baja cuando están completamente húmedos, como las arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos, su transmisión del agua muy baja (IDEAM G. Y., 2005 -2011). Para estimar el valor del número de curva (CN) de acuerdo con la clasificación hidrológica de los suelos, se tienen en cuenta la siguiente caracterización para los suelos.

En cuanto al uso y tratamiento del suelo es reflejada por la condición superficial de la cuenca hidrográfica, así mismo están asociados al tipo de vegetación, los usos agrícolas, tierras en descanso, superficies impermeables y áreas urbanas. El tratamiento de suelos se aplica a las prácticas mecánicas, y prácticas de manejo. En los suelos cultivados podemos identificar tierras en descanso, praderas, cultivo de hileras, cultivos de granos rotaciones, cultivos en hileras rectas vegetales sembrados cercanamente, campos sembrados a lo largo de la curva de nivel y cultivos en terrazas.

USO DE LA TIERRA	COBERTURA TRATAMIENTO O PRACTICA	CONDICION HIDROLOGICA	GRUPO DE SUELOS			
			A	B	C	D
1.Rastrojo	Hileras Rectas	—	77	86	91	94
2.Cultivos en Hileras	Hileras Rectas	Mala	71	81	88	91
	Hileras Rectas	Buena	67	78	85	89
	Curvas de Nivel	Mala	70	79	84	88
	Curvas de Nivel	Buena	65	75	82	86
	Cur/Niv y Terrazas	Mala	66	74	80	82
	Cur/Niv y Terrazas	Buena	62	71	78	81
3.Cultivos en Hileras Estrechas	Hileras Rectas	Mala	65	76	84	86
	Hileras Rectas	Buena	63	75	83	87
	Curvas de Nivel	Mala	63	74	82	85
	Curvas de Nivel	Buena	61	73	81	84
	Cur/Niv y Terrazas	Mala	61	72	79	82
	Cur/Niv y Terrazas	Buena	59	70	78	81
4.Leguminosas en Hileras Estrechas o Forraje en Rotación	Hileras Rectas	Mala	66	77	85	89
	Hileras Rectas	Buena	58	72	81	85
	Curvas de Nivel	Mala	64	75	83	85
	1/ Curvas de Nivel	Buena	55	69	78	83
	Cur/Niv y Terrazas	Mala	63	73	80	83
	Cur/Niv y Terrazas	Buena	51	67	76	80
5.Pastos de Pastoreo	Mala	68	79	86	89	
	Regular	49	69	79	84	
	Buena	39	61	74	80	
	Curvas de Nivel	Mala	47	87	81	88
	Curvas de Nivel	Regular	25	59	75	83
	Curvas de Nivel	Buena	6	35	70	79
6.Pastos de Corte	Buena	30	58	71	78	
	Mala	45	66	77	83	
	Regular	36	60	73	79	
7.Bosque	Buena	25	55	70	77	
	—	59	74	82	86	
8.Patios	—	72	82	87	89	
9.Caminos de Tierra 2/	—	74	84	90	92	
10.Pavimentos	—	74	84	90	92	

Figura 4. Escorrentía para los complejos de suelo según su cobertura (CN). **Fuente:** (IDEAM G. Y., 2005 - 2011)

Condición Hidrológica del Suelo

El tipo de vegetación y la densidad de la cobertura en la cuenca tienen una gran influencia en la capacidad de infiltración del suelo. Tomando como referencia las siguientes categorías de cobertura para pasto natural.

- Pobre = Menos del 50% de área cubierta por pasto. Alta intensidad de pastoreo.
- Aceptable = 50 al 75% del área cubierta por pasto. Intensidad media de pastoreo.
- Buena = 75% del área cubierta por pasto. Intensidad ligera de pastoreo.

La condición hidrológica para los bosques se determinó con la siguiente clasificación.

- Pobre = bosques regularmente quemados con pocos arbustos y poco humus vegetal.
- Aceptable = con algunos arbustos, moderada cantidad de humus vegetal y pasto.

- Buena = Protegido con pasto, con alta cantidad de humus vegetal y muchos arbustos cubriendo la superficie (IDEAM G. Y., 2005 -2011).

Condición de Humedad Antecedente

Tiene en cuenta la precipitación de los cinco días previos a la tormenta. La condición de humedad antecedente seca (AMCI) tiene el menor potencial de escorrentía con los suelos secos satisfactorio para cultivos. La condición de humedad antecedente promedio (AMCII) tiene un potencial de escorrentía medio. La condición de humedad antecedente humedad (AMCIII) tiene el mayor potencial de escorrentía, con la cuenca prácticamente saturada por precipitaciones anteriores.

Cuantificación de la oferta hídrica neta disponible

Para obtener la oferta hídrica neta disponible, es necesario reducir la oferta hídrica total por calidad del agua y por caudal mínimo ecológico, calculada por el método relación lluvia escorrentía.

Para la cuantificación de la oferta hídrica total en La Quebrada La Cristalina, se tomaran los datos de precipitación del mes de mayo del 2017 ya que es el mes presentan más lluvias en el año, y las precipitación del mes de febrero como el periodo de menos lluvia, según los datos decadales de la estación de Tame del IDEAM (Gonzalez, 2016). Con esta información se corrió el modelo en el programa HEC – HMS, teniendo en cuenta los demás datos que solicita como lo es el tiempo de concentración y retardo, la pendiente del cauce y el área de la cuenca.

La reducción por calidad del agua es el factor que limita la disponibilidad del recurso hídrico y restringe en un amplio rango de posibles usos. Generalmente la alteración a la calidad del agua tiene que ver con la contaminación por materia orgánica, por nutrientes y por una gran variedad de sustancias químicas y sintéticas de naturaleza tóxica. La acción de cuales quiera tipo de contaminación puede ser expresada parcialmente por el contenido de oxígeno en los ríos. Una vez se conozca el estado de la calidad del agua de las fuentes de abastecimiento como de los cuerpos de agua, la oferta hídrica de estos sistemas se debe afectar por el 25%, correspondiendo a la condición de calidad del agua (IDEAM G. Y., 2005 -2011).

La reducción por caudal ecológico, el cual se define como el caudal mínimo requerido para el sostenimiento del ecosistema, la flora y la fauna de una corriente de agua, la reducción del caudal mínimo ecológico se realizó por el método del IDEAM, el cual adoptado como caudal mínimo ecológico un valor aproximado del 25% del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente en estudio (IDEAM G. Y., 2005 -2011).

3.4.2.2. Trabajo de campo

Se realizaron visitas a campo en donde se determinó el flujo en épocas de más y menos lluvia por medio del levantamiento de secciones transversales de la parte media y baja de la microcuenca quebrada la cristalina este trabajo se realizó con el acompañamiento del equipo humano del costado oriental del Parque Nacional Natural El Cocuy.

3.4.3 FASE 3. Simular la escorrentía superficial del cauce principal en condiciones normales y para eventos de variabilidad climática máximas, por medio de un modelo hidrológico, con el fin de analizar los impactos que pueda generar la variación de la oferta hídrica sobre la microcuenca.

3.4.3.1. Trabajo de campo.

Para realizar la simulación de la escorrentía se realizó la toma de datos en campo y recolección de información secundaria, el cual consistió en el levantamiento de las secciones transversales desde el límite del pnn el cocuy hasta la desembocadura de la quebrada la cristalina, en total se levantaron 8 secciones distanciada una de otra aproximadamente una de otra unos 200 m. Para el levantamiento de la sección, se extendía una cuerda desde los banco del cauce y que quedara a nivel. A partir de esta se medía las profundidades del lecho de a quebrada y con el apoyo del caudalímetro se midió el flujo de la corriente simultáneamente; esta medición correspondió a un periodo de más lluvias en la zona de estudio. Adicionalmente se realizó en el mes de febrero (periodo de menos lluvia) del presente año una segunda medición con la misma metodología pero esta vez solo se levantaron 5 secciones.

Finalmente dichas actividades apoyarían el trabajo de oficina con el fin de mejorar la exactitud de los datos.

3.4.3.2. Trabajo de oficina.

Para lograr simular la escorrentía superficial fue necesario la consecución de un modelo digital de elevación DEM, que se asemejara en a mayoría de sus posibilidades a la dirección del cauce principal, para esto se lograron obtener 8 DEM's, de los cuales se descartaron inicialmente 3 DEM's por la desviación que presentaba en la altura con respecto a los datos tomados en campo. Para seleccionar el DEM de trabajo, de estos últimos 5 DEM's, se realizó una tabla en la que se clasifico la exactitud de los DEM's con respecto a las secciones transversales tomadas en campo, y ponderando su exactitud de 1 a 3, siendo 3 el que más se relacionara y 1 el que más diferencia presentaba; finalmente la suma de dichos valores selecciona el DEM con el que se trabajola simulación.

Una vez obtenido el DEM se procede a convertirlo en un archivo TIN y a delimitarlo para la zona de estudio. Con ayuda de las curvas de nivel, imagen de satélite de Argis 10.2 y la herramienta de relieve que muestra el programa de Google Earth Pro, se realiza el trazado en dirección aguas abajo del cauce principal de la microcuenca quebrada la cristalina.

Una vez se obtiene el cauce principal se procede a usar la herramienta Hec Geo Ras 4.0 del programa de Argis 10.2, con esta se define nuevamente el cauce principal, los bancos del cauce, que teniendo en cuenta el ancho de las secciones transversales levantadas en campo se promedió alrededor de 15 metros, una vez definido los bancos se procede a la definición de la zonas de inundación, la distancia de los bancos poseen un promedio de 100metros de longitud al lado y lado del cauce principal, dicha medida se definió con base a las observaciones realizadas durante las visitas de campo, sin embargo se aclara que la altimetría de dichos bancos, no fue levantada para este estudio, pero el DEM permitieron definir dicha altimetría. Este Arcgis generado en el programa Argis 10.2 se guarda con una extensión para ser trabajado posteriormente en el programa Hec Ras 4.1.0.

Para trazar los perfiles transversales del cauce se procede a trabajar en el programa Hec Ras 4.1.0, allí se verifican las secciones transversales obtenidas anteriormente con el programa argis 10.2 y se adicionan los datos de las secciones transversales levantadas en el trabajo de campo cabe aclarar que las secciones levantadas en cómo están localizadas en la parte media y

baja del cauce debido a que el ingreso a la parte alta está restringido por el resguardo de las comunidades indígenas u'was ahí presentes.

Dentro de los datos que solicita Hec Ras 4.1.0 para simular el flujo del cauce están:

- Secciones transversales con sus respectivos bancos y zonas de inundación, obtenidas a través de trabajo de campo y el trabajo de oficina realizado con el programa Argis 10.2.
- Para obtener el N de Maning para el cauce de la microcuenca se tuvo en cuenta, la clasificación según el manual de HEC RAS para los cauces naturales, ríos de montaña sin vegetación en el cauce, bancos usualmente con árboles y arbustos, con fondos en grabas y algunas rocas, la cual un valor de 0.040
- El flujo base para el cauce el cual se obtuvo a partir de la medición realizada el 27 de mayo para 8 secciones de la parte media y baja del cauce de la microcuenca.
- El régimen de flujo, para este caso el régimen de cálculo es de tipo supercrítico averiguar y citar la definición de supercrítico.

Tabla 8

Perfiles transversales del cauce

SECCION	COORDENADA	ALTURA	CAUDAL
1	N 06°37'17,8'' - W 0,71°50'22,3''	607 msnm	0.73 m ³ /s
2	N 06°37'22,9'' - W 0,71°50'17,9''	593 msnm	0.85 m ³ /s
3	N 06°37'26,4'' - W 0,71°50'11,4''	579 msnm	1.32 m ³ /s
4	N 06°37'7'' - W 0,71°50'06,9''	571 msnm	1.33 m ³ /s
	N 06°37'37,2'' - W 0,71°50'02,0''	555 msnm	2.39 m ³ /s
6	N 06°37'47,8'' - W 0,71°49'54,5''	539 msnm	1.50 m ³ /s
7	N 06°37'53,1'' - W 0,71°49'46,9''	513 msnm	1.43 m ³ /s
8	N 06°37'06,7'' - W 0,71°49'34,9''	454 msnm	2.02 m ³ /s

Para obtener los caudales de un evento máximo y normal se tuvieron en cuenta los datos de precipitación que arrojó la estación hidrométrica la cristalina y la estación agroclimática de la finca del señor Mario Roa, dichos datos recopilados para el mes de enero y el 31 de mayo fueron analizados por medio del método lluvia esorrentía en el programa Hec Hms 4.0. Finalmente, la simulación del flujo es exportada al programa Argis 10.2 para observar el comportamiento sobre la imagen de satélite que esta proporciona online.

3.4.4 FASE 4. Calidad del agua superficial en la parte media y baja de la microcuenca Quebrada La Cristalina, por medio del Índice de Calidad de Agua en Corrientes Superficiales (ICA).

3.4.4.1. Método para el Reconocimiento de los sitios de Muestreo.

Teniendo en cuenta el objetivo general en donde se plantea la determinación de la calidad del agua en la parte media y baja de la microcuenca quebrada la cristalina, se seleccionan de manera estratégica (2) puntos para la toma de las muestras, que nos permitirán conocer las variaciones que presentan los parámetros entre los dos puntos de muestro.

El primer sitio de muestreo se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas (N 06°27'30.5'', W 071°44'16.7'') a una altura (605 msnm) y por ende se encuentra dentro del área protegida perteneciente al Parque Nacional Natural El Cocuy. También cabe aclarar que el punto de captación del acueducto la cristalina se encuentra en este mismo lugar.

El segundo sitio de muestreo está ubicado en las coordenadas (N 06°38'06.9'', W 071°49'35.0') a una altura de (454 msnm) localizado aproximadamente 20 metros aguas arriba del punto en donde entrega las aguas la Quebrada La Cristalina a la Quebrada La Colorada.

La distancia entre el primer sitio de muestreo y el segundo es de aproximadamente de 2 km, se establecen estos dos puntos por los siguientes limitantes:

- La topografía metros arribas del primer sitio de muestro posee una pendiente muy prolongada y sus suelos son muy inestables y son muy frecuente las avalanchas en presencia de lluvias.
- La velocidad del agua produce movimiento de las rocas presentes en el cauce colocando en riesgo la integridad del equipo de trabajo.
- A tan solo escasos metros del primer sitio de muestro se encuentra el área perteneciente al resguardo indígena U'wa, el cual no permite el ingreso de colonos a sus territorio.
- La presencia de grupos al margen de la ley.
- Escases de recursos económicos para la toma de más muestras.

3.4.4.2. Método para la Geo-referenciación de las estaciones a Monitorear.

En las dos (2) sitios se identificaron los puntos más convenientes para referenciar. Para tal efecto, se utilizó el GPS Garmin Map 60 CSX. El cual posee un margen de error de 1-5 metros para obtener lectura confiable y veraz se repite 3 veces la lectura en cada punto.

3.4.4.3. Métodos y Procedimientos para la toma de muestras para análisis Físicoquímico.

De acuerdo a la metodología utilizada por Analizar Laboratorio Físicoquímico LTDA monitoreo y consultoría sede Duitama, Los métodos que se adelantaron son los enunciados en el *standard Methods 22nd edition* en donde se establece la tabla de preservación de muestras, se indican los parámetros, el volumen mínimo de la muestra, si lleva o no cabeza de aire el tipo de muestra y la técnica de preservación.

Nota: la toma de las muestra fue realizada por el investigador del proyecto y por él mismo fueron trasportada desde la zona de estudio hasta las instalaciones de Analizar LTDA en la ciudad de Duitama.

En las dos unidades de análisis se tomaron muestras simples o también conocidas como muestras puntuales. Esta tipo de muestras es el resultado de llenar de manera inmediata la totalidad del volumen que contiene el recipiente o necesario para la muestra, la cual es tomada en una sección del cauce, y preferiblemente una profundidad del 50% de su altura total de dicho cauce, evitando la formación de burbujas y que el agua golpee en las paredes o en el fondo con fuerza (IDEAM G. Y., 2005 -2011).

3.4.4.4. Plan de Muestreo para Análisis Físico-Químico y Microbiológico.

Se realizó un muestro aleatorio con forme el orden público lo permitió, el periodo de muestreo radica desde enero de 2016 octubre del 2017, en diferentes meses con diferentes temporadas de lluvia, estos muestreos se realizaron en la parte media de la zona del cauce, se muestreo con la sonda multiparamétrica, perteneciente a la entidad de PNN El Cocuy, la cual permite medir los siguientes parámetros in situ: Presión atmosférica, Temperatura (°C), Oxígeno disuelto (mg/L), Conductividad (C us/cm), TDS (mg/L), pH.

Para complementar la información se decide tomar muestras puntuales en el mes de febrero del año 2018 en los dos sitios de estudios (la parte media y baja de la microcuenca Quebrada La Cristalina), se tomaron muestras representativas del estado actual del recurso hídrico para análisis de parámetros físico-Químicos, microbiológicos.

Posteriormente procedo a llevarlas al laboratorio (Analizar LTDA) en Duitama con la finalidad de conocer de forma más particular otras variables de calidad y realizar una comparación de los datos.

DESCRIPCION	EXPRESIÓN	METODO
ANÁLISIS EN LABORATORIO		
DQO Total (A)	mg O ₂ /L	SM 5220 D
DBO ₅ Total (A)	mg O ₂ /L	SM 5210 B, 4500- O C
pH	Unidades de pH	SM 4500-H* B
Temperatura	°C	SM 2550 B
Conductividad (A)	microsiemens/cm	SM 2510 B
Alcalinidad Total (A)	mg CaCO ₃ /L	SM 2320 B
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	SM 4500-O C
Dureza Total (A)	mg CaCO ₃ /L	SM 2340 C
Nitratos (A)	mg NO ₃ ⁻ /L	Salicilato Sódico/Rodier
Nitritos (A)	mg NO ₂ ⁻ /L	SM 4500-NO ₂ ⁻ -B
Sólidos totales (A)	mg ST/L	SM 2540 B
Sólidos disueltos totales (A)	mg SDT/L	SM 2540 C / Cálculo
Sólidos suspendidos totales (A)	mg SST/L	SM 2540 D
Turbiedad (A)	UNT	SM 2130 B
Coliformes totales	UFC/100 cm ³	SM 9222 H
Coliformes fecales	UFC/100 cm ³	SM 9222 H
E. Coli	UFC/100 cm ³	SM 9222 H
COLOR REAL (A)		
λ(1)= 436 nm	m ⁻¹	ISO 7887
λ(2)= 525 nm	m ⁻¹	ISO 7887
λ(3)= 620 nm	m ⁻¹	ISO 7887

Figura 5. Variables que se deciden averiguar en laboratorio para los dos sitios de muestreo son: **Fuente:** autor del proyecto con información suministrada de Analizar LTDA.

Para realizar el muestreo de Oxígeno Disuelto, se utilizaron los EPP teniendo en cuenta las condiciones del cuerpo de agua que se muestreo, se tomó la muestra de agua directamente del cuerpo de agua sumergiendo el frasco Winkler con tapa por debajo del nivel del agua, posteriormente se destapó y se llenó cuidadosamente evitando la agitación; se colocó la tapa dentro del agua. Una vez fuera del agua se observó que la muestra no tuviera ningún rastro de burbujas.

Luego se procedió a realizar la fijación del oxígeno de la siguiente manera: se destapo el frasco Winkler en posición vertical e inmediatamente se adiciono 1 mL de sulfato manganoso

(MnSO₄); seguidamente, se agregó 1 mL de la disolución alcalina de yoduro – acida, luego se procedió a tapar la botella Winkler, se agito y se dejó sedimentar el precipitado aproximadamente la mitad del volumen, se observó un claro sobre el floc de hidróxido de manganeso, se le adiciono 1 mL de (H₂SO₄), se tapó y mezclo invirtiendo la botella varias veces hasta homogenizar y finalmente se almaceno en la nevera de icopor a 5° de temperatura más abajo que la temperatura que presento el agua del cauce para transportarse en las 12 horas siguientes hasta el laboratorio Analizar LTDA en donde se ejecutó la titulación del yodo equivalente al oxígeno disuelto.

Para la toma del resto de muestras fisicoquímicas se utilizaron recipientes plásticos esterilizados con tapas tipo rosca con volúmenes variantes entre 500 mL y 2000 mL, cada uno de los recipientes fue abierto exclusivamente en momento de tomar la muestra, en algunos se realizó la homogenización del recipiente tres veces con el agua dl cauce antes de tomar la muestra definitiva, para la toma dela muestra definitiva se colocó la boca del recipiente den dirección contraria a la corriente ya que el cauce presentan una gran corriente en sus aguas y de esta manera se evitó introducir bacterias o contaminantes procedentes de los dedos o la mano.

Para garantizar la conservación de las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas de las muestras se realizó una refrigeración con la ayuda de las baterías de gel que el laboratorio suministro las cuales garantizaron mantener las muestras a mínimo 10° menos que la temperatura registrada en el cauce la cual fue de 26 y 27 grados respectivamente en cada sitio de muestreo y fueron entregadas antes de las 24 horas siguientes al laboratorio con una temperatura inferior a los 20 °C en una nevera de icopor y con los recipientes debidamente etiquetados, así mismo se entregó un formulario con características del entorno del cauce.

Tabla 9

Recipientes y cantidades de las muestras para análisis de laboratorio

Recipientes utilizados para toma de muestras físico – químicas.	1mer sitio de muestreo	2do sitio de muestreo	Total del agua colectada
Recipiente plástico boca ancha tapa verde de rosca 500 ml	1	1	1000 ml – 1 l
Recipiente plástico tapa azul de rosca 1000 ml	1	1	2000 ml - 2 l
Recipiente plástico 2000 ml	1	1	4000 ml – 4 l
Recipiente winkler 200ml	1	1	400 ml – 0,8 l
Total litros en los dos puntos de muestreo			7400 ml – 7,4 l

Fuente: Investigador del proyecto con información suministrada por laboratorio Analizar LTDA.

3.4.4.5. Métodos y Procedimientos para la toma de Muestras Para Análisis

Microbiológico de agua en bolsa.

- Se utilizaron los EPP (guantes de látex, máscara o tapa boca y gorro) para evitar contaminar la muestra.
- Se realizó con marcador permanente y cinta de enmascarar el rotulo de identificación en el centro de la bolsa.
- Una vez en el sitio de muestreo se rompió la parte superior de la bolsa a lo largo de la línea de perforación-
- Ya en el cauce se usaron las lengüetas que trae la bolsa en cada lado para abrirla, tomando así una muestra puntual en donde se dejó un espacio de 2,5 cm en la parte superior de la bolsa para poder cerrar la bolsa.
- Una vez se tomó la muestra de agua se procedió a halar y sujetar los extremos de los alambres, luego se le dio tres vueltas completas a la bolsa sobre sí misma y para finalizar se le doblaron los extremos del alambre sobre la bolsa para completar el cerrado de la bolsa, inmediatamente fue refrigerada en la nevera de icopor y transportada hasta el respectivo laboratorio.

3.4.4.6. Métodos para preservación de la Muestra Etiquetado y Transporte.

Se utilizaron tres placas de gel congeladas, y depositadas en una nevera de icopor con las muestras, las placas de gel se colocaron por 24 horas en congelación ya que deben ser refrigeradas conforme el tiempo máximo que demore el traslado de las muestras hasta el laboratorio, manteniendo una cadena de frío en las muestras de mínimo 10°C menos que la que presentaron las muestras a la hora de su recolección, con el fin de inhibir procesos naturales producidos en presencia de altas temperatura como por ejemplo el proceso de fermentación.

Cabe aclarar que en campo las muestras fueron refrigeradas con dos placas de gel y puestas en sitios con sombra para evitar el aumento de la temperatura dentro de la nevera de icopor. Para prevenir filtraciones en las muestras tomadas con los frascos winkler se envolvió la parte superior del recipiente con cinta de enmascarar y cinta transparente. En la ficha de campo se recolecto la siguiente información para cada sitio de muestreo: fecha de toma, hora de inicio y final, municipio, dirección, coordenadas, origen, tipo de tratamiento, tipo de muestra,

temperatura ambiente, temperatura del cauce, profundidad de la lámina de agua presente nombre del muestreador, nombre de quien presencio.

Para analizar el Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA) en la parte media y baja de la Quebrada La Cristalina se decide realizar un análisis en laboratorio ya que la sonda no nos proporciona la información suficiente para determinar el (ICA). Este análisis de laboratorio se realizó en el mes de febrero de 2018 en donde se presentaron pocas precipitaciones ya que la zona de estudio presento un fuerte periodo de verano.

El ICA califica la calidad del agua de una corriente superficial teniendo en cuenta las mediciones registradas para un conjunto de cinco (5) o seis (6) variables, para el caso de la Quebrada La Cristalina se tuvieron en cuenta 5 variables tomadas en las estaciones de monitoreo localizadas en la parte media y baja del cauce el día 25 de febrero del 2018.

Para realizar el análisis del ICA se compararon los valores de las cinco variables obtenidas en ambas zonas de estudio (parte media y baja), con los establecidos en la tabla de interpretación según lo plantea (IDEAM G. Y., 2005 -2011); con la finalidad de clasificar la calidad del agua descriptivamente en buena, aceptable, regular, mala ó muy mal,) asociado a su vez a un determinado color (azul, verde, amarillo, naranja y rojo, respectivamente), se aplica esta clasificación con el fin de simplificar la interpretación, la identificación de tendencias (deterioro, estabilidad o recuperación) y la toma de decisiones por cuenta de las diferentes autoridades (*Comunidad Andina de Naciones (CAN) 2004*).

En la siguiente tabla se resumen las variables involucradas en el cálculo del indicador ICA para el caso en el que se emplean 5 variables, también se muestra la unidad de medida de registro para cada variable y la ponderación que tienen dentro de la fórmula de cálculo.

Tabla 10

Variable que están involucradas en el cálculo del indicador ICA

#	Variable	Unidad de medida	Ponderación
1	Oxígeno disuelto, OD.	% Saturación	0,2
2	Sólidos suspendidos totales, SST.	mg/l	0,2
3	pH	Unidades de pH	0,2
4	Demanda química de oxígeno, DQO.	mg/l	0,2
5	Conductividad eléctrica, C.E.	μS/cm	0,2

Fuente: Adaptado de (El formato común hoja metodológica del IDEAM para determinar el ICA pag. 3 (2011)).

4. Análisis y Discusión de Resultados

4.1 FASE 1. Diagnóstico de los componentes biofísicos de la microcuenca Quebrada La Cristalina necesarios para realizar el ejercicio de la modelación de la escorrentía superficial.

A continuación se presenta la caracterización del componente biofísico de la microcuenca Quebrada la Cristalina.

4.1.1. Parámetros morfométricos.

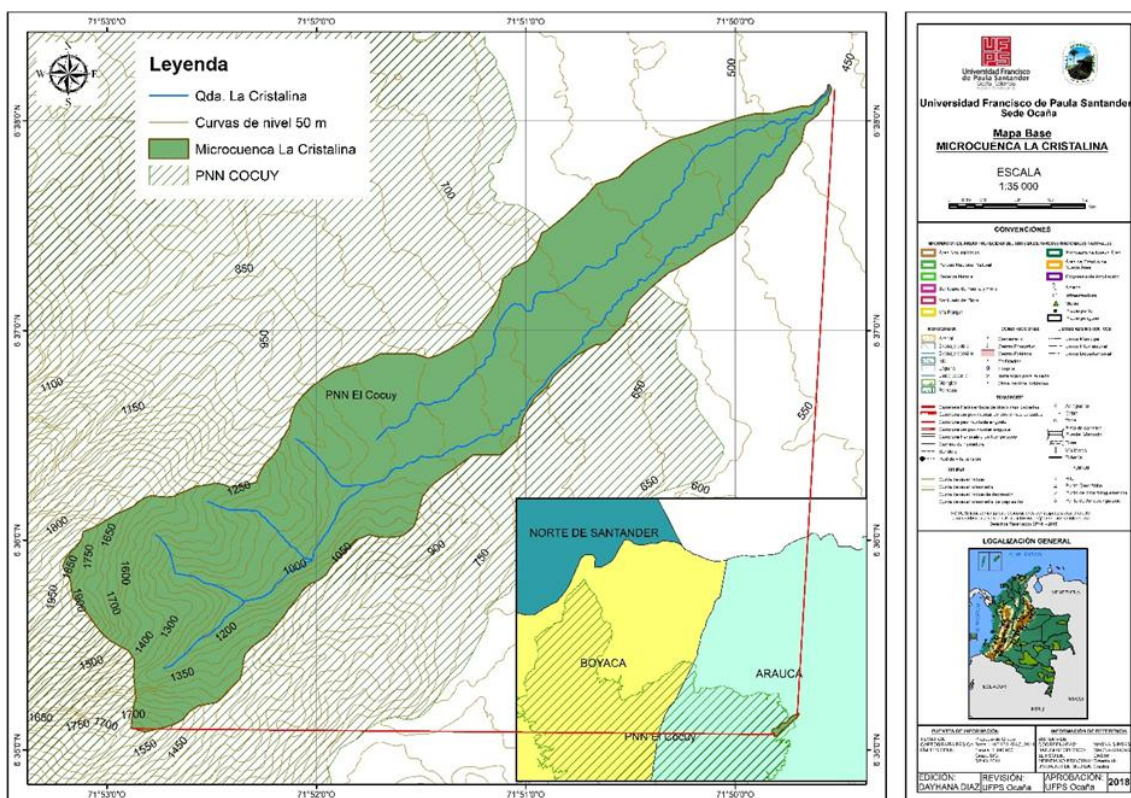


Figura 6. Mapa base microcuenca la Cristalina. **Fuente.** Autor del proyecto.

En el mapa se puede observar que más del 60% del área de la zona hidrológica de la quebrada la cristalina se encuentra dentro del área protegida del PNN EL Cocuy, así mismo se en detalla que el PNN El Cocuy está comprendido por áreas de los departamentos de Boyacá, Casanare y Arauca. La quebrada la cristalina se encuentra ubicada en el municipio de Tame-Arauca entre las veredas de Malvinas y aguas clara.

4.1.1.1. Aspectos Lineales.

4.1.1.1.1 Perímetro.

El perímetro de la microcuenca Quebrada La cristalina es de 19.2740 km, el cual se determinó con la ayuda de Google Earth Pro.

4.1.1.1.2 Longitud axial.

La distancia entre la desembocadura y el punto más lejano sobre el eje de la microcuenca medido en línea recta es de 8.3382 km.

4.1.1.1.3 Longitud de los cauces.

Tabla 11

Longitud de los cauces

Total de cauces	5
Distancia mínima	0.7926
Distancia máxima	8.6385
Promedio	3.3991
Total distancia de cauces	16.9955

Fuente: Autor del proyecto.

4.1.1.1.4 Longitud máxima (Lm).

Es la distancia que recorre una gota de agua desde el punto más lejano hasta la desembocadura siguiendo el cauce principal de la microcuenca el cual es de 9.43564 km.

4.1.1.1.5 Numero de Orden de la Cuenca (Horton).

Tabla 12

Numero de orden de la cuenca

ORDEN	N° CAUCES
1	5
2	1

Fuente: Autor del proyecto

El número total de cauces de todos los órdenes según el método de Horton es 6 y el orden del cauce principal es 2.

4.1.1.1.6. Razón de Bifurcación.

Tabla 13

Razón de bifurcación

ORDEN	N° CAUCES	RAZON BIFURCACION
1	5	5
2	1	0

Fuente: Autor del proyecto.

Razón de bifurcación promedio es de 5, se caracterizan por tener picos elevados en el hidrograma, rápida recepción y carga elevada y arrastre de sólidos fundamentalmente del lecho (Londoño, 2001).

4.1.1.1.7. Longitud Media de los Cauces.

Tabla 14

Longitud media de los cauces

ORDEN	N° CAUCES	LONGITUD (km)	LONGITUD MEDIA
1	5	9.2983	1.8597
2	1	7.6971	7.6971
TOTAL	5	16.9955	

Fuente: Autor del proyecto

Se obtienen que para la microcuenca quebrada la cristalina que para el número de cauces de orden 1 la longitud media de estos es de 1.8597 Km, y la longitud media para los cauces de orden 2 es de 7.6971 Km.

4.1.1.2. Aspectos del Área.

4.1.1.2.1. Área de la Cuenca.

Teniendo en cuenta El Inventario de Cuencas Hidrográficas de Colombia (IDEAM 1998), considera como microcuencas, todas aquellas con superficie inferior a 10 kilómetros cuadrados, la hoya en estudio quebrada La Cristalina tiene posee una superficie aproximadamente de 8.7244 Km² por lo cual se considera una MICROCUENCA. Cabe destacar que el 80% del agua potable que se consume en el país provienen de las microcuencas, y de su disponibilidad depende el desarrollo de la mayoría de los municipios de Colombia (Londoño, 2001). Teniendo en cuenta la clasificación de Vidal, R. (1988), el límite inferior definido para una cuenca es mayor de 130

kilómetros cuadrados, así se logra determinar que la microcuenca quebrada la cristalina está dentro de la clasificación de una cuenca pequeña.

En la figura 7 se resumen algunas características hidrológicas de las cuencas pequeñas (torrentes) y grandes. Este límite es relativo, en razón de que puede variar de acuerdo con las características que presente la cuenca (Londoño, 2001).

Procesos	Cuenca pequeña	Cuenca grande
Factor dominante en los caudales de crecida.	Escorrimento superficial en las vertientes.	Escorrentía en el cauce.
Sensibilidad.	a) A lluvias de alta intensidad y corta duración. b) Uso de la tierra (manejo de la tierra).	La sensibilidad a estos factores es suprimida por el efecto de almacenamiento en el valle.
Efecto del escurrimiento.	El efecto del escurrimiento superficial en las vertientes predomina en los picos de crecida. De ahí la importancia del uso de la tierra y manejo de las vertientes en general.	El efecto del almacenamiento en el valle determina las características del pico de crecida.
Crecidas e inundaciones.	Súbitas y violentas.	Lentas y de larga duración.
Arrastre de material.	Arrastre de gran cantidad de sedimentos, con alto porcentaje de material de gran diámetro.	Arrastre moderado de material, de baja granulometría.
Caudal de estiaje.	Reducido o nulo.	Regular, régimen hídrico permanente.
Pendiente media.	Pronunciada.	Suave.
Tamaño.	Menor de 130 Km ² .	Mayor de 130 Km ² .

Figura 7. Características hidrológicas de las cuencas pequeñas y grandes **Fuente:** Vidal, R. (1988) y (Londoño, 2001).

4.1.1.2.2. Ancho promedio.

$$Ap = \frac{8.7244}{8.3382} = 1.0463$$

El ancho promedio de la microcuenca quebrada la cristalina es de 1,0463 km

4.1.1.2.3. Forma de la cuenca.

- Factor de forma de Horton.

El valor máximo que se puede obtener del factor de forma es 0,7854 para una cuenca completamente circular y, a medida que la cuenca se hace más alargada, el valor tiende a cero (Londoño, 2001). De acuerdo con lo enunciado anteriormente y el resultado obtenido del factor de forma igual a 0.1255 permite inferir que la microcuenca es de forma rectangular alargada.

$$Rf = \frac{8.7244}{8.3382^2} = 0.1255$$

Las cuencas de forma alargada poseen tiempos de concentración diferentes para casi todos los puntos de la cuenca, por lo que las aguas fluirán gradualmente hacia el cauce principal. De esta manera, el cauce principal tendrá mayor oportunidad para descargar su caudal, antes de recibir las aguas llovidas en los puntos más distantes y, por lo tanto, las variaciones del caudal serán menos amplias y rápidas, disminuyéndose el riesgo de desbordamiento e inundación en las zonas de deposición de la cuenca hidrográfica (Londoño, 2001).

➤ Razón circular de Miller.

Esta razón es menor o igual a uno (1); los valores disminuyen a medida que la cuenca es más alargada o rectangular, y en cuencas redondas la unidades aumenta (Londoño, 2001).

Con la siguiente ecuación se determinó la razón de circularidad de Miller.

$$Rc = \frac{8.7244}{29.5620} = 0.2957 \quad r = \frac{19.2740}{2\pi} = 3.0675 \quad Ac = \pi(3.0675)^2 = 29.5620$$

Según la clasificación de razón circular de Miller las cuencas con un Rc menores a 0.4 son de forma muy alargada por ende la microcuenca pertenece a esta categoría ya que presenta una Rc de 0,2957.

➤ Razón de elongación de Schum (RE).

El valor máximo que se puede obtener de esta razón es uno (1), para cuencas perfectamente redondas, y tiende a cero, a medida que la cuenca es alargada y estrecha (Londoño, 2001).

$$Re = 1.1284 \frac{\sqrt{8.7244}}{8.3382} = 0.3542$$

Por la razón de elongación de Schum indica que la microcuenca es rectangular alargada con tendencia a ser estrecha ya que su valor de Re se aleja de 1.

- Coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc).

Los valores de este coeficiente nunca serán inferiores a uno (1) (Londoño, 2001).

$$Kc = 0.2821 \frac{19.2740}{\sqrt{8.7244}} = 1.84$$

Tabla 15

Clasificación de coeficiente de compacidad (Kc)

Valores de Kc	Forma	Características
1.00 - 1.25	Compacta o redonda a oval redonda	Cuenca torrencial
1.25 - 1.50	Oval redonda a oval oblonga	Presenta peligros torrenciales, pero no iguales a la anterior
1.50 - 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga	Son las cuencas que tienen menos torrencialidad

Fuente: (Londoño, 2001)

El valor de Re en la microcuenca es de 1.84, el cual se encuentra por encima de la clasificación final, lo que quiere decir que es de forma muy rectangular oblonga, con características de tener baja torrencialidad ya que a medida que el coeficiente de compacidad tiende a la unidad esta aumenta y así mismo el tiempo de concentración se hace menor (Londoño, 2001), por tanto la microcuenca posee un tiempo de concentración de mayor retardando a la hora de acumular las aguas hasta pasar por su punto de desagüe.

- Índice de alargamiento (Ia)

$$Ia = \frac{8.3382}{1.8874} = 4.4178$$

Como el índice toma valores por encima de la unidad, la microcuenca tiende a buscar una forma rectangular y adicionalmente permite inferir que las confluencias están moderadamente alejadas unas de otras y el cauce principal es largo.

➤ Índice de homogeneidad (Ih)

Este índice complementa el resultado del análisis que se deduce por el índice de alargamiento. $Ih = \frac{8.7244}{8.3382 \cdot 1.8874} = 0.5544$

➤ Índice asimétrico (IA)

El índice asimétrico evalúa la homogeneidad, en la distribución de la red de drenaje.

$$IA = \frac{6.8873}{1.8371} = 3.7490$$

Para la microcuenca el índice asimétrico, cuenta con mayor distribución de red de drenajes hacia el costado norte de la microcuenca. Según este índice se considera que el cauce principal se encuentra recostado hacia la vertiente derecha aguas abajo.

➤ Densidad de drenaje (D)

$$D = \frac{16.9955}{8.7244} = 1.9480 \text{ Km/Km}^2$$

Tabla 16

Caracterización de la densidad

DENSIDAD (Km / Km ²)	CARACTERISTICAS
Baja densidad ≤ 1	Zonas de alta resistencia a la erosión, alta permeabilidad del suelo, densa vegetación, relieve suave de 12 al 12%
Media densidad 1 - 3	Se presenta en zonas de media resistencia, baja permeabilidad, susceptible a erosión por cobertura vegetal escasa, material de arrastre sólido, relieve ligeramente inclinado.
Alta densidad > 3	Se presenta en suelos de baja resistencia a la erosión, baja capacidad de infiltración, poca permeabilidad, arrastre de material sólido, baja capacidad de almacenamiento e infiltración, relieve abrupto, escasa cobertura vegetal y rápida concentración de escurrimiento.

Fuente: (Londoño, 2001)

La microcuenca quebrada la cristalina tiene un valor de 1.9480 lo que corresponde a una clasificación de mediana densidad de drenaje la cual se presenta en zonas de media resistencia, baja permeabilidad, susceptible a erosión por cobertura vegetal escasa, material de arrastre

sólido, relieve ligeramente inclinado. Lo cual indican que la microcuenca posee un escurrimiento y erosión moderada.

En la cabecera de la microcuenca las condiciones de pendiente son grandes, dichos valores elevados de la densidad de drenaje indican torrencialidad, caudales mínimos muy reducidos y, posiblemente, falta temporal de escurrimiento superficial. A grandes valores de densidad de la red hidrográfica, corresponden velocidades mayores de desplazamiento de las aguas y un mejor drenaje, lo que se refleja en valores mayores de caudales máximos, subidas rápidas y duraciones totales de las avenidas, generalmente más reducidas (Londoño, 2001).

Observando la distribución de la red de drenaje de la microcuenca quebrada la cristalina se determina que corresponde a un tipo dendrítico el cual corresponde al grupo del patrón de drenaje de tipo erosional.

El patrón de drenaje dendrítico es el que más frecuentemente se presenta, y se caracteriza por mostrar una ramificación arborescente en la que los tributarios se unen a la corriente principal formando ángulos agudos. Se desarrolla en suelos homogéneos, moderadamente permeables, con pendientes suaves y sin ningún tipo de control. Se presenta, con frecuencia, en zonas de rocas sedimentarias blandas, aluviones finos, tobas volcánicas, depósitos de till glacial (brecha consolidada o roca sedimentaria, cuyos materiales de partida se han formado por fenómenos glaciares), principalmente (Londoño, 2001).

- Constante de mantenimiento de los cauces (C)

$$C = \frac{1}{1.9480} = 0.5133 \text{ Km}^2/\text{Km}$$

Teniendo en cuenta el valor de la CM de los cauces son necesarios 0.5133 Km^2 de área para abastecer hidrológicamente un Km de cauce.

- Frecuencia de cauces (F)

$$F = \frac{5}{8.7244} = 0.5731$$

➤ Textura de drenaje.

Teniendo en cuenta la estrecha relación existente entre la textura y la densidad de drenaje, se ha optado por relacionar las calificaciones de textura de drenaje con la escala de valores asignada a la densidad de drenaje, como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 17

Textura según la densidad que presente un cauce

DENSIDAD DEL CAUCE	TEXTURA DE DRENAJE
Menor a 1,5 Km/Km ²	Gruesa
Entre 1,5 y 3,0 Km/Km ²	Media
Mayor de 3,0 Km/Km ²	Fina

Fuente: (Londoño, 2001)

Teniendo en cuenta la clasificación de la tabla número 17 y el valor obtenido para la densidad de drenaje para la microcuenca quebrada la cristalina se logra inferir que la textura del drenaje para el cauce es una textura media ya que su valor se encuentra en el rango entre 1,5 y 3,0 Km/ Km².

4.1.1.3. Aspectos del relieve.

4.1.1.3.1. Gradientes del cauce.

En la parte superior del cauce de la quebrada la cristalina el desnivel es alto por tanto la velocidad que alcanza las aguas genera actividad erosiva, en la parte media del cauce se transporta gran parte de dicho material erosionado, que luego se deposita en el curso inferior en donde la velocidad de la corriente y el desnivel del cauce es bajo, hasta el punto que el río deja de transportar materiales sedimentarios (Londoño, 2001).

➤ Perfil longitudinal del cauce.

En el perfil longitudinal del cauce principal podemos apreciar que la parte alta del cauce principal de la quebrada la cristalina posee una mayor pendiente con zonas localizadas sobre los 1000 msnm lo que deja inferir que la velocidad de sus aguas será mayor que la de ríos que presenten pendientes menores. Así mismo podemos apreciar que la altura media del cauce es de

aproximadamente 710msnm y la pendiente media es de 9.3 %, todos estos valores se pudieron conocer gracias a las herramientas que posee el programa de Google Earth Pro.

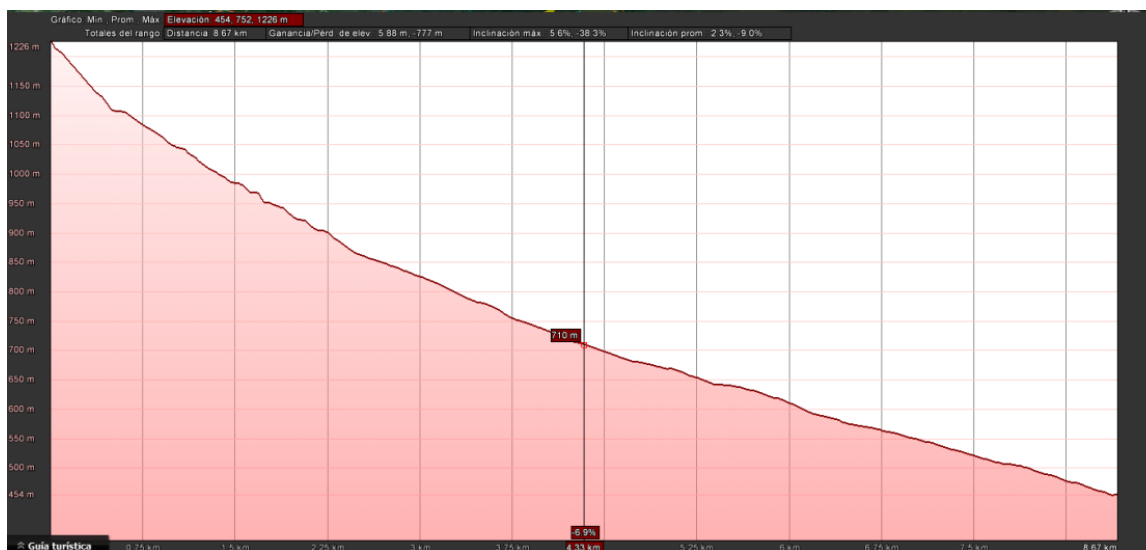


Figura 8. Perfil longitudinal del cauce microcuenca quebrada La Cristalina. **Fuente:** Tomado de Google Earth Pro.

➤ Pendiente media del cauce.

Generalmente, cuencas con pendientes altas en el cauce principal tienden a tener hidrógramas con picos más pronunciados y más cortas que cuencas con pendientes menores. (Yepes) En este sentido, una corriente con pendientes pronunciadas tendrá siempre aguas mejor oxigenadas y mineralizadas, debido a la mayor turbulencia y la mayor capacidad de erosión y transporte de sedimentos (Londoño, 2001).

➤ Método de valores extremos.

$$Pm = \frac{1227 - 454}{8.6385 * 1000} * 100 = 8.9483\%$$

Para el cálculo de la pendiente media del cauce principal según este método se logra obtener que la pendiente es de 8.9483%.

- Método de Taylor y Schwarz.

Tabla 18

Pendiente media del cauce principal por el Método de Taylor y Schwarz.

PENDIENTE MIN	PENDIENTE MAX	PENDIENTE PROM	LONGITUD DE CAUCE (m)	PENDIENTE TAYLOR
0	3	1.5	297.356	364.185
3	7	5	1114.120	2491.247
7	12	9.5	2473.754	7624.622
12	20	16	2858.637	11434.550
20	35	27.5	1505.794	7896.449
35	50	42.5	261.611	1705.494
50	70	60	131.714	1020.250
Total general			8642.985	32536.798

Fuente: Autor del proyecto

$$P_m = \left(\frac{35536,80}{8642,99} \right)^2 = 14.1717\%$$

El valor obtenido para la pendiente media del cauce según este método es de 14.17% siendo mayor que el obtenido por el método de valores extremos y el observado en el perfil longitudinal del cauce, sin embargo este valor se ajusta más a la pendiente real del cauce principal, debido a que tiene en cuenta los valores de pendiente y se pondera por la longitud de cada pendiente.

4.1.1.3.2. Gradientes de la superficie de la cuenca.

- Pendiente media superficial método índice de pendiente.

Tabla 19

Datos para hallar la pendiente media superficial por el método índice de pendiente

COTA	LONGITUD	ALTURA EQUIDISTANTE	L*E
500	591.21	44	26013.26
550	1198.08	50	59904.19
600	1406.28	50	70314.03
650	1377.43	50	68871.38
700	1241.56	50	62077.88
750	1440.84	50	72042.14
800	1303.33	50	65166.55

850	1907.28	50	95364.02
900	2453.43	50	122671.64
950	3240.81	50	162040.73
1000	3833.10	50	191655.24
1050	3761.46	50	188073.08
1100	3627.13	50	181356.62
1150	4120.96	50	206047.83
1200	4365.23	50	218261.60
1250	4559.89	50	227994.35
1300	4276.15	50	213807.47
1350	3776.53	50	188826.64
1400	3282.14	50	164106.84
1450	2623.10	50	131154.94
1500	2290.64	50	114531.96
1550	2115.28	50	105763.80
1600	1929.40	50	96469.82
1650	1332.56	50	66627.91
1650	308.95	50	15447.74
1700	1262.17	50	63108.42
1700	168.83	50	8441.67
1750	1221.49	50	61074.40
1800	1097.98	50	54899.17
1850	949.21	50	47460.54
1900	364.01	50	18200.35
1962	237.66	62	14735.05
TOTAL			3382511.28

Fuente: Autor del proyecto.

$$Ph = \frac{3382511.28}{87244} = 38.77$$

➤ Pendiente media superficial (PS).

Tabla 20

Pendiente media superficial

Pendiente %	Área km ²	Pendiente promedio
12.636	5.091	64.325
52.895	1.980	104.748
82.772	1.111	91.928
116.760	0.501	58.544

166.998	0.047	7.906
218.807	0.009	1.949
274.352	0.004	1.072
322.746	0.002	0.555
365.932	0.001	0.229
Total	8.745	331.256

Fuente: Autor del proyecto

$$P_s = \frac{331.26}{8.7244} = 37.969\%$$

Tabla 21

Clasificación del relieve según la pendiente media

Pm	Relieve	Símbolo
0 – 3	Plano	P1
3 – 7	Suave	P2
7 – 12	Mediano	P3
12 – 20	Ondulado	P4
20 – 35	Medianamente ondulado	P5
35 – 50	Fuertemente ondulado	P6
50 – 75	Muy fuertemente ondulado	P7
>75	Escarpado	P8

Fuente: (Londoño, 2001).

La pendiente calculada con los métodos de índice de pendiente y pendiente media superficial para la microcuenca se encuentra en el rango de 35 a 50, lo que indica que tiene un relieve fuertemente ondulado, es decir que a partir de este valor la relación entre el crecimiento de la pendiente media y la velocidad es mayor aumentando la escorrentía superficial, provocando la disminución en la infiltración, así mismo aumenta los picos de las avenidas, y la capacidad de erosión (Londoño, 2001).

En el mapa se puede observar que la parte alta de la microcuenca se encuentra conformada en su mayoría por pendientes mayores al 70% y en la parte baja predominan pendientes menores al 30%. Así mismo, podemos inferir que el uso actual del suelo es adecuado en toda la zona hidrológica en estudio, dado a que en la parte baja el uso real del suelo es productor y encontramos actualmente la presencia de actividades de ganadería; mientras que en la parte media se encuentran el reguado indígena u'wa los cuales desarrollan sus actividades con impactos mínimos a la cuenca, lo que cumple con el uso real para esta zona, el cual es protectora productora y en la parte alta de la microcuenca se encuentra en estado de conservación lo que cumple con el uso de protección según la clasificación del IGAC 2010.

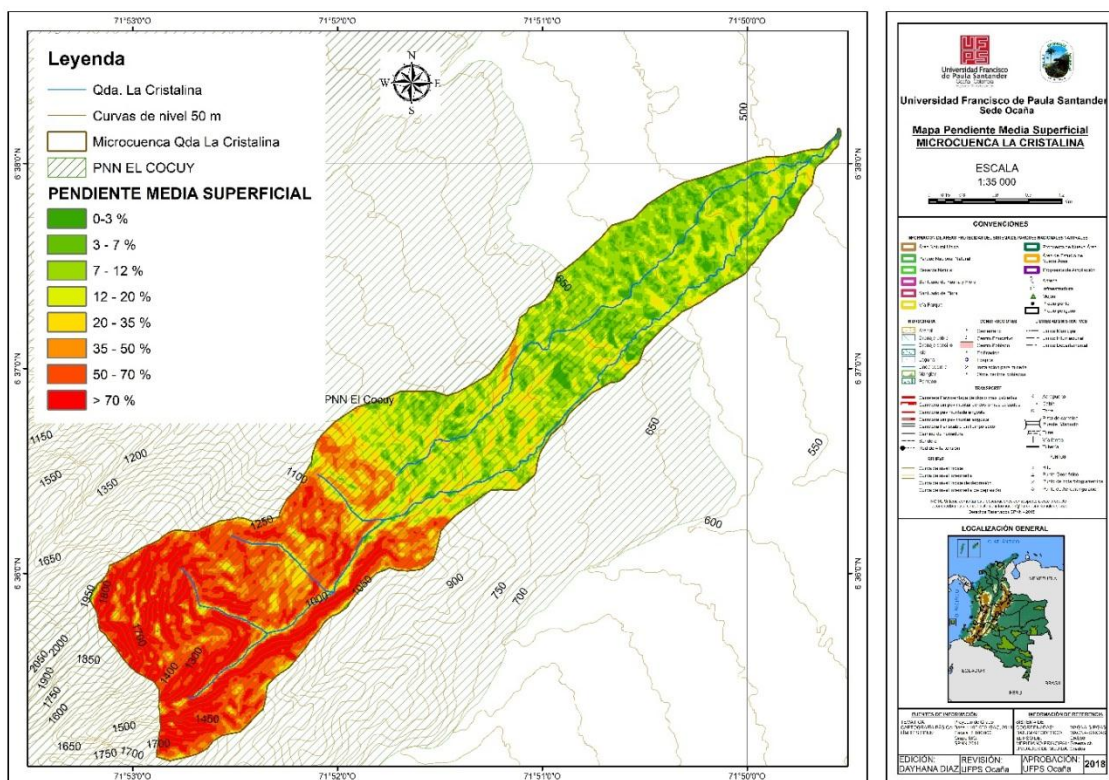


Figura 9. Mapa pendiente de la microcuenca quebrada la cristalina. Fuente: Autor, 2018.

4.1.1.4. Aspectos alitudinales de la cuenca.

4.1.1.4.1. Curva hipsométrica.

La curva hipsométrica permite caracterizar el relieve. Una pendiente fuerte en el origen hacia cotas inferiores indica llanuras o penillanuras, si la pendiente es muy fuerte hay peligro de inundación. Una pendiente muy débil en esa parte, revela un valle encajonado. Una pendiente fuerte hacia la parte media indica una meseta (Londoño, 2001).

Tabla 22*Información necesaria para construcción de la curva hipsométrica de la quebrada la cristalina*

Cota	Área en Ha	Área Ha		Área %	
		Sobre Cota	Bajo Cota	Sobre Cota	Bajo Cota
456	0.111	8.745	0.111	100.000	1.270
501	0.535	8.634	0.646	98.730	7.386
551	0.776	8.100	1.422	92.614	16.255
601	0.786	7.324	2.208	83.745	25.247
651	0.633	6.538	2.841	74.753	32.490
701	0.392	5.904	3.233	67.510	36.969
751	0.489	5.512	3.722	63.031	42.560
801	0.555	5.023	4.277	57.440	48.902
851	0.423	4.469	4.700	51.098	53.737
901	0.315	4.046	5.015	46.263	57.339
951	0.336	3.731	5.350	42.661	61.180
1001	0.318	3.395	5.669	38.820	64.819
1051	0.298	3.077	5.966	35.181	68.221
1101	0.314	2.779	6.280	31.779	71.809
1151	0.319	2.465	6.599	28.191	75.459
1201	0.307	2.146	6.906	24.541	78.964
1251	0.305	1.840	7.211	21.036	82.455
1301	0.272	1.534	7.483	17.545	85.560
1351	0.244	1.263	7.727	14.440	88.349
1401	0.177	1.019	7.904	11.651	90.374
1451	0.168	0.842	8.071	9.626	92.291
1501	0.123	0.674	8.194	7.709	93.693
1551	0.113	0.552	8.307	6.307	94.981
1601	0.107	0.439	8.414	5.019	96.207
1651	0.085	0.332	8.498	3.793	97.174
1701	0.080	0.247	8.578	2.826	98.087
1751	0.026	0.167	8.604	1.913	98.385
1766	0.066	0.141	8.670	1.615	99.139
1825	0.051	0.075	8.721	0.861	99.719
1893	0.018	0.025	8.738	0.281	99.920
1951	0.007	0.007	8.745	0.080	100.000

Fuente: Autor, 2018.

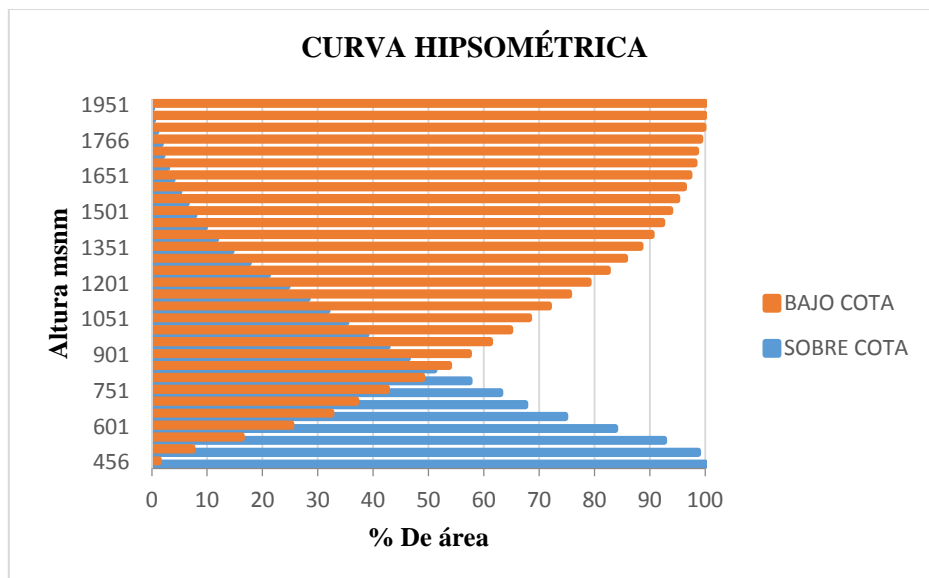


Figura 10. Curva hipsometrica de la microcuenca quebrada la cristalina. **Fuente:** Autor del proyecto, 2018.

En la curva hipsométrica se puede observar que la altura media para la zona hidrológica de la quebrada la cristalina es de 851msnm. Lo que indica que se pueden presentar diferencias climáticas, sí se compara la zona anterior a la altura media con su zona posterior.

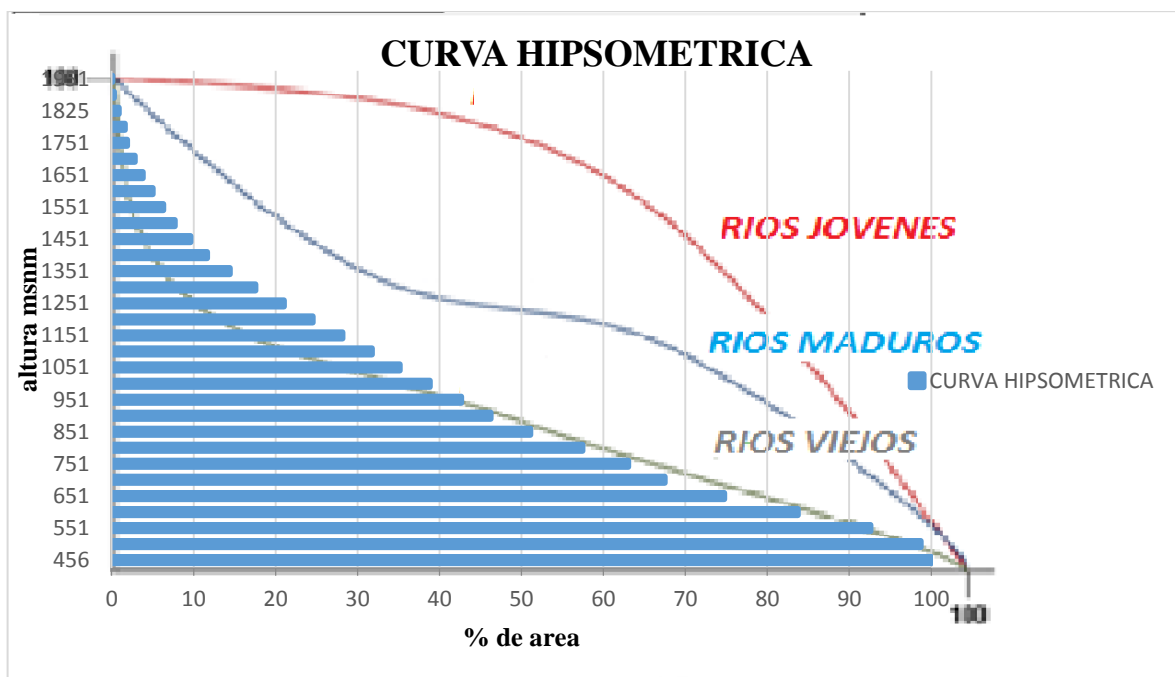


Figura 11. Curva hipsometrica según el tipo de río. **Fuente:** Autor del proyecto y (Anaya, 2012).

La curva hipsométrica muestra la edad del río según la forma que tome, para el caso de la quebrada la cristalina podemos observar que su forma pertenece a un río viejo. En la parte inicial de la curva se encuentra la zona donde predomina la producción de sedimentos y aguas o donde los ríos jóvenes. Posteriormente están las zonas donde predomina el transporte de agua y sedimentos, o donde los ríos maduros, y por último se localizan las zonas caracterizada por la deposición de sedimentos o ríos en etapa de vejez (llamas, 1993) (Anaya, 2012).

4.1.1.4.2. Altura media.

- Método de area- elevacion.

Tabla 23

Informacion necesaria para hallar altura media de la microcuenca de la quebrada la cristalina

Rango		Área	Promedio H	Área * H Promedio
H Min	H Max			
456	500	0.107	478	51.241
501	550	0.531	525.5	278.786
551	600	0.773	575.5	445.081
601	650	0.788	625.5	492.978
651	700	0.633	675.5	427.475
701	750	0.390	725.5	282.911
751	800	0.490	775.5	380.003
801	850	0.551	825.5	454.489
851	900	0.426	875.5	372.828
901	950	0.313	925.5	289.768
951	1000	0.337	975.5	329.185
1001	1050	0.317	1025.5	325.459
1051	1100	0.297	1075.5	319.333
1101	1150	0.315	1125.5	354.619
1151	1200	0.319	1175.5	374.934
1201	1250	0.305	1225.5	373.932
1251	1300	0.306	1275.5	390.770
1301	1350	0.271	1325.5	358.971
1351	1400	0.243	1375.5	334.930
1401	1450	0.179	1425.5	254.617
1451	1500	0.166	1475.5	245.502
1501	1550	0.124	1525.5	189.670
1551	1600	0.113	1575.5	177.356
1601	1650	0.108	1625.5	175.612

1651	1700	0.086	1675.5	143.362
1701	1750	0.080	1725.5	138.787
1751	1800	0.066	1775.5	117.640
1801	1850	0.052	1825.5	94.257
1851	1900	0.031	1875.5	58.710
1901	1950	0.008	1925.5	15.342
1951	1962	0.016	1956.5	30.620
Total suma		8.742		8279.170

Fuente: autor del proyecto

$$H = \frac{8279.17}{8.7244} = 948.97$$

Teniendo en cuenta que las precipitaciones son menores a alturas por encima de los 3000 msnm, donde se ubica el plafón promedio de las nubes, y mayores por debajo de esta altura, se puede inferir que las lluvias de la microcuenca quebrada la cristalinas son mayores que las de las cuencas de la zonas montañosas (Londoño, 2001), según los datos obtenidos con los métodos de curva hipsométrica y área elevación son 851 y 949 msnm respectivamente.

➤ Coeficiente de masividad (CM).

Cuencas con superficies grandes y bajos niveles de altura presentaran CM menores, Ya que el coeficiente de masividad crece a medida que aumenta la altura media de la cuenca, y disminuye su superficie.

$$Cm = \frac{3544.021 \text{ m}}{87.089 \text{ Km}^2} = 40.694 \text{ m/Km}^2$$

Para la quebrada la cristalina la cual es una cuenca muy pequeña, y montañosa en su parte media y alta, por tanto tiende a toma un valor grande (Londoño, 2001).

4.1.2. Aspectos generales de la microcuenca.

4.1.2.1. Clima.

Para determinar el tipo de clima en la microcuenca quebrada la cristalina se tuvieron en cuenta los datos de la estación meteorológica del IDEAM localizada en el municipio de Tame dada a que es la más cercana a la zona de estudio y que cuenta con un registro actualizados.

Tabla 24

Datos estaciones climatológica, hidrométrica y pluviométricas utilizadas

ESTACIÓN	CÓDIGO	MUNICIPIO	TIPO	COORDENADAS		ELEVACIÓN	AÑOS REGISTRADOS
				Latitud	Longitud		
Tame	36025010	Tame	Completa	0627 n	7144 w	0350 msnm	2005-2015
La Cristalina		Tame	Hidrométrica	6°37'35.19"n 71°50'3.17"o		547 msnm	Abril – julio 2017
Agroclimática Finca Mario Roa		Tame	Pluviométrica	6°38'6.40"n 71°50'29.60"o		548 msnm	Mayo – octubre 2017
Agroclimática Finca Lida Villamizar		Tame	Pluviométrica	6°36'55.10"n 71°49'54.70"o		560 msnm	Mayo – septiembre 2017

Fuente: Autor, 2018.

Régimen para el municipio de Tame es mono modal caracterizado por tener un periodo de lluvias entre los meses de abril a noviembre. Los datos fueron tomados por la estación meteorológica del IDEAM del municipio de Tame (Gonzalez, 2016).

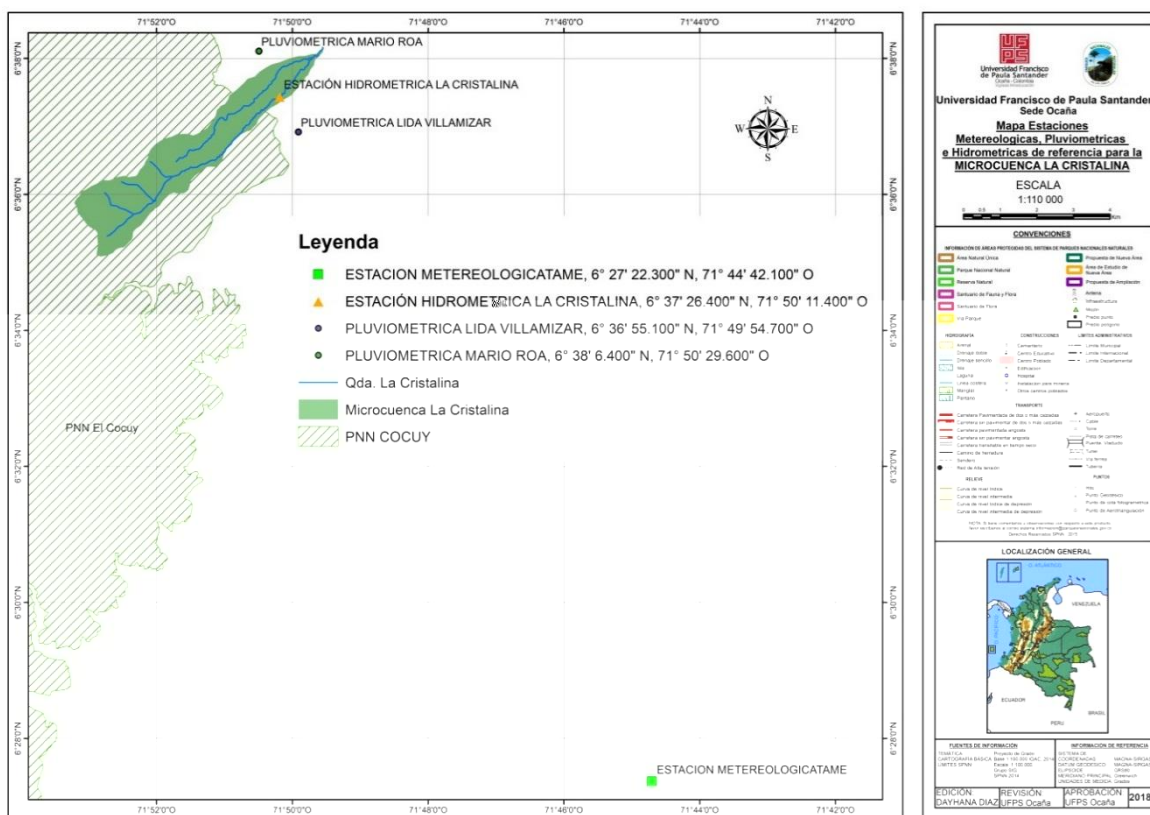


Figura 12. ubicación espacial de la estación utilizada para la obtención de datos. Fuente: Autor del proyecto.

La figura 12 muestra la ubicación espacial de la estacione utilizada para la obtención de datos, y por otra parte se aprecia la distancia de cada una con respecto a la zona de estudio, así mismo, se aclara que se tuvieron en cuenta estas estacione ya que eran las únicas disponibles en la zona de estudio y se cuentan con registro dato, por otro lado no fue posible instalar más pluviómetros, dado a que el acceso a la zona de estudio está restringida en ocasiones por grupos al margen de la ley y toma más de dos horas para llegar a este.

4.1.2.2. Temperatura.

Tabla 25

Datos históricos de temperatura media, máxima y mínima registrada para la década (2005-2015) en °C de la estación del municipio de Tame del IDEAM.

Años 2005 - 2015	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Ju	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic	V. P. An
Medios	26.7	26.8	26.8	26.5	26.4	26.1	26.1	26.2	26.3	26.5	26.5	26.6	26.5
Máximos	34	35.4	34	34	34	37.6	34	35	35	35.6	35.6	34.6	34.9
Mínimos	18	18	17.2	17	18	18	11.2	10	18	18	18	18	16.6

Fuente: (Gonzalez, 2016)

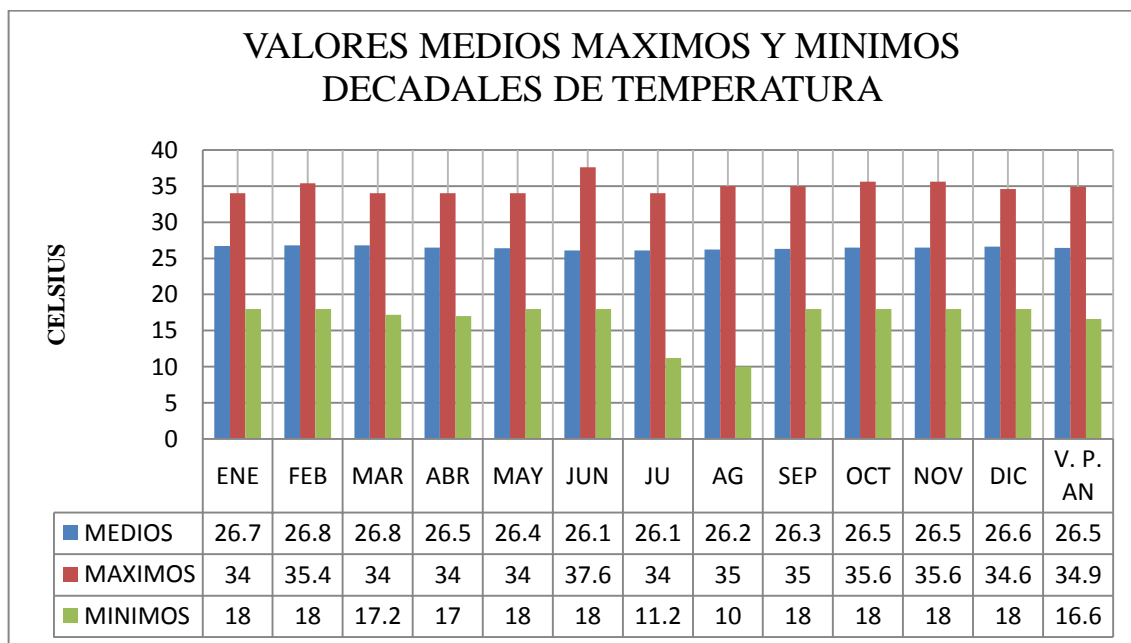


Figura 13. Temperatura registrada en la estación del IDEAM en el municipio de Tame. **Fuente:** autor del proyecto con información tomada de (Gonzalez, 2016)

En la figura 13 podemos observar que la temperatura media anual para la década registrada por la estación del IDEAM, fue de 26.5 °C en promedio para todos los meses del año, mientras que la temperatura máxima anual registrada en promedio para todos los meses fue 34.9 °C lo que significa una diferencia de 16.6°C con la temperatura promedio mínima anual registrada para todos los meses de la década. Así mismo podemos observar que el mes más caluroso registrado fue junio y el mes que registros la temperatura más fría fue el mes de agosto.

Por tanto tenemos una temperatura promedio de medios máximos y mínimas de 26.5°C, 34.9°C y 18.3°C respectivamente, lo que genera un promedio de temperatura de 26 °C para todos los días de la década desde el 2005 hasta el 2015, registrada por la estación de Tame del IDEAM.

Los datos medios mensuales son los que menos variaciones presentan siendo el mes de febrero con mayor temperatura y los meses de junio y julio los de menor temperatura que registraron en la década.

El mes que menor temperatura registró para la década fue el mes de agosto con una temperatura de 10 °C, mientras que el mes que mayor temperatura registro para la década fue junio lo que confirma que el mes en donde se presentan más cambios bruscos de temperatura.

Datos registrados de temperatura media para el periodo de mayo hasta octubre del 2017 en °C de las estaciones agroclimáticas, localizadas en las fincas de Mario Roa y Lida Villamizar, las cuales se pueden observar en la figura 12, para más información ver apéndice 7.

Tabla 26

Datos de la temperatura media, estaciones pluviométricas y del IDEAM

MAY - OCT	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	VR PERIODO
Mario Roa	23.1	24	23.3	24.1	24.7	24.5	24.0
Lida Villamizar	23.6	24.6	23.8	25.9	25.4		24.7
Estación Tame	26.4	26.1	26.1	26.2	26.3	26.5	26.3
Prom - Agrocli	23.4	24.3	23.6	25.0	25.1	24.5	24.3

Fuente: Autor, 2018.

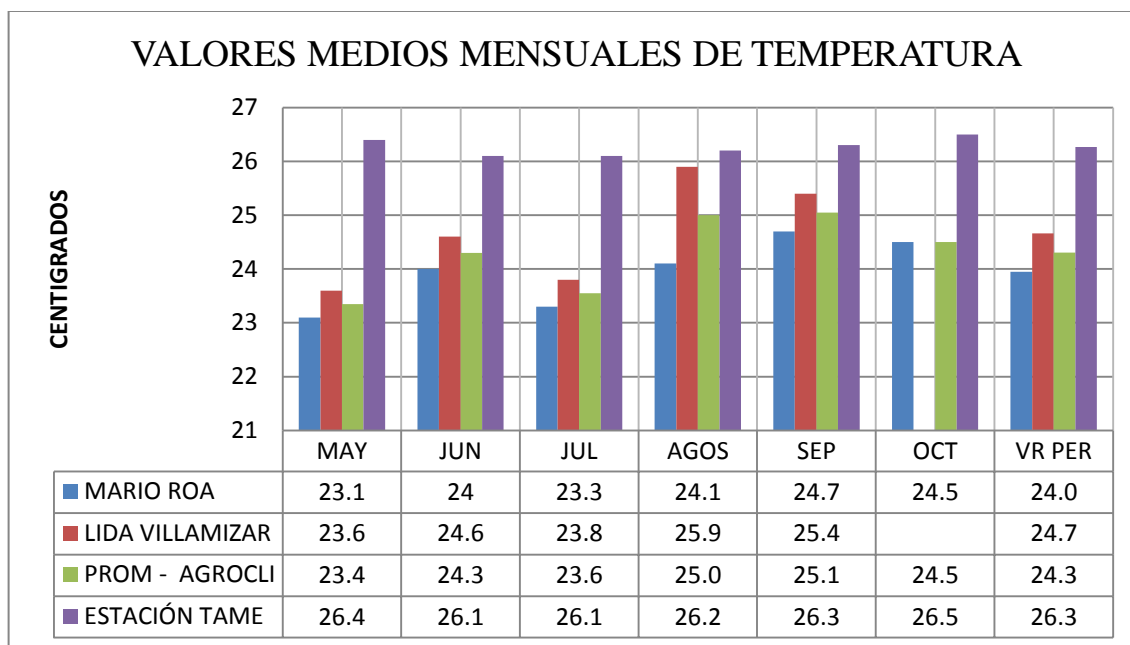


Figura 14. Comparación temperaturas registradas en la estaciones agroclimáticas versus datos generados por la estación del IDEAM en el municipio de Tame. **Fuente:** Autor, 2018.

Para determinar la temperatura de la zona se tomaron los datos registrados en las estaciones agroclimáticas (pluviométricas), las cuales se encuentran ubicadas a menos de 2 km del cauce principal de la microcuenca quebrada la cristalina, posteriormente se promediaron los datos que arrojaron estas estaciones. Y se comparó con la temperatura media anual registrada en la estación de Tame del IDEAM, para los meses desde mayo hasta octubre de la década de 2005 al 2015, con el fin de observar la variación de la temperatura de dicha estación con la zona de estudio.

Los datos tomados en la estaciones agroclimáticas registraron datos desde mayo 26 hasta octubre 31 para el caso de la finca de Mario Roa, mientras que los datos registrados en la finca de Lida Fernanda solo tomaron datos desde mayo 26 hasta septiembre 30. Teniendo en cuenta esta situación se decide comparar los datos de los meses registrados por las estaciones agroclimáticas del PNN el cocuy, con los datos registrados en los mismos meses por la estación de IDEAM en la década de 2005 al 2015.

Al comparar los datos del promedio de temperatura de las estaciones agroclimática del PNN el Cocuy, con los datos promedios de la década (2005 – 2015) del IDEAM, se pudo observar una diferencia de 2.3°C, y una diferencia de 1.6°C entre las estaciones (pluviométricas)

instaladas en las finca de Don Mario Roa y Doña Lida Fernanda Villamizar, cabe aclarar que se tomaron los datos registrados entre los meses de mayo y octubre en todas las estaciones.

4.1.2.3. Humedad relativa.

Tabla 27

Datos históricos medios mensuales de humedad relativa (%) de la estación de Tame – Arauca

Años 2005-2015	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic	V. P. Anl
Medios	83	83	82	85	85	85	86	86	86	86	85	84	84.7
Máximos	92	88	88	88	89	90	93	90	92	93	91	91	90.4
Mínimos	76	78	74	82	82	81	79	81	81	81	80	76	79.3

Fuente: (Gonzalez, 2016)

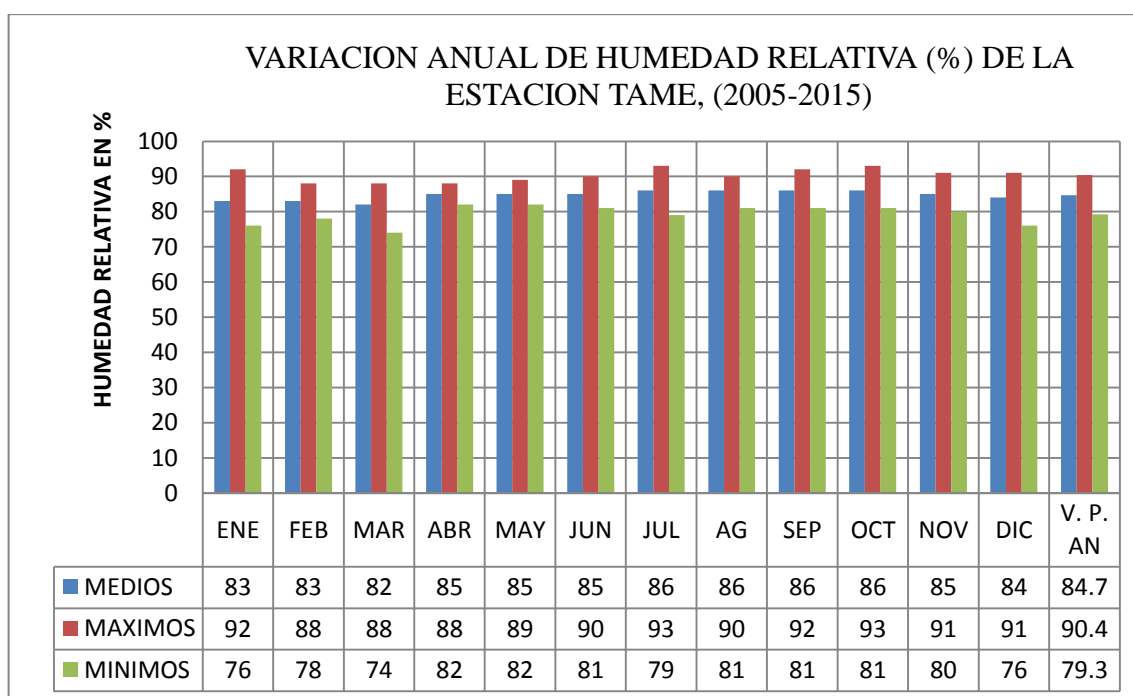


Figura 15. Variación anual de la humedad relativa (%) de la estación de Tame, 2005-2015. **Fuente:** (Gonzalez, 2016).

Anteriormente se muestran los datos históricos medios mensuales de humedad relativa en tanto por ciento registrados en la estación Tame del IDEAM EN el periodo desde el año 2005 hasta el año de 2015, en donde se observa que el promedio anual de humedad relativa es de

84.7%. Así mismo se aprecia que la humedad relativa oscila para todos los años de 74% al 93%, con una variación no mayor al 19% entre mes y mes de la década registrada.

4.1.2.4. Coberturas

Para el análisis de las coberturas presentes en el área de la zona hidrológica se tuvo en cuenta la clasificación de Corine Land Cover en donde se encontraron los siguientes tipos de coberturas (IDEAM, 2010)

Tabla 28

Coberturas según la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia.

Código	Leyenda	Área ha	% área
243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	32.28	3.70
31111	Bosque denso alto de tierra firme	736.57	84.43
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	103.59	11.87

Fuente: Autor, 2018.

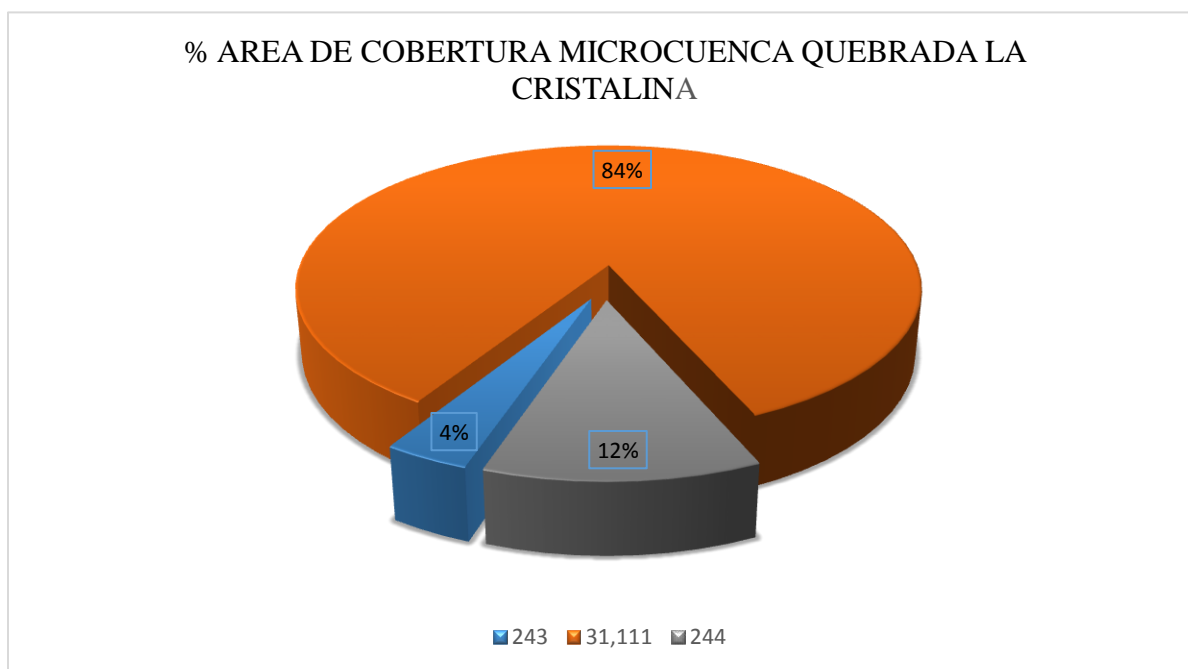


Figura 16. Porcentaje de cobertura vegetal presente en la microcuenca **Fuente:** Autor, 2018.

El área de mayor cobertura presente en la microcuenca quebrada la cristalina es de bosque denso alto de tierra firme, compuesto por un 84% del área total de la microcuenca. Así mismo, se encuentran relictos de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, en la parte media y baja

de la cuenca los cuales abarcan el 4% del área total de la microcuenca, y por último con un área de aproximadamente el 12% de la cuenca encontramos los mosaicos de pastos con espacios naturales

Con lo cual podemos concluir que gracias a buen porcentaje de bosques que presenta la microcuenca, genera un efecto de amortiguación sobre todo en las zonas de alta pendiente disminuyendo los procesos erosivos, disminuye los riesgos por avalanchas en eventos de máximas precipitaciones; también reduce el lavado de nutrientes en los suelos lo que contribuye a aumentar la capa de humus del suelo en la cual se encuentran los nutrientes esenciales para la vida vegetal.

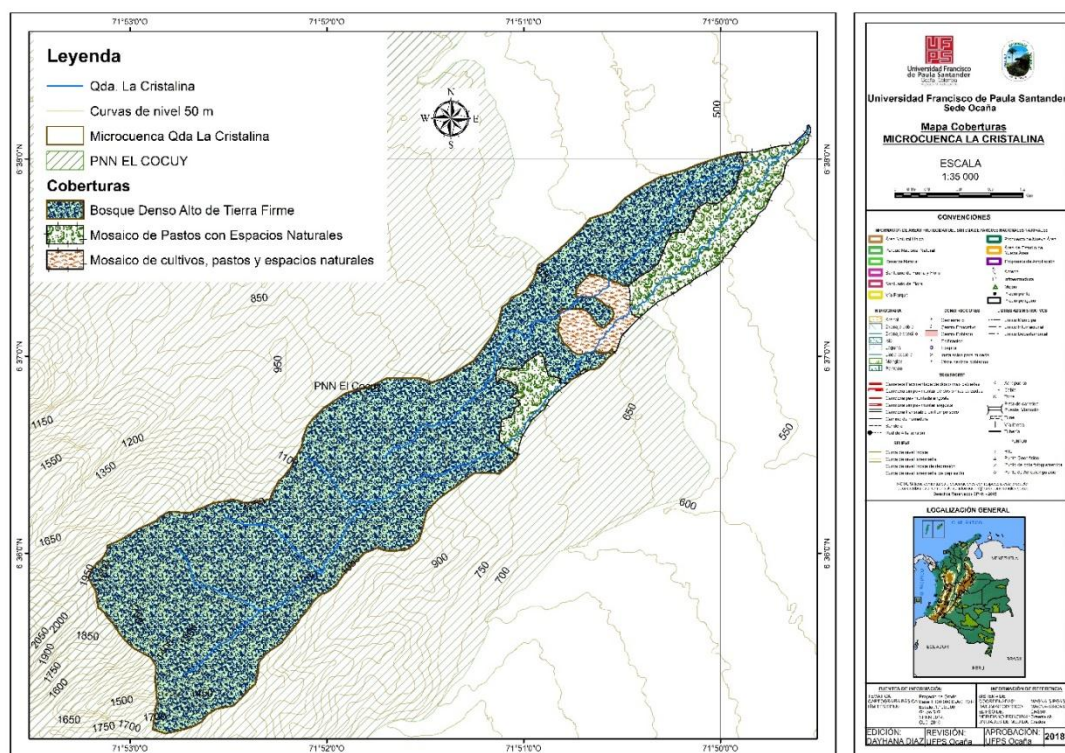


Figura 17. Mapa de coberturas de la microcuenca quebrada la cristalina. **Fuente:** Autor, 2018.

Observando el mapa se puede inferir que gracias al gran porcentaje de cobertura boscosa que comprende el área de la zona hidrológica de la quebrada la cristalina, se favorece la disminución de los procesos erosivos, el lavado de los nutrientes y el aumento de la capa de humus indispensable para la nutrición de las plantas.

4.1.2.5. Suelos de la microcuenca Quebrada La Cristalina.

Para la clasificación de los suelos de la quebrada la cristalina se tiene como referencia los datos de las asociaciones de suelos establecidas en plan básico de ordenamiento territorial del municipio de Tame.

Tabla 29

Tipos de suelos presentes en la microcuenca quebrada la cristalina

TIPO	DESCRIPCIÓN	ÁREA HA	ÁREA %
Lmef	A.S Loma	58.17	6.658
Ptabp	A.S Plata rica	122.85	14.063
Lpde2	A.S Lejanías	359.56	41.160
Sca	A.S Saravena	333.00	38.119

Fuente: Autor, 2018.

La microcuenca quebrada la cristalina presenta en su parte alta, suelos montañosos los cual están conformados por relieve escarpado, están presentes en clima cálido húmedo transicional a medio húmedo, hasta extremadamente frío y nival. En la microcuenca encontramos una de las cinco unidades cartográfica de suelos, conocida como la asociación loma (lm) al cual corresponde un área de 58.17 ha de la microcuenca y la integran suelos Lithic Dystrudepts y Typic Dystrudepts. Los cuales son el producto de la alteración de esquistos y areniscas. Estos suelos son muy superficiales y presentan restricciones para su uso debido a las pendientes fuertes, a las abundantes precipitaciones y a los procesos de escurrimiento difuso y concentrado (CORPORINOQUIA).

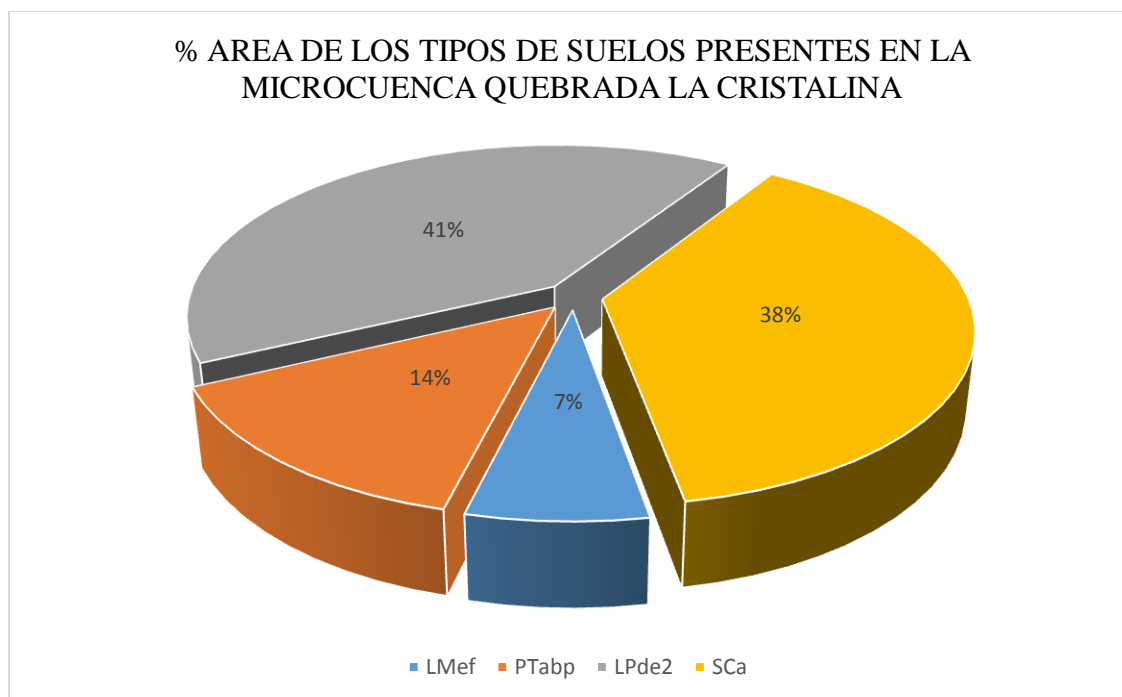


Figura 18. Porcentaje del área del microcuenca en estudio según su tipo de suelo. **Fuente:** Autor, 2018.

Mientras que los suelos de la parte media y baja de a microcuenca son característicos de piedemonte, los cuales se encuentran en un clima cálido húmedo. La microcuenca posee un área de 815,41 ha, que pertenecen a este tipo de suelos, este tipo de suelo se clasifica en cinco unidades cartográficas definidas, pero la microcuenca solo cuenta con tres de estas unidades las cuales son:

Primero, asociación Platarrica (PT) esta unidad abarca aproximadamente el 14% del área de la cuenca y la integra suelos Typic Udorthents, estos suelos se han desarrollado a partir de materiales detríticos, formados por cantos gruesos, gravillas y areniscas poco alteradas, envueltos en matriz arenosa, sus perfiles desarrollados son del tipo AC y ABC, los cuales son bien drenados, muy superficiales y moderadamente profundos, limitados por abundante pedregosidad tanto en la superficie como en la profundidad (CORPORINOQUIA).

Segundo, la asociación Saravena (SC). La cual abarca una extensión de más del 38% del área de la microcuenca, pero de los cuatro tipos de suelos que conforman esta unidad solo hay presencia de uno de estos tipo en la microcuenca el cual es Fluventic Dystrudepts, estos suelos presentan poca evolución pedogenética y sus perfiles más dominantes son del tipo AC y ABC; son superficiales a moderadamente profundos y limitados por piedra en profundidad.

4.2 FASE 2. Analizar la información que permita calcular y conocer la oferta hídrica superficial que proporciona la microcuenca Quebrada La Cristalina en la parte media y baja.

4.2.1 Hidrología de la microcuenca Quebrada La Cristalina.

Para conocer la oferta hídrica de la microcuenca La Cristalina se debe partir de la fuente hídrica que aporta a su caudal. Se tiene en primera instancia las precipitaciones, la cuales de acuerdo con los parámetros obtenidos en el análisis morfométrico permite determinar que son más altas que en las zonas montañosas, ya que la microcuenca se encuentra por debajo de los 3000 msnm. Adicionalmente, se puede hablar de la influencia del agua que proviene de las hoyas de las partes más altas de la cordillera oriental. En este caso, el estudio se enfocará en el volumen de agua que se puede generar por efecto de las lluvias en la zona directa de la microcuenca, a partir de los datos de precipitación de las estaciones que recientemente se encuentran en funcionamiento.

4.2.1.1 Precipitación.

La precipitación promedio anual registrada en la estación del municipio de Tame durante los años 2005 a 2015 es de 2021.5 mm/año; adicionalmente, se consultó la fuente weathertrends360, y de esta se logró obtener que para el municipio de Tame la precipitación promedio anual es de 1992.8 mm/año.

Tabla 30

Datos históricos de los valores totales mensuales de precipitación en (mm) estación Tame

AÑO 2005 - 2015	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AG	SEP	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL
MEDIOS	45.0	37.5	62,4	245.3	305.3	300.1	259.1	182.1	180.7	230.2	142.9	30.8	2021.5
MAXIMOS	312.8	118.5	168.5	541.0	608.7	398.4	305.8	304.3	305.8	337.5	291.5	56.4	608.7
MINIMOS	0.0	0.0	11.0	143.8	144.4	88.5	191.8	121.5	45.8	135.2	45.8	0.0	0.0

Fuente: (Gonzalez, 2016).

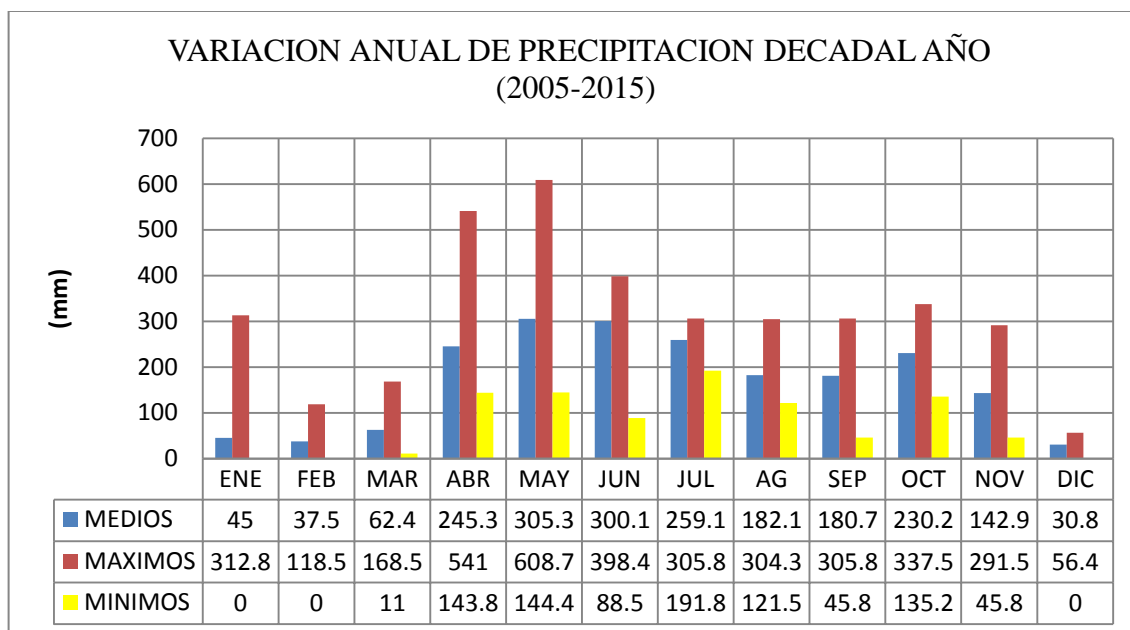


Figura 20. Precipitación década registrada por el IDEAM. **Fuente:** (Gonzalez, 2016)

El régimen de lluvias registrado en la estación de Tame es de una tendencia mono modal con un pico acentuado en los meses de mayo, junio y julio, esto teniendo en cuenta que los datos son de los últimos 10 años. Sin embargo, al consultar la fuente weathertrends360, se observa que las precipitaciones mantienen el régimen pero los picos se acentúan en los meses de junio. Julio y agosto. De la siguiente gráfica, se deduce un comportamiento en los picos máximos alcanzados en la estación Tame que han sido en el mes de mayo con 608.7 mm y los más bajos en los meses de diciembre, enero y febrero con cero precipitaciones.

Tabla 31

Promedio de precipitación

PROMEDIOS DE PRECIPITACION MENSUALES							
FUENTE DE DATOS	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
ESTACION CRISTALINA	113.05	387.93	390.32	304.87			
MARIO ROA			432.4	307.19	98.15	602.55	455.4
LIDA VILLAMIZAR			449	312.6	90.55	653.3	
DATO HISTORICO	245.3	305.3	300.1	259.1	182.1	180.7	230.2
weathertrends360 TAME	198	288.3	306	328.6	306.9	216	226.3

Fuente: Autor, 2018.

Al observar los datos colectados durante el año 2017 en las estaciones agroclimáticas del PNN EL COCUY, y la estación hidrométrica de la Quebrada la Cristalina se logran realizar algunas inferencias. En el mes de abril y agosto solo logró coleccionar datos de los últimos 15 días del mes, sin embargo, si la tendencia de lluvias hubiera sido homogénea durante el mes, el dato aproximado de precipitación para abril de 2017 estaría entre los 220 mm/mensuales y para agosto de 180 mm/mensuales, lo cual se asimila mucho al dato histórico registrado en la estación Tame.

También se logra determinar que las precipitaciones en el mes de mayo en la estación La Cristalina superan los promedios de los datos históricos y de los promedios de la fuente weathertrends360 para el municipio de Tame, cabe resalta que para el mes de mayo solo se lograron tener datos de 25 días del mes.

Al continuar con el comparativo de los datos que se vienen tomando por campesinos de las fincas aledañas a la microcuenca se observa un pico de lluvias en el mes de septiembre de 2017 mayor que los promedios históricos registrados en la estación del IDEAM localizada en el municipio de Tame, así mismo, se aprecia que el mes de octubre continuo con fuertes precipitaciones.

En el mes de agosto se debe tener en cuenta que el valor al igual que en abril representa las precipitaciones de los últimos 15 días del mes. Esto permite deducir que el año 2017 fue un periodo de altas precipitaciones (fenómeno de la niña) en el sector de la microcuenca quebrada la Cristalina.

4.2.2. Aforos

Los aforos para el cálculo del flujo base se realizaron sobre el cauce principal de la quebrada la cristalina aproximadamente cada 200 metros en 8 puntos desde la parte media hasta la parte baja como se muestra en el siguiente mapa.

Durante las visitas realizadas a la quebrada la Cristalina se aforo la parte media del cauce la caudal se ubica en el límite del PNN EL COCUY, y se obtuvo un caudal para la época de invierno de 730 litros/seg y para la época de verano de 402 litros/seg.

En el sitio donde descarga las aguas la Cristalina a la quebrada La Colorada se entregan cerca de 2020 litros/seg en época de invierno y en época de verano 844 litros/seg. Cabe resaltar que cerca de este último punto aforado se adiciona un caudal significativo de un tributario de la Cristalina, lo que se debe tener en cuenta en la oferta del líquido aguas arriba de este punto. Adicionalmente, el primer punto está situado aguas abajo de la captación del acueducto veredal La Cristalina el cual toma cerca de 20 litros/seg del cauce principal.

Tabla 32

Caudales tomados en periodos de lluvia y sequia para la parte media y baja de la microcuenca.

PERIODO	FECHA DE MEDICIÓN	CAUDAL (m ³ /s)	
		PARTE MEDIA	PARTE BAJA
LLUVIOSO	27/05/2017	0.73	2.02
SECO	12/02/2018	0.402	0.844

Fuente: Autor, 2018.

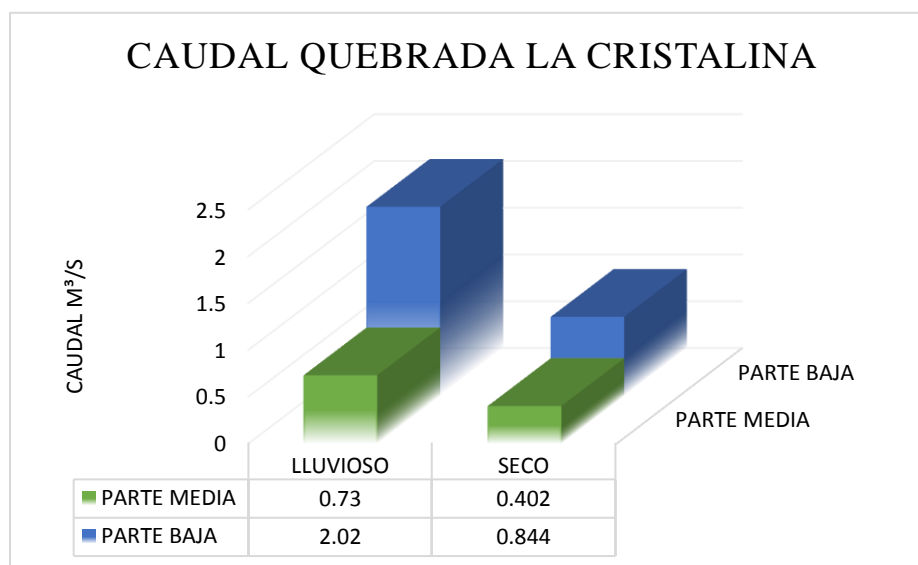


Figura 22. Caudales para la parte media y baja de la microcuenca y en diferentes periodos. **Fuente:** Autor, 2018

La gráfica muestra que la oferta en la parte media del cauce en estudio, es más estable en la parte media del cauce que en su parte baja, debido a que en épocas de menos lluvia se observa una reducción más pronunciada del caudal en esta sección, lo cual puede generarse a que el flujo

tiene que recorrer una mayor distancia y por tanto se encuentra sometido a mayor tiempo de infiltración y de evaporación.

4.2.3. Determinación de la relación lluvia – escorrentía por el método SCS (Soil Conservation Service).

Para lograr obtener el modelo de relación lluvia – escorrentía por el método SCS, se realizó el cálculo del número de curva CN promedio para la microcuenca, ya que esta cuenta con 2 tipos de cobertura, en donde más del 70% del área se encuentra cubierta por bosque húmedo tropical. El uso de la tierra según la tabla propuesta y las coberturas halladas con la metodología Corine Land Cover se simplificaron a dos: pastos de pastoreo y Bosque. Debido a que los pastos nos son homogéneos en el terreno y las prácticas de ganadería intensiva que se desarrollan allí hacen que tome esta cobertura una condición hidrológica regular.

Con la información de suelos determinada con base en la información de IGAC, permite deducir que los suelos son de tipo B: Suelos con capacidades de infiltración moderadas cuando están completamente húmedos, principalmente suelos medianamente profundos y drenados, con textura de sus agregados variando entre moderada y muy fina. Tiene velocidades medias de transmisión de agua (IDEAM G. Y., 2005 -2011). A partir de estas características y la tabla guía se establecen los CN para cada cobertura y se ponderan, logrando así obtener un CN ponderado para la microcuenca La Cristalina de 53.95. Se colocó un valor de porcentaje de área impermeable del 3% ya que no se puede despreciar del todo la impermeabilidad del terreno que muchas veces está dado por las construcciones o por los tipos de suelo y roca que están presentes en la superficie de la Cristalina.

Tabla 33

Cálculo para el número de curva promedio

USO DE LA TIERRA	COBERTURA TRATAMIENTO O PRACTICA	CONDICION HIDROLOGICA	GRUPO DE SUELO	CN	AREA	% AREA CUENCA PERMEABLE	% AREA CUENCA IMPERMEABLE	CN % AREA PERMEABLE
Pastos de pastoreo	Curvas de Nivel	Regular	B	59	135.87	0.1511	0.0047	8.91
Bosque		Buena	B	55	736.57	0.8189	0.0253	45.04
					872.44	0.97	0.03	53.95

Fuente: Autor, 2018.

4.2.3.1. Cuantificación de la oferta hídrica neta disponible

Para obtener la oferta hídrica neta disponible, es necesario reducir la oferta hídrica total por calidad del agua y por caudal mínimo ecológico, calculada por el método relación lluvia escorrentía.

Para el cálculo de la oferta hídrica total de la cuenca fue necesario conocer su tiempo de concentración a partir de las fórmulas de los siguientes métodos: Método de Rowe, Método de Kirpich y de Método del SCS.

Calculo del tiempo de concentración (Tc), por el método de Rowe. $Tc = \left(\frac{0.87 * L^3}{D}\right)^{0.385} = 53.03 \text{ MIN}$

Calculo del tiempo de concentración (Tc), por el método de Kirpich. $Lc = 0.0003245 * \left(\frac{L}{S^{1/2}}\right)^{0.77} = 44.37 \text{ MIN}$

Calculo del tiempo de concentración (Tc), por el método SCS. $Tc = \frac{L^{1.15}}{3085 * D^{0.38}} = 49.89 \text{ MIN}$

Promedio de retardo para los tres métodos = 29.935251 minutos.

4.2.3.1.1. Cuantificación de la oferta hídrica neta disponible para la época de más lluvia

Teniendo en cuenta el registro de datos histórico de la década del 2005 al 2015 tomados por la estación del IDEAM de Tame uno de los meses de más lluvias registrado fue el mes de mayo. Adicionalmente, se tienen los datos de precipitación diarios para el mes de mayo de 2017 registrados todos los días a las 7:00 a.m. A partir de dichos datos y la utilización del programa HEC – HMS se obtienen la siguiente información:

Tabla 34

Resultados diarios del hidrograma unitario para el mes de mayo 2017

FECHA	PRECIPITACIÓN mm	FLUJO TOTAL m ³ /seg
30-abr-17		0
01-may-17	47.16	0.1
02-may-17	0.04	0
03-may-17	0.69	0
04-may-17	32.2	0.5
05-may-17	8.81	0.3
06-may-17	31.84	1.1
07-may-17	0.49	0.3
08-may-17	1.03	0.1
09-may-17	0	0
10-may-17	0	0

11-may-17	9.21	0.3
12-may-17	0.13	0.1
13-may-17	0.48	0
14-may-17	2.17	0.1
15-may-17	0	0
16-may-17	7.4	0.3
17-may-17	3.5	0.2
18-may-17	17.9	0.8
19-may-17	0	0.2
20-may-17	0	0
21-may-17	0	0
22-may-17	0	0
23-may-17	0	0
24-may-17	0	0
25-may-17	2.27	0.1
26-may-17	0.48	0.1
27-may-17	0.17	0
28-may-17	3.21	0.2
29-may-17	48.3	2.4
30-may-17	68.6	4.5
31-may-17	101.85	7.5

Fuente: Autor, 2018.

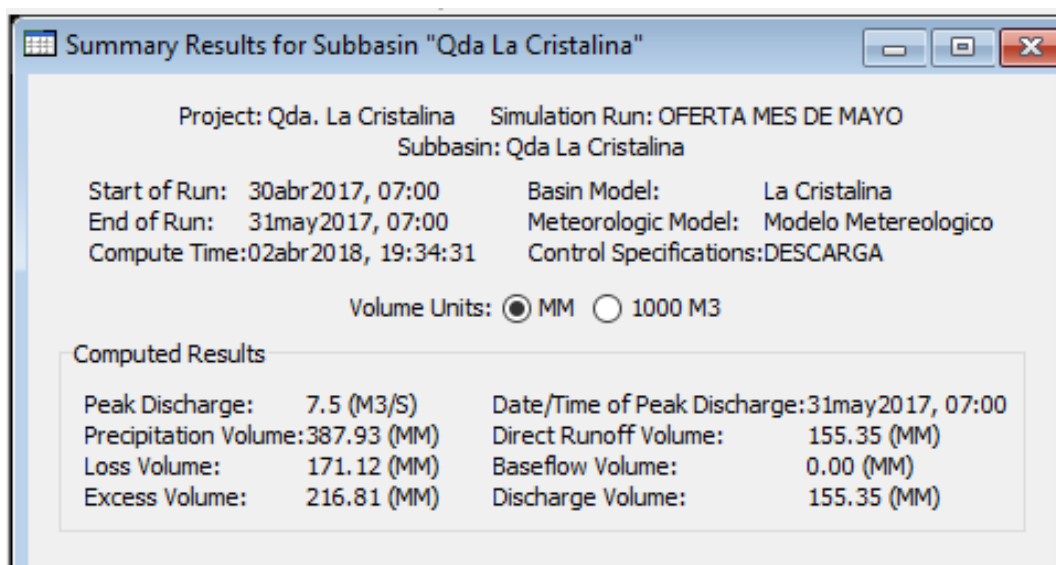


Figura 23. Imagen resultados de la simulación para el mes mayo 2017. **Fuente:** Autor, 2018

Una vez corrida la información en el programa se obtiene que para el mes de mayo de 2017 se obtuvo una precipitación mensual de 387.93 mm y que producto de dichas lluvias se generó una oferta hídrica de 7.5 m³/seg. Esto con base en el método de lluvia – escorrentía del SCS. Para el cálculo de la oferta hídrica total, se debe tener en cuenta el flujo base del cauce para un día de dicho periodo (lluvias).

- Oferta hídrica total = flujo base de la temporada + flujo generado por el efecto lluvia escorrentía.

El flujo base que se tomó para la época de más lluvia, fue el mayor caudal obtenido en el aforo realizado el 27 de mayo del 2017, para más información ver la figura 19, y el flujo generado por el efecto lluvia escorrentía es el que se obtiene una vez se ingresan los datos de precipitación del mes con mayor presencia de lluvias en el año, en el programa HEC – HMS vs 4.1.

$$OHT = 2.02 \text{ m}^3/\text{seg} + 7.5 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$OHT \text{ mayo} = 9.52 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Para obtener la oferta hídrica disponible se redujo el OHT por el 0.25 correspondiente al caudal ecológico y 0.25 correspondiente al caudal por calidad.

$$OHD = OHT * 0.25_{CAUDAL \text{ ECOLOGICO}} + OHT * 0.25_{CALIDAD \text{ DEL AGUA}}$$

$$OHD = (9.52 * 0.25) + (9.52 * 0.25)$$

$$OHD = 4.76 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Se concluye que la oferta hídrica neta disponible para un periodo de lluvias en la parte baja de la microcuenca La Cristalina es de 4.76 m³/seg. Ahora, teniendo en cuenta que el flujo base en la parte media de la microcuenca es de 0.73 m³/seg, se puede inferir que la OHD para este sector es de 4.12 m³/seg.

4.2.3.1.2. Cuantificación de la oferta hídrica neta disponible para la época de menos lluvia.

Teniendo en cuenta el registro de datos histórico de la década del 2005 al 2015 tomados por la estación del IDEAM de Tame uno de los meses de menos lluvias registrado fue el mes de enero. Adicionalmente, se tienen los datos de precipitación diarios para el mes de enero de 2018 registrados todos los días a las 7:00 a.m. A partir de dichos datos y la utilización del programa HEC – HMS se obtienen la siguiente información.

Tabla 35*Resultados del hidrógrafa para el mes de enero*

FECHA	PRECIPITACIÓN mm	FLUJO TOTAL m³/seg
01-ene-17		0
02-ene-17	0	0
03-ene-17	103.5	1.2
04-ene-17	31.75	1.4
05-ene-17	1.75	0.4
06-ene-17	0	0.1
07-ene-17	1.45	0.1
08-ene-17	0	0
09-ene-17	0	0
10-ene-17	0.3	0
11-ene-17	4.1	0.2
12-ene-17	0	0
13-ene-17	0	0
14-ene-17	0	0
15-ene-17	0.6	0
16-ene-17	0	0
17-ene-17	0	0
18-ene-17	0	0
19-ene-17	53.5	2.5
20-ene-17	0	0.7
21-ene-17	0	0.1
22-ene-17	0	0
23-ene-17	0	0
24-ene-17	0	0
25-ene-17	0	0
26-ene-17	0	0
27-ene-17	0	0

Fuente: Autor, 2018.

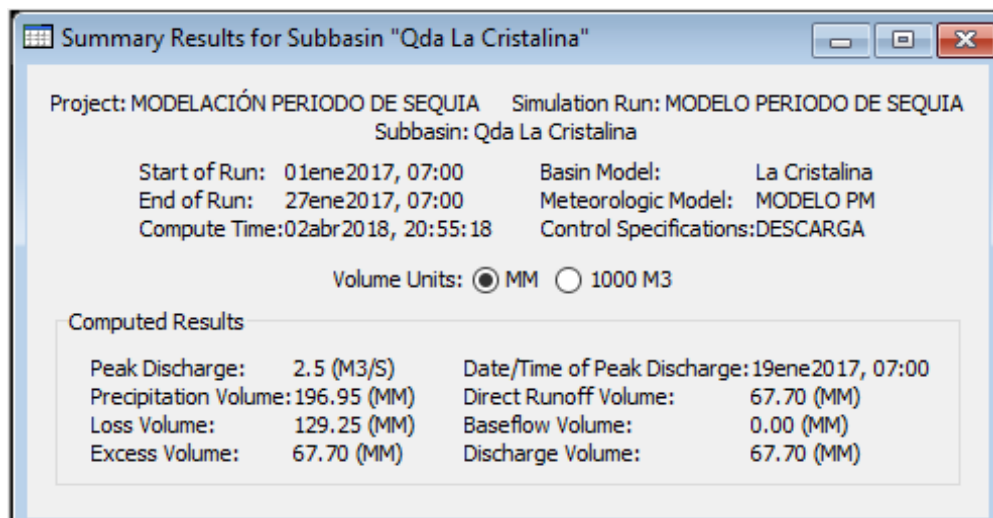


Figura 24. Imagen modelación periodo menos lluvia. **Fuente:** Autor, 2018

Una vez corrida la información en el programa se obtiene que para el mes de enero de 2018 se obtuvo una precipitación mensual de 196.95 mm y que producto de dichas lluvias se generó una oferta hídrica de 2.5 m³/seg. Esto con base en el método de lluvia – escorrentía del SCS. Para el cálculo de la oferta hídrica total, se debe tener en cuenta el flujo base del cauce para un día de dicho periodo (lluvias).

- Oferta hídrica total = flujo base de la temporada + flujo generado por el efecto lluvia escorrentía.

El flujo base que se tomó para la época de menos lluvia fue el menor caudal obtenido en el aforo realizado el 17 de febrero del 2018 para más información ver la figura 19, y el flujo generado por el efecto lluvia escorrentía es el que se obtiene una vez ingresados los datos de precipitación de la época de menos lluvia en el programa HEC – HMS vs 4.1.

$$OHT = 0.402 \text{ m}^3/\text{seg} + 2.5 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$OHT \text{ enero} = 2.902 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Para obtener la oferta hídrica disponible se redujo el OHT por el 0.25 correspondiente al caudal ecológico y 0.25 correspondiente al caudal por calidad.

$$OHD = OHT * 0.25_{\text{CAUDAL ECOLOGICO}} + OHT * 0.25_{\text{CALIDAD DEL AGUA}}$$

$$OHD = (2.902 * 0.25) + (2.902 * 0.25)$$

$$\text{OHD} = 1.451 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Se concluye que la oferta hídrica neta disponible para un periodo de menos lluvias en la parte media de la microcuenca La Cristalina es de $1.451 \text{ m}^3/\text{seg}$. Ahora, teniendo en cuenta que el flujo base en la parte baja de la microcuenca es de $0.844 \text{ m}^3/\text{seg}$, se puede inferir que la OHD para este sector es de $1.672 \text{ m}^3/\text{seg}$.

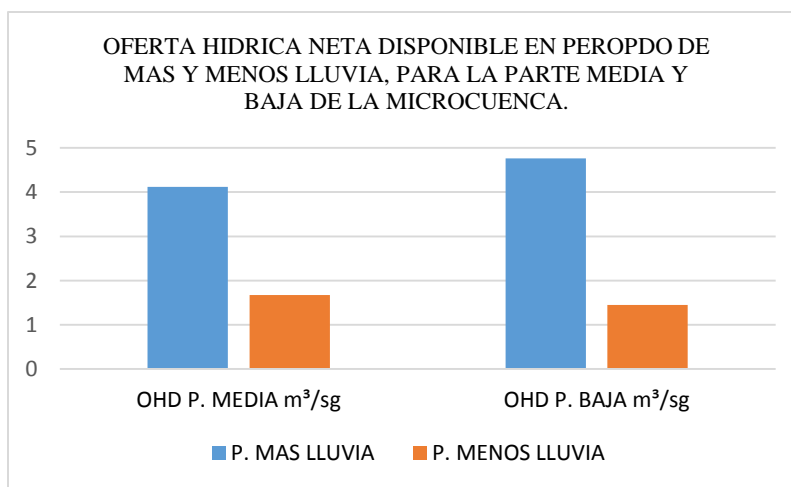


Figura 25. OHND en la parte media y baja para los periodos de más y menos lluvia. **Fuente:** Autor, 2018.

Sin embargo se debe tener en cuenta que el valor de la oferta hídrica neta disponible puede ser menor en la temporada de menos lluvia, debido a que el periodo seco que se tuvo en cuenta para este cálculo esta aproximadamente triplica el promedio mensual de los datos multianuales registrados en la estación del IDEAN del municipio de Tame.

4.3 FASE 3. Simular la escorrentía superficial del cauce principal en condiciones normales y para eventos de variabilidad climática máximas, por medio de un modelo hidrológico, con el fin de analizar los impactos que pueda generar la variación de la oferta hídrica sobre la microcuenca.

4.3.1 Trabajo de campo

Para realizar la simulación se realizó el levantamiento de 8 secciones desde la parte media hasta la parte baja de la zona hidrológica de la quebrada la cristalina. Sin embargo a continuación se mostrara la primera y última sección trasversal del cauce, las cuales fueron seleccionada para

observar la escorrentía superficial del cauce principal en eventos normales y máximos de precipitación, ya que fueron los más distantes entre sí, lo cual, dejó apreciar de una mejor forma las diferencias entre estas secciones.

A continuación se grafica la profundidad del lecho y la cantidad del agua obtenida en la sección transversal de la parte media de quebrada la cristalina.

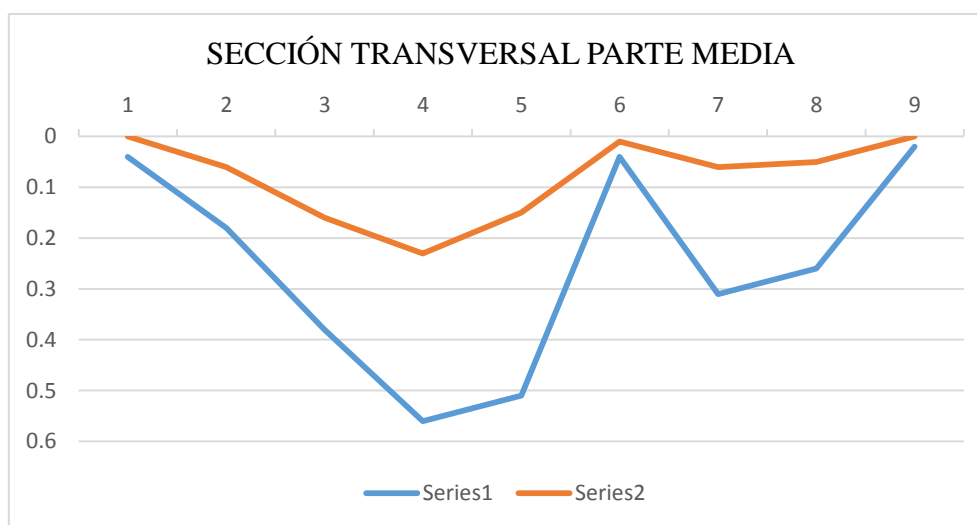


Figura 26. Levantamiento sección transversal del 27 de mayo 2017. **Fuente:** Autor, 2018.

Tabla 36

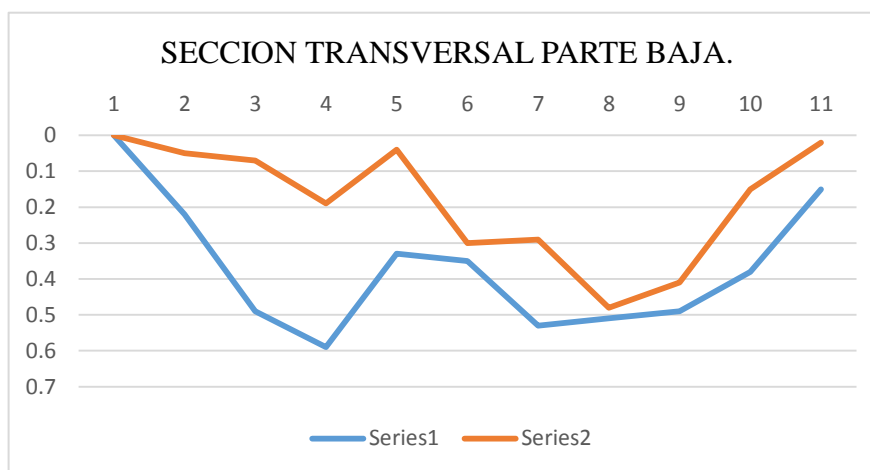
Datos obtenidos sección parte media

Quebrada	La Cristalina
Calculo de Flujo	Mitad de sección
Margen de inicio	Aguas abajo margen derecho
Número de estaciones	9
Ancho de sección o de recorrido	4.45 m
Caudal total	0.73 m ³ /s o 730 Lt/s
Área total	1.20 m ²
Profundidad media	0.27 m
Velocidad promedio	0,47555556

Fuente: Autor, 2018.

Tabla 37*Análisis para la sección transversal media*

Estación	Distancia entre puntos de aforo (m)	Prof. (m)	Veloc. media (m/s)	Área (m ²)	Caudal (m ³ /s)
1	5,5	0,04	0	0,01	0
2	6	0,18	0,62	0,09	0,06
3	6,5	0,38	0,83	0,19	0,16
4	7	0,56	0,81	0,28	0,23
5	7,5	0,51	0,59	0,26	0,15
6	8	0,04	0,73	0,02	0,01
7	8,5	0,31	0,42	0,15	0,06
8	9	0,26	0,28	0,19	0,05
9	9,95	0,02	0	0,01	0
Total			0,47555556	1,2	0,72

Fuente: Autor, 2018.**Figura 27.** Sección trasversal parte baja. **Fuente:** Autor, 2018.**Tabla 38***Datos obtenidos sección parte baja*

Quebrada	La Cristalina
Calculo de Flujo	Mitad secc.
Margen de inicio	Agua margen dcho.
Número de estaciones	11
Ancho de sección o de recorrido	10.0 m
Caudal total	2.02 m ³ /s
Área total	3.97 m ²
Profundidad media	0.40 m
Velocidad promedio	

Fuente: Autor, 2018.

Tabla 39

Análisis para la sección transversal baja

Estación	Ubicación (m)	Prof. (m)	Veloc. media (m/s)	Área (m ²)	Caudal (m ³ /s)
1	7	0	0	0	0
2	8	0,22	0,24	0,22	0,05
3	9	0,49	0,14	0,49	0,07
4	10	0,59	0,32	0,59	0,19
5	11	0,33	0,13	0,33	0,04
6	12	0,35	0,84	0,35	0,3
7	13	0,53	0,55	0,53	0,29
8	14	0,51	0,94	0,51	0,48
9	15	0,49	0,84	0,49	0,41
10	16	0,38	0,41	0,38	0,15
	17	0,15	0	0,08	0,02

4.3.2 Oferta hídrica total para un evento máximo de lluvias registrado el mes de mayo 2017.

En la siguiente grafica se observan las precipitaciones registradas para el evento del día 31 mayo del 2017.

El hidrograma nos muestra el comportamiento de las precipitaciones registradas para el evento del 31 de mayo del 2017 con respecto al tiempo, mientras que el hietograma nos muestra en color rojo la precipitación que se escurre y en azul la precipitación que se infiltra.

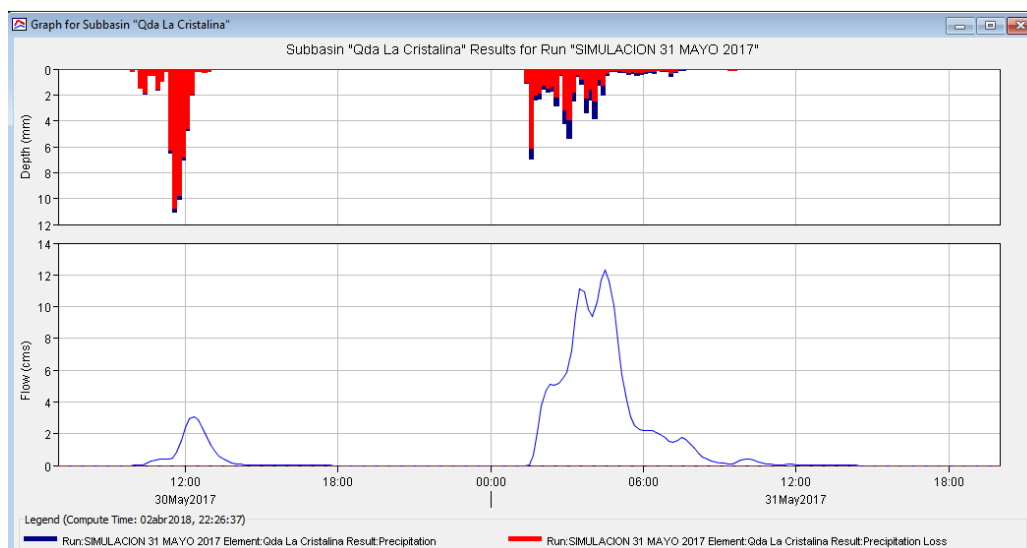


Figura 28. Hidrograma y hietograma para el evento del día 31 mayo del 2017. **Fuente:** Autor, 2018.



Figura 29. Resultado de la modelación para el evento del día 31 mayo del 2017. **Fuente:** Autor, 2018.

A continuación se muestran las imágenes del caudal acumulado por efecto de la precipitación de un evento máximo en periodo de más lluvia (31 mayo del 2017). Por medio de la metodología de lluvia escorrentía y a través del caculo en el programa HEC - HMS se logra determinar que para una volumen de lluvia de 103.59 precipitado en el transcurso de 29 horas registradas desde las 7:00 a.m. del 30 de mayo hasta las 8:00 p.m. del 31 de mayo, es posible que se genere un caudal de 12.3 m³/sg, al final del cauce. Cabe aclarar que a dicho caudal se le debe adicionar el flujo base con que contaba el cauce 5 días antes de dicho evento el cual se puede apreciar en la figura.

4.3.3. Evento de simulación para una precipitación máxima presentada en el mes mayo de 2017

Una vez ejecutado los modelos para la simulación de la escorrentía para un evento normal, evento máxima registrado y un supuesto evento, se obtienen las siguientes imágenes de dicha simulación.

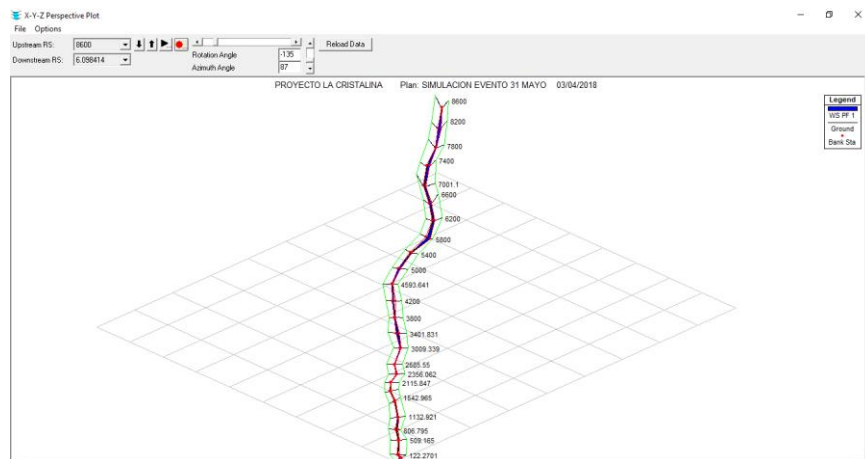


Figura 30. Simulación 1 para una precipitación máxima presentada en el mes mayo de 2017. **Fuente:** Autor, 2018.

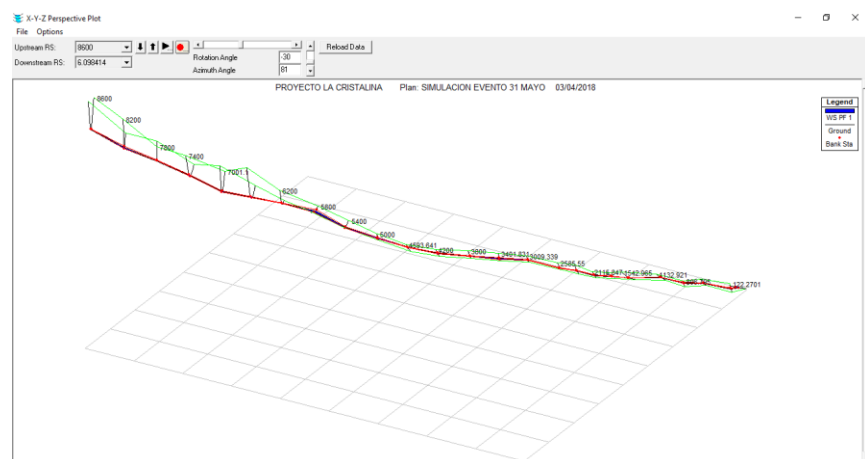


Figura 31. Simulación 2 para una precipitación máxima presentada en el mes mayo de 2017. **Fuente:** Autor, 2018.

Se puede observar a partir de las imágenes que existen sitios en la parte alta donde el flujo se extiende a lo ancho del cauce sin embargo, este no sobrepasa los bancos establecidos gracias a la ayuda del modelo digital de elevación. Particularmente la imagen muestra el flujo de escorrentía para la precipitación del 31 de mayo del 2017, la cual fue de 103.59 mm durante 29 horas, y aportó un caudal al cauce de $12.3 \text{ m}^3/\text{sg}$. Es necesario poder contar con DEM's del terreno con mayor precisión y realizar visitas de campo para conocer con mayor precisión el ancho promedio del cauce principal para la parte alta.

Para la parte media y baja, gracias a la información levantada en campo, la simulación de la escorrentía superficial del cauce se hace más ajustada a la realidad por lo tanto, se presentaran a continuación los cambios en el volumen de agua para eventos sin precipitación, evento

máximo registrado para el 31 de mayo y un supuesto evento en el que la precipitación alcance el doble del caudal obtenido en el evento anterior (31 mayo).

4.3.3.1. Perfiles en eventos de variabilidad para la parte media

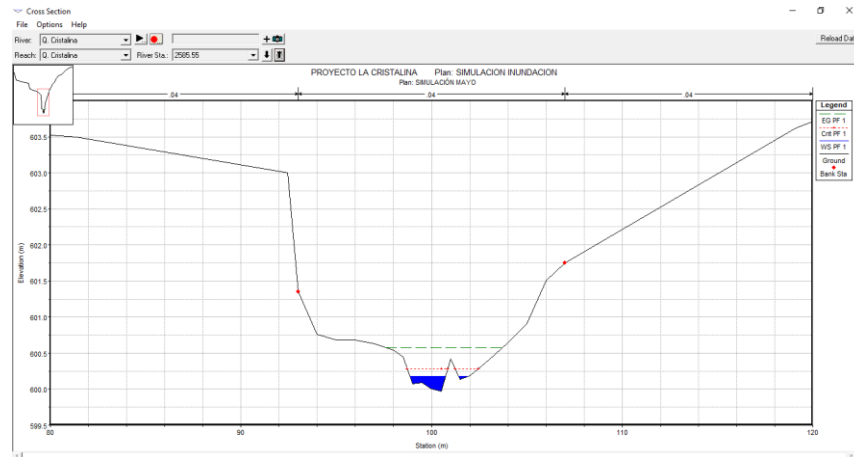


Figura 32. Flujo normal. **Fuente:** Autor, 2018.

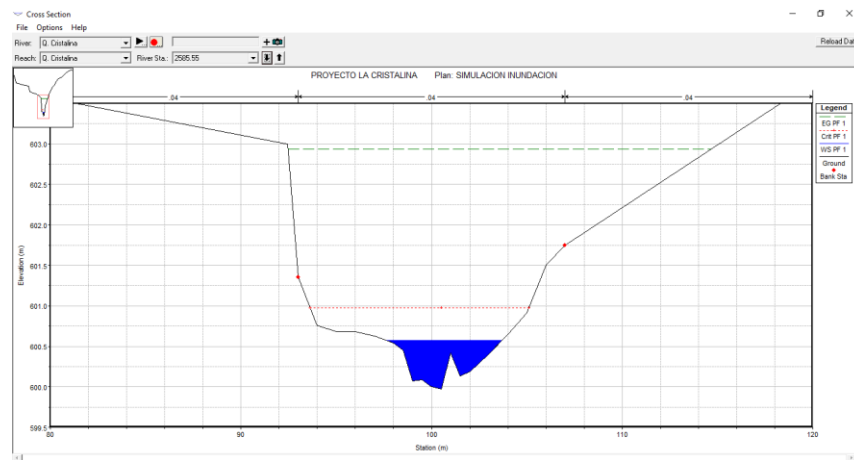


Figura 33. Flujo evento 31 de mayo. **Fuente:** Autor, 2018.

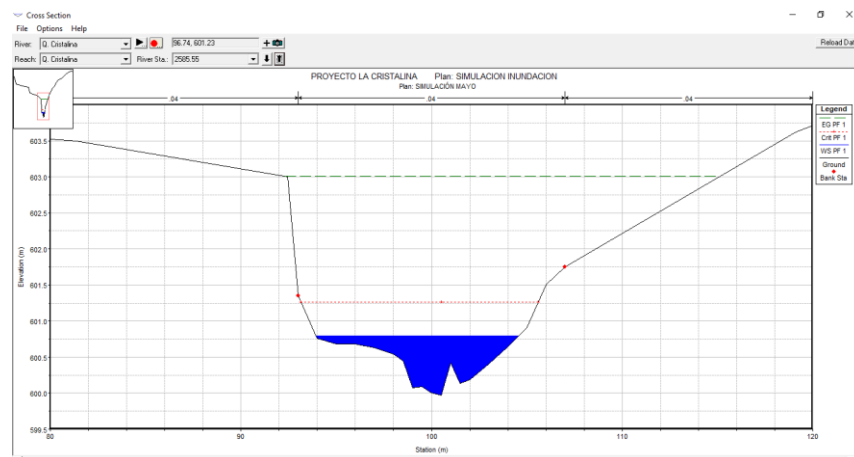


Figura 34. Supuesto de evento máximo. Fuente: Autor, 2018.

4.3.3.2. Perfiles en eventos de variabilidad para la parte baja

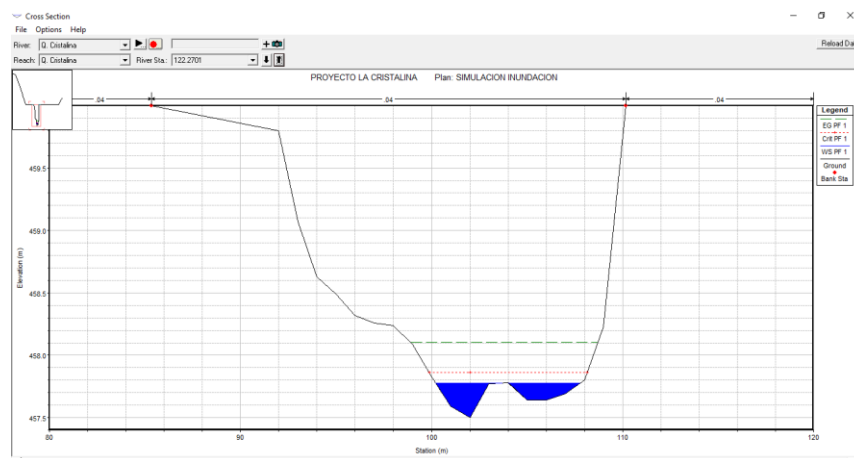


Figura 35. Flujo normal. Fuente: Autor, 2018.

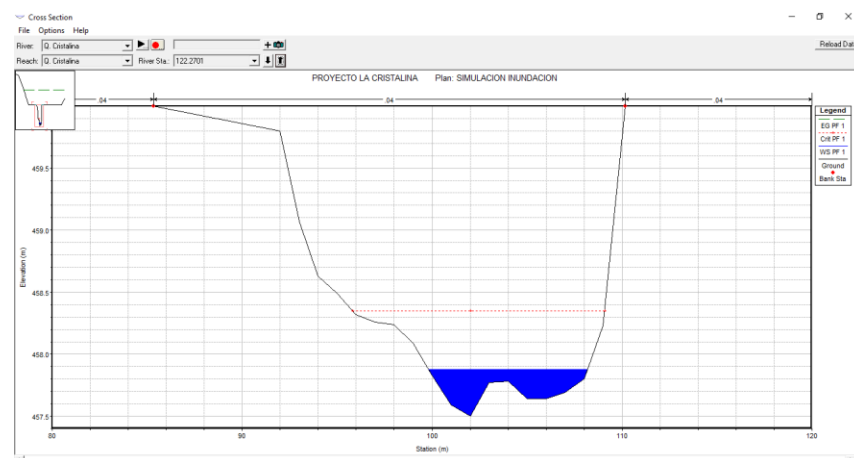


Figura 36. Flujo evento 31 de mayo. Fuente: Autor, 2018.

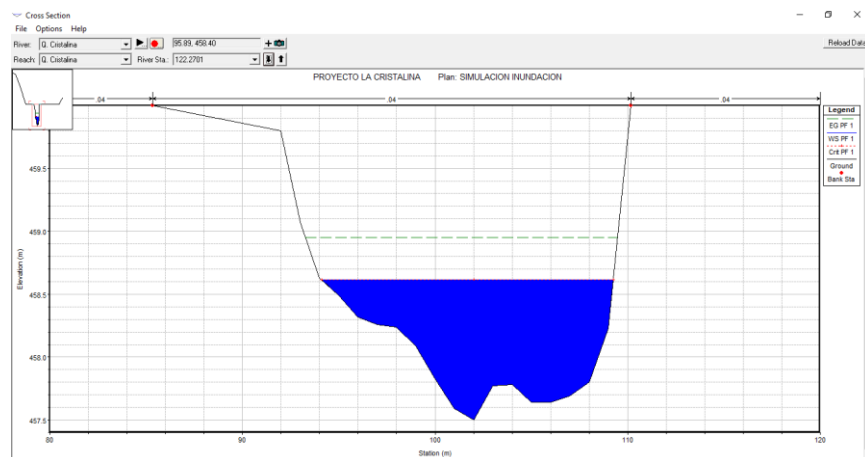


Figura 37. Supuesto de evento máximo. **Fuente:** Autor, 2018.

4.3.4. Evento de inundación

Al momento de simular la esorrentía con un caudal de $25.15 \text{ m}^3/\text{sg}$, se logra observar que sucede un desbordamiento a 2.3 km aguas arriba desde la desembocadura del cauce. En este sitio se logró observar en campo que aunque los banco son altos hay una reducción del ancho del canal lo que facilita que el agua aumente su nivel y sobrepase la altura de los bancos. Estos están marcados con los puntos rojos sobre el perfil que muestran las figuras.

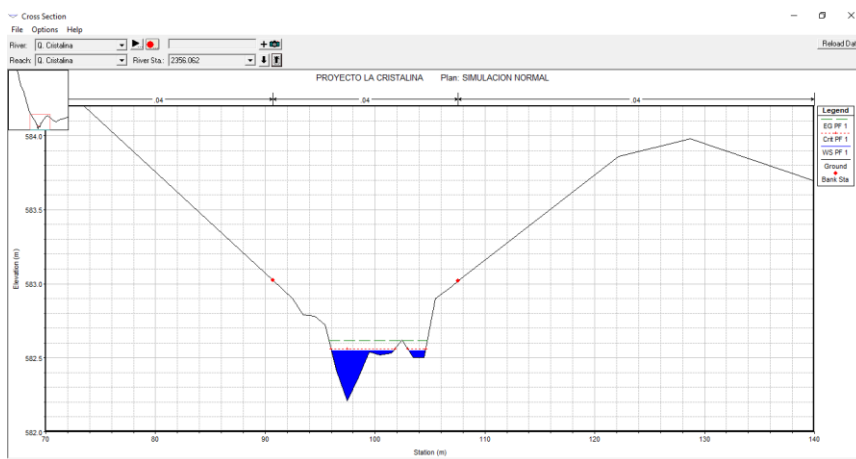


Figura 38. Sección con riesgo de inundación con menos lluvia. **Fuente:** Autor, 2018.

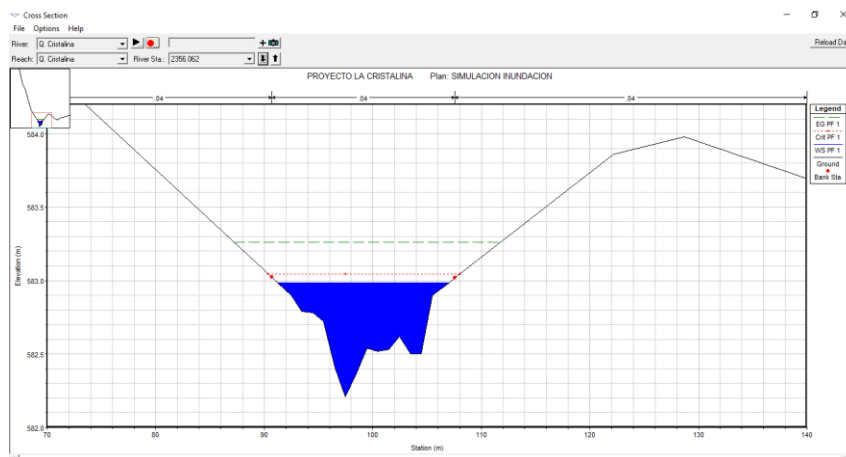


Figura 39. Sección con riesgo de inundación con más lluvia. **Fuente:** Autor, 2018.

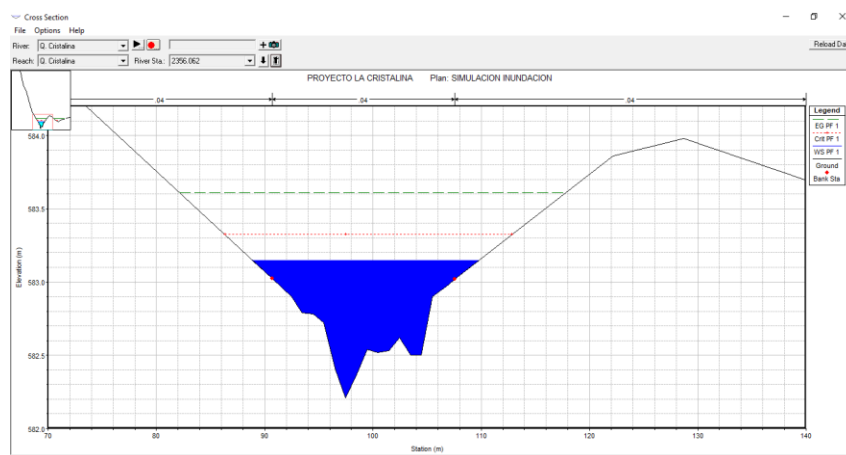


Figura 40. Sección con riesgo de inundación con supuesto evento de inundación. **Fuente:** Autor, 2018.

La figura 40 muestra como el nivel del agua sobrepasa los bancos fijados pero no se desborda debido a que la zona de inundación está tomada en cuenta con base la información que arroja el modelo de elevación utilizado el cual posee una precisión de 30 metros, esto indica que se debe realizar el levantamiento del perfil altitudinal de la zona de inundación para poder constatar las posibles afectaciones sobre la ronda hídrica.

4.4 Fase 4. Calidad del agua superficial en la parte media y baja de la microcuenca Quebrada La Cristalina, por medio del Índice de Calidad de Agua en Corrientes Superficiales (ICA).

4.4.1. Cálculo del valor de cada variable.

Para el cálculo de cada variable se ingresa el valor obtenido en campo y/o laboratorio de cada variable medida, en nuestro caso para la parte media y baja del cauce de forma separada, y se introduce el valor teniendo en cuenta la ecuación asignada a cada variable, con la cual se podrá estimar para cada una el valor *I* (subíndice de calidad).

4.4.1.1. Oxígeno disuelto (OD).

El oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes para determinar la calidad de un agua. Los valores normales de OD en el agua varían entre los 7.0 y 8.0 mg/l. La fuente principal de oxígeno es el aire, el cual se difunde rápidamente en el agua por la turbulencia en los ríos (CAR Cundinamarca, 2012). Toda corriente superficial presenta procesos de producción y consumo de oxígeno los cuales están relacionados principalmente por la fotosíntesis y descomposición de materia orgánica respectivamente. El Oxígeno disuelto posee un papel biológico fundamental en los cuerpos de agua superficiales a la hora de definir la presencia o ausencia de especies acuáticas.

A continuación se muestra los resultados obtenidos al medir el OD en la Quebrada La Cristalina por medio de la sonda multiparametros en la parte media del cauce y al realizar análisis de laboratorios en la parte media y baja de la quebrada. Cabe aclarar que los datos que arrojó la sonda fueron colectados por el equipo humano del costado oriental del Parque Nacional Natural El Cocuy y posteriormente conglomerados en una línea base, de donde se extrajo la información necesaria.

Tabla 40

Registro OD, obtenido de la línea base del PNN El Cocuy en la parte media y baja del cauce, así como los datos que arrojo el análisis de laboratorio.

Fecha	Parte del cauce	Temperatura °C	Mg/L de OD	Método
15/06/2016	Media	20,4	8,54	Sonda
28/07/2016	Media	21	8,2	Sonda
02/11/2016	Media	21,1	8,72	Sonda
19/12/2016	Media	21,2	7,26	Sonda
18/01/2017	Media	20,9	8,26	Sonda
09/02/2017	Media	21,2	8,33	Sonda
28/02/2018	Media	21	7,46	Winkler
28/02/2018	Baja	22	8,64	Winkler

Fuente: Autor, 2018.

La tabla muestra la concentración de oxígeno disuelto en los muestreos realizados desde el año 2016 hasta el año 2018, en donde se puede afirmar que la concentración de oxígeno se ha mantenido en una condición entre aceptable y buena en la parte media y baja de la microcuenca, lo cual favorece la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos según la tabla de concentración establecida en la *Guía para la utilización de las Valijas Viajeras Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos RED MAPSA 2007*.

Tabla 41

Rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencias eco-sistémicas frecuentes

OD] mg/L	Condición	Consecuencia
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios
0-5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies sensibles
5-8	Aceptable	OD adecuado para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos.
8-12	Buena	otros organismos acuáticos.
>12	Sobresaturada	Sistemas en plena producción fotosintética

Fuente: Guía para la utilización de las Valijas Viajeras – Oxígeno Disuelto RED MAPSA Versión 1.0, 2007.

A continuación se grafican los resultados obtenidos en laboratorio en mg/L OD, después de utilizar el método de muestreo winkler aplicado en campo en la parte media y baja de la Quebrada La Cristalina realizado en horas de la mañana del día 25 de febrero del año 2018, así mismo se gráfica la temperatura que presento el cauce a la hora de tomar cada muestra y se compara con la tabla propuesta por (*Bain y Stevenson1999*) la cual se muestra a continuación.

Dependencia de la concentración de oxígeno disuelto respecto a la temperatura del agua (Bain y Stevenson 1999)

Temperatura (°C)	OD (mg/L)
0	14.16
1	13.77
2	13.40
3	13.05
4	12.70
5	12.37
6	12.06
7	11.76
8	11.47
9	11.19
10	10.92
11	10.67
12	10.43
13	10.20
14	9.98
15	9.76
16	9.56
17	9.37
18	9.18
19	9.01
20	8.84
21	8.68
22	8.53
23	8.38
24	8.25
25	8.11
26	7.99
27	7.86
28	7.75
29	7.64
30	7.53
31	7.42
32	7.32
33	7.22
34	7.13
35	7.04

Figura 41. Dependencia del OD respecto a la temperatura. **Fuente:** (Goyenola, 2007)

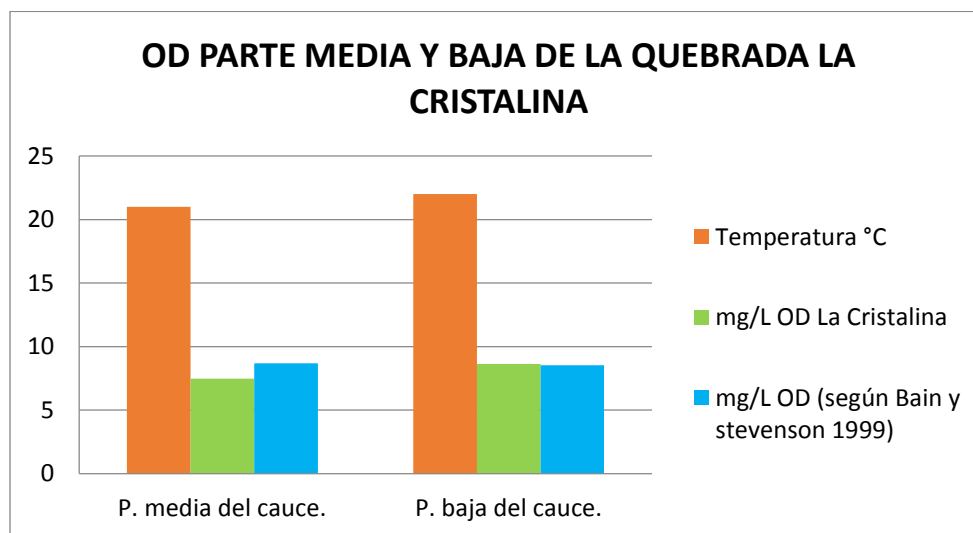


Figura 42. OD del cauce en estudio. **Fuente:** Autor, 2018.

La grafica muestra los valores del oxígeno disuelto presente en la Quebrada La Cristalina, los cuales van desde 7,46 mg/L en la parte media del cauce hasta 8,64 mg/L en la parte baja, estos

valores indican que los niveles de Oxígeno disuelto se encuentran en óptimas condiciones de calidad, mientras que el aumento del Oxígeno disuelto aguas abajo de la corriente indica que la Quebrada La Cristalina posee una buena capacidad a la hora de re-oxigenar sus aguas.

La microcuenca Quebrada La Cristalina, cuenta con la característica de presentar desde su parte alta hasta su parte baja una gran mezcla turbulenta en sus aguas producto de su pendiente, topografía, y predregosidad, favoreciendo la producción de oxígeno en la cuenca, el anterior enunciado se verifica al momento de hallar el porcentaje de saturación de OD en las dos estaciones, siendo la estación localizada en la parte media del cauce la que arrojo un nivel más bajo en el porcentaje de saturación del OD de aproximadamente el 86%, mientras que la estación localizada en la parte baja de la microcuenca presento un nivel en el porcentaje de saturación de OD mayor al 100%, comprobando su capacidad de re oxigenación de sus aguas y por tanto se hace poseedora de una gran riqueza de especies de peses y otros organismos acuáticos.

La presencia de un porcentaje de saturación del OD mayor al 70% en la Quebrada La Cristalina, comprueba que en el área de estudio no se presentan los siguientes casos: vertimientos domésticos, grandes asentamientos humanos, vertimientos industriales, arrastres significativos de sedimentos y otros aspectos (IDEAM, 2010).

Para determinar el Porcentaje de Saturación de OD en las dos estaciones muestreadas con el método de Winkler, se emplea la siguiente ecuación que se observa en la tabla 42.

Tabla 42

Fórmula para hallar los porcentajes de saturación OD en la parte media y baja de la Quebrada La Cristalina

Formula general	F. aplicada en la parte media a 21°C	F. aplicada en la parte baja a 22°C
$PSOD = \frac{OD \text{ campo} \left(\frac{mg}{L}\right) * 100}{\text{concentración de equilibrio de oxígeno en } \left(\frac{mg}{L}\right)}$	$PSOD = \frac{7.46 \left(\frac{mg}{L}\right) * 100}{8.64 \left(\frac{mg}{L}\right)}$	$PSOD = \frac{8.64 \left(\frac{mg}{L}\right) * 100}{8.53 \left(\frac{mg}{L}\right)}$
Resultado en %	PSOD = 86.34%	PSOD = 101.29%

Fuente: Autor con información tomada de (IDEAM G. Y., 2005 -2011)

Una vez hallados los PSOD para cada estación, se procede a calcular el (*IOD*) subíndice de calidad para el OD, tomando como referencia la ecuación desarrollada bajo el concepto de

contaminación de (*Ramírez y Viña*), con la cual se debe convertir el termino de contaminación al termino de calidad, para lo cual se le adiciona a la ecuación de (*Ramírez y Viña*), la diferencia entre uno (1) y el índice de contaminación respectivo de la magnitud de la variable (0,01) como se muestra en la tabla.

Tabla 43

Calculo del IOD para la parte media y baja del cauce en estudio.

	Formula (IOD)	PSOD en la P. media (86.34%)	PSOD en la P. baja (101.29%)
Cuando PSOD < 100%	$IOD = (1 - (1 - 0,01 * PSOD))$	$IOD = (1 - (1 - 0,01 * 86,34))$	No Aplica
Cuando PSOD es > 100%	$IOD = (1 - (0,01 * PSOD - 1))$	No Aplica	$IOD = (1 - (0,01 * 101,29 - 1))$
Resultado IOD para cada estación		IOD = 0,8634	IOD = 0,9871

Fuente: Autor del proyecto

La anterior tabla muestra la ecuaciones para para proceder a determinar el subíndice de calidad para el oxígeno disuelto en las dos estaciones de monitoreo y su respectivo resultados con el fin de poder introducir los valores a la ecuación general para determinar el indicador del ICA en la parte media y baja del cauce. Por otra parte se aprecia que el porcentaje de OD es mayor en la parte baja del cauce, generado por el aumento en la distancia que debe recorrer el agua para llegar a este punto, lo que la expone a un mayor periodo de agitación, aumentando su capacidad para reoxigenarse.

4.4.1.2. Sólidos suspendidos totales (SST)

Para determinar la el nivel de Sólidos Suspendidos Totales (SST) en el área de estudio se realizó un análisis de laboratorio, el cual arrojó una presencia menor de 11,51 mg/L de SST en las dos estaciones de monitoreo (localizadas en la parte alta y parte baja de la Quebrada La Cristalina).

Ya que las aguas de la Quebrada La Cristalina presentan una cantidad menor a 11,51 mg/L de SST, se evidencia que los cambios en el estado de las condiciones hidrológicas de la corriente son mínimos, debido a que no se presentan vertimientos industriales, extracción de materiales, ni disposición de escombros y los procesos de erosión presentes en la cuenca son escasos dado a que más del 70% del área de la cuenca posee una excelente cobertura vegetal.

De igual forma la presencia de pocos SST en el cauce, evita alteraciones en el desarrollo del estado temprano de los peces, como por ejemplo, la modificación de sus movimientos naturales y la migración de especies, además los niveles bajos de SST favorecen el aumento de alimentos (Ministerio, 2010).

A continuación se emplea la ecuación propuesta por (Ramírez y viña) para hallar el subíndice de calidad para los SST (ISST) con los resultados que arrojó el análisis de laboratorios, y posteriormente poder introducir cada uno de los (ISST) en la fórmula general del indicador ICA.

Tabla 44

Cálculo del ISST

Formula general para ISST	Los SST para la parte media y baja de la Quebrada la Cristalina fueron menor a 11,51 mg/L
$ISST = (1 - (-0,02 + 0,003 * SST))$	$ISST = (1 - (-0,02 + 0,003 * 11,51))$
Resultado de ISST en la parte media	0,98547
Resultado de ISST en la parte baja	0,98547

Fuente: autor del proyecto con información tomada de (IDEAM G. Y., 2005 -2011)

Nota: el resultado de ISST en las dos estaciones localizadas en la parte media y baja de la microcuenca Quebrada La Cristalina arrojaron el mismo resultado por tanto el ISST será el mismo.

4.4.1.3. Conductividad eléctrica (C.E.)

La conductividad eléctrica mide la cantidad total de iones presentes en el agua, entre mayor sea la concentración de iones mayor será la conductividad, prácticamente los mismos iones que encontramos en un cuerpo de agua serán los mismos que encontremos en sus suelos; por tanto, la composición química de un cuerpo de agua refleja la naturaleza geoquímica del terreno que la contiene, así mismo la conductividad eléctrica presenta una estrecha relación con la salinidad y los sólidos disueltos presentes en un cuerpo de agua (CAR Cundinamarca, 2012).

En la siguiente tabla se muestran el nivel y características de la C.E. para diferentes ecosistemas.

Tabla 45*Características del agua según la conductividad*

Conductividad	Tipo de agua	Características	Nivel C.E.
Entre 10 y 50 $\mu\text{s}/\text{cm}$	Aguas superficiales tropicales de montaña	(aguas oligotróficas)	muy bajas
Menos de 20 $\mu\text{s}/\text{cm}$	De los ríos de la selva pluvial tropical	Aguas osmotizadas	muy bajas
Superiores a los 2.000 $\mu\text{s}/\text{cm}$	Las lagunas costeras	Son aguas muy salobres, generalmente influenciadas por corrientes marinas y aguas subterráneas	alta

Fuente: (CAR Cundinamarca, 2012).

Los niveles de (C.E.) que se obtuvieron en el análisis de agua realizado en la parte media y baja de la Quebrada La Cristalina fueron de 17,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 17,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, estos datos confirman que el ecosistema de la micro cuenca pertenece a un complejo de bosque húmedos tropical, con presencia de altas montañas en la cabecera de la cuenca. En condiciones naturales los ecosistemas acuáticos de alta montaña, a medida que aumenta su conductividad disminuye su diversidad de especies (CAR Cundinamarca, 2012), con lo cual podemos afirmar que la diversidad de especies acuáticas existentes en la Quebrada La Cristalina es óptima.

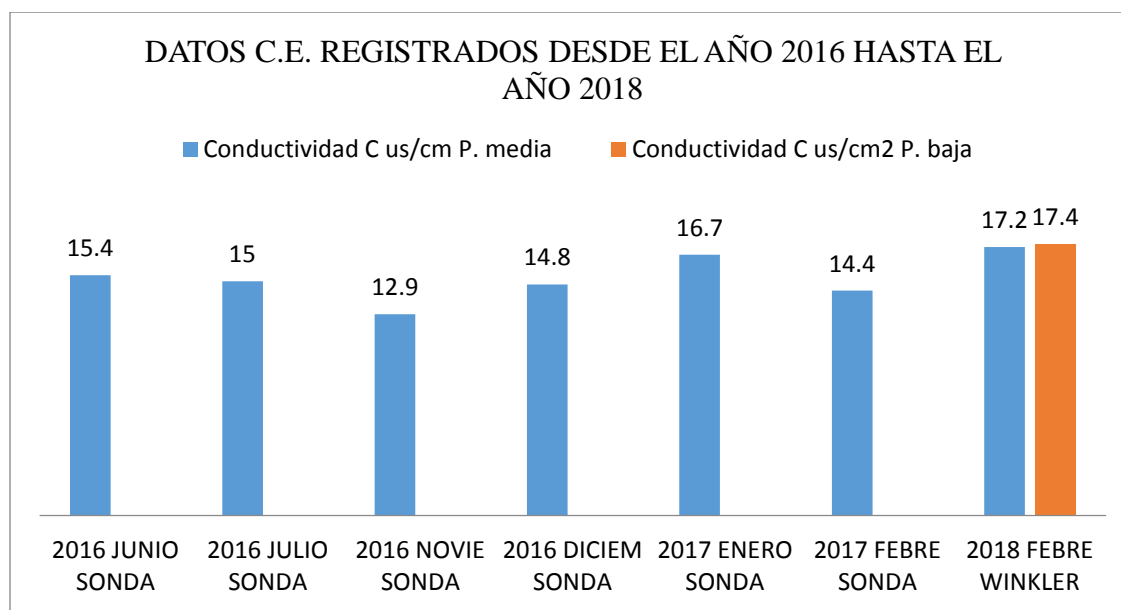


Figura 43. Registro de conductividad eléctrica teniendo en cuenta información de la línea base de calidad del agua de la quebrada la cristalina del PNN El Cocuy y los resultados arrojados por los análisis de laboratorio realizados.

Fuente: Autor, 2018.

Ya que la C.E. en la quebrada la cristalina es muy baja, así mismo el nivel de salinidad presente en el cuerpo de agua lo es, y por ende es menor el esfuerzo que deben hacer las plantas para realizar el proceso de absorción de agua (Agromática).

Por tanto es posible predecir, que de registrarse en un futuro cualquier tipo de vertimientos al cauce de la quebrada la cristalina, su C.E., el pH, los SST, la salinidad y la temperatura del agua aumentaría ocasionando un desequilibrio en el ecosistema que desplazaría los organismos más vulnerables que allí habitan, y disminuiría la calidad del agua, así mismo, se presentaría modificaciones en la composición de la cobertura vegetal.

Con el fin de poder llevar los resultados obtenidos en laboratorio en cuanto a la C.E. Y poder realizar un análisis más descriptivo sobre la calidad del agua del cauce en estudio, se procede a hallar el subíndice de calidad para cada estación, con el fin de aplicar los datos en la fórmula para determinar el indicador del ICA.

Tabla 46

Determinación del IC.E. en la parte media y baja de la Quebrada La Cristalina aplicando la ecuación propuesta por (Ramírez y viña)

Fórmula para hallar el ICE	Aplicada estación P. media	Aplicada estación P. baja
$ICE = (1 - 10^{(-3,26+1,34\log_{10}C.E.)})$	$ICE = (1 - 10^{(-3,26+1,34\log_{10}17,2)})$	$ICE = (1 - 10^{(-3,26+1,34\log_{10}17,4)})$
Resultado ICE	ICE = 0,4559	ICE = 0,4475

Fuente: (IDEAM G. Y., 2005 -2011).

4.4.1.4. Demanda química de oxígeno (DQO).

La DQO es la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica e inorgánica en el agua expresada en mg/L. El valor de la DQO es siempre superior al de la DBO5 porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente. Así mismo, la DQO en un agua muestra las sustancias químicas susceptibles de ser oxidadas al ser sometidas a altas temperaturas y fuertes condiciones ácidas (GESTA).

Los niveles de concentración de la DQO que arrojaron los resultados de laboratorios fueron menores a 14, 98 mgO₂/L para ambas muestras (parte media y baja del cauce). Lo que indica, que el agua de la Quebrada La Cristalina es de buena calidad con bajos contenidos de materia

orgánica degradable y no degradable, por lo cual podemos descartar la presencia de vertimientos de tipo doméstico e industrial sobre el cauce (CONAGUA).

Un aumento en la DQO en el cauce de estudio, indicaría presencia de aguas residuales provenientes principalmente de la industria, así mismo, el aumento DQO disminuiría el contenido de oxígeno disuelto en el cuerpo de agua, que a su vez repercutirá en afectaciones sobre el ecosistema acuático (CONAGUA).

Con el fin de conocer la calidad del agua según el indicador ICA, se procede a determinar el subíndice de calidad para la DQO presente en los dos puntos de monitoreo de la Quebrada La Cristalina, teniendo en cuenta la ecuación propuesta por la Universidad Politécnica de Catalunya (IDEAM G. Y., 2005 -2011).

Tabla 47

Cálculo del IDQO según concentración.

DQO	IDQO	Estación P. media	Estación P. baja
≤ 20	0,91	<14,98	<14,98
≤ 25	0,71		
≤ 40	0,51		
≤ 80	0,26	NO APLICO	NO APLICO
> 80	0,125		

Fuente: Autor con base en (IDEAM G. Y., 2005 -2011)

4.4.1.5. pH.

El pH es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica que se mide en una escala de 0 a 14 como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 48

Tipo de sustancia según el nivel de pH.

Escala del pH	Sustancia
En 7	Neutra
por debajo de 7	Ácida
por encima de 7	básica

Fuente: (GESTA)

A continuación se grafica los registros de pH recopilados de la parte media y baja de la Quebrada La Cristalina, desde junio del 2016 hasta febrero de 2018 con sus métodos y zonas de muestreo.

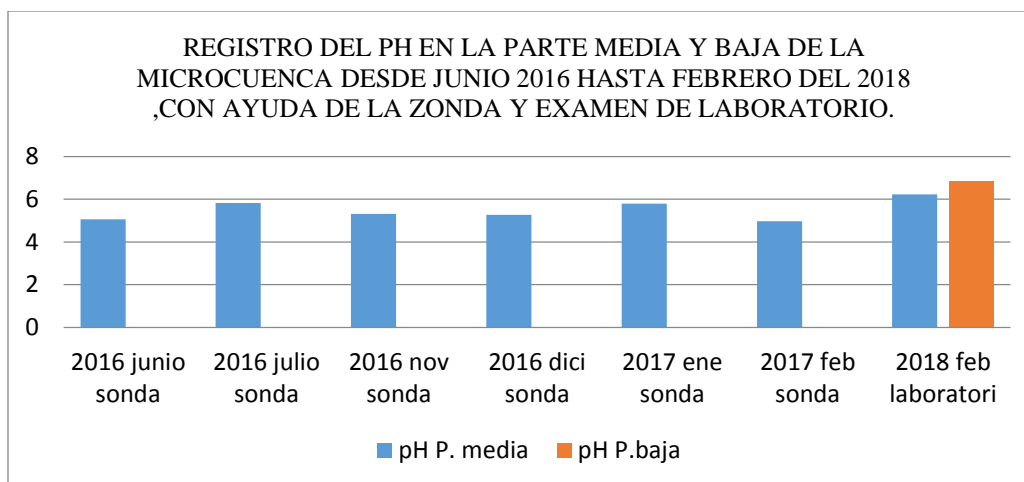


Figura 44. Datos de pH. **Fuente:** Autor con datos de la línea base de calidad quebrada la cristalina PNN el COCUY, 2018.

La grafica anterior muestra un aumento en el pH lo cual puede generarse por los siguientes factores: el método empleado para la obtención del dato, o la temporada de verano que a traviesa la zona.

Tabla 49

Clasificación del agua según el pH

CLASIFICACIÓN DEL AGUA	PH
Fuertemente acida	< 3.5
Acida	3.5 - 5.5
Débilmente acida	5.5 - 6.8
Neutra	6.8 - 7.2
Débilmente básica	7.2 - 8.5
Básica	> 8.5

Fuente: (Agua, 2018)

Teniendo en cuenta la anterior tabla se establece que para el periodo desde junio 2016 hasta febrero de 2018 el PH de la quebrada la Cristalina ha oscilado entre 4.98 hasta 6.88, con estos valores se concluye que el agua del cauce va desde acida hasta débilmente acida, lo cual no genera ningún tipo de efectos directos sobre los consumidores. Sin embargo el cambio drástico en el pH de una corriente por contaminación orgánica o industrial, rompería el equilibrio ecológico en el ecosistema de la cuenca y la mayoría de las especies no resistiría el desequilibrio y terminarían desapareciendo ya que valores extremos pueden afectar la flora y fauna acuáticas; sumado a esto PH superiores a 11 produciría irritamiento ocular y agravación de trastornos cutáneos (CAR Cundinamarca, 2012).

Para determinar el subíndice de calidad para el PH presente en los dos puntos de monitoreo de la Quebrada La Cristalina, teniendo en cuenta la ecuación propuesta por el laboratorio del Departamento de Calidad Ambiental de Oregón (Estados Unidos).

Tabla 50

Fórmula para hallar el IPH en la parte media y baja de la Quebrada La Cristalina

pH	IpH	estación P. media	estación P. baja
<4	0,1	NO APLICA	NO APLICA
≤7	$0,02628419 * e^{(pH*0,520025)}$	$0,02628419 * e^{(6,23*0,520025)}$	$0,02628419 * e^{(6,88*0,520025)}$
≤8	1		
≤11	$1 * e^{((pH-8)-0,5187742)}$	NO APLICA	NO APLICA
>11	0,1		
Resultado del IpH para cada estación		IpH = 0,6709	IpH = 0,9408

Fuente: Autor, 2018.

4.4.2. Determinación del indicador del índice de calidad de agua superficial (ICA)

Una vez hallados los subíndices de las siguientes variables (OD, SST, C.E, DQO y PH), se procede a determinar y analizar el Indicador ICA para la parte media y baja de la Quebrada La Cristalina con los datos obtenidos por el laboratorio.

El ICA define el grado de calidad de un cuerpo hídrico determinado, reconociendo de forma rápida los problemas de contaminación que este posea, sin tener que recurrir al análisis de un sinnúmero de variables físico-químicas que pueden determinar la calidad del agua. Lo cual permite dar mayor ponderación a los parámetros más relevantes según el evaluador o la finalidad de la evaluación (CAR Cundinamarca, 2012).

Por medio de la ponderación se refleja la importancia o peso de cada variable, lo cual permite que la medición de la calidad del agua sea objetiva. Para analizar el ICA en las respectivas estaciones de monitoreo localizadas en la parte media y baja de la Quebrada la cristalina, se toma la clasificación de la calidad del agua según los datos que tome el ICA, los valores que puede tomar el indicador de calidad de agua de corrientes superficiales están clasificados en categorías como se muestra en la siguiente tabla, la cual refleja la relación entre valores que tome el ICA y su respectiva calificación (IDEAM G. Y., 2005 -2011).

Tabla 51

Categorías de valores que puede tomar el indicador Calificación de la calidad del agua

Señal de alerta	
0,00 – 0,25	Muy mala Rojo
0,26 – 0,50	Mala Naranja
0,51 – 0,70	Regular Amarillo
0,71 – 0,90	Aceptable Verde
0,91 – 1,00	Buena azul

Fuente. (IDEAM G. Y., 2005 -2011)

Cabe aclarar que este indicador de calidad nos da la posibilidad de calcular el índice de calidad de aguas superficiales con las mediciones obtenidas de un solo muestreo (IDEAM G. Y., 2005 -2011).

La siguiente grafica muestra el resultado obtenido al hallar el subíndice de calida para cada una de las variables seleccionas con el fin de determinar el indicador ICA en la parte media y baja de la Quebrada La Cristalina.

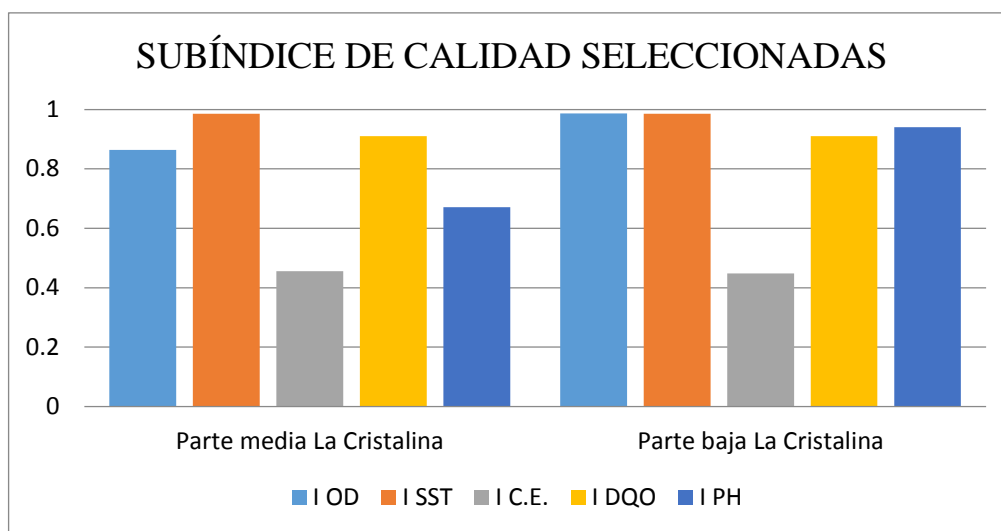


Figura 45. Resultados de los 5 subíndices de calidad. **Fuente:** Autor, 2018.

Una vez determinado el subíndice de calidad para cada variable comprometida en el cálculo del indicador ICA en cada estación de monitoreo se prosigue averiguar el ICA para la parte media y baja del cauce Quebrada La Cristalina empleando la formula general del indicador como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 52

Cálculo del indicador ICA para la parte media y baja del cauce en estudio

variables	(I) parte media	Ponderación (W)	ICA parte media Q. La Cristalina	Resultado
IPH	0,6709	0,2	$ICA_{PH} = W_{PH} * IPH$	0,13418
IDQO	0,91	0,2	$ICA_{DQO} = W_{DQO} * IDQO$	0,182
ICE	0,4559	0,2	$ICA_{CE} = W_{CE} * ICE$	0,09118
ISST	0,98547	0,2	$ICA_{SST} = W_{SST} * ISST$	0,197094
IOD	0,8634	0,2	$ICA_{OD} = W_{OD} * IOD$	0,17268
Formula del indicador ICA Parte media			$ICA_{P.media} = \sum_{j=1}^n W_j * I_{jkt}$	0,777134
variables	(I) parte baja	Ponderación (W)	ICA parte baja Q. La Cristalina	Resultado
IPH	0,9408	0,2	$ICA_{PH} = W_{PH} * IPH$	0,18816
IDQO	0,91	0,2	$ICA_{DQO} = W_{DQO} * IDQO$	0,182
ICE	0,4475	0,2	$ICA_{CE} = W_{CE} * ICE$	0,0895
ISST	0,98547	0,2	$ICA_{SST} = W_{SST} * ISST$	0,197094
IOD	0,9871	0,2	$ICA_{OD} = W_{OD} * IOD$	0,19742
Formula del indicador ICA Parte baja			$ICA_{P.baja} = \sum_{j=1}^n W_j * I_{jkt}$	0,854174

Fuente: Autor, 2018.

Teniendo en cuenta la ponderación del indicador ICA para el cual se utilizó 5 variables (PH, ST, C.E, OD, DQO) de calidad del agua en la parte media y baja de la Quebrada la Cristalina, se puede establecer que la calidad del agua en la zona de estudio es aceptable y ligeramente mejor en la parte baja del cauce, gracias a la capacidad que esta tiene a la hora de re oxigenarse.

4.4.3. Análisis de otras variables de calidad calculadas.

4.4.3.1. DBO5

La demanda bioquímica de oxígeno, (DBO) es un parámetro que mide en una muestra líquida la contaminación por materiales orgánicos carbónicos, nitrógeno Oxidables y compuestos químicos reductores todos estos susceptible a algún tipo de degradación bioquímica a través de microorganismos, en otras palabras la DBO5 es la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos para degradar bioquímicamente la materia orgánica presente en un líquido, por tanto es aplicable a muestras de aguas superficiales (GESTA).

Por otro lado el consumo de agua con alto contenido de DBO5 representa un riesgos en la salud humana, porque aumenta la carga bacteriana heterótrofas (patógenos), ya sea por consumo directo del agua o indirecto a través del consumo de alimentos cuyo riego se haya realizado con agua contaminada (Orjuela, Saldarriaga, Garcia, & Wilches, 2010).

Las bacterias son las que oxidan la materia orgánica presentes en el agua y por tanto a mayor cantidad de materia orgánica mayor consumo de OD y mayor cantidad de bacterias en el agua, por tal razón se recomiendan concentraciones menores de DBO: 3 mg/l o 5mg/l, y el nivel aceptable de DBO en aguas dulces es (5 mgO₂/L y 10 mgO₂/L) (GESTA). Sin embargo, las aguas naturales no contaminadas poseen, por lo regular, bajas concentraciones de materia orgánica disuelta < 2 mg/l (CAR Cundinamarca, 2012).

Los niveles de la DBO5 en la microcuenca la Quebrada La Cristalina en la parte media y baja fue menor a 2mg O₂ /L el cual es el límite mínimo detectable con la prueba de DBO de 5 días (GESTA), lo que indica que el agua del cauce en estudio no se encuentra contaminable y posee excelentes condiciones de calidad (CONAGUA).

4.4.3.2. Dureza

La dureza del agua está definida por la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en ella, el grado de dureza de un agua aumenta, cuanto más calcio y magnesio tiene disuelto; las aguas con bajas durezas se denominan blandas y biológicamente son poco productivas, por lo contrario las aguas con dureza elevada se de nominan duras y son muy productivas, mientras que las aguas con durezas intermedias pueden poseer fauna y flora más variada (CORTOLIMA); en general, las aguas superficiales son más blandas que las aguas profundas (GESTA).

Aunque el agua dura no tiene ningún riesgo a la salud humana, concentraciones superiores a 200 mg/L pueden afectar la tubería, los calentadores de agua y los lavaplatos (GESTA).

La siguiente tabla muestra la clasificación de la dureza por CaCO₃ en el agua según la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Tabla 53*Clasificación de la dureza en el agua, según OMS*

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

Fuente: (Mora, Alfaro, Portuquez, & Peinador, 2000)

El grado de dureza del agua de la microcuenca Quebrada La Cristalina va desde 11.88 mg CaCO₃/L en su parte media hasta 6.93 CaCO₃mg/L en su parte baja, este grado pertenece aguas muy blanda según la clasificación de dureza de la OMS, y por ende son biológicamente poco productivas; así mismo, el agua del cauce en estudio presenta bajos contenidos de iones de calcio y magnesio (GESTA).

4.4.3.3. Alcalinidad.

La alcalinidad es la capacidad que posee un medio acuoso para neutralizar ácidos, la alcalinidad de las aguas naturales se constituye principalmente por las sales de ácidos débiles y bases fuertes las cuales actúan como amortiguadores para resistir los cambios de pH (GESTA), por tanto la alcalinidad permite determinar la capacidad de un medio acuoso para mantener sus procesos biológicos y su productividad (Roldán 2003) (CORTOLIMA).

Es un indicador de la calidad general del agua; no representa riesgos a la salud y en altas concentraciones genera rechazo, en condiciones naturales se encuentra concentraciones de 200 mg/L a 500 mg/L (GESTA). La alcalinidad se expresa de la siguiente forma teniendo en cuenta la cantidad de bicarbonatos y carbonatos presentes en el agua.

Tabla 54*Tipo de alcalinidad según el pH*

pH	Tipo de Alcalinidad
<8.3	Alcalinidad bicarbonato
>8.3	Alcalinidad carbonato

Fuente: (CAR Cundinamarca, 2012).

A continuación se grafican los resultados de alcalinidad total en mgCaCO₃/L y lo de pH obtenidos en laboratorio en la parte media y alta de la microcuenca Quebrada La Cristalina.

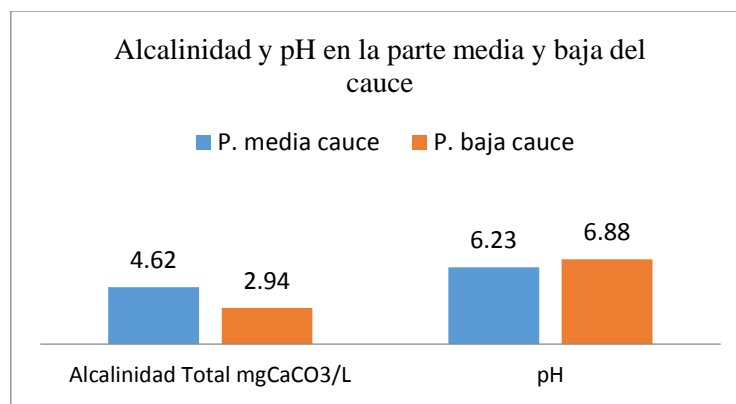


Figura 46. Relación alcalinidad y pH. **Fuente:** Autor, 2018.

La grafica muestra que teniendo en cuenta el pH que posee la parte media y baja de la microcuenca en estudio, posee una alcalinidad bicarbonatada ya que su grado de pH es menor a 8.3 (GESTA).

4.4.3.4. Nitritos y Nitratos.

Tabla 55

Características de los nitritos y nitratos

NITRITOS (NO ₂)	NITRATOS (NO ₃)
<p>Son solubles en agua, se forman a partir de los nitratos, ya sea por oxidación bacteriana incompleta del nitrógeno en los sistemas acuáticos y terrestres o por reducción bacteriana. Al ser agentes oxidante y reductor, se transforman rápidamente en nitratos, los nitrito son oxidados por el grupo de nitro bacterias, las cuales posteriormente forman nitrato (NO₃).</p> <p>Rara vez se encuentran en concentraciones mayores que 1 mg/L, en aguas superficiales son bastante menor que 0.1 mg/L. El valores aceptables es de 1 mg/L N-nitrito.</p> <p>Cuando entra en el flujo sanguíneo, reacciona con la hemoglobina, formando un compuesto llamado metahemoglobina, el cual reduce la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, cuando oxígeno disminuye en los bebés, muestran síntomas de una enfermedad llamada metahemoglobinemia que dificulta la respiratoria. A demás de los nitritos se pueden formarse nitrosaminas, las cuales son cancerígenas.</p>	<p>Son muy solubles en el agua, es la forma más estable termodinámicamente del nitrógeno en presencia de oxígeno.</p> <p>Los nitratos predominan más que los nitritos tanto en agua superficial como en subterránea, son nutrientes fácilmente asimilables por las plantas y pueden servirles como fertilizantes, y su aporte al agua de mar, de ríos y lagos favorecen el crecimiento de algas y consigo la eutrofización.</p> <p>Los excesos de nitratos, son transportados por el agua, luego se filtran a través del suelo, debido a que el suelo no tiene la capacidad de retenerlos, lo cual permite encontrarse concentraciones superiores en aguas subterráneas.</p> <p>Para su determinación se emplea el método de reducción de cadmio, y su límite mínimo detectable es 0.01mg/L, la EPA recomienda concentración menores de 45 mg/L, ya que produce efectos sobre la salud de los infantes</p>

Fuente: (GESTA).

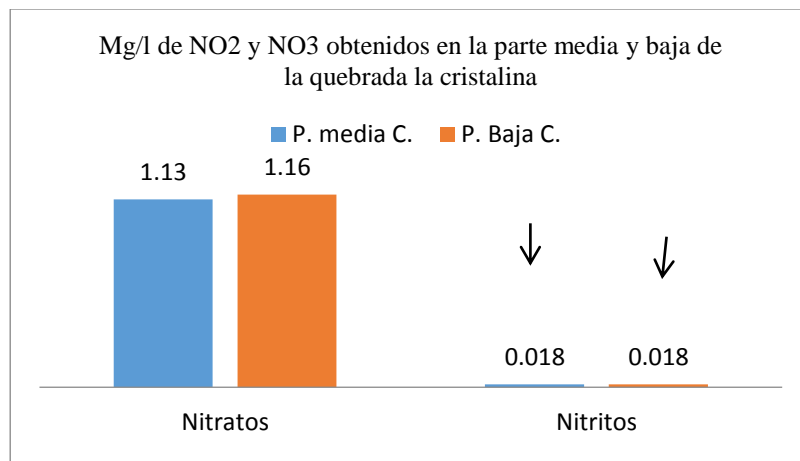


Figura 47. Resultados de NO₂ y NO₃ en el agua del cauce de la Quebrada La Cristalina. **Fuente:** Autor, 2018.

La concentración nitratos presentes en la cuenca varían desde 1.13mg/L en la parte media hasta 1.16mg/L en la parte baja en la Quebrada La Cristalina lo que indica una nivel bajo, teniendo en cuenta que el límite mínimo detectable de nitratos por el método de reducción de cadmio es de 0.01mg/L (GESTA), esta concentración de nitratos en el agua no generar efecto en la salud en niños menores a 6 meses.

Este bajo nivel de nitratos en el cauce deja ver que la parte media de la microcuenca cuenta con menos procesos de eutrofización que la parte baja, que a su vez confirma la escasa presencia de algas y plantas acuática en el cauce; así como bajos aportes de nitratos para la fertilización de las plantas (GESTA). Así mismo, refleja la poca utilización de fertilizantes nitrogenados en zonas aledañas a la cuenca, y reduce la posibilidad de encontrar focos de contaminación causados por la acumulación de excretas humanos y/o animales, ya que estos son solubles y no adsorben a los componentes del suelo, por lo que son movilizados con facilidad por las aguas superficiales y subterráneas (CAR Cundinamarca, 2012).

Por otro lado los aportes de nitritos en la cuenca son menores de 0,018 mg/L en la parte media y baja de la Quebrada La Cristalina, este nivel es más que aceptable teniendo en cuenta que el nivel máximo aceptable es de 1mg/L, ya que concentraciones mayores pueden afectar considerablemente la salud humana (GESTA).

Si la microcuenca llegase a presentar un exceso de nitrógeno en sus aguas, generaría un crecimiento masivo de algas y plantas acuáticas en la cuenca, ocasionando fuertes cambios en el

ecosistema, los que provocaría una fuerte reducción en la riqueza de especies (CAR Cundinamarca, 2012).

La contaminación orgánica y la agrícola son las fuentes principales de nitrógeno en el agua, el consumo de agua con concentraciones elevadas de nitratos y nitritos, podrían enfermar gravemente de metahemoglobinemia a niños menores de 6 meses (GESTA).

4.4.3.5. *Sólidos Totales (ST) y Sólidos Disueltos Totales (SDT).*

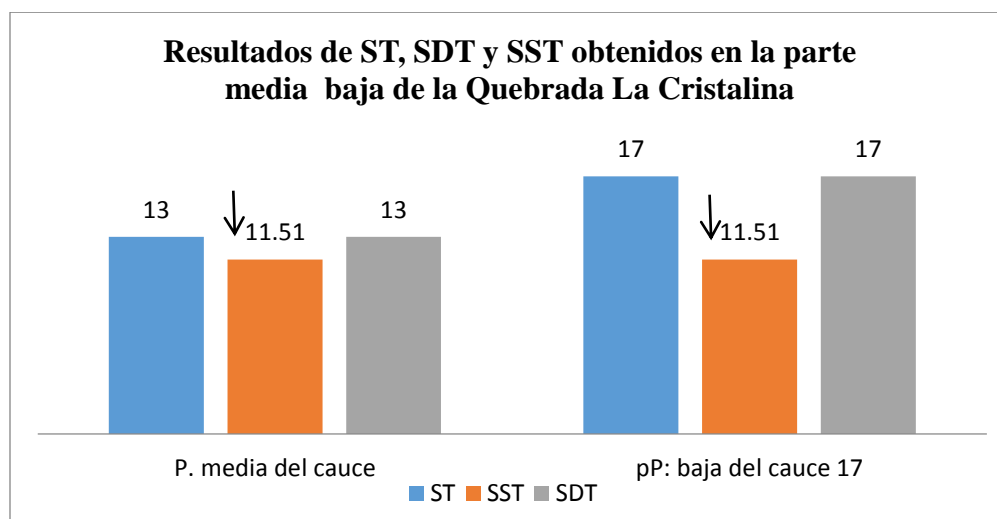


Figura 48. Concentraciones de ST, SDT Y SST, obtenidos en la parte media y baja del cauce. **Fuente:** Autor, 2018.

La grafica muestra que las concentraciones de solidos totales (ST) y solidos disueltos totales (SDT), son menos en la parte media del cauce que en la parte baja de la Quebrada La Cristalina, con lo cual podemos afirmar que los sólidos suspendidos totales (SST) son extremadamente pocos, ya que los sólidos totales (ST) incluyen lo solidos suspendido y disueltos (CORTOLIMA).

4.4.3.6. *Turbidez y Color Real.*

La turbidez es la resistencia que posee un agua a la hora de transmitir la luz, en otras palabras es el grado de opacidad producido en el agua por la material particulado en suspensión, el nivel de la turbiedad aumenta o disminuye conforme lo hace la materiales en suspensión ya sea arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica, organismos planctónicos, sedimentos

procedentes de la erosión y demás microorganismos (CORTOLIMA), el tamaño de estas partículas pueden variar entre 0,1 a 1.000 nm (nanómetros) de diámetro (GESTA).

La turbidez es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión, elevados niveles de turbiedad pueden estimular la proliferación de bacteria. Una alta turbidez suele asociarse a altos niveles de microorganismos como virus, parásitos y algunas bacterias, los cuales pueden provocar nauseas, retortijones, diarreas y dolores de cabeza en los humanos (GESTA). A demás incide directamente en la productividad y el flujo de energía dentro del ecosistema.

Según la organización mundial de salud OMS, se considera aceptable para los consumidores, concentraciones de 5 UNT (Unidades nefelométricas de Turbidez), pero en condiciones naturales los recursos hídricos podemos encontrar concentraciones menores de 1000 UNT (GESTA).

En cuanto al color, las aguas superficiales pueden parecer altamente coloreadas debido a la presencia de materia pigmentada en suspensión, cuando en realidad el agua no tiene color. El color causado por la materia en suspensión es llamado color aparente y es diferente al color real debido a extractos vegetales u orgánicos, que son coloidales. El color no permite el paso de la luz para el desarrollo de la biodiversidad (GESTA).

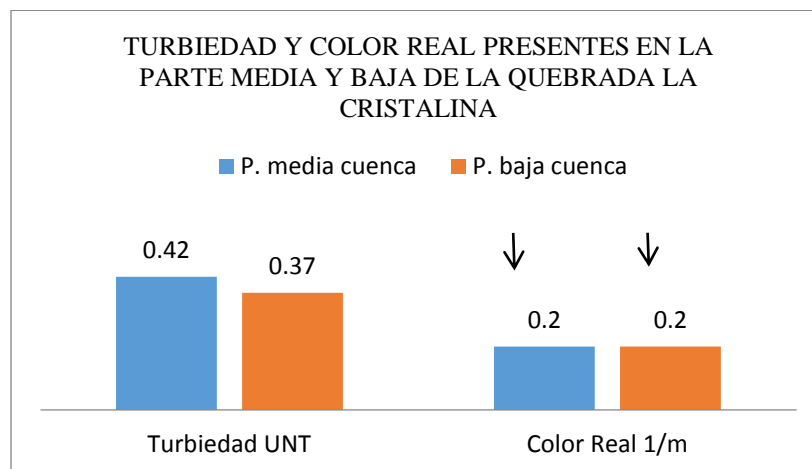


Figura 49. Resultados obtenidos de turbidez y color real. **Fuente:** Autor, 2018.

La grafica muestra los niveles de concentración que presenta el recurso hídrico de la quebrada la cristalina en cuanto a turbiedad UNT y color real en 1/m obtenidos en el laboratorio.

En campo se observó un color aparente in coloro y una turbiedad trasparente, sin embargo el color real registrado para la parte media y baja del cauce es menor de 0,2 1/m en donde las partícula presentes variaron desde 436 hasta 620 nanómetros. Por otro lado podemos observar que la turbiedad es aumente en la parte media y disminuye en la parte baja, lo cual puede generarse por las grandes turbulencias con la que llega el agua en la parte media, mientras que en la parte baja gracias a que la pendiente se suaviza y a la distancia que esta recorre la turbiedad disminuye.

La baja presencia de turbiedad en el agua y de color nos indica que el cauce presenta pocos solidos suspendidos lo que disminuye la presencia de bacterias y de materia orgánica que contribuya a procesos de eutrofización.

4.4.3.7. *Coliformes Totales, Coliformes Fecales, E Coli.*

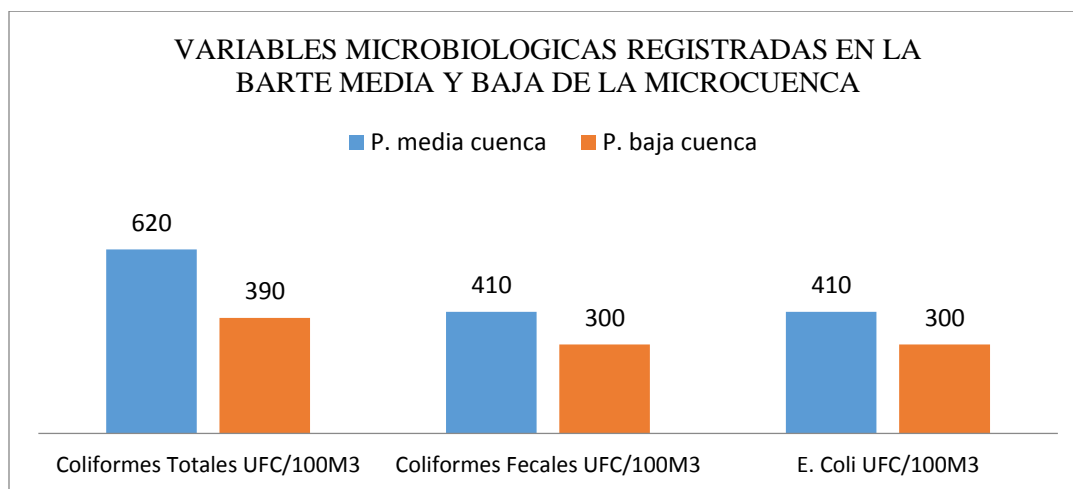


Figura 50. Resultado de las variables microbiológicas. **Fuente:** Autor, 2018.

La grafica muestra que la microcuenca quebrada la cristalina presenta un riesgo alto de contaminación por coliformes totales, ya que el número de coliformes totales encontrados en la parte media y baja del cauce se encuentran en el rango de 100 a 1000 UFC/100 ml de la clasificación de coliformes totales en las fuentes de agua, esta presencia de coliformes totales representa un gran riesgo para la salud humana (Bautista Olivas, 2013). Así mismo podemos observar que hay mayor concentración de coliformes totales en la parte media de la microcuenca quebrada la cristalina mientras en la parte baja ubicada aproximadamente 2km aguas abajo

presenta una disminución de aproximadamente el 37% en la concentración de coliformes totales lo que demuestra la buena capacidad que tiene el cauce para reoxigenar sus aguas.

4.4.3.8. Temperatura.

La temperatura es un parámetro muy importante dada su influencia sobre el desarrollo de la vida acuática, ya que influye en el comportamiento del pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas presentes en el agua, un aumento de temperatura puede llegar a desoxigenar un cuerpo de agua en un alto porcentaje, así mismo puede conducir a un aumento en la mortalidad de la vida acuática, las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a una indeseada proliferación de plantas acuáticas y hongos y producir desplazamiento de especies vulnerables (GESTA).

La temperatura afecta la solubilidad del oxígeno en el agua a mayor temperatura menor solubilidad y viceversa. La temperatura está determinada por la cantidad de energía calórica (ondas del infrarrojo que es absorbida por un cuerpo de agua). Las descargas de aguas a altas temperaturas pueden causar daños a la fauna y flora de las aguas receptoras al intervenir con la reproducción de especies, incrementar el crecimiento de bacterias y otros organismos no autóctonos (CAR Cundinamarca, 2012).

La temperatura óptima para el desarrollo de las actividades se inhibe cuanto más se acerca a los 15°C y se detienen cuanto más se acerca a 50°C. Aguas con temperaturas menores a 15 °C y mayores a 34°C pueden causar afectaciones a los seres humanos. La temperatura máxima aceptable para el consumo humano es de 15°C (GESTA).

Conclusiones

La forma de la microcuenca quebrada la cristalina nos indica que presenta eventos moderados de torrencialidad, adicionalmente posee una pendiente superior al 70% en la parte alta y hacia la parte baja presenta pendientes menores del 30%. Por otra parte su régimen de precipitaciones es más alto que los de las altas montañas (> 3000 msnm), debido a que se encuentra ubicada por debajo del plafón de las nubes. Las coberturas de la microcuenca en la su mayoría está compuesta por bosques, lo que ayuda en la regulación del ciclo hidrológico y de sus tiempos de concentración, sin embargo en la parte media y baja se presentan coberturas formadas por pastos y áreas naturales, en los que hay que implementar medidas que permitan la conservación de la ronda hídrica del cauce.

Se calculó satisfactoriamente la oferta hídrica disponible en la parte media y baja de la microcuenca en condiciones de menos y más lluvia, la cual varía desde 4.76 m³/sg hasta 1.45 m³/sg, sin embargo puede llegar hacer menos ya que las precipitaciones registradas por las estaciones pluviométricas para el periodo de junio del 2017 a enero del 2018 fueron mayores que el promedio registradas en la década del 2005 al 2015 por la estación del IDEAM en el municipio de Tame.

Al simular la escorrentía superior del cauce principal de la microcuenca se logra identificar que el lugar ubicado en las siguientes coordenadas (N 06°37'22,9'' - W 0,71°50'17,9''), presenta un posible riesgo de desbordamiento cuando los caudales de escorrentía es mayor 25 m³/sg cuando las precipitaciones supera los 200mm.

Las condiciones de OD, SST, pH, CE y DQO permitieron inferir que la calidad del agua superficial en la parte media y baja de la microcuenca Quebrada La Cristalina según el ICA es aceptable, pero no se recomienda ser consumida directamente de la fuente ya que presento concentraciones elevadas de coliformes totales especialmente en le parte media, lo que permite inferir posibles focos de contaminación fecal en la parte alta del cauce.

Recomendaciones

Mantener o mejorar el estado de la cobertura vegetal que posee la microcuenca quebrada la cristalina, para mitigar los efectos generados por la torrencialidad, los cuales pueden suceder por las condición de la forma y distribución de la microcuenca, para esto es necesario que el parque nacional natural el cocuy, continúe con sus labores de control y vigilancia con el fin de evitar la tala especialmente de especies maderables y por ende la transformación de la cobertura de la zona de estudio, así mismo es necesario implementar programas o proyectos con las personas establecidas dentro de la microcuenca, los cuales apunten al mejoramiento de las coberturas vegetales y a la regulación del ciclo hidrológico.

Tener en cuenta los cálculos de caudal obtenidos en esta investigación, para futuras concesiones, y a la hora de calibrar los equipos de la estación hidrológica de la quebrada la cristalina, con el fin de que sea más eficiente a l momento de emitir alertas tempranas.

Realizar trabajos de campos para conocer como es la altimetría que conforman los bancos de las secciones transversales del cauce principal de la quebrada la cristalina, y detallar la superficie de las zonas de inundación, con el fin de corroborar la información que se obtuvo en la simulación.

Realizar visitas a campo para verificar los sitios de vulnerabilidad a inundación que se identificaron en la simulación y delimitar en campo los límites de estas zonas inundables.

Referencias Bibliográficas

- Agromatica. (s.f.). *La conductividad eléctrica del agua de riego*. Obtenido de <https://www.agromatica.es/conductividad-electrica-del-agua/>
- Agua. (18 de MARZO de 2018). *slideshare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/omaruriel/agua-46017076>
- Anaya, O. G. (2012). *CARACTERIZACION MORFOMETRICA DE LA CUENCA HIDROGRAFICA CHINCHAO, DISTRITO DE CHINCHAO, PROVINCIA HUANUCO, REGION HUANUCO*. TINGO MARIA- PERÚ.
- Bautista Olivas, A. L. (2013). Calidad microbiológica del agua obtenida por condensación de la atmósfera en Tlaxcala, Hidalgo y Ciudad de México. *REVISTA INTERNACIONAL DE CONTAMINACION AMBIENTAL*.
- Bermeo, J. (13 de 04 de 2012). *www.ecotec.edu.ec*. Obtenido de http://www.ecotec.edu.ec/documentacion%5Cinvestigaciones%5Cdocentes_y_directivos%5Carticulos/4955_Fcevallos_00009.pdf
- CAR Cundinamarca. (Octubre de 2012). *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/339016188/Macroinvertebrados-como-Bioindicadores-CAR-pdf>
- Carrascal, F. M. (16 de 12 de 2009). *ideam.gov.co*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/15016/ModelacionAltaMontana.pdf/638e42e-e-5598-4e8a-b5da-5e09a781a847>
- CIFEN, C. I. (s.f.). *www.ciifen.org*. Obtenido de http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=article&id=573:variabilidad-climatica-y-extremos&catid=98&Itemid=131&lang=es
- Cocuy, P. D. (2014).
- CONAGUA. (s.f.). *Situación de los recursos hídricos*. Obtenido de https://vatten-corporate-s-a-de-c-v.webnode.mx/_files/200000194-23ae424b10/Situacion%20de%20los%20recursos%20h%C3%ADdricos.pdf
- CORPORINOQUIA, G. D. (s.f.). *REVISIÓN Y AJUSTE PLAN BÁSICO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL*. MUNICIPIO DE TAME.

CORTOLIMA. (s.f.). Obtenido de

https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/e01.pdf

Criado, B. C., & Illereas, I. T. (2016). *http://repositorio.ufpso.edu.co/*. Obtenido de

<http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/1090/1/28663.pdf>

Estrada Sifontes, V. y. (26 de 07 de 2015). *scielo.sld.cu*. Obtenido de

http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S168003382012000100008&script=sci_arttex

Feliz Darío Sanchez, M. G. (2010). *IDEAM*. Obtenido de Estudio nacional del agua 2010:

<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP3.pdf>

Gálves, J. J. (2011). *Cartilla técnica (Que es Cuenca Hidráulica)*. Lima - Perú: Sociedad Geográfica de Lima.

García, M., Contreras, C. Y., Sánchez, F. D., Marín, R., Guzmán, H., Wilches, J. H., y otros. (1999). *www.bvsde.paho.org/*. Obtenido de

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaiia/fulltext/ideam.pdf>

GESTA, G. d. (s.f.). *PARÁMETROS ORGANOLÉPTICOS*.

Gomez, J. V. (s.f.). *Repositorio escuela superior politecnica del litoral*. Obtenido de

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6145/2/Calidad%20de%20Agua%20Unidad%201,2,3.pdf>

Gonzalez, L. G. (2016). *PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PARA EL PROYECTO “CENTRO RECREACIONAL AGUA VIVA; QUE INCLUYE DOS PISCINAS PARA USO RECREATIVO, UNA CANCHA DEPORTIVA, ZONA DE JUEGOS DE MESA Y ZONA DE TIENDA, UBICADO EN EL PREDIO EL TRIANGULO, VEREDA QUIRIPAL MEDIO, MUNICIPIO DE F. FORTUL*.

Goyenola, G. (Junio de 2007). *Guía para la utilización de las Valijas Viajeras – Oxígeno Disuelto*. Obtenido de

http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/OD.pdf

GreenFacts. (s.f.). *RECURSOS HIDRICOS (Resumen del 2 informe de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hidricos en el mundo.)*. Obtenido de www.greenfacts.org:

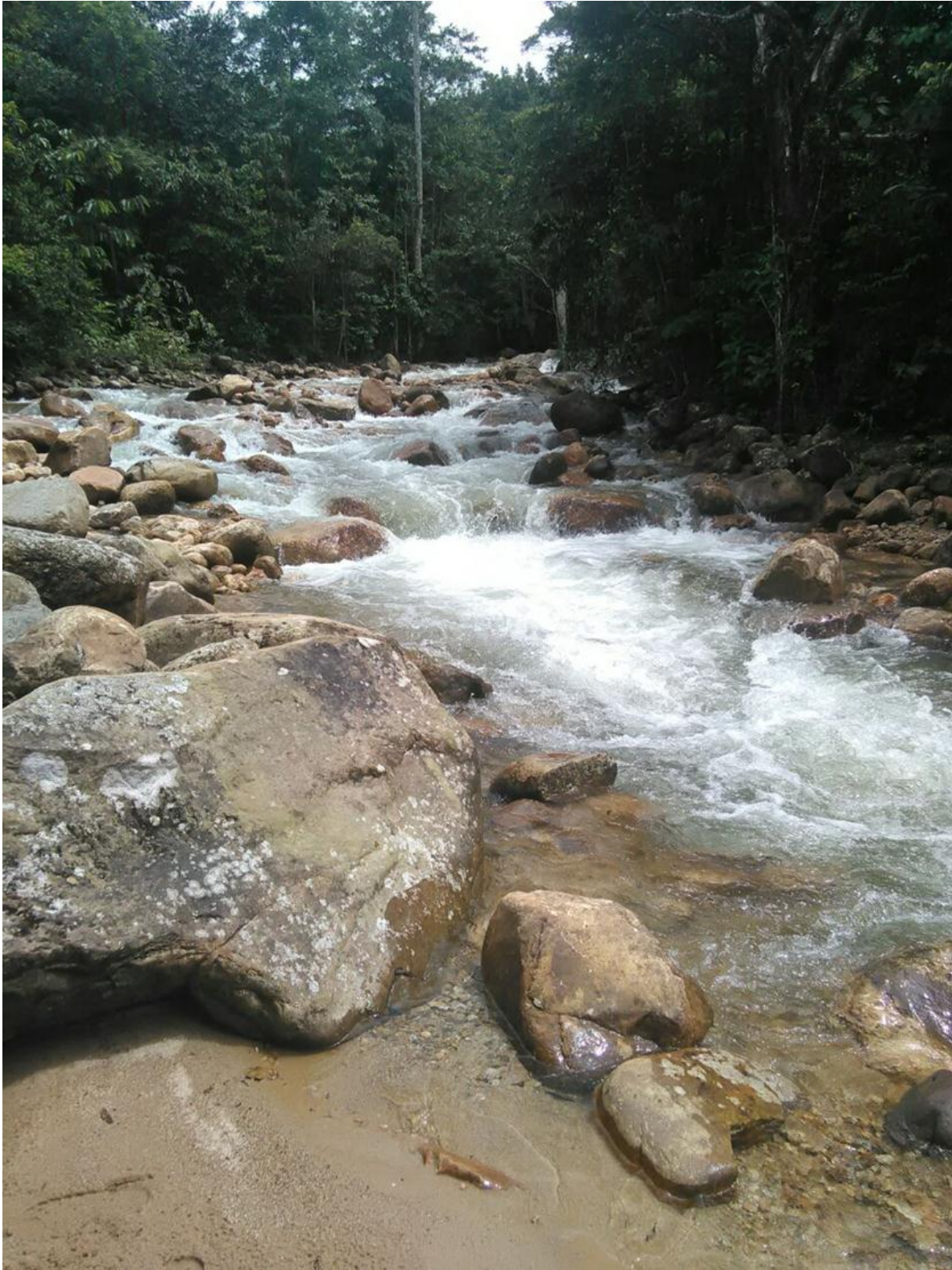
<http://www.greenfacts.org/es/recursos-hidricos/recursos-hidricos-foldout.pdf>

- GreenFacts. (s.f.). *www.greenfacts.org*. Obtenido de <http://www.greenfacts.org/es/recursos-hidricos/recursos-hidricos-foldout.pdf>
- Guerrero, L. G., & Sandoval, F. E. (2006). COLOMBIA: LOS RECURSOS HIDRICOS Y EL MARCO LEGAL. *REVISTA VIRTUAL VIA INVENIENDI ET IUDICANDI*.
- Hidrología, C. h. (s.f.). *caminos.udc.es*. Obtenido de http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/415/pdfs/Capitulo%205.pdf
- IDEAM. (2010). *Estudio nacional del agua CAPITULO 6 CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL EN COLMBIA*.
- IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Bogotá, D. C.: Editorial Scripto Ltda.
- IDEAM. (2014). <http://www.ideam.gov.co/>. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica>
- IDEAM. (s.f.). <http://www.ideam.gov.co>. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica>
- IDEAM, G. Y. (2005 -2011). *ndice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA)*. Obtenido de <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/15710/2/Anexo%201%20Hoja%20Metodol%C3%B3gica%20ICA.pdf>
- Londoño, C. H. (2001). *Cuencas Hidrográficas: Bases conceptuales - Caracterización y planificación*. Ibagué: Universidad del Tolima.
- Ministerio, d. m. (2010).
- Mora, D. A., Alfaro, N. H., Portuquez, C. F., & Peinador, M. B. (2000). Cálculos en las vías urinarias y su relación con el consumo de calcio en el agua de bebida de Costa Rica. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 9(17).
- Naranjo, E. T., & Quintero, E. G. (2010). *unilibre.edu.co*. Obtenido de <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista10/articulos/aplicaci%C3%B3n-del-modelo-de-simulacion-hidr%C3%A1ulica-hec-ras.pdf>
- Naturales, U. d. (SEPTIEMBRE de 1990). *LOS RECURSOS HIDRICOS DE AMERICA LATINA Y DEL CARIBE: PLANIFICACION, DESASTRES NATURALES Y CONTAMINACION*. SANTIAGO DE CHILE: NACIONES UNIDAS.

- Orjuela, L. C., Saldarriaga, G., Garcia, M., & Wilches, H. (2010). CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL EN COLOMBIA. Colombia.
- PALENQUE, M. D. (2008). *ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL*. Obtenido de cdim.esap.edu.co:
<http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/san%20luis%20de%20palenque%20-%20casanare%20-%20eot%20-%202008%20-%20formaulacion.pdf>
- PNNC. (2005). *storage.googleapis.com Plan de manejo 2005 -2009*. Obtenido de www.parquesnacionales.gov.com: <https://storage.googleapis.com/pnn-web/uploads/2013/12/PlandeManejoPNNElCocuy.pdf>
- PNNC. (FEB de 2015). *Parque Nacional Natural El Cocuy*. Obtenido de <http://www.parquesnacionales.gov.co>: <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2015/06/Descripci%C3%B3n-PNN-El-Cocuy.pdf>
- Ramirez, R. M. (15 de JULIO de 2003). <http://www.sogeocol.edu.co/>. Obtenido de <http://www.sogeocol.edu.co/documentos/06colo.pdf>
- resources, A. (s.f.). <http://resources.arcgis.com/>. Obtenido de <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- WORLD WATER, A. P. (2003). *WATER FOR PEOPLE, WATER FOR LIFE*. edicion española.
- Yepes, P. P. (s.f.). Obtenido de www.aguaysig.com

Apéndices

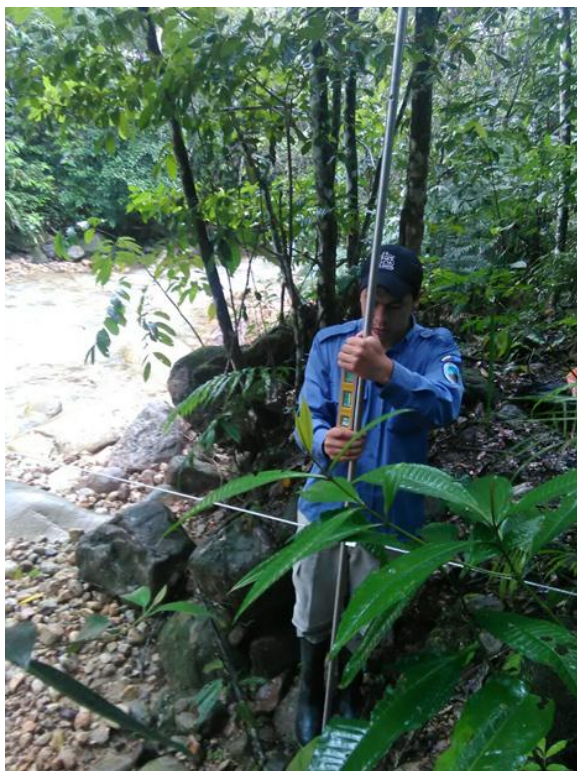
Apéndice 1. Parte Media Baja De La Microcuenca Quebrada La Cristalina



Fuente: Autor, 2018.

Apéndice 2. Levantamiento de la secciones transversales.

Fuente: Autor, 2018.

Apéndice 3. Trabajo en campo.

Fuente: Autor, 2018.

Apéndice 4. Datos arrojados en la simulación para un evento normal de precipitación.

Q. TOTAL	Min Ch El	W.S Elev	Cri W.S	E.G Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
0.25	1170	1170.17	1170.23	1170.37	0.141789	1.96	0.13	1.26	1.97
0.25	1100	1100.02	1100.02	1100.03	0.093685	0.48	0.52	32.46	1.22
0.25	1050	1050.02	1050.04	1050.06	0.174815	0.85	0.29	12.63	1.78
0.33	1000	1000.02	1000.02	1000.03	0.047444	0.43	0.76	34.38	0.92
0.33	940	940.04	940.04	940.06	0.051959	0.62	0.52	14.46	1.05
0.42	900	900.03	900.03	900.05	0.072222	0.62	0.68	24.29	1.18
0.42	862.98	863.1	863.12	863.16	0.0758	1.07	0.4	6.49	1.38
0.55	830	830.03	830.03	830.04	0.059184	0.53	1.05	41.19	1.05
0.55	793.56	793.72	793.75	793.82	0.086755	1.38	0.4	4.85	1.54
0.6	765.1	765.14	765.18	765.38	1.533795	2.2	0.27	14.5	5.1
0.6	732.97	733.22	733.22	733.28	0.033215	1.12	0.54	4.39	1.02
0.66	698	698.34	698.55	699.29	0.433432	4.33	0.15	0.91	3.35
0.66	675.23	675.48	675.48	675.54	0.032544	1.12	0.59	4.78	1.01
0.66	649.46	649.6	649.64	649.71	0.138413	1.43	0.46	7.65	1.85
0.66	630.3	630.58	630.58	630.67	0.030634	1.31	0.51	2.93	1.01
0.73	599.97	600.18	600.29	600.58	0.257653	2.79	0.26	2.39	2.69
0.85	582.21	582.55	582.56	582.62	0.045553	1.16	0.74	7.21	1.16
1.32	567.59	567.96	568.01	568.15	0.073666	1.93	0.68	4.25	1.54
1.33	558.25	558.68	558.68	558.78	0.028085	1.38	0.96	5.01	1
1.42	539.98	540.2	540.3	540.55	0.175519	2.61	0.54	4.36	2.35
1.5	523.56	523.94	523.94	524.02	0.031037	1.23	1.22	8.09	1.02
1.43	498.54	498.84	498.96	499.45	0.434044	3.45	0.41	4.21	3.51
1.43	485.1	485.45	485.45	485.55	0.029033	1.36	1.05	5.74	1.02
2.02	457.5	457.78	457.86	458.1	0.195693	2.52	0.8	7.27	2.43
2.02	454.3	454.55	454.55	454.65	0.027535	1.4	1.45	7.37	1

Fuente: Autor, 2018.

Apéndice 5. Datos arrojados en la simulación para un evento máximo de precipitación.

Q. TOTAL	Min Ch El	W.S Elev	Cri W.S	E.G Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
12.25	1170	1170.85	1171.23	1172.23	0.141782	5.21	2.35	5.33	2.5
12.25	1100	1100.13	1100.24	1100.58	0.231334	3	4.09	32.82	2.71
12.25	1050	1050.3	1050.45	1050.79	0.083499	3.09	3.96	14.03	1.86
12.43	1000	1000.11	1000.24	1000.64	0.314376	3.23	3.85	34.77	3.1
12.43	940	940.26	940.4	940.72	0.108107	3.02	4.12	18.47	2.04
12.52	900	900.2	900.3	900.54	0.098465	2.59	4.83	25.33	1.9
12.52	862.98	863.45	863.62	863.97	0.084994	3.19	3.92	13.46	1.89
12.65	830	830.15	830.21	830.36	0.082671	2.01	6.28	42.32	1.67
12.65	793.56	794.08	794.28	794.74	0.095917	3.6	3.51	10.99	2.03
12.7	765.1	765.37	765.44	765.6	0.061544	2.14	5.94	29.34	1.52
12.7	732.97	733.6	733.8	734.26	0.09916	3.6	3.53	11.27	2.05

12.77	698	699.21	699.36	699.69	0.078115	3.09	4.14	13.47	1.78
12.77	675.23	675.94	676.02	676.24	0.045455	2.42	5.28	17.76	1.39
12.77	649.46	649.86	649.97	650.21	0.1018	2.62	4.87	25.64	1.92
12.77	630.3	631.43	631.49	631.78	0.02692	2.64	4.83	8.65	1.13
12.83	599.97	600.57	600.97	602.94	0.386274	6.81	1.88	6.04	3.9
12.95	582.21	582.99	583.05	583.26	0.035386	2.33	5.57	15.82	1.25
13.42	567.59	568.37	568.68	569.43	0.105234	4.58	2.93	6.47	2.17
13.43	558.25	559.26	559.26	559.55	0.019788	2.37	5.67	9.96	1
13.52	539.98	540.44	540.87	542.78	0.41805	6.79	1.99	7.24	4.13
13.65	523.56	524.4	524.4	524.65	0.020936	2.21	6.16	12.35	1
13.53	498.54	499.02	499.4	502.79	1.385897	8.6	1.57	9.79	6.85
13.53	485.1	486.06	486.06	486.39	0.019432	2.53	5.35	8.29	1.01
14.12	457.5	457.88	458.35	461.78	1.116677	8.75	1.61	8.37	6.36
14.12	454.3	455.04	455.04	455.32	0.019705	2.35	6	10.74	1

Fuente: Autor, 2018.

Apéndice 6. Datos arrojados en la simulación para un supuesto evento de inundación.

Q. TOTAL	Min Ch El	W.S Elev	Cri W.S	E.G Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
24.45	1170	1171.11	1171.64	1173.06	0.14183	6.19	3.95	6.9	2.61
24.45	1100	1100.2	1100.38	1100.92	0.19776	3.75	6.51	33.07	2.7
24.45	1050	1050.44	1050.69	1051.29	0.089562	4.07	6	14.76	2.04
24.43	1000	1000.2	1000.37	1000.82	0.168182	3.49	7	35.17	2.5
24.43	940	940.35	940.59	941.19	0.133648	4.06	6.02	20.27	2.38
24.62	900	900.31	900.46	900.81	0.078339	3.14	7.85	26.06	1.82
24.62	862.98	863.59	863.85	864.46	0.103108	4.12	5.98	16.2	2.16
24.75	830	830.24	830.33	830.55	0.067237	2.46	10.07	43.12	1.62
24.75	793.56	794.23	794.59	795.37	0.116554	4.74	5.22	12.49	2.34
24.8	765.1	765.5	765.6	765.81	0.047829	2.49	10	36.01	1.43
24.8	732.97	733.73	734.1	734.91	0.13821	4.82	5.15	13.64	2.5
24.87	698	699.43	699.6	699.94	0.061332	3.18	7.83	20.68	1.65
24.87	675.23	676.07	676.33	676.6	0.055538	3.24	7.81	20.92	1.62
24.87	649.46	649.98	650.12	650.45	0.083002	3.02	8.24	30.15	1.84
24.87	630.3	631.69	631.86	632.18	0.029822	3.17	8.62	22.28	1.24
24.93	599.97	600.8	601.26	603.01	0.291756	6.59	3.78	10.62	3.52
25.15	582.21	583.15	583.32	583.61	0.038312	3.02	8.52	20.89	1.38
25.52	567.59	568.64	569.08	570.07	0.088711	5.3	4.82	7.44	2.1
25.53	558.25	559.57	559.59	559.97	0.020227	2.82	9.05	12.52	1.05
25.62	539.98	540.61	541.06	543.3	0.370162	7.25	3.53	10.59	4.01
25.75	523.56	524.67	524.67	525.04	0.018709	2.67	9.66	13.37	1
25.63	498.54	499.09	499.62	504.87	1.46324	10.64	2.41	11.36	7.38
25.63	485.1	486.43	486.43	486.88	0.017608	2.94	8.71	9.89	1
26.22	457.5	458.61	458.61	458.95	0.018658	2.57	10.19	15.14	1
26.22	454.3	455.14	455.39	455.83	0.04072	3.68	7.13	11.2	1.47

Fuente: Autor, 2018.

Apéndice 7. Evidencia de la toma de muestras para determinar las variables de calidad del agua en la parte media y baja de la microcuenca quebrada La Cristalina, análisis de agua y datos estaciones pluviométricas.



Fuente: Autor, 2018.



Fuente: Autor, 2018.



Fuente: Autor, 2018.



ANALIZAR LABORATORIO FISICOQUIMICO LTDA

MONITOREO Y CONSULTORIA
 NIT. 826.000.346-1
 CARRERA 33 16 - 27 TEL. 7614955 - 7614647 DUITAMA
 Email: contacto@analizarlaboratorio.com
www.analizarlaboratorio.com



IVA REGIMEN COMÚN

Resolución Dian No 260000051482 Fecha 2016-06-08 Facturación Autorización del No. 1 al No 3000 Tipo 02 Computador

NO SOMOS GRANDES CONTRIBUYENTES

FECHA DE LA FACTURA		
DIA	MES	AÑO
14	2	18

FECHA DE VENCIMIENTO		
DIA	MES	AÑO
14	2	18

FACTURA DE VENTA
No. 1571

SEÑORES: DAYHANA ANDREA DIAZ GUTIERREZ C.C./NIT: 1091672422-1
 DIRECCIÓN: BRR VILLA ESPERANZA CIUDAD: Fortul (Arauca) TEL: _____

CANTIDAD	CONCEPTO	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
2	ANÁLISIS EN LABORATORIO - FISICOQUIMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUA	310.000	620.000
FAVOR CONSIGNAR A LA CUENTA DE AHORROS DE BANCOLOMBIA N° 26206598602 A NOMBRE DE ANALIZAR LABORATORIO FISICOQUIMICO LTDA. ENVIAR COPIA DE PAGO VIA EMAIL: secretarlanalizar@gmail.com AGRI ADANDO DESCONTOS DE PRACTICANDOS			0
SQN: Setecientos Treinta y Siete Mil, Ochocientos Pesos con 00/100 *** *****		SUBTOTAL \$	620.000
		IVA. 19% \$	117.800
		TOTAL \$	737.800
ACEPTADA	 FIRMADA POR: <u>DAYHANA ANDREA DIAZ GUTIERREZ</u> CARRERA 33 16 - 27 TEL. 7614955 FIRMA AUTORIZADA ANALIZAR LTDA		
C.C./NIT			

PAGADO
 2018.02.14

ESTA FACTURA DE VENTA SE ASIMILA EN TODOS SUS EFECTOS A LA FACTURA DE CAMBIO, SEGUN LOS ARTS. 621 Y 5.5 671 Y 5.5 772, 773, 774 Y 5.5 886 DEL CÓDIGO DE COMERCIO. A PARTIR DEL VENCIMIENTO SE COBRARÁN INTERESES POR AGRUA A LA TASA MÁXIMA LEGAL.

ANALIZAR LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO LTDA.

Calidad Certificada y Confiablemente Acreditada

	GESTIÓN TÉCNICA	CÓDIGO GT-AG-01
	CADENA DE CUSTODIA DE TOMA Y RECEPCIÓN DE MUESTRA DE AGUA	F.R.: Enero 2017 Versión: 1,5

IMPORTANTE: ANTES DE DILIGENCIAR ESTE FORMATO LEA DETENIDAMENTE LAS INSTRUCCIONES AL RESPALDO Las casillas que se encuentran sombreadas serán diligenciadas exclusivamente en ANALIZAR LTDA.CONSECUTIVO ANALIZAR LTDA : AG Número temporal: Tipo de Muestra : **1. IDENTIFICACIÓN:**

Cliente:				NIT. ó C.C.:
Fecha(s) de toma(s):	Hora inicio:	Hora final:	Municipio:	
Sitio de muestreo:			Dirección	
GPS: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Punto de toma:				
Objeto: Caracterización <input type="checkbox"/> Control de calidad <input type="checkbox"/> Concesión (Renovación) <input type="checkbox"/> Control Estadístico <input type="checkbox"/> Diseño Planta <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>				

Seleccione una sola opción para los numerales 2 al 5, marcando con una X

2. ORIGEN:

A. Superficial	E. Residual Doméstica	I. Lixiviado
B. Pozo profundo	F. Residual no Doméstica	J. Drenaje Minero
C. Nacimiento	G. Residual Combinada	K. Industrial Refrigeración
D. Infiltración	H. Lluvia - Escorrentía	L.

3. TIPO DE TRATAMIENTO:

A. Ninguno	F. Floculación + Filtración + Cloración	K. Microfiltración
B. Desarenador y Tanque	G. Filtración Lenta	L. Ozonización
C. Filtración + Cloración	H. Trampa de grasas	M. Desmineralización
D. Cloración	I. Biológico anaerobio	N. Envasada
E. Filtración Lenta + Cloración	J. Biológico aerobio	O.

4. DESTINACIÓN:

A. Consumo humano y doméstico	E. Recreativo contacto primario	I. Vertimiento alcantarillado
B. Limpieza y desinfección	F. Recreativo contacto secundario	J. Vertimiento cuerpo de agua
C. Agrícola y / o Pecuaria	G. Enfriamiento	K. Estudio de afectación cuerpo de agua
D. Estudio Ambiental	H. Generación de vapor	L.

5. TIPO DE MUESTRA:

1. Simple	2. Compuesta:	3. Integrada
-----------	---------------	--------------

Nombre del muestreador:	C.C.:	Firma:
Nombre de quien presenció:	C.C.:	Firma: <i>[Firma]</i>
Muestra Tomado por: ANALIZAR LTDA <input type="checkbox"/> CLIENTE <input type="checkbox"/>	Verificación de preservación en campo	
Observaciones:	pH: (pH<2) SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> N.A. <input type="checkbox"/>	
	pH: (PH>9 y/o 12) SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> N.A. <input type="checkbox"/>	

6. ANÁLISIS EN CAMPO (CAMPOS EXCLUSIVOS DE DILIGENCIAMIENTO POR ANALIZAR LTDA.)

Variable	Lectura	Equipo	Variable	Lectura	Equipo	Variable	Apreciación
Caudal (L/s)			Cloro residual (mg Cl ₂ /L)			Olor	
Conductividad (µs/cm)			Cloro total (mg Cl ₂ /l)			Material Flotante	
pH (unidades de pH)			Sólidos Sedimentables (mL/L)			Transparencia	
Temperatura Leída (°C)			Oxígeno disuelto (mg O ₂ /L)			Color (Visual)	
Temperatura Corregida (°C)							

7. VERIFICACIÓN VARIABLES EN CAMPO (CAMPOS EXCLUSIVOS DE DILIGENCIAMIENTO POR ANALIZAR LTDA.)

Patrón	Datos		pH	Conductividad	Acción		Resultados de la Acción
	Valor Esperado	Valor obtenido			Recalibrar	Cambiar patrones	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

8. DATOS DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA (CAMPOS EXCLUSIVOS DE DILIGENCIAMIENTO POR ANALIZAR LTDA.)

TIPO DE RECIPIENTE POR ANÁLISIS	P	V	Fecha de recepción:	Hora:	Recipientes suministrados por Analizar: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Físicoquímico			Condiciones de llegada de la muestra al laboratorio		
Microbiológico			Refrigerada (>0°C a ≤6 °C): SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	Preservadas pH: (pH<2) SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> N.A. <input type="checkbox"/>	
D.Q.O.			Muestra sellada y marcada: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	Preservadas pH: (pH>9 y/o 12) SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> N.A. <input type="checkbox"/>	
Grasas y Aceites			Condición de llegada de los recipientes y/o neveras:		
Oxígeno Disuelto			Buena <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Mala <input type="checkbox"/>	Especifique: _____	
Acidez y Alcalinidad			Observaciones:		
Metales					
			Nombre de quien entrega:	CC.:	Firma:
			Nombre de quien recibe:	CC.:	Firma:

CARRERA 33 #16 - 27

TELEFONOS: 7 61 4647 cel. 313 815 0403 DUITAMA E-mail: dtanalizar@gmail.com



ANALIZAR LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO LTDA.

MONITOREO Y CONSULTORIA

NIT. 826.000.346-1



IDEAM
INSTITUTO DE ESTUDIOS
AMBIENTALES
Resolución
No. 1633/17

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS

AG23896 - 18

NE= No Establecido

(A)= Acreditado


Métodos enunciados referenciados al *Standard Methods 22nd Edition*


NA= No Aplica

OBSERVACIONES:

Los resultados analíticos del presente informe se obtuvieron siguiendo los métodos enunciados, mediante procedimientos internos del Sistema de Calidad y corresponden exclusivamente a la muestra recibida, **recolectada por el solicitante**, en recipientes suministrados por Analizar Ltda. Sólo es válido éste informe en papel oficial de Analizar Ltda. con las firmas autorizadas y con sello seco. Este informe no se puede reproducir parcialmente, salvo por copia autorizada escrita del Laboratorio.

Analizar Ltda, esta acreditado por el IDEAM (Norma ISO/IEC (17025:2005) según la Resolución de Renovación y Extensión 1633 (2017/08/04). Las variables acreditadas se pueden consultar en: www.ideam.gov.co.


ING. QUÍMICO. RICARDO BLANCO A.
DIRECTOR TÉCNICO
T.P. N° 90 C.P.I.Q.


MICROB. MAILYN FUENTES ZARA
ANALISTA LIDER
MICROBIOLOGÍA

GT-INF 01/F R Enero 18/v.1 1
PAGINA: 2 DE 2



ANALIZAR LABORATORIO FISICOQUÍMICO LTDA.

MONITOREO Y CONSULTORIA

NIT: 826 000 346-1

Calidad Certificada y Confiabilidad Acreditada



Duitama, 2018/03 / 07

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS AG23896 - 18

IDENTIFICACIÓN

Cliente: **DAYHANA ANDREA DIAZ GUTIERREZ**
 Dirección del Cliente: Brr Villa Esperanza Fortul (arauca)
 Ensayo Realizado: Físicoquímico y Microbiológico
 Tipo de Agua: Superficial Cruda
 Sitio de Muestreo: Vereda Malvinas - Quebrada la Cristalina Tame
 Punto de Toma: Parte Baja del Cause - N: 06° 27' 30,5" W: 71° 44' 16,7"
 Tipo de Muestreo: Simple
 Fecha y Hora de Muestreo: 2018/02/25 09:57
 Recolectada por: El Solicitante - Dayhana Andrea Díaz
 Fecha y Hora de Recepción: 2018/02/26 07:30
 Objeto: Caracterización
 Condición de Recepción: Al Clima
 Período de Análisis: De 2018/02/26 a 2018/03/07

DESCRIPCION	EXPRESIÓN	VALOR OBTENIDO	VALOR MAX. ACEPTABLE	METODO
ANÁLISIS EN LABORATORIO				
DQO Total (A)	mg O ₂ /L	<14,98	N.E.	SM 5220 D
DBO ₅ Total (A)	mg O ₂ /L	<2	N.E.	SM 5210 B, 4500- O C
pH	Unidades de pH	6,88	N.E.	SM 4500-H ⁺ B
Temperatura	°C	26,4	N.E.	SM 2550 B
Conductividad (A)	microsiemens/cm	17,4	N.E.	SM 2510 B
Alcalinidad Total (A)	mg CaCO ₃ /L	<2,94	N.E.	SM 2320 B
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	8,64	N.E.	SM 4500-O C
Dureza Total (A)	mg CaCO ₃ /L	11,88	N.E.	SM 2340 C
Nitratos (A)	mg NO ₃ /L	1,16	N.E.	Salicilato Sódico/Rodier
Nitritos (A)	mg NO ₂ /L	<0,018	N.E.	SM 4500-NO ₂ -B
Sólidos totales (A)	mg ST/L	17	N.E.	SM 2540 B
Sólidos disueltos totales (A)	mg SDT/L	17	N.E.	SM 2540 C / Cálculo
Sólidos suspendidos totales (A)	mg SST/L	<11,51	N.E.	SM 2540 D
Turbiedad (A)	UNT	0,37	N.E.	SM 2130 B
Coliformes totales	UFC/100 cm ³	390	N.E.	SM 9222 H
Coliformes fecales	UFC/100 cm ³	300	N.E.	SM 9222 H
E. Coll	UFC/100 cm ³	300	N.E.	SM 9222 H
COLOR REAL (A)				
λ(1)= 436 nm	m ¹	<0,2	N.E.	ISO 7887
λ(2)= 525 nm	m ¹	<0,2	N.E.	ISO 7887
λ(3)= 620 nm	m ¹	<0,2	N.E.	ISO 7887
FIN DE LOS ENSAYOS				

GT-INF-01/F.R:Enero-18/v.1.1

PAGINA: 1 DE 2



ANALIZAR LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO LTDA.

MONITOREO Y CONSULTORIA

NIT. 826.000.346-1



INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS
AG23897 - 18

NE= No Establecido (A)= Acreditado Métodos enunciados referenciados al *Standard Methods 22nd Edition*
NA= No Aplica

OBSERVACIONES:

Los resultados analíticos del presente Informe se obtuvieron siguiendo los métodos enunciados, mediante procedimientos internos del Sistema de Calidad y corresponden exclusivamente a la muestra recibida, **recolectada por el solicitante**, en recipientes suministrados por Analizar Ltda. Sólo es válido éste Informe en papel oficial de Analizar Ltda. con las firmas autorizadas y con sello seco. Este Informe no se puede reproducir parcialmente, salvo previa autorización escrita del Laboratorio.

Analizar Ltda. está acreditado por el IDEAM (Norma ISO/IEC (17025:2005) según la Resolución de Renovación y Extensión 1633 (2017/08/04). Las variables acreditadas se pueden consultar en: www.ideam.gov.co.

Ricardo Blanco L
ING. QUÍMICO. RICARDO BLANCO A.
DIRECTOR TÉCNICO
T.P. N° 90 C.P.I.Q.

Mailyn Fuentes Z
MICROB. MAILYN FUENTES ZARA
ANALISTA LIDER
MICROBIOLOGÍA



GT-INF-01/F.R. Enero-18/v.1.1
PAGINA: 2 DE 2

CARRERA 33 N° 16-27 TEL 7614955- 7614647- 313 815 0403 DUITAMA E-mail: dtanalizan@gmail.com



ANALIZAR LABORATORIO FISICOQUÍMICO LTDA.

MONITOREO Y CONSULTORIA

NIT. 826 000 346-1

Calidad Certificada y Confiabilidad Acreditada



Duitama, 2018/03 / 07

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS

AG23897 - 18

IDENTIFICACIÓN

Cliente: DAYHANA ANDREA DIAZ GUTIERREZ
Dirección del Cliente: Brr Villa Esperanza Fortul (arauca)
Ensayo Realizado: Físicoquímico y Microbiológico
Tipo de Agua: Superficial Cruda
Sitio de Muestreo: Vereda Malvinas - Quebrada la Cristalina Tame
Punto de Toma: Parte Media del Cauce - N: 06° 38' 06,9" W: 71° 49' 35,0"
Tipo de Muestreo: Simple
Fecha y Hora de Muestreo: 2018/02/25 11:30
Recolectada por: El Solicitante - Dayhana Andrea Díaz
Fecha y Hora de Recepción: 2018/02/26 07:30
Objeto: Caracterización
Condición de Recepción: Al Clima
Período de Análisis: De 2018/02/26 a 2018/03/07

DESCRIPCION	EXPRESIÓN	VALOR OBTENIDO	VALOR MAX. ACEPTABLE	METODO
ANÁLISIS EN LABORATORIO				
DQO Total (A)	mg O ₂ /L	<14,98	N.E.	SM 5220 D
DBO ₅ Total (A)	mg O ₂ /L	<2	N.E.	SM 5210 B, 4500- O C
pH	Unidades de pH	6,23	N.E.	SM 4500-H* B
Temperatura	°C	26,3	N.E.	SM 2550 B
Conductividad (A)	microsiemens/cm	17,2	N.E.	SM 2510 B
Alcalinidad Total (A)	mg CaCO ₃ /L	4,62	N.E.	SM 2320 B
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	7,46	N.E.	SM 4500-O C
Dureza Total (A)	mg CaCO ₃ /L	6,93	N.E.	SM 2340 C
Nitratos (A)	mg NO ₃ /L	1,13	N.E.	Salicilato Sódico/Rodier
Nitritos (A)	mg NO ₂ /L	<0,018	N.E.	SM 4500-NO ₂ -B
Sólidos totales (A)	mg ST/L	13	N.E.	SM 2540 B
Sólidos disueltos totales (A)	mg SDT/L	13	N.E.	SM 2540 C / Cálculo
Sólidos suspendidos totales (A)	mg SST/L	<11,51	N.E.	SM 2540 D
Turbiedad (A)	UNT	0,42	N.E.	SM 2130 B
Coliformes totales	UFC/100 cm ³	620	N.E.	SM 9222 H
Coliformes fecales	UFC/100 cm ³	410	N.E.	SM 9222 H
E. Coli	UFC/100 cm ³	410	N.E.	SM 9222 H
COLOR REAL (A)				
λ(1)= 436 nm	m ⁻¹	<0,2	N.E.	ISO 7887
λ(2)= 525 nm	m ⁻¹	<0,2	N.E.	ISO 7887
λ(3)= 620 nm	m ⁻¹	<0,2	N.E.	ISO 7887
FIN DE LOS ENSAYOS				

GT-INF-01/F.R:Enero-18/v.1.1
PAGINA: 1 DE 2



Parques Nacionales Naturales de Colombia
Dirección Territorial Andes Nororientales
Parque Nacional Natural El Cocuy



MINAMBIENTE

ACUERDO VOLUNTARIO DE PARTICIPACIÓN EN LA RED PILOTO DE MONITOREO AGROCLIMATICO PARTICIPATIVO- PROYECTO PLAN ARAUCA

Yo Lida Fernanda Villamizar identificado con Cédula de Ciudadanía N° _____ expedida en _____, en calidad de habitante de la vereda _____ del municipio _____ en el departamento de Arauca como beneficiario del Proyecto Plan Arauca-Sistemas Sostenibles para la Conservación - RED PILOTO DE MONITOREO AGROCLIMATICO PARTICIPATIVO en la línea productiva _____, como ocupante del predio denominado _____ distinguido con Folio de Matricula Inmobiliaria No. _____, ubicado en _____ adquirido bajo la Carta de compraventa _____ manifiesto libre y voluntariamente mi intención de hacerme participe del Proyecto Plan Arauca-Sistemas Sostenibles para la Conservación - RED DE MONITOREO AGROCLIMÁTICO PARTICIPATIVO.

En virtud de lo anterior **AUTORIZO EXPRESAMENTE** la instalación de los equipos del Proyecto Plan Arauca-Sistemas Sostenibles para la Conservación - RED PILOTO DE MONITOREO AGROCLIMATICO PARTICIPATIVO y me comprometo a dejar desarrollar las actividades producto del proyecto mencionado. Los equipos son los que a continuación se describen en las coordenadas allí indicadas:

KIT #	Coordenadas		Placa Inventario
	N	E	
Pluviómetro	06° 36' 55.1"	71° 49' 54.7"	47775
Termómetro			47802

En consecuencia de lo anterior me comprometo a lo siguiente:

- Informar al personal de PNN EL COCUY acerca de alguna eventualidad ocurrida sobre los equipos descritos en el presente documento.

En constancia se firma en la Ciudad de _____, a los _____ días del mes de _____ de _____

NOMBRE:
C. C.




OCTAVIO SEGUNDO ERASO PAGUAY
Jefe área protegida
Parque Nacional Natural El Cocuy



Calle 5ª. N° 4-22, El Cocuy- Boyacá Telefax 098-7890359
Carrera 22 No 15-04, Tame- Arauca Teléfono (7) 8886054
cocuy@parquesnacionales.gov.co


Red de Monitoreo Agroclimático Participativo - Estación Pluviométrica No. 2


Ubicación:
 Predio: Buenos Aves Vereda: Malvinas
 Municipio: Tame Departamento: Arauca Cuenca:
N. 06° 36' 55.1" W. 071° 49' 54.7"
 Elevación: 576 msnm
 Parque Nacional Natural El Cocuy
 Territorial Andes Nororientales

Mes: Mayo de 2017

Consecutivo	Fecha	Lectura 7 am (Temp)	Lectura 7 am (Prec.)	Observaciones
1	26	25.0	26.0	
2	27	24.5	0	lluvia a 7:15 am
3	28	25.3	62.0	lluvia a 5 am
4	29	21.1	12.34	Nb
5	30	23.0	14.66	VF durante la noche.
6	31	21.5	27.00	
7		25.3	38.0	
8		25.1	0	
9		27.0	0	
10		28.2	42.00	
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				


Red de Monitoreo Agroclimático Participativo - Estación Pluviométrica No. 5
 Ubicación:
 Predio: *Finca Las Manitas*
 Vereda: *Manitas*
 Municipio: *Tama* Departamento: *Atlántica* Cuenca:
de la zona alta
 Elevación: *325* msnm
 Parque Nacional Natural El Cocuy
 Territorio Andes Nororientales


NUOVO PAIS
 TODOS POR UN
 NUEVO PAIS

Mar: *Junio* de 2017

Consecutivo	Fecha	Lectura 7 am (Temp)	Lectura 7 am (Prec)	Operaciones
1	01	22.3	0.0	
2	02	22.1	0.0	
3	03	22.0	0.0	
4	04	22.2	0.0	
5	05	20.5	0.0	
6	06	20.8	0.0	
7	07	20.3	0.0	
8	08	20.3	0.0	
9	09	20.2	0.0	
10	10	20.7	0.0	
11	11	20.8	0.0	
12	12	20.0	0.0	
13	13	20.0	0.0	
14	14	20.0	0.0	
15	15	20.0	0.0	
16	16	20.0	0.0	
17	17	20.0	0.0	
18	18	20.0	0.0	
19	19	20.0	0.0	
20	20	20.0	0.0	
21	21	20.0	0.0	
22	22	20.0	0.0	
23	23	20.0	0.0	
24	24	20.0	0.0	
25	25	20.0	0.0	
26	26	20.0	0.0	
27	27	20.0	0.0	
28	28	20.0	0.0	
29	29	20.0	0.0	
30	30	20.0	0.0	
31	31	20.0	0.0	

Red de Monitoreo Agroclimático Participativo - Estación Pluviométrica No.



Ubicación:
 Predio: Queros Aires Vereda: Malvinas
 Municipio: Tame Departamento: Arauca Cuenca: ...
 N. 06° 36' 55.1" W 071° 49' 54.7"
 Elevación: 576 msnm
 Parque Nacional Natural El Cocuy
 Territorial Andes Nororientales



Mes: Julio de 2017

Consecutivo	Fecha	Lectura 7 am (Temp)	Lectura 7 am (Prec.)	Observaciones
1	1	23.4	218	
2	2	21.5	534	
3	3	22.2	134	
4	4	24.6	96	IV en la madrugada
5	5	21.3	620	
6	6	22.6	168	
7	7	25.4	18	
8	8	25.2	370	
9	9	22.2	104	
10	10	23.5	108	IV durante la tarde y VF
11	11	23.3	2332	
12	12	21.8	190	
13	13	24.9	130	
14	14	25.3	60	
15	15	23.9	94	
16	16	28.0	238	
17	17	25.2	96	
18	18	22.5	198	
19	19	26.2	760	
20	20	20.2	162	
21	21	22.4	128	
22	22	25.2	0	
23	23	26.2	0	
24	24	22.8	0	Nb a las 5:30 am
25	25	22.4	966	VF a medio día
26	26	24.3	0	
27	27	22.6	98	
28	28	24.5	442	
29	29	23.6	0	
30	30	26.3	28	
31	31	25.2	0	

Lida Villamizar

Red de Monitoreo Agroclimático Participativo - Estación Pluviométrica No. _____

Ubicación: _____

Predio: Buenos Aires Vereda: Holvinas

Municipio: Tame Departamento: Arauca Cuenca: _____

N. 06° 36' 55.1" W. 071° 49' 54.7"

Elevación: 276 msnm

Parque Nacional Natural El Cocuy
Territorial Andes Nororientales

Mes: Agosto de 2017

Consecutivo	Fecha	Lectura 7 am (Temperatura)	Lectura 7 am (Precipitación)	Observaciones
1		25.7	0	
2		24.2	0	
3		23.8	0	Lluvia Durante casi todo el día
4		—	—	
5		—	—	
6		—	—	
7		—	—	
8		—	—	
9		—	—	
10		—	—	
11		—	—	
12		—	—	
13		—	—	
14		—	—	
15		—	—	
16	16	26.6	454	
17	17	23.4	0	
18	18	24.8	0	
19	19	28.3	0	
20	20	27.6	0	
21	21	26.4	0	
22	22	26.3	428	
23	23	25.4	335	
24	24	25.2	412	
25	25	26.3	0	
26	26	26.2	0	
27	27	26.2	0	
28	28	25.5	0	
29	29	27.2	0	
30	30	24.6	282	
31	31	22.0	0	

Lida Villaniza

Red de Monitoreo Agroclimático Participativo - Estación Pluviométrica No. _____

Ubicación: _____

Predio: Quero Aires Vereda: Pativillos

Municipio: Tome Departamento: Arauca Cuenca: _____

N. 06° 36' 55.1" W. 071° 49' 54.7"

Elevación: 576 msnm

Parque Nacional Natural El Cocuy
Territorial Andes Nororientales

Mes: Septiembre de 2017

Consecutivo	Fecha	Lectura 7 am (Temperatura)	Lectura 7 am (Precipitación)	Observaciones
1	1	26.2	152	
2	2	25.1	0	
3	3	25.3	0	
4	4	25.6	0	
5	5	26.7	198	
6	6	27.2	30	
7	7	24.8	512	llv durante la noche y mañan.
8	8	21.8	2110	
9	9	22.4	830	
10	10	25.0	246	
11	11	23.4	1730	
12	12	26.7	0	
13	13	25.2	0	
14	14	23.8	396	
15	15	24.6	1130	
16	16	24.9	0	lluvias y tormenta en la tarde.
17	17	24.7	389	lluvias y tormenta tarde
18	18	25.2	0	
19	19	25.2	208	
20	20	25.4	0	lluvias durante la tarde
21	21	26.8	1268	lluvias durante la tarde y noche.
22	22	25.2	1105	
23	23	24.2	140	
24	24	25.2	346	
25	25	23.8	470	
26	26	20.2	0	
27	27	25.0	0	
28	28	26.3	0	llv durante la noche
29	29	27.2	668	lluvias durante la tarde
30	30	25.4	1568	
31	31	24.2	0	

October



Parques Nacionales Naturales de Colombia
Dirección Territorial Andes Nororientales
Parque Nacional Natural El Cocuy



MINAMBIENTE

ACUERDO VOLUNTARIO DE PARTICIPACIÓN EN LA RED PILOTO DE MONITOREO AGROCLIMATICO PARTICIPATIVO- PROYECTO PLAN ARAUCA

Yo Mario Raa Cardenas identificado con Cédula de Ciudadanía N° 5.483.704 expedida en Salazar en calidad de habitante de la vereda Aguas Claras del municipio Tame en el departamento de Arauca como beneficiario del Proyecto Plan Arauca-Sistemas Sostenibles para la Conservación - RED PILOTO DE MONITOREO AGROCLIMATICO PARTICIPATIVO en la línea productiva Ganadería como propietario y/o tenedor del predio denominado Las Delicias distinguido con Folio de Matricula Inmobiliaria No. 410-388.39 o adquirido bajo la Escritura pública No. 1726 de la Notaría Tame ubicado en Tame - Arauca manifiesto libre y voluntariamente mi intención de hacerme partícipe del Proyecto Plan Arauca-Sistemas Sostenibles para la Conservación - RED DE MONITOREO AGROCLIMATICO PARTICIPATIVO.

En virtud de lo anterior **AUTORIZO EXPRESAMENTE** la instalación de los equipos del Proyecto Plan Arauca-Sistemas Sostenibles para la Conservación - RED PILOTO DE MONITOREO AGROCLIMATICO PARTICIPATIVO que a continuación se describe en las coordenadas allí indicadas:

KIT #	Coordenadas		Placa Inventario
	N	E	
Pluviómetro	06° 38' 06.4"	071° 50' 29.6"	47733
Termómetro			47795

En consecuencia de lo anterior me comprometo a lo siguiente:

- Informar al personal de PNN EL COCUIY acerca de alguna eventualidad ocurrida sobre los equipos descritos en el presente documento.

En constancia se firma en la Ciudad de Tame a los 25 días del mes de Mayo de 2017

Mario Raa
NOMBRE:
C.C. 5483704

[Firma]
OCTAVIO SEGUNDO ERASO PAGUAY
Jefe área protegida
Parque Nacional Natural El Cocuy





Calle 5ª. N° 4-22, El Cocuy- Boyacá Telefax 098-7890359
Carrera 22 No 15-04, Tame- Arauca Teléfono (7) 8886054
cocuy@parquesnacionales.gov.co

1

Red de Monitoreo Agroclimático Participativo - Estación Pluviométrica No. 1

Ubicación:
 Predio: Las Delicias Vereda: Aguas claras
 Municipio: Tame Departamento: Arauca Cuenca:
 N. 06° 38' 06.4" W. 071° 50' 29.6"
 Elevación: 557 msnm
 Parque Nacional Natural El Cocuy
 Territorial Andes Nororientales

Mes: Mayo de 2017

Consecutivo	Fecha	Lectura 7 am (Temp)	Lectura 7 am (Prec.)	Observaciones
1	26	25.5	28.	Lluvia de 1 am a 2 AM
2	27	22.4	0	Nublado
3	28	26.8	48	despejado
4	29	20.9	70.89	lluvias y truenos a SAN
5	30	21.7	827	lluvias a 7 PM
6	31	21.3	2.146	lluvias fuertes 7 AM a 8 AM
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				

Red de Monitoreo Agroclimático Participativo - Estación Pluviométrica No. 1



Ubicación:
 Predio: Los delicias Vereda: Aguas Claras
 Municipio: Tame Departamento: Arauca Cuenca:
N. 06°38' 06.4" W. 091°50' 29.6"
 Elevación: 557 msnm
 Parque Nacional Natural El Cocuy
 Territorial Andes Nororientales

Mes: Junio de 2017

Consecutivo	Fecha	Lectura 7 am (Temp)	Lectura 7 am (Prec.)	Observaciones
1	1	24.3	16	Nublado 2 AM
2	2	23.9	0	despejado
3	3	23.7	0	Nublado
4	4	23.7	5.80	Nublado
5	5	26.5	10.8	despejado
6	6	24.3	40	Nublado
7	7	24.0	0.	Nublado 11 AM
8	8	27.0	72.0	Lluvia de 2 AM
9	9	22.9	20.0	Nublado
10	10	23.3	45.0	despejado
11	11	20.7	70.30	Nublado 7 AM
12	12	23.4	42.5	Nublado
13	13	24.4	0	despejado
14	14	24.7	24.5	Solado
15	15	27.6	70.02	Lluvia 6:30 Am
16	16	25.5	45.3	Solado
17	17	22.8	47.3	Lluvia 7:00 Pm
18	18	22.5	70.62	Lluvia 5:30 Am
19	19	22.0	15.9	Nublado
20	20	22.9	0.	despejado
21	21	24.0	0.	Nublado
22	22	24.2	27.2	Solado
23	23	26.0	70.70	Solado
24	24	24.0	0.	despejado
25	25	27.4	57	despejado
26	26	28.0	0.	Solado
27	27	25.2	13.6	Nublado
28	28	27.3	0.	despejado
29	29	26.0	0.	despejado
30	30	22.0	22.6	Nublado
31				

Red de Monitoreo Agroclimático Participativo - Estación Pluviométrica No. 1

ESTACION PLUVIOMETRICA NO. 1

Ubicación:
Predio: Los de las Cajas Vereda: Aves Claras
Municipio: Tama Departamento: Arauca Cuenca:
N. 06°28'00" V. W. 071°20'00"
Elevación: 222 msnm
Parque Nacional Natural El Cocuy
Territorio Andes Norentales

MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERIA Y RURAL

Mes: Julio de 2017

Consecutivo	Fecha	Lectura 7 am (Temp)	Lectura 7 am (Prec.)	Observaciones
1	1	21.7	0.0	Nublado
2	2	21.5	0.0	Lluvia 6:30 AM
3	3	22.3	0.0	Nublado
4	4	22.5	0.0	Nublado
5	5	22.0	0.0	Lluvia 5:00 AM
6	6	21.9	0.0	Nublado
7	7	22.3	0.0	Nublado
8	8	22.0	0.0	Nublado
9	9	22.6	0.0	Nublado
10	10	22.6	0.0	Nublado
11	11	21.8	0.0	Nublado
12	12	22.0	0.0	Nublado
13	13	22.8	0.0	Nublado
14	14	21.8	0.0	Nublado
15	15	22.0	0.0	Nublado
16	16	22.8	0.0	Nublado
17	17	22.6	0.0	Nublado
18	18	22.6	0.0	Nublado
19	19	22.1	0.0	Nublado
20	20	21.3	0.0	Nublado
21	21	21.9	0.0	Nublado
22	22	22.0	0.0	Nublado
23	23	22.3	0.0	Nublado
24	24	21.6	0.0	Nublado
25	25	22.6	0.0	Nublado
26	26	22.6	0.0	Nublado
27	27	23.6	0.0	Nublado
28	28	23.3	0.0	Nublado
29	29	22.3	0.0	Nublado
30	30	22.5	0.0	Nublado
31	31	22.3	0.0	Nublado

Red de monitoreo Agroclimático Participativo

Predio: Las Ocelinas Vereda: Aguas Claras

N 06°38'06.4" W 071°50'29.6"

Elevación: 557 msnm

Parques Nacional Natural El Cocuy

María Rosa

Mes: Agosto

Consecutivo	Fecha	Lectura 7am (Temperatura)	Lectura 7am (Precipitación)	Observaciones
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11	11-Ago-2017	23.0	50	despejado
12	12	22.5	270	Nublado
13	13	25.0	76	Nublado
14	14	26.9	0	despejado
15	15	25.2	0	Nublado
16	16	24.7	72	despejado
17	17	22.3	78	despejado
18	18	27.0	76	Nublado
19	19	23.2	720	Nublado
20	20	22.6	202	despejado
21	21	23.1	0	despejado
22	22	26.6	27	despejado
23	23	25.0	206	despejado
24	—	—	—	—
25	25	23.0	0	Nublado
26	26	23.8	690	Nublado
27	27	27.9	63	Nublado
28	28	23.4	708	Nublado
29	29	26.7	0	despejado
30	30	28.6	0	despejado
31	31	25.0	705	despejado

Red de Monitoreo Agroclimático Participativo - Estación Pluviométrica Placa No. 1

MINAMBIENTE

Ubicación: _____

Predio: Las Delicias Vereda Aguas ClarasMunicipio: Tambo Departamento: Arauca Cuenca: Rio-EreN. 06°38'06.4" W. 71°50'29.6"Elevación: 557 msnm

Parque Nacional Natural El Cocuy

Territorial Andes Nororientales

Mes: Sep. de 2017

Consecutivo	Fecha	Lectura 7 am (Temp)	Lectura 7 am (Prec.)	Observaciones
1	1	23.5	707	despejado
2	2	22.7	307	Nublado
3	3	26.0	203	despejado
4	4	28.8	230	despejado
5	5	23.6	772	despejado
6	6	26.8	270	despejado
7	-	-	-	-
8	8	27.5	7290	Huvia 7:pm a 9am
9	9	24.3	0	despejado
10	10	23.0	270	Nublado
11	11	27.6	7790	despejado
12	12	24.8	0	despejado
13	13	23.6	0	Nublado
14	14	24.3	270	Nublado
15	15	26.6	638	despejado
16	16	27.2	0	despejado
17	-	-	-	-
18	18	23.3	0	despejado
19	19	26.7	628	despejado
20	20	22.4	70	lloviznas
21	21	22.3	1.96	Nublado
22	22	23.6	2.45	Nublado
23	23	22.0	290	Nublado
24	23	27.6	220	Nublado
25	25	26.0	728	despejado
26	26	23.7	50	Nublado
27	27	25.4	28	despejado
28	28	24.4	78	despejado
29	29	24.6	7.20	despejado
30	30	25.4	478	despejado