

ESTIMACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL POR EL METODO HIDRAULICO
PERIMETRO MOJADO EN EL TRAMO BOCATOMA EL PORTICO-PUENTE
SAN RAFAEL, CUCUTA.

MAYELINE SILVA LEAL

1143366476

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL, AMBIENTAL Y QUIMICA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS
PAMPLONA
2016

ESTIMACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL POR EL METODO HIDRAULICO
PERIMETRO MOJADO EN EL TRAMO BOCATOMA EL PORTICO-PUENTE SAN
RAFAEL, CUCUTA.

MAYELINE SILVA LEAL

1143366476

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniera
Ambiental.

Director

Msc. Ph. D. Jacipt Alexander Ramón Valencia

Director externo

Ing. Sandra Milena Gómez Peñaranda

CORPONOR

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL, AMBIENTAL Y QUIMICA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS
PAMPLONA

2016

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo especialmente a mis padres Inés Leal Serrano Y Benedicto Silva Vega, que siempre me apoyaron incondicionalmente y que hicieron todo lo posible para que pudiera llegar a ser una profesional.

A mis hermanos y demás familiares que con su apoyo me motivaron en cada paso que daba con sus palabras de aliento para que siguiera adelante.

A mis compañeras y amigas Zulay Blanco, Mayerly Sierra quienes sin esperar nada a cambio me ofrecieron su ayuda, compartieron alegrías, tristezas y estuvieron dispuestas a tenderme la mano en los momentos difíciles en el transcurso de mi carrera.

AGRADECIMIENTOS

A mis directores de trabajo Msc. Ph. D. Jacipt Alexander Ramón Valencia y a la Ing. Sandra Milena Gómez peñaranda por dirigirme en el desarrollo del trabajo.

Al ingeniero Martin Sepúlveda por su colaboración y aporte de conocimientos.

A la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental por abrir sus puertas y proporcionarme los medios para la culminación de mis estudios.

A Dios por permitirme ser una profesional a pesar de las adversidades.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
2. JUSTIFICACION	16
3. OBJETIVOS	17
3.1 OBJETIVO GENERAL	17
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	17
4. MARCO REFERENCIAL	18
4.1 MARCO CONTEXTUAL	18
4.1.1 Localización	18
4.2 MARCO TEORICO	19
4.2.1 El agua	19
4.2.2.1 Definición de agua superficial.....	19
4.2.2 El caudal	19
4.2.3 Métodos de aforo	20
4.2.3.1 Método Volumétrico.....	20
4.2.3.2 Aforo con vertederos.....	20
4.2.3.3 Aforo con correntómetro.....	21
4.2.3.3.1 Método de Vadeo.....	21
4.2.3.3.2 Aforo con flotadores.....	22
4.2.3.3.3 Aforo con limnímetros y limnigrafos.....	23
4.2.4 Calidad de agua	24
4.2.4.1 Parámetros Fisicoquímicos del agua.....	25

4.2.4.1.1 Color.....	25
4.2.4.1.2 Olor y sabor.....	25
4.2.4.1.3 Turbiedad.....	25
4.2.4.1.4 pH.....	25
4.2.4.1.5 Conductividad.....	26
4.2.4.1.6 Temperatura.....	26
4.2.4.1.7 Solidos y residuos.....	26
4.2.4.1.8 Alcalinidad.....	27
4.2.4.1.9 Cloruros.....	28
4.2.4.1.10 Oxígeno Disuelto.....	28
4.2.4.1.11 Sulfatos.....	28
4.2.4.1.12 Nitritos y Nitratos.....	29
4.2.4.1.13 Materia orgánica.....	29
4.2.4.2 Monitoreos de calidad de agua.....	31
4.2.4.2.1 Ubicación.....	31
4.2.4.2.2 Puntos de muestreo.....	32
4.2.4.2.3 Tipos de muestreo.....	32
4.2.4.2.4 Tipos de muestra.....	33
4.2.5 Caudal Ambiental.....	33
4.2.5.1 Métodos hidrológicos.....	37
4.2.5.2 Métodos hidrológicos e hidráulicos con enfoques ecológicos.....	38
4.2.5.2.1 Método de Montana.....	38
4.2.5.2.2 Método del Rango de Variabilidad.....	38
4.2.5.2.3 Método del Perímetro mojado.....	38

4.2.5.2.4 Método de Múltiples transeptos.....	39
4.2.5.3 Métodos de Simulación de hábitat.....	39
4.2.5.4 Métodos Holísticos.....	40
4.2.5.5 Metodologías que consideran la calidad del agua.....	41
4.2.5.5.1 Metodología DWAF.....	42
4.2.5.5.2 Método caudal-concentración.....	43
4.3 MARCO CONCEPTUAL	44
4.4 ANTECEDENTES.	45
4.4.1 Regionales	45
4.4.2 Nacionales	46
4.4.3 Internacionales.....	49
4.5 MARCO LEGAL	50
5. METODOLOGIA.....	53
5.1 Elaboración del diagnóstico técnico preliminar desde la Bocatoma El pósito-Puente San Rafael para la demilitación y definición de las características del tramo.	53
5.1.1 Delimitación de la zona de estudio.....	53
5.1.2 Características de la zona.....	54
5.2 Realización de aforos con correntómetro en el tramo de estudio para la obtención de caudales medios diarios.	54
5.3 Evaluación de la calidad del agua superficial en el tramo según la normativa nacional vigente con el fin de conocer las condiciones actuales del recurso hídrico	57
5.4 Determinación del caudal ambiental en el tramo Bocatoma El pósito – Puente San Rafael por el método hidráulico perímetro mojado, para la toma de decisiones sobre el manejo y gestión de los recursos ecosistémicos... ..	59
6. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	64

6.1 Elaboración del diagnóstico técnico preliminar desde la Bocatoma El Pórtico - puente San Rafael para la delimitación y definición de las características del tramo.....	64
6.1.1 Delimitación de la zona de estudio.....	64
6.1.2 Características de la zona.....	66
6.1.2.1 Aspectos socioeconómicos.....	66
6.1.2.2 Usos del agua	66
6.1.2.3 Componente hídrico.....	67
6.1.2.4 Fuentes de contaminación.....	69
6.1.2.4.1 Vertimientos.....	69
6.1.2.4.2 Otras fuentes de contaminación.....	71
6.2 Realización de aforos con correntómetro en la zona de estudio para la obtención de caudales medios diarios	71
6.3 Evaluación de la calidad de agua superficial en el tramo según la normativa nacional vigente, con el fin de conocer las condiciones actuales del recurso hídrico.....	77
6.4 Determinación del caudal ambiental en el tramo Bocatoma El pórtico-Puente San Rafael por el método hidráulico Perímetro mojado para la toma de decisiones sobre el manejo y gestión de los recursos ecosistémicos.....	93
7. CONCLUSIONES	98
8. RECOMENDACIONES	99
BIBLIOGRAFIA.....	100

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.Ecuaciones según tipo de vertedero.....	21
Tabla 2.Denominaciones y conceptos de caudal ambiental.....	34
Tabla 3. Puntos de muestreo.....	57
Tabla 4.Métodos estándar para el análisis de los parámetros fisicoquímicos.....	58
Tabla 5.Puntos de Aforo.....	65
Tabla 6. Operadores del servicio de acueducto en la zona.....	66
Tabla 7. Identificación de los puntos de vertimiento.....	69
Tabla 8. Estadísticos básicos de los caudales medios diarios.....	76
Tabla 9. Resultados de parámetros In-situ.....	77
Tabla 10. Rango de concentraciones de oxígeno disuelto.....	81
Tabla 11.Resultados de parámetros Ex -situ.....	82
Tabla 12.Valores promedio de caudales anuales	84
Tabla 13. Resultados parámetros Ex situ Acidez, Alcalinidad y Dureza.....	86
Tabla 14. Grado de dureza.....	88
Tabla 15. Valores permitidos según la normativa nacional vigente.....	89
Tabla 16. Contraste de caudales	91
Tabla 17.Estimacion del caudal por el método perímetro mojado.....	94
Tabla 18.Parametros hidráulicos.....	96
Tabla 19. Caudales estimados por las fórmulas de Franquet.....	96

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Curva de calibración	23
Figura 2. Metodología DWAF.....	43
Figura 3. Técnica para la medición de la sección transversal.....	55
Figura 4. Punto de inflexión .Método Perímetro mojado.....	60

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1. Localización de la zona de estudio.....	18
Imagen 2. Correntómetro OTT C20.....	55
Imagen 3. Localización puntos de muestreo.....	57
Imagen 4. Localización de los puntos de aforo.....	65
Imagen 5. Componente hídrico de la cuenca el rio Pamplonita.....	68
Imagen 6. Puntos del vertimiento en el tramo.....	70
Imagen 7. Visita a la zona de estudio.....	124
Imagen 8. Caudal antes de la captación.....	124
Imagen 9. Bocatoma del Acueducto.....	125
Imagen 10. Caudal aguas debajo de la bocatoma.....	125
Imagen 11. Caudal en el punto 3.....	126
Imagen 12. Visita a la Bocatoma del acueducto.....	126
Imagen 13. Medición de los parámetros in situ.....	127
Imagen 16. Medición de parámetros In situ en los puntos de muestreo.....	127
Imagen 17. Punto de la captación del acueducto de Cúcuta.....	128
Imagen 19. Visita a los acueductos.....	128
Imagen 20. Visita al acueducto San Fernando.....	129
Imagen 21. Pruebas de laboratorio.....	129

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Grafico 1. Comportamiento de los caudales medios diarios.....	71
Grafico 2. Histograma de caudales para el punto 1	72
Grafico 3. Histograma de caudales para el punto 2	73
Grafico 4. Histograma de caudales para el punto 3	73
Grafico 5. Diagrama de caja de caudales medios diarios.....	75
Grafico 6. Comportamiento del pH.....	77
Grafico 7. Comportamiento de la T (°C) H ₂ O.....	78
Grafico 8. Comportamiento del oxígeno disuelto.....	79
Grafico 9. Comportamiento del caudal.....	82
Grafico 10. Comportamiento de SST.....	84
Grafico 11. Comportamiento DQO.....	85
Grafico 12. Comportamiento DBO ₅	86
Grafico 13. Comportamiento de la acidez.....	87
Grafico 14. Comportamiento de la alcalinidad.....	88
Grafico 15 .Comportamiento de la dureza.....	89
Grafico 16. Sección transversal en el punto 2.....	92
Grafico 17. Curva Q vs P. Método Perímetro mojado.....	94
Grafico 18. Comportamiento del caudal ambiental respecto al caudal mínimo mensual.....	96

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Empresas Urbanas del servicio de acueducto.....	106
Anexo B. Caudales registrados en los puntos de muestreo en l/s.....	107
Anexo C. Caudales medios diarios en l/s.....	112
Anexo D. Comportamiento de los caudales medios diarios.....	116
Anexo E. Monitoreos año 2016.....	119
Anexo F. Calidad de la fuente.....	120
Anexo G. Calidad del agua para consumo humano.....	121
Anexo H. Coeficiente de rugosidad de manning para diferentes materiales.....	122
Anexo I. Coeficiente de rugosidad según la tipología del cauce.....	123
Anexo J. Registro Fotográfico.	124
Anexo K. Constancia de cambio de título.....	130
Anexo L. Constancia de levantamiento topográfico en la zona de estudio.....	131
Anexo M. Constancia del laboratorio de control y calidad de la Universidad de Pamplona de análisis fisicoquímicos.....	133

INTRODUCCION

Las corrientes superficiales han constituido un aporte vital para el ser humano ya que son las fuentes de suministro de agua y disposición de sustancias producto de actividades antrópicas. La problemática ambiental que se tiene entorno al agua, habitualmente es debido a que al pasar de los años este recurso se ha ido agotando y contaminando, haciendo que sea cada vez más difícil encontrar este líquido vital en las condiciones óptimas para la sobrevivencia de los ecosistemas acuáticos y terrestres asociados al mismo, que han sido explotados para satisfacer las necesidades del hombre sin tomar en cuenta la conservación y sustentabilidad de los mismos.

Por todo ello, se hace necesario establecer un equilibrio en los usos del recurso hídrico, que con el tiempo se han ido incrementando, teniendo en cuenta que el agua nos proporciona unos servicios ambientales que son primordiales para la supervivencia, sostenimiento y funcionalidad de los ecosistemas evitando su deterioro; pero que a su vez tienen un papel importante en el desarrollo de muchas actividades económicas y recreativas. Por esta razón, ha surgido la necesidad de determinar caudales ecológicos y caudales ambientales, cuya función es determinar el caudal mínimo que debe circular por una corriente fluvial para la protección del ecosistema y preservar los recursos naturales. Los más utilizados son los métodos hidrológicos e hidráulicos, los métodos hidrológicos se basan en los registros históricos de caudales de estaciones hidrométricas, los cuales son fáciles de manejar y aplicar; los métodos hidráulicos, como su nombre lo indica requieren del manejo de variables de hidráulicas.

El presente trabajo se desarrolló en convenio con la entidad ambiental CORPONOR donde se planteó la necesidad de determinar el caudal ambiental en el tramo Bocatoma El pórtico–Puente San Rafael, Cúcuta, aplicando el método hidráulico perímetro mojado.

Para esto, se buscó identificar y conocer la zona de estudio, para lo cual se realizaron diferentes visitas donde se ejecutaron muestreos, mediciones y se obtuvo un registro fotográfico de los puntos establecidos.

De esta manera, lograr determinar el caudal ambiental pertinente para la conservación del ecosistema y del recurso hídrico. Con lo que se espera reducir la presión que se ejerce en la zona debido a su captación, asegurando la existencia del mismo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, en el tramo Bocatoma El Pórtico-Puente San Rafael se presenta una gran demanda de consumo de agua, donde la mayor extracción de caudal la hace el acueducto de Cúcuta, sin contar con las extracciones que se hacen alrededor de la zona ilegalmente, donde se llevan a cabo muchas actividades que toman el líquido sin permiso, lo cual está afectando tanto la captación como el suministro a la población. Así mismo, debido a la intensa época de sequía que se ha presentado se pudo corroborar los grandes cambios en el ecosistema fluvial aguas abajo de la bocatoma. Debido a esto se presenta un gran problema, por el volumen de agua que es captado por el acueducto, ya que la cantidad disponible de caudal aguas abajo no es el necesario para que el río realice sus funciones naturales y así mismo se pueda asegurar la preservación del ecosistema. Por lo cual se plantea la siguiente pregunta: ¿Cuál debe ser el caudal ambiental para el mantenimiento del ecosistema en el tramo de la Bocatoma El pórtico – Puente San Rafael?

2. JUSTIFICACIÓN

El acueducto de Cúcuta extrae gran parte del caudal del río Pamplonita, sin cumplir con la existencia de un caudal ambiental que mantenga el flujo en la zona. Donde, debido a la intensa época de sequía, se comprobó que el caudal, aguas abajo de la bocatoma del acueducto, se desaparecía a su paso, lo cual obligó a adoptar medidas de suspensión de las explotaciones de material de arrastre que se llevaban a cabo en diferentes sectores del tramo hasta que se mejoraran las condiciones climatológicas. Debido a esto, se empezaron a presentar cambios en el ecosistema aguas abajo de la bocatoma donde los niveles de caudal eran muy bajos, lo cual no permitió la dilución de vertimientos que drenan sobre el afluente. Por lo cual se hace necesario el cálculo del caudal ambiental de modo que no se presente esta situación de nuevo.

El siguiente estudio está enfocado en el manejo de las variables hidráulicas como factores limitantes en la biota donde se requiere el manejo de secciones transversales relacionando la magnitud de la descarga con la profundidad del cauce, velocidad y perímetro mojado. De modo que permitan establecer las condiciones actuales en términos de calidad y cantidad de agua en el tramo en estudio, así como el caudal ambiental que se debe tener en cuenta para la preservación y conservación de los recursos ecosistémicos.

Con la determinación del caudal ambiental se espera mejorar la administración del recurso hídrico en la zona, así como, la permanencia y existencia del mismo en épocas de estiaje, donde la entidad ambiental CORPONOR determine el cumplimiento por parte del acueducto, y de este modo se haga responsable de la existencia de este caudal, por la gran captación que se realiza del líquido afectando la disponibilidad del recurso.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Estimar el caudal ambiental por el método hidráulico perímetro mojado en el tramo Bocatoma El pórtico –Puente San Rafael, Cúcuta que permita la conservación del recurso hídrico y el ecosistema.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Elaborar el diagnostico técnico preliminar desde la bocatoma El pórtico – Puente San Rafael para la delimitación y definición de las características de la zona de estudio.
- Realizar aforos con correntómetro en la zona de estudio para la obtención de caudales medios diarios.
- Evaluar la calidad del agua superficial en el tramo según la normativa nacional vigente, con el fin de conocer las condiciones actuales del recurso hídrico.
- Determinar el caudal ambiental en el tramo Bocatoma El pórtico –Puente San Rafael por el método hidráulico perímetro mojado, para la toma de decisiones sobre el manejo y gestión de los recursos ecosistemicos.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO CONTEXTUAL

4.1.1 Localización

El estudio se desarrollara desde la bocatoma El Pórtico- Puente San Rafael el cual se ubica a 12 km al sur del casco urbano del municipio de Cúcuta en la cuenca media-baja [1]. La bocatoma el pórtico está localizada a 8 km de la planta El pórtico con una altura de 470 m.s.n.m la cual hace parte del corregimiento de San Pedro, donde se realiza la extracción por gravedad que suministra el servicio de agua potable al municipio de Cúcuta, donde aguas abajo en el Puente San Rafael se reciben los vertimientos de aguas residuales del Municipio de los Patios. La zona crítica se sitúa después de la captación hecha por la bocatoma del acueducto donde se puede observar la disminución significativa del caudal.

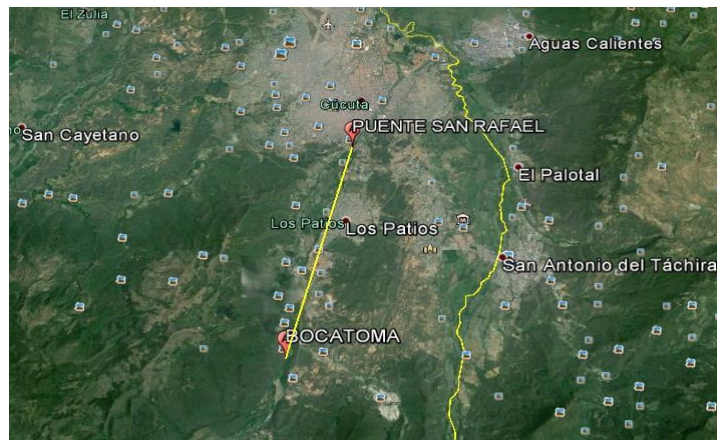


Imagen 1. Localización de la zona de estudio

Fuente: Autora.

4. 2 MARCO TEORICO

4.2 .1 El agua

El agua es la sustancia que más abunda en la Tierra y es la única que se encuentra en la atmósfera en estado líquido, sólido y gaseoso. La mayor reserva de agua está en los océanos, que contienen el 97% del agua que existe en la Tierra. Se trata de agua salada, que sólo permite la vida de la flora y fauna marina. El resto es agua dulce, pero no toda está disponible: gran parte permanece siempre helada, formando los casquetes polares y los glaciales [2].

4.2.1.1 Definición de agua superficial.

Es la proveniente de las precipitaciones, que no se infiltra ni regresa a la atmósfera por evaporación o la que proviene de manantiales o nacimientos que se originan de las aguas subterránea

Se pueden distinguir dos tipos de aguas superficiales:

- Aguas lóaticas o corrientes: Son las masas de agua que se mueven siempre en una misma dirección como ríos, manantiales, riachuelos, arroyos.
- Aguas lénticas: Se denominan aguas lénticas a la interiores quietas o estancadas tales como los lagos, lagunas, charcas, humedales y pantanos.[3]

4.2.2 El caudal

El caudal de un río es la cantidad de agua que pasa por un punto determinado en un tiempo concreto. Este dato se toma en las estaciones de aforo, y se expresa en litros o en metros cúbicos por segundo (l/s o m³/s). En condiciones regulares los ríos ganan caudal a medida que descienden.

La medición de caudal se puede desarrollar por varios métodos diferentes y su elección depende del tipo de fuente superficial o vertimiento que se pretenda aforar, de las características del sitio y de las condiciones al momento de su realización. [4].

4.2.3 Métodos de aforo

4.2.3.1 Método volumétrico

La medición del caudal se realiza de forma manual utilizando un cronómetro y un recipiente aforado. El procedimiento a seguir es tomar un volumen de muestra cualquiera, y la altura cuando se ha aforado el recipiente previamente, y medir el tiempo transcurrido desde que se introduce a la descarga hasta que se retira de ella; la relación de estos dos valores permite conocer el caudal en ese instante de tiempo. Se debe tener un especial cuidado en el momento de la toma de muestra y la medición del tiempo, ya que es un proceso simultáneo donde el tiempo comienza a tomarse en el preciso instante que el recipiente se introduce a la descarga y se detiene en el momento en que se retira de ella. Se deben realizar varias mediciones, y sacar un promedio aritmético. Es funcional para pequeños caudales; sin embargo se puede aplicar para caudales mayores siempre y cuando se pueda aforar recipientes de mayor tamaño [5]. El caudal instantáneo se calcula con la ecuación 1:

$$Q = V / T \text{ Ecuación. (1)}$$

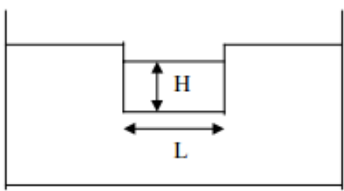
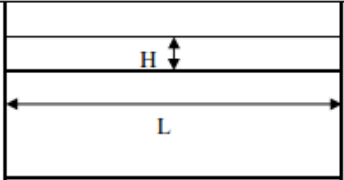
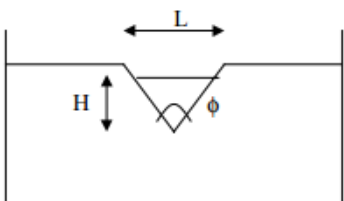
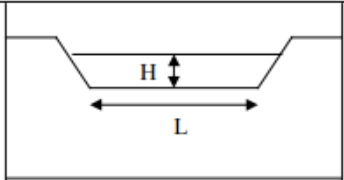
Donde:

$$Q = \text{Caudal (l/s)}, V = \text{Volumen (l)}, T = \text{Tiempo (s)}$$

4.2.3.2 Aforo con vertederos

Otro método utilizado para medición de caudal, es la instalación de vertederos en sus distintas formas, de los cuales existen, según la aplicación, diferentes diseños. Ya sea como estructura de control de aprovechamientos hidráulicos o bien para aforo de agua, su aplicación es muy difundida. Una de las razones es porque permiten obtener el dato del caudal siendo necesario únicamente medir una variable que es la altura de la cresta. Los vertederos de pared delgada se utilizan principalmente en aforos de caudales pequeños, en donde se dispone de un canal artificial y por lo tanto no es recomendable para aguas naturales [5]. A continuación se describen las ecuaciones de cálculo según el tipo de vertedero en la tabla 1:

Tabla 1.Ecuaciones según tipo de vertedero

TIPO DE VERTEDERO	DIAGRAMA	ECUACIÓN
Rectangular con contracción		$Q = 1,83 * L * H^{1,5}$ Q = caudal en m ³ /seg L = Longitud de cresta en m H = Cabeza en m
Rectangular sin contracción		$Q = 3,3 * L * H^{1,5}$ Q = Caudal en m ³ /seg L = Longitud de cresta en m H = Cabeza en m
Triangular		$\phi = 90^\circ$ $Q = 1,4 * H^{5/2}$ Q = Caudal en m ³ /seg H = Cabeza en m $\phi = 60^\circ$ $Q = 0,775 * H^{2,47}$ Q = Caudal en m ³ /seg H = Cabeza en m
Trapezoidal		Si la pendiente de los lados tiene una relación 4 _(vertical) / 1 _(horizontal) , se aplica: $Q = 1,859 * L * H^{1,5}$ Q = Caudal en m ³ /seg L = Longitud de cresta en m H = Cabeza en m

Fuente: IDEAM, 2004 [6].

4.2.3.3 Aforo con correntómetro

4.2.3.3.1 Método de Vadeo

El aforo es realizado para determinar el flujo o caudal que pasa por una determinada sección de un río en un instante cualquiera en unidades de volumen en m³ /s o ft³ /s. El aforo por vadeo se realiza en ríos y quebradas poco profundas (0.15 – 2.00 m), donde la corriente de la sección transversal presenta velocidades bajas, no tan fuertes que puedan arrastrar al equipo de aforo (vara de vadeo, molinete) y el aforador [7].

4.2.3.3.2 Aforo con flotadores

Este método se utiliza generalmente cuando no se tiene molinete, existe excesiva velocidad en el cauce, hay peligros para las personas o para los equipos por las características del agua, etc. La metodología de medición del caudal con flotadores es:

La metodología de medición del caudal con flotadores es:

- Seleccionar un tramo recto del cauce preferiblemente superior a 15 metros.
- Determinar el ancho del cauce y las profundidades de este en tres partes de la sección transversal.
- Calcular el área de la sección transversal aplicando la ecuación 2, donde h_1 , h_2 y h_3 son las profundidades del cauce; b es el ancho del cauce y h la altura promedio del cauce la cual se calcula con la ecuación 3.

$$A = b \times h_{prom} \quad \text{Ecuación. (2)}$$

$$h_{prom} = \frac{(h_1 + h_2 + h_3)}{3} \quad \text{Ecuación. (3)}$$

- Para medir la velocidad del agua, se selecciona un tramo recto entre 5 y 10 m, y se deja caer el flotador al inicio del tramo que está debidamente señalado, en lo posible al centro del curso del agua. Cuando el flotador cruza por el punto de partida se inicia la medición de tiempo con el cronómetro, y se para cuándo termina el tramo seleccionado [5]. Con la distancia recorrida y el tiempo se calcula la velocidad superficial y promedio de la corriente, según se muestra en las ecuaciones 4 y 5 de la siguiente forma:

$$V = L/t \quad \text{Ecuación. (4)}$$

$$V_m = 0,8 V \quad \text{Ecuación. (5)}$$

4.2.3.3.3 Aforo con limnómetros y limnógrafos

El método que se usa corrientemente para aforar un río, es usando limnómetro o limnógrafo, puesto que usar frecuentemente el correntómetro es impracticable por lo difícil y tedioso de realizar las mediciones con este instrumento.

Un limnómetro es simplemente una escala tal como una mira de topógrafo, graduada en centímetros. Se puede utilizar la mira del topógrafo, pero, por lo general, se pinta una escala en una de las paredes del río que debe ser de cemento. Basta con leer en la escala o mira, el nivel que alcanza el agua para saber el caudal de agua que pasa en este momento, pero previamente se tiene que calibrar la escala o mira.

La calibración consiste en aforar el río varias veces durante el año, en épocas de estiaje y épocas de avenidas, por el método de correntómetro y anotar la altura que alcanzó el agua, medida con el limnómetro.

Se hace varios aforos con correntómetro para cada determinada altura del agua. Con los datos de altura del agua (y) y del caudal (q) correspondiente obtenido, se construye la llamada curva de calibración en un eje de coordenadas cartesianas Figura 3.

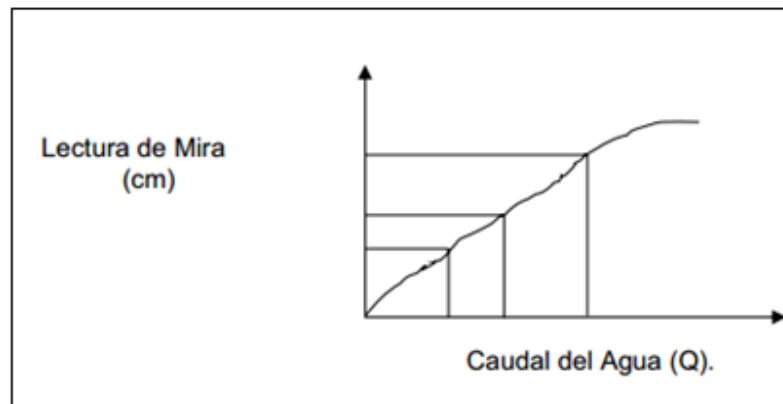


Figura 1. Curva de calibración.

Fuente: Min. Agricultura, 2005 [5].

- Cálculo de la velocidad

Para medir la velocidad en canales o causes pequeños, se coge un tramo recto del curso de agua y alrededor de 5 a 10 m, se deja caer el flotador al inicio del tramo que está debidamente señalado y al centro del curso del agua en lo posible y se toma el tiempo inicial t1; luego se toma el tiempo t2, cuando el flotador alcanza el extremo final del tramo que también está debidamente marcado; y sabiendo la distancia recorrida y el tiempo que el flotador demora en alcanzar el extremo final del tramo, se calcula la velocidad del curso de agua según la ecuación 6 [5].

$$V = L / T \text{ (Velocidad)} \quad \text{Ecuación. (6)}$$

Donde:

L: Longitud del tramo (aproximadamente 10 m), T: Tiempo de recorrido del flotador entre dos puntos del tramo L

El cálculo del caudal se realiza aplicando la ecuación 7:

$$Q = A \times V \quad \text{Ecuación. (7)}$$

4.2.4 Calidad de agua

El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria.

Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar. Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial [8]

4.2.4.1 Parámetros fisicoquímicos del agua.

4.2.4.1.1 Color

Esta característica del agua puede estar ligada a la turbiedad o presentarse independientemente de ella. Aún no es posible establecer las estructuras químicas fundamentales de las especies responsables del color, se atribuye comúnmente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, etcétera. Se considera que el color natural del agua, excluyendo el que resulta de descargas industriales, puede originarse por las siguientes causas:

- La extracción acuosa de sustancias de origen vegetal.
- La descomposición de la materia.
- La materia orgánica del suelo.
- La presencia de hierro, manganeso y otros compuestos metálicos; y una combinación de los procesos descritos [8].

4.2.4.1.2 Olor y sabor

Los olores y sabores en el agua se presentan de forma igual y en general son prácticamente indistinguibles. Muchas pueden ser las causas de olores y sabores en el agua; entre las más comunes se encuentran la materia orgánica en solución, ácido sulfhídrico, sulfato de sodio y de magnesio, aceites, entre otros [9].

Estas características constituyen el motivo principal de rechazo por parte del consumidor. En términos prácticos, la falta de olor puede ser un indicio indirecto de la ausencia de contaminantes, tales como los compuestos fenólicos. Por otra parte, la presencia de olor a sulfuro de hidrógeno puede indicar una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua.

4.2.4.1.3 Turbiedad

La turbiedad es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida, etcétera). La turbiedad es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que por su tamaño se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado.

La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro. Las unidades utilizadas son, por lo general, unidades nefelométrías de turbiedad [8].

4.2.4.1.4 pH

El pH es un parámetro importante a considerar cuando queremos determinar la especiación química y solubilidad de varias sustancias orgánicas e inorgánicas en

el agua. Su determinación es la prueba más usada en las pruebas químicas del agua. La mayoría de las fases de tratamiento del agua de consumo y de aguas residuales, por ejemplo la neutralización, coagulación, desinfección, ablandamiento de aguas, entre otras, son dependientes del pH.

Por lo general, las aguas naturales (no contaminadas) exhiben un pH en el rango de 5 a 9. Cuando se tratan aguas ácidas, es común la adición de un álcali (por lo general, cal) para optimizar los procesos de coagulación. En algunos casos, se requerirá volver a ajustar el pH del agua tratada hasta un valor que no le confiera efectos corrosivos ni incrustantes.

Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 5,0 y 9,0. Por lo general, este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua [8].

4.2.4.1.5 Conductividad

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica. La conductividad del agua depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación [8].

4.2.4.1.6 Temperatura

Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente [8].

4.2.4.1.7 Sólidos y residuos

Se denomina así a los residuos que se obtienen como materia remanente luego de evaporar y secar una muestra de agua a una temperatura dada. Según el tipo de asociación con el agua, los sólidos pueden encontrarse suspendidos o disueltos.

- Sólidos totales.

Corresponden al residuo remanente después de secar una muestra de agua. Equivalen a la suma del residuo disuelto y suspendido. El residuo total del agua se determina a 103–105 °C.

Equivalencias:

Sólidos totales = sólidos suspendidos + sólidos disueltos.

Sólidos totales = sólidos fijos + sólidos volátiles.

- Sólidos disueltos o residuos disueltos.

Mejor conocidos como sólidos filtrables, son los que se obtienen después de la evaporación de una muestra previamente filtrada.

Comprenden sólidos en solución verdadera y sólidos en estado coloidal, no retenidos en la filtración, ambos con partículas inferiores a un micrómetro (1μ).

- Sólidos en suspensión.

Corresponden a los sólidos presentes en un agua residual, exceptuados los solubles y los sólidos en fino estado coloidal. Se considera que los sólidos en suspensión son los que tienen partículas superiores a un micrómetro y que son retenidos mediante una filtración en el análisis de laboratorio.

- Sólidos volátiles y fijos.

Los sólidos volátiles son aquellos que se pierden por calcinación a $550 \text{ }^\circ\text{C}$, mientras que el material remanente se define como sólidos fijos.

La mayor parte de los sólidos volátiles corresponden a material orgánico. Los sólidos fijos corresponden, más bien, a material inorgánico [8].

4.2.4.2.8 Alcalinidad

Es la capacidad del agua de neutralizar ácidos. Sin embargo, aniones de ácidos débiles (bicarbonatos, carbonatos, hidróxido, sulfuro, bisulfuro, silicato y fosfato) pueden contribuir a la alcalinidad.

La alcalinidad está influenciada por el pH, la composición general del agua, la temperatura y la fuerza iónica. Por lo general, está presente en las aguas naturales como un equilibrio de carbonatos y bicarbonatos con el ácido carbónico, con tendencia a que prevalezcan los iones de bicarbonato. De ahí que un agua pueda tener baja alcalinidad y un pH relativamente alto o viceversa.

La alcalinidad es importante en el tratamiento del agua porque reacciona con coagulantes hidrolizables (como sales de hierro y aluminio) durante el proceso de coagulación. Además, este parámetro tiene incidencia sobre el carácter corrosivo o

incrustante que pueda tener el agua y, cuando alcanza niveles altos, puede tener efectos sobre el sabor [8].

4.2.4.2.9 Cloruros

Las aguas superficiales normalmente no contienen cloruros en concentraciones tan altas como para afectar el sabor, excepto en aquellas fuentes provenientes de terrenos salinos o de acuíferos con influencia de corrientes marinas.

En las aguas superficiales por lo general no son los cloruros sino los sulfatos y los carbonatos los principales responsables de la salinidad.

A partir de ciertas concentraciones, los cloruros pueden ejercer una acción disolvente sobre ciertas sales presentes en el agua y también sobre algunos componentes del cemento, al impartirles una acción corrosiva y erosionante, en especial a pH bajo [8].

4.2.4.2.10 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto en gran medida establece las condiciones de aerobiosis del agua y su concentración muestra la clase de organismos que pueden vivir en el sistema. En el caso de estas aguas naturales superficiales, el oxígeno proviene también de la actividad biológica de los organismos que contienen clorofila, capaces de realizar fotosíntesis.

Su presencia es esencial en el agua; proviene principalmente del aire. Niveles bajos o ausencia de oxígeno en el agua, puede indicar contaminación elevada, condiciones sépticas de materia orgánica o una actividad bacteriana intensa; por ello se le puede considerar como un indicador de contaminación.

De la observación de los datos de OD en algunos ríos se deduce que en la mayoría de ellos se presentan contaminaciones esporádicas que no afectan para nada el estado general de los mismos y representan solamente fenómenos locales.

Por otra parte, durante el verano el caudal de un río disminuye, por lo que también lo hace la cantidad total de oxígeno disponible y, por tanto, el consumo de este por los seres vivos acuáticos aumenta por unidad de volumen. Por eso no es extraño que haya grandes diferencias entre el verano y el invierno en lo que se refiere al OD. Igualmente ocurre que este contenido varía del día a la noche, ya que los seres vivos consumen oxígeno para la respiración las 24 horas del día. Sin embargo, la fotosíntesis solo se realiza con el concurso de la luz solar [8].

4.2.4.2. 11 Sulfatos

Los sulfatos son un componente natural de las aguas superficiales y por lo general en ellas no se encuentran en concentraciones que puedan afectar su calidad.

Pueden provenir de la oxidación de los sulfuros existentes en el agua y, en función del contenido de calcio, podrían impartirle un carácter ácido.

Los sulfatos de calcio y magnesio contribuyen a la dureza del agua y constituyen la dureza permanente. El sulfato de magnesio confiere al agua un sabor amargo [8].

4.2.4.2.12 Nitritos y nitratos

El nitrógeno es un nutriente importante para el desarrollo de los animales y las plantas acuáticas. Por lo general, en el agua se lo encuentra formando amoníaco, nitratos y nitritos.

Si un recurso hídrico recibe descargas de aguas residuales domésticas, el nitrógeno estará presente como nitrógeno orgánico amoniacal, el cual, en contacto con el oxígeno disuelto, se irá transformando por oxidación en nitritos y nitratos. Este proceso de nitrificación depende de la temperatura, del contenido de oxígeno disuelto y del pH del agua.

En general, los nitratos (sales del ácido nítrico, HNO_3) son muy solubles en agua debido a la polaridad del ion. En los sistemas acuáticos y terrestres, los materiales nitrogenados tienden a transformarse en nitratos [8].

4.2.4.2.13 Materia Orgánica

Las aguas naturales, además de sustancias minerales y disueltas, pueden llevar en suspensión sustancias orgánicas provenientes del lavado de los suelos o del metabolismo de los organismos que viven en ellos. Además, los cuerpos de aguas superficiales pueden recibir descargas de aguas residuales de origen doméstico o industrial, las cuales provocan la polución y la contaminación en niveles variables.

Las sustancias provenientes del lavado de suelos son principalmente ácidos húmicos, mientras que las producidas por el metabolismo de los organismos acuáticos son los hidratos de carbono, las proteínas, las aminas, los lípidos, etcétera, así como pigmentos, hormonas y vitaminas, que funcionan como catalizadores o inhibidores de las funciones biológicas.

Las sustancias provenientes de los desechos animales son principalmente de la urea o úrea, la cadaverina y la putrescina, entre otros. Estas sustancias orgánicas representan una fuente de alimentación para los organismos (autótrofos y heterótrofos) presentes en el agua. Tienden a desaparecer progresivamente por oxidación, y pasar a CO_2 , amoníaco, nitritos, nitratos, etcétera.

Por lo general, las aguas naturales no contaminadas presentan cantidades mínimas de materia orgánica, salvo aquellas que provienen de bosques o aguas estancadas.

La materia orgánica puede ser, en muchos casos, la responsable del color, el olor y el sabor del agua, los cuales deben ser eliminados durante el tratamiento a fin de hacerla apta para el consumo humano.

Como es muy difícil determinar analíticamente la presencia de estas sustancias orgánicas en el agua, se han establecido métodos globales de determinación. Estos son los siguientes:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno: DBO5

Corresponde a la cantidad de oxígeno necesario para descomponer la materia orgánica por acción bioquímica aerobia. Se expresa en mg/L. Esta demanda es ejercida por las sustancias carbonadas, las nitrogenadas y ciertos compuestos químicos reductores.

Es una prueba que reduce a números un fenómeno natural, muy sencillo en teoría, pero en esencia muy complejo. El cálculo se efectúa mediante la determinación del contenido inicial de oxígeno de una muestra dada y lo que queda después de cinco días en otra muestra semejante, conservada en un frasco cerrado a 20 °C. La diferencia entre los dos contenidos corresponde a la DBO5.

- Demanda Química de Oxígeno: DQO

Equivale a la cantidad de oxígeno consumido por los cuerpos reductores presentes en un agua sin la intervención de los organismos vivos. La eliminación de la materia orgánica se lleva a cabo mediante la coagulación-floculación, la sedimentación y la filtración. Sin embargo, cuando la fuente de agua cruda tiene una carga orgánica y bacteriana muy grande caso en el que la DBO5 puede alcanzar valores muy altos, será necesaria una precloración, que debe constituirse en un proceso adecuadamente controlado.

Lo deseable es que las fuentes de agua cruda no presenten una carga orgánica elevada. Por la naturaleza de estos parámetros, las normas de calidad de agua establecen que los causantes de la contaminación orgánica deben estar ausentes en las aguas para consumo humano [8].

4.2.4.2 Monitoreos de calidad de agua

Es la determinación continua o periódica de la cantidad de contaminantes, físicos, químicos, biológicos o su combinación en un recurso hídrico.

- Frecuencia del monitoreo

Dependerá de la frecuencia de monitoreo que se solicite o en base a la actividad que desarrolle.

4.2.4.2.1 Ubicación

El personal de monitoreo deberá obtener toda la información posible y de manera detallada acerca de las estaciones o puntos del recurso hídrico a monitorear, ello servirá para planear todo el procedimiento de muestreo.

La ubicación de los puntos de muestreo deberán cumplir los siguientes criterios:

- Identificación

El punto de muestreo, debe ser identificado y reconocido claramente, de manera que permita su ubicación exacta. De preferencia, los puntos deberán ser presentados en cartas o mapas y en coordenadas mediante el Sistema de Posicionamiento Global.

- Accesibilidad

Las características del punto deben permitir un rápido y seguro acceso para tomar la muestra, no debe implicar riesgo para el monitor.

- Representatividad

Se debe elegir tramo regular, accesible y uniforme del río, se debe evitar zonas de embalse o turbulencias no característicos del cuerpo de agua, a menos que sean el objeto de la evaluación. Es importante considerar la referencia para la ubicación de un punto de monitoreo pudiendo ser un puente, roca grande, árbol, kilometraje vial y localidad.

- Seguridad

Un aspecto a tener en cuenta, dentro de la ubicación de los sitios de monitoreo, es el nivel de seguridad con el que contará el personal encargado de la toma de muestra. Se deben incluir medidas de seguridad para lograr el acceso a un punto de monitoreo según el caso lo requiera (uso de arneses, cuerdas, etc) y siempre y

cuando sea estrictamente necesario, ya que lo primordial es preservar la vida del recurso humano [10].

4.2.4.2.2 Puntos de muestreo

- Puntos de muestreo para descargas

El lugar ideal para el muestreo sería el punto exactamente antes de que la descarga ingrese a un curso de agua receptor (es decir, una corriente natural o un río). Sin embargo, es posible que este punto no sea de acceso fácil ni seguro. En este caso, la muestra debe ser recolectada en el primer punto accesible corriente arriba de la descarga del conducto o canal.

- Puntos de muestreo para aguas receptoras

Generalmente, se trata de arroyos, ríos, pantanos, lagos y aguas subterráneas en el área. Como mínimo, debe ubicarse dos puntos de muestreo: aguas arriba y aguas abajo, en el cuerpo de agua receptor (tomando como referencia la descarga de un efluente líquido).

Estos puntos permitirán determinar:

- La calidad del recurso hídrico en el punto referencial aguas arriba.
- Si la descarga de efluentes líquidos de las actividades productivas contribuyen a la contaminación de los cuerpos receptores.
- En qué nivel están afectando los contaminantes a los cuerpos receptores.
- El punto de muestreo aguas arriba estará ubicado lo suficientemente distante para asegurarse que no exista influencia de la descarga de un efluente líquido, pero aguas abajo estará ubicado de cualquier descarga que pudiera influir en las características de calidad del agua.
- La ubicación del punto de muestreo aguas abajo debe estar en el punto en el que la descarga se haya mezclado completamente con el agua receptora dependiendo del caudal de la misma [10].

4.2.4.2.3 Tipos de muestreo

Antes de iniciar el muestreo es importante tener claramente definido la forma como serán tomadas las muestras, revisando detalladamente el presupuesto, el personal con se cuenta y su disponibilidad, la capacitación del personal, el transporte, los costos de inversión, los costos de operación y mantenimiento, la vida útil de los equipos, los requerimientos de energía y espacio y la disponibilidad de los mismos, entre otros.

Existen muestreos manuales y automáticos:

- Muestreo manual

El muestreo manual se realiza cuando se tienen sitios de fácil acceso o aquellos que por medio de ciertas adaptaciones puedan facilitar la toma de muestras. La ventaja de éste tipo de muestreo es permitir al encargado de tomar la muestra, observar los cambios en las características del agua en cuanto a sustancias flotantes, color, olor, aumento o disminución de caudales, etc.

- Muestreo automático

El muestreo automático es aconsejable cuando los sitios son de difícil acceso o cuando se justifica y se tiene la facilidad de contar con un muestreador automático. Tiene como ventaja más precisión en la toma de muestras y como desventaja la complejidad de su montaje y calibración, además de que requieren revisiones continuas para evitar atascamientos u otras fallas [10].

4.2.4.2.4 Tipos de muestra

Existen tres tipos de muestra: puntual, compuesta e integrada.

- Muestra puntual

Es la muestra tomada en un lugar representativo, en un determinado momento.

- Muestra compuesta

Es la mezcla de varias muestras puntuales de una misma fuente, tomadas a intervalos programados y por periodos determinados, las cuales pueden tener volúmenes iguales o ser proporcionales al caudal durante el periodo de muestras.

- Muestra integrada

La muestra integrada es aquella que se forma por la mezcla de muestras puntuales tomadas de diferentes puntos simultáneamente, o lo más cerca posible. Un ejemplo de este tipo de muestra ocurre en un río o corriente que varía en composición de acuerdo con el ancho y la profundidad [9].

4.2.5 Caudal Ambiental

Debido a las alteraciones que se presentan en los ríos cuando su régimen de caudal es controlado o alterado, han surgido los conceptos de caudal ecológico y caudal

ambiental. Si bien se presentan diferentes denominaciones y definiciones propuestas por diferentes autores y en diferentes normas, en general, la definición del caudal ecológico tiene que ver con la provisión de agua en los ríos y sistemas asociados de suficiente calidad, cantidad, duración y estacionalidad, para mantener los ecosistemas acuáticos y los humedales. Por su parte, el concepto de caudal ambiental considerado en este trabajo, va más allá, e incluye la suficiente agua en los ríos para asegurar, además del funcionamiento ecológico, beneficios ambientales, sociales y económicos aguas abajo. En la Tabla 2 se definen algunos conceptos y denominaciones del caudal ambiental.

Tabla 2. Denominaciones y conceptos de caudal ambiental

Caudal ecológico mínimo (Sudáfrica – España)	Es el caudal que restringe el uso durante las estaciones de caudales bajos y mantiene la vida en el río. No aporta una solución ecológica. Se calcula de forma directa y arbitraria, producto de un pacto más que de una formulación científica.	King et al. (1999) Palau (2003)
Caudal ecológico (Chile)	Caudal mínimo necesario en una fuente o curso fluvial, para preservar la conservación de los ecosistemas fluviales actuales, en atención a los usos de agua comprometidos, a los requerimientos físicos de la corriente fluvial, para mantener su estabilidad y cumplir sus funciones tales como, dilución de contaminantes, conducción de sólidos, recarga de acuíferos y mantenimiento de las características paisajísticas del medio.	Ormazabal (2004)
Caudal de mantenimiento (España)	Caudal requerido para mantener todas las funciones ecosistémicas del río, incluyendo la incorporación continua y balanceada de las especies acuáticas y riparias. Es un caudal calculado y dirigido hacia la conservación de los valores bióticos del ecosistema fluvial.	APROMA (2000)
Caudal ambiental (Sudáfrica – España)	Es el régimen hídrico que se establece en un río, humedal o zona costera para sustentar ecosistemas y sus beneficios donde hay usos del agua que compiten entre sí y donde los caudales están regulados. El caudal ambiental es usado para valorar cuánta agua puede quitársele al río sin causar un nivel inaceptable de degradación del ecosistema ribereño en el caso de ríos	King & Louw (1998) Palau (1994) Dyson et al.

Fuente: MAVDT & UNAL [11].

Tabla 2. (Continuación) .Denominaciones y conceptos de caudal ambiental.

	gravemente alterados. Se considera caudal ambiental la cantidad de agua necesaria para restablecer el río y rehabilitar el ecosistema hasta un estado o condición requerida.	(2003)
Caudal de acondicionamiento (España)	Se refiere a un caudal que puede establecerse como complemento de caudales mínimos o de mantenimiento, para una finalidad concreta, ajena a la conservación de los valores bióticos del ecosistema fluvial y referida a aspectos abióticos (dilución, paisaje, usos recreativos, etc.).	Palau (2003)
Caudal de compensación	Caudal mínimo necesario para asegurar la supervivencia de un ecosistema acuático preestablecido.	UNESCO (s.f.)
Régimen de caudal ambiental (Sudáfrica)	Es aquel que permite cumplir con una condición establecida del ecosistema ribereño. En él se detallan caudales específicos en magnitud, periodicidad, frecuencia y duración, tanto de caudales basales como de avenidas y crecientes en la escala de variabilidad intra e interanual, todo ello diseñado para mantener en funcionamiento todos los componentes del ecosistema.	King et al. (1999)

Fuente: MAVDT & UNAL [11].

El enfoque de caudal ambiental así como su denominación ha cambiado a través del tiempo. En un principio se partió de una propuesta de dejar en el sistema un caudal mínimo con un valor fijo (años 70). Posteriormente se planteó la necesidad de que este caudal mínimo variara estacionalmente, simulando la variación natural del sistema (décadas de los 80). Más adelante se propuso establecer el régimen de caudales relacionando los cambios en el hábitat y las funciones ecológicas del sistema (años 90). Finalmente, los enfoques más recientes plantean la necesidad de mantener un buen estado ecológico del sistema, llegando a incorporar la restauración en los planes de manejo. La clasificación de las metodologías existentes se resume en cuatro grandes categorías:

- Metodologías de tipo hidrológico.
- Metodologías de tipo hidrológico e hidráulico con enfoque ecológico.
- Metodologías de simulación de hábitat fluvial.
- Metodologías holísticas o funcionales.

Adicionalmente, algunas recientes propuestas metodológicas permiten definir una categoría adicional en la cual el componente de calidad del agua se incluye de forma explícita en la estimación de caudales ambientales.

Por otra parte, los puntos de vista que se emplean en la determinación de caudales ecológicos y ambientales pueden estar basados en dos perspectivas: una centrada en los objetivos y la otra enfocada en los escenarios negociados. La primera (objetivos) se utiliza cuando el propósito es establecer indicadores ambientales del río, basados en objetivos preestablecidos, para posteriormente identificar un régimen de caudales que cumpla dichos objetivos. Este enfoque se usa en ríos cuyos usos ecológicos, económicos o sociales están preestablecidos.

La segunda perspectiva (escenarios negociados), se basa en realizar comparaciones de los efectos de una variedad de escenarios de asignación de recursos hídricos y de caudales en los ecosistemas, involucrando además, los diferentes intereses en el uso del agua que existen en la cuenca. Esto conduce a un camino negociado para establecer el régimen de caudales más conveniente, donde las autoridades gubernamentales son los mediadores finales. Esta manera de afrontar el problema se usa en ríos que no tienen un uso específico predeterminado.

Las metodologías de tipo hidrológico permiten realizar estimaciones rápidas de los caudales ambientales, a partir de series históricas de caudales, utilizando índices hidrológicos sencillos o percentiles fijos de la curva de duración de caudales. De otra parte, las metodologías hidrológicas e hidráulicas con enfoque ecológico intentan relacionar cambios en las variables hidráulicas (caudal, profundidad, velocidad, perímetro mojado, etc.), ocasionados por cambios en el régimen hidrológico de una corriente, con cambios en la disponibilidad del hábitat y su repercusión en el adecuado funcionamiento de los ecosistemas. En cuanto a las metodologías de evaluación detallada del hábitat estas intentan de forma integral, incorporando aspectos hidrológicos, hidráulicos y ecológicos, y a partir de análisis de campo detallados y simulación matemática, evaluar la disponibilidad y calidad del hábitat bajo diferentes condiciones.

Las metodologías de tipo holístico consideran los requerimientos del ecosistema completo, y en la mayoría de los casos permiten realizar la construcción sistemática de un régimen modificado de caudales, a partir del establecimiento de objetivos ecológicos, de calidad del agua, socioeconómico, etc., para el sistema modificado. Finalmente, las metodologías de calidad de agua explícitamente incorporan la evaluación de determinantes de calidad de agua para condiciones sin y con proyecto.

Para cada una de las cinco categorías citadas se ha realizado una revisión bibliográfica de las metodologías más utilizadas, con el fin de identificar las limitaciones y fortalezas de las mismas.

Esto con el fin de proponer una metodología integral para el caso de cuencas colombianas, que combinando diferentes tipos de métodos, provenientes de las diversas categorías, permita la formulación de una metodología flexible y de aplicación objetiva [11].

A continuación se realiza una breve descripción de cada uno de los diferentes tipos de métodos disponibles:

4.2.5.1 Métodos hidrológicos

Como se mencionó anteriormente, dentro de esta categoría de metodologías se incluyen aquellas que están basadas en datos históricos hidrológicos únicamente. Este tipo de metodologías constituyen las primeras propuestas para la estimación de caudales ecológicos y fueron desarrolladas en varios países, fundamentalmente en los Estados Unidos, desde el inicio de la década de los 70 y hasta finales de los 80. La suposición principal de estas metodologías radica en asumir que el funcionamiento de los ecosistemas se ha adaptado a las variaciones naturales del régimen hídrico de una corriente y a sus tendencias históricas, y que, por lo tanto, el estudio hidrológico de series de caudales ayuda en la recomendación de un régimen de caudales ambientales, que manteniendo el patrón natural de la corriente, asegura el adecuado funcionamiento de los ecosistemas. Dicho de otra forma, los métodos hidrológicos asumen que reservando una porción (muchas veces constante) de los caudales históricos es posible preservar los ecosistemas. Al estar basadas únicamente en datos, su relativa facilidad de aplicación ha hecho que este tipo de metodologías se popularicen a nivel mundial y podría decirse, en términos generales, que a nivel de planeación de recursos hídricos y a escala regional, son actualmente los métodos más aplicados en el contexto internacional.

Sin embargo, contrastando con su simplicidad, popularidad y facilidad de aplicación, este tipo de técnicas presentan varias limitaciones, entre las cuales pueden mencionarse:

El carácter regional y no sitio-específico en su aplicación, la consideración en la mayoría de los casos, de un caudal ambiental constante que de ninguna forma conserva el régimen natural de la corriente, la no consideración explícita de las interacciones entre el componente hidrológico y el biológico, la no inclusión de aspectos socioeconómicos y culturales de la población, como los usos del agua, en la estimación del caudal ecológico la suposición de que mediante el cálculo de

estadísticos básicos de series hidrológicas es posible representar el complejo comportamiento de los ecosistemas.

Lo anterior conlleva a estimaciones que aunque rápidas no suelen ser demasiado precisas. Para superar algunas de estas limitaciones, y desde finales de los años 80 se han venido desarrollando las otras categorías metodológicas (hidráulicas, de Calidad de agua, ecológicas y holísticas), en las cuales el componente hidrológico sigue jugando un papel importante, pero es analizado en conjunto con criterios hidráulicos, de hábitat, de calidad de agua, socioeconómicos, ecológicos [11].

4.2.5.2 Métodos hidrológicos e hidráulicos con elementos ecológicos

4.2.5.2.1 Método de Montana

Este método plantea el establecimiento de la relación entre porcentajes del caudal medio anual y la disponibilidad de hábitat, considerando el ancho, la profundidad y la velocidad como variables relacionadas con el hábitat para peces [11].

4.2.5.2.2 Método del Rango de Variabilidad (RVA)

Propone un régimen de caudal para diferentes épocas a partir de 32 parámetros indicadores de variación hidrológica, garantizando con esto que en el sistema se conserve una variación hidrológica semejante a la natural. La organización no gubernamental “The Nature Conservancy” ha desarrollado un programa computacional conocido como IHA (Indicators of Hydrologic Alteration) para valorar los 32 parámetros, para lo cual se requiere una serie mínima de 20 años de caudales diarios [11].

4.2.5.2.2 Método del Perímetro Mojado

Se basa en el hecho que el perímetro mojado es altamente sensible a los cambios topográficos en una sección transversal del río o curso de agua. De esta manera, utilizando expresiones de cálculo hidráulico es posible identificar el impacto que un cambio de caudal causa sobre el entorno del cauce. La técnica selecciona, para el análisis de la curva: perímetro mojado versus caudal, la sección transversal más angosta de la corriente o sección crítica (usualmente de poca profundidad), como un índice de hábitat para el resto de la corriente. Lo anterior se basa en la hipótesis de que el flujo obtenido en la sección crítica, satisface también las necesidades mínimas de producción de alimento, tránsito de peces, desove, etc., garantizándose

supuestamente la protección del hábitat mínimo necesario para preservar la calidad del ecosistema [12].

4.2.5.2.3 Método de Múltiples Transeptos

Proviene de estudios empíricos en los cuales se determina el cambio de hábitat asociados a los cambios en el caudal en múltiples secciones transversales. Para aplicar este método se requiere ubicar una serie de transeptos donde se mide profundidad, velocidad, sustrato y cobertura en diferentes condiciones de caudal, de tal forma que los cambios de dichas variables con el caudal puedan ser determinados. Si los requerimientos de algunas de estas variables son conocidas para ciertas especies acuáticas, el cambio de hábitat a diferentes descargas puede ser determinado [11].

4.2.5.3 Métodos de simulación de hábitat

Algunas de las metodologías de simulación de hábitat fluvial se basan en aspectos geomorfológicos y otras en las características del hábitat para la biota. En los dos casos, se requiere un entendimiento geomorfológico de la distribución de los procesos físicos en el río y el análisis y modelación del hábitat hidráulico. Para ello, es necesario conocer los procesos que estructuran los hábitats del río. Además, en la evaluación del hábitat debe tenerse en cuenta la escala a la cual se quiere determinar el caudal ecológico (sector, tramo, sitio, parche).

El otro método muy conocido y utilizado es el análisis y modelación de hábitat hidráulico. Se propuso en Estados Unidos y se conoce como “The Instream Flow Incremental Methodology (IFIM)”. Esta metodología se planteó para especies de peces salmónidos, pero es una de las más aceptadas y se ha implementado en muchos países. Uno de sus componentes implica el uso de procedimientos analíticos y métodos computacionales (PHABSIM II o RHABSIM). A partir de datos hidrológicos, hidráulicos y biológicos, se modela el efecto de los cambios en caudal sobre la estructura del canal, la calidad del agua, la disponibilidad de hábitats y la temperatura del agua.

La metodología IFIM tiene cinco fases principales: la identificación del problema y su diagnóstico, la planificación del estudio, la aplicación del modelo (PHABSIM O RHABSIM), el análisis de alternativas y la solución del problema (determinación del régimen de caudales admisibles).

La modelación mediante PHABSIM O RHABSIM requiere que el sistema se divida en celdas, en las cuales se definen las relaciones entre pendiente, rugosidad, velocidad y profundidad, y se predicen los campos de velocidades y profundidades

con diferentes caudales. Posteriormente se construyen las curvas de preferencias referenciales, las cuales reproducen el grado de adecuación de un organismo (coeficiente de adecuación de 0 a 1), respecto a las variables que determinan su hábitat físico. El coeficiente de conformidad evalúa la calidad del microhábitats físicos para cada tramo del río. Luego se relacionan las curvas de permanencia de hábitats con las simulaciones de velocidad y profundidad mediante el uso de la relación entre el índice de hábitats y el caudal. Se generan curvas de índice de hábitat (IH-superficie ponderada útil en m^2) contra caudal y los puntos de inflexión son los caudales mínimos permisibles. Los índices de hábitat se suman para obtener el hábitat total del tramo, cuyos valores se grafican contra el caudal y el tiempo.

Las alternativas de extracción de agua se analizan relacionando los índices de hábitat bajo diferentes condiciones de retiro de caudales y se negocia el establecimiento de caudales de acuerdo con la opción que satisfaga mejor los objetivos colectivos en términos de efectividad, factibilidad, riesgo y valoración económica [11].

4.2.5.4 Métodos holísticos

Los métodos holísticos o funcionales, desarrollados principalmente en Sudáfrica y Australia, tienen dos enfoques:

- Aproximación “bottom-up”: diseñados para “construir” un régimen de caudal modificado mediante la adición de componentes de caudal a una línea base de caudal cero.
- Aproximación “top-down”: abordan la pregunta “¿Cuánto se puede modificar el régimen de caudal de un río antes de que los ecosistemas acuáticos cambien notablemente o se degraden seriamente?”.

El método de Evaluación por Grupo de Expertos (EPAM) es un método tipo “bottom-up” que fue propuesto en Australia y plantea que un grupo de expertos en varios temas (ecología de peces, macroinvertebrados y geomorfología) deben llegar a un consenso sobre los efectos de los cambios en el caudal sobre el sistema. Este método está enfocado hacia la conservación de peces y requiere pocos datos de campo, confiando en el juicio de profesionales. Es un método subjetivo y simplista en términos ecológicos, al cual no puede realizársele una validación posterior.

El método de Evaluación por Equipo Científico (SPAM-Australia) también se basa en el trabajo de un equipo, pero incorpora una inspección visual, la colecta de información de campo y la interpretación de datos en el sitio de estudio. Es un método “bottom-up”, derivado del EPAM. Los pasos para llegar a un acuerdo sobre

los caudales requeridos son: 1) identificación de criterios de manejo por un panel de expertos para 5 componentes principales del ecosistema: peces, árboles, macrófitas, invertebrados y geomorfología; 2) aplicación de criterios para 3 elementos (régimen de caudales, hidrografía y estructura física) a 3 escalas espaciales; 3) taller para elaborar una matriz que permita identificar las respuestas e impactos para cada componente del ecosistema con respecto a cada descriptor, a fin de relacionar el régimen de caudal con la metodología “bottom-up”, desarrollada en Australia, que sirvió de base al Building Block Methodology (BBM) y parte de los siguientes supuestos:

- El agua pertenece al ambiente y otros usuarios del agua pueden satisfacerse de la cantidad de agua que el río no requiere.
- Los ríos poseen más agua de la que es estrictamente necesaria para el mantenimiento del ecosistema.
- Si las características esenciales del régimen de caudal natural se identifican e incorporan adecuadamente en el régimen de caudal modificado, entonces la biota existente y la integridad funcional del ecosistema se mantendrán.

El Building Block Methodology (BBM) es una metodología “bottom-up” desarrollada en Sur África, donde se requería una evaluación rápida de los sistemas. Los supuestos del método son:

- La biota presente en un río está adaptada a las fluctuaciones naturales en el caudal.
- Los caudales que no son característicos del río, provocan una perturbación atípica en el ecosistema y pueden cambiar su carácter.
- Para mantener la biota y la funcionalidad del sistema se deben identificar los componentes principales del régimen de caudal e incorporarlos en el nuevo régimen [11].

4.2.5.5 Metodologías que consideran la calidad del agua

Metodologías que contemplen el mantener o mejorar la calidad del agua como componente principal para la estimación del caudal ambiental son muy pocas y se encuentran en desarrollo.

Por lo tanto, se considera fundamental que al definir un “caudal ambiental” se asegure que se obtendrá la calidad del agua apropiada para los diferentes usos aguas abajo. Por esta razón, a continuación se resumen brevemente algunas

metodologías para la estimación de caudales ambientales encontradas, que tienen en cuenta explícitamente determinantes de calidad del agua [11].

4.2.5.5.1 Metodología DWAF

El DWAF (Department of Water Affairs and Forestry - South Africa) desarrolló una metodología a nivel conceptual que se resume en cinco pasos, ver Figura 2

- **Iniciación de estudio:** en el cual se define el área de estudio, la longitud del río tributarios, tributarios con calidad del agua diferente a la de la corriente principal por acciones antropogénicas o por condiciones naturales. Al igual se establece si la información de calidad del agua existente es consistente y se determinan las variables de calidad del agua a analizar (nutrientes, materia orgánica, oxígeno disuelto, coliformes).
- **Selección preliminar de los sitios de estudio:** se delimitan tramos del río homogéneos según la calidad del agua, y los sitios puntuales de estudio.
- **Recolección de información:** se definen límites de las variables de calidad del agua por subunidad y se establece una categorización del cuerpo de agua.
- **Cuantificación de los escenarios:** los valores límites de calidad del agua son usados para evaluar la condición de referencia y el estado ecológico actual de la corriente, estableciendo los posibles escenarios ecológicos en el río. La condición de referencia o condición natural representa el estado del cuerpo de agua antes de la intervención antropogénica.
- **Descripción de las especificaciones ecológicas en cada tramo según la clase establecida:** a partir de la tabla genérica de valores límites de los determinantes de la calidad del agua se establece si las condiciones ecológicas del cuerpo de agua son buenas, regulares o pobres. A partir de lo anterior se definen las consecuencias del régimen de flujo recomendado

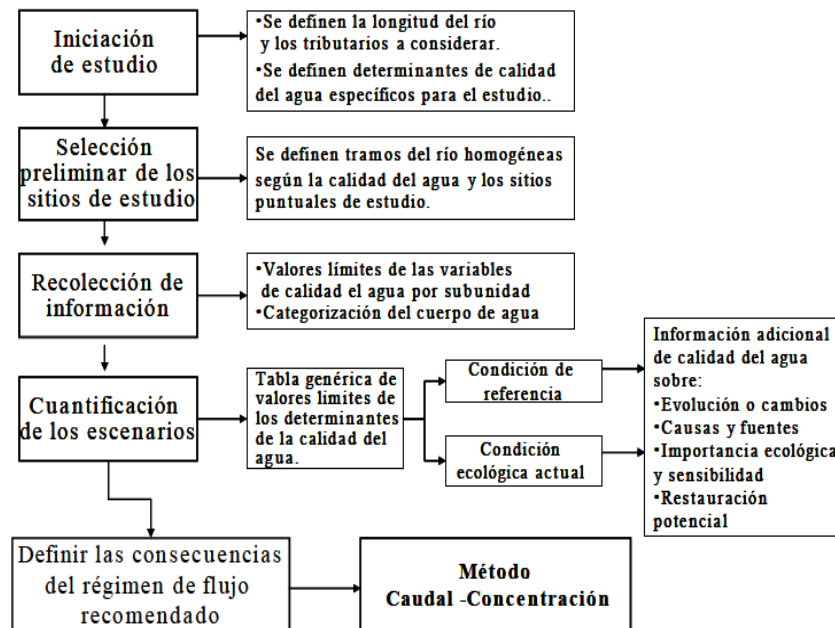


Figura 2. Metodología DWAF.
Fuente: MADS [11]

4.2.5.5.2 Método caudal-concentración

Permite predecir a partir de relaciones caudal *versus* Concentración (Q vs. C) las concentraciones mensuales bajo los regímenes de flujo recomendados. Las concentraciones calculadas pueden ser comparadas con la condición de referencia y las actuales con el fin de evaluar el grado de modificación del río. Los pasos para la aplicación del método son:

- Revisar la información existente de datos de calidad del agua, fuentes de Contaminación, estructuras hidráulicas, la hidrología, etc.
- Localizar los puntos de interés donde se determinará el caudal ambiental.
- Identificar las eco-regiones por las que el río transcurre.
- Dividir el río en los tramos donde se espera una calidad del agua uniforme.
- Correlacionar los caudales mensuales y las concentraciones medianas mensuales para cada determinante de calidad del agua analizado, tanto para la condición de referencia (menos impactada) como para la condición actual (posiblemente impactada).

- Examinar las relaciones numéricas encontrada por el ajuste de las gráficas Q vs. C. No se aceptan ajustes de las curvas por debajo de $0.332 R^2$. Se estiman a partir de las relaciones numéricas las concentraciones para la condición de referencia y la condición actual [11]

4.3 MARCO CONCEPTUAL

Calidad del agua se refiere a las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano. El concepto de calidad del agua ha sido asociado al uso del agua para consumo humano, entendiéndose que el agua es de calidad cuando puede ser usada sin causar daño [12].

Caudal ecológico es el caudal mínimo, ecológico o caudal mínimo remanente es el caudal requerido para el sostenimiento del ecosistema, la flora y la fauna de una corriente de agua [13].

Caudal ambiental es el régimen hídrico que se da en un río, humedal o zona costera para mantener ecosistemas y sus beneficios donde existe usos del agua que compiten entre sí y donde los caudales se regulan [14].

Perímetro mojado es la longitud del contorno del área mojada entre el agua y las paredes del canal [15].

Rugosidad se refiere al contacto entre el agua y los márgenes de la corriente causa una resistencia (fricción) que depende de la suavidad o rugosidad del canal. En las corrientes naturales la cantidad de vegetación influye en la rugosidad al igual que cualquier irregularidad que cause turbulencias [16].

Secciones transversales son las tomadas en sentido normal o perpendicular, al eje o alineamiento [17].

4.4 ANTECEDENTES.

4.4.1 Regionales

- Determinación del caudal ambiental por el método hidráulico perímetro mojado en la quebrada el Rosal ubicada en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.

En este trabajo se aplica el método perímetro mojado en la quebrada el Rosal (Pamplona) con el fin de determinar el caudal ambiental para mejorar las condiciones de los ecosistemas acuáticos, supervivencia de macro invertebrados y dinámica propia de la quebrada (aguas abajo de la bocatoma) del acueducto del municipio de Pamplona, donde se concluye que el caudal ambiental pertinente es de 21.23 l/s y al realizar el inventario de los macro invertebrados y definir las condiciones de supervivencia de los mismos se observó que con el incremento de caudal en los puntos de muestreo, el número de especímenes capturados era mayor [18].

- Evaluación comparativa de la calidad ecológica del agua de las estaciones el diamante, confluencia iscalá, la garita, el pórtico y san Rafael del cauce principal del río pamplonita, Norte de Santander.

En el presente proyecto se hace un análisis histórico de la calidad del agua con base a los estudios ya realizados por el grupo guía y un monitoreo de actualización, teniendo en cuenta como variables, los macroinvertebrados a nivel de familias, la calidad del agua del río con el índice biológico bmwp adaptado para el río, los parámetros fisicoquímicos y el paisaje a través del registro fotográfico de las estaciones de monitoreo, con el fin de conocer el desarrollo y la evolución de la cuenca en su calidad ecológica en el tiempo [19].

- Apoyo a la subdirección de desarrollo sectorial sostenible, en la evaluación de la calidad de agua del río pamplonita y del cumplimiento de los objetivos de calidad de agua, establecidos por la corporación autónoma regional de la frontera nororiental.

Se recolectó, actualizó y procesó la información de los planes de saneamiento y manejo de vertimientos de los municipios pertenecientes a la cuenca del río pamplonita para su evaluación. Se analizaron los resultados obtenidos en las caracterizaciones de la corriente principal del río pamplonita para compararlos con los objetivos de calidad establecidos para cada tramo por la corporación autónoma regional de la frontera nororiental (CORPONOR). De igual manera se determinó la carga contaminante, vertida por los prestadores de servicio de alcantarillado de las

fuentes receptoras en cuanto a la calidad de la corriente principal del río, según los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Por último, se aplicó el programa Arc gis, un software que soporta los datos de la calidad del río y se formuló una propuesta para la selección de un modelo de simulación de calidad hídrica para la cuenca del río pamplonita [20].

- Evaluación de la cantidad y calidad del cauce principal del río pamplonita en cinco puntos de interés, afectados por la sequía como consecuencia del “fenómeno el niño”, temporada 2014-2015.

El presente trabajo contiene resultados de información histórica sobre monitoreos y medición de caudales realizados al río Pamplonita y estudios de caracterización de la calidad y cantidad del agua en cinco puntos de interés: El Diamante, la Don Juana, Iscala, Bocatoma Cúcuta y el puente San Rafael. Se determinaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos e índices de contaminación por parámetro in situ (ICOpH) y por parámetro ex situ (ICOSUS). Se realizó una comparación de la calidad del río pamplonita con años anteriores demostrando que la cuenca del río pamplonita se ha deteriorado en su calidad y cantidad debido a factores meteorológicos, hidrológicos, a las actividades antrópicas, al crecimiento de la población y a las descargas de aguas residuales de tipo doméstico e industrial. Por otro lado también se observó que la estación más crítica en cuanto a calidad y cantidad de agua es la estación del Puente San Rafael, la cual presenta gran contaminación debido al crecimiento poblacional del municipio de los Patios y a las fuertes descargas de vertimientos de tipo doméstico e industrial, también es debido a la disminución de caudal debido a sequías, actividades antropológicas y a la captación que se presenta aguas arriba en el corregimiento de San Pedro [21].

4.4.2 Nacionales

A nivel nacional han sido muchos los estudios realizados para la medición de caudales ambientales usando los diferentes métodos existentes para su estimación que son importantes en el desarrollo de diversos proyectos de infraestructura, potabilización, conservación ecológica y de especies, entre otros. A continuación se describen algunos estudios realizados a nivel nacional:

- Determinación de caudales ambientales confiables en Colombia: el ejemplo del río Palacé (Cauca)

En un estudio realizado en el río Palace -Acueducto de Popayán (cauca) en el año 2007, se aplica por primera vez la metodología IFM (Instream Flow Incremental Methodology) utilizando el sistema de simulación del hábitat físico PHABSIM (Physical Habitat Simulation System) que evalúa el hábitat fluvial en términos de calidad y cantidad, donde se evaluaban los regímenes de caudales ambientales.

Los cuales arrojaron resultados satisfactorios para RCA, los requerimientos de flujo evaluados con PHABSIM para las comunidades representadas (macro invertebrados y estadios básicos de la ictiofauna superan con creces los caudales ecológicos calculados por métodos conocidos más simples. En consecuencia, la detracción limitada del 6.78% del caudal medio anual con la que opera el proyecto del nuevo acueducto de Popayán registro un Régimen de Caudales Ambientales satisfactorio [22].

- Metodología para la estimación del caudal ambiental en proyectos licenciados.

Se presenta una propuesta metodológica para estimar los caudales ambientales en grandes proyectos licenciados por la Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA acuáticas (perifiton, macro invertebrados, vegetación ribereña y peces), a fin de hacer un seguimiento a los efectos que puede producir la reducción del caudal a mediano y largo plazo. Se presentan los resultados de la aplicación de la metodología en varios proyectos licenciados por el MADS [23].

- Modelamiento y manejo de las interacciones entre la hidrología, la ecología y la economía en una cuenca hidrográfica para la estimación de caudales ambientales.

En este trabajo se presenta un proceso de planificación de siete pasos que se implementa en el Proyecto Trasvase Manso, ubicado en el Departamento de Caldas, Municipios de Samaná y Norcasia. En este estudio se involucran varios actores en un intento de encontrar la forma de satisfacer múltiples objetivos económicos, medioambientales y ecológicos. El proceso de planificación de siete pasos trata de proporcionar un enfoque muy transparente y plenamente participativo hacia el logro de una visión común entre todas las partes interesadas. En este trabajo se presenta la metodología holística tomando en cuenta la hidrología de la cuenca, el hábitat de idoneidad para la especie en peligro *Ichthyoelephas longirostris* y la capacidad instalada de la derivación del río Manso que alimenta el proyecto hidroeléctrico Miel I [24].

- Determinación del caudal ambiental y su relación con variables indicadoras de calidad del recurso hídrico.

El objeto de esta investigación es la determinación del caudal ambiental en la subcuenca del río Las Piedras y su correlación con diferentes variables fisicoquímicas e índices de calidad del agua. Inicialmente se realizó la determinación del caudal ambiental utilizando una aproximación a la metodología para la determinación del caudal ambiental en proyectos licenciados de Colombia, los cuales son aquellos que de acuerdo con la ley y reglamentos puedan producir deterioro grave a los recursos naturales renovables, al medio ambiente o introducir modificaciones considerables o notorias en el paisaje (MAVDT, 2010).

Seguidamente, teniendo el caudal ambiental establecido para cada mes y desglosado por condición hidrológica (Niño, Niña y normal), se procedió a estimar la correlación existente entre estos, medidas in situ (pH, conductividad, OD, turbidez, TDS, T y el factor de asimilación de la corriente) con el fin de hacer una estimación de la calidad del agua que se tendría manteniendo los caudales ambientales propuestos, usando para ello el programa estadístico SPSS. Por otro lado se realizó una evaluación de la integridad biótica, para establecer el estado ecológico de la subcuenca con base en la comunidad de macro invertebrados [25].

- Análisis de los criterios físicos de la metodología para la estimación de caudales ambientales del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Casos: Proyectos Hidroeléctricos Mayaba y Santo Domingo.

El trabajo se enfoca en un problema particular en el marco de la gestión de recursos hídricos, particularmente en el planeamiento de proyectos hidroeléctricos a filo de agua de diferentes tipologías (Pequeña Central Hidroeléctrica PCH y central a pie de presa), ya que la metodología se enfoca particularmente en grandes proyectos hidroeléctricos con embalses de regulación. Principalmente se habla de sus debilidades en cuanto a la aplicabilidad de los criterios físicos, con énfasis en los criterios hidrológicos, ya que no tiene en cuenta la escasez de información hidrológica ni la diversidad de las cuencas colombianas [26].

- Caudal Ambiental. Conceptos, experiencias y desafíos.

Este libro recoge, desde los conceptos básicos técnicos, científicos y metodológicos, hasta importantes experiencias prácticas, realizadas en el Suroccidente colombiano y en Costa Rica, de determinación de la cantidad de agua apropiada que se debe dejar en un curso de agua para que las condiciones ambientales, la flora y fauna del cuerpo de agua y fondos no se vean afectada. De manera revolucionaria y poco frecuente, este libro reúne interdisciplinariamente, las visiones de autores de diferentes ramas del saber: la ingeniería con el establecimiento de métodos precisos de determinación de las cantidades de agua; la biología que establece las condiciones ambientales de los ríos y la relación que estas condiciones tienen sobre la fauna y flora acuática; la economía y la sociología que muestran la visión de la importancia de valorar el agua como un bien social y económico; el derecho con un marco legal que muestra cómo los hallazgos técnicos se convierten en instrumentos legales que permiten hacer cumplir los principios básicos del manejo apropiado del agua. Finalmente, reúne las experiencias prácticas de personas que han estado directamente involucradas en trabajos de campo y laboratorio para establecer los regímenes de caudales para ríos de diferentes lugares [27].

4.4.3 Internacionales

- Proyecto piloto para la estimación de caudales ambientales en la cuenca del río Pastaza (Ecuador), basado en un panel de expertos.

Esta investigación está orientada a determinar caudales ambientales en ríos de la cuenca del río Pastaza, una de las más grandes del Ecuador y con una fuerte presión hídrica, mediante la metodología conocida como panel de expertos. Esta es poco exigente en cuanto a información, tiempo y recursos económicos, y parte de la experiencia de un grupo multidisciplinario y de herramientas de cálculo útiles.

La metodología consistió en recopilar información existente de la cuenca, para posteriormente ser presentada a un panel de expertos (ecólogo, ictiólogo, sociólogo, hidrólogo-hidráulico, turístico, y gestores del agua); el cual en base a la presencia de obras hidráulicas de envergadura, estado ambiental de los ríos de la cuenca, e información disponible determinó los sitios de estudio en los ríos de Cutuchi, Ambato, Cebadas, Chambo, Pastaza y Palora, para obtener información de campo sobre macroinvertebrados, peces, afluentes, secciones transversales, entorno socioeconómico y usos recreativos. Posteriormente, cada experto debía determinar el requerimiento de caudal, o en su defecto calado o velocidad medios, entradas solicitadas para estimar caudales con el software FLOWMASTER [28].

- Determinación de caudales ambientales para ríos de la cuenca del río San Juan (México) mediante la aplicación de métodos hidrológicos.

Se llevó a cabo la determinación del caudal ambiental para los principales ríos que se encuentran en la cuenca del río San Juan, específicamente para el estado de Nuevo León, utilizando los registros históricos de las estaciones hidrométricas localizadas dentro de la cuenca. Dicha determinación de caudal ambiental se realizó mediante el uso de métodos hidrológicos llamados Método Tennant y Método Tennant modificado para México, la cual resultó ser una herramienta accesible y flexible desde el punto de vista económico y en cuestión de tiempo, así como la facilidad en el manejo de datos [29].

- Fortalecimiento del concepto de Caudales Ambientales como Herramienta para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos.

El objetivo del trabajo fue evaluar la aplicación del concepto de caudales ambientales como herramienta para la GIRH en el país. La definición de caudales ambientales adaptada a Uruguay surgió mediante la discusión interinstitucional de las dimensiones del concepto, la participación social en su aplicación, la integración de diferentes visiones disciplinares, la aplicación de la normativa y la priorización de ciertos usos. El término caudales ambientales se definió como “Régimen hidrológico y calidad del agua de ecosistemas acuáticos continentales que asegure la

sustentabilidad a largo plazo de la estructura y funcionalidad del ecosistema que mantenga los servicios ecosistémicos en la cuenca” [30].

4.5 MARCO LEGAL

Actualmente el concepto de caudal no se encuentra definido en la normativa colombiana de manera concreta, sin embargo desde diferentes aspectos se han elaborado diversos estudios donde se han propuesto definiciones y métodos para su interpretación. Por otra parte, se ha basado en las obligaciones ambientales que deben cumplir diferentes sectores que hacen uso y aprovechamiento del recurso hídrico en determinadas cantidades. Dentro de la legislación actual vigente respecto al recurso hídrico tenemos:

Las primeras definiciones sobre la preservación de los recursos naturales se dan en la **Constitución Política de Colombia de 1991** [31], primeramente en el **título II Capítulo 3 -Artículo 79** , donde se resalta que es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente y conservar las áreas de importancia ecológica , así mismo , en el **artículo 80** del mismo , se plasma que el estado deber ser quien planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Más adelante en el **capítulo 5 –Artículo 366** se habla de la finalidad social del estado y de los servicios públicos, donde se resalta como objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable.

Por otra parte, en el **Decreto 1541 de 1978** [32] se busca reglamentar las normas relacionadas con el recurso de aguas en todos sus estados, donde se consagro en el **Artículo 37** “El suministro de aguas para satisfacer concesiones está sujeto a la disponibilidad del recurso “, por tanto, el Estado no es responsable cuando por causa naturales no pueda garantizar el caudal concedido. Pero no establece límites para el uso del caudal para garantizar un desarrollo sostenible.

La **Ley 99 de 1993** [33] por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente , se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones donde se habla sobre los asuntos asignados a las Corporaciones Autónomas Regionales, la evaluación y control preventivo, actual o posterior, de los efectos de deterioro ambiental que puedan presentarse por la ejecución de actividades o proyectos de desarrollo, así como por la exploración, explotación, transporte, beneficio y utilización de los recursos naturales renovables y no renovables y ordenar la suspensión de los trabajos o actividades cuando a ello hubiese lugar.

El **Decreto 1729 de 2002** [34] donde se establece los lineamientos y fases para la ordenación de cuencas hidrográficas y define que el proceso de ordenación de una cuenca tiene por objeto principal el planeamiento del uso y manejo sostenible de sus recursos naturales renovables, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico – biótica de la cuenca y particularmente de sus recursos hídricos

El **Decreto 3930 de 2010** [35] documento en el que se presentan tres características principales: Establece los porcentajes máximos permitidos de vertimientos por actividad productiva, todas las actividades productivas debían cumplir con un 20% de porcentaje de vertimientos, ahora se establece un límite máximo permitido por actividad económica. Hace una diferenciación entre Aguas Residuales Domésticas (ARD) de las Aguas Residuales no Domésticas (ARND).

Decreto 1900 de 2006 [36] en el **Artículo 1** especifica que 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; de conformidad con el párrafo del **artículo 43 de la Ley 99 de 1993**. Este mismo decreto, en el **Artículo 2**, especifica que los proyectos que están obligados a la inversión forzosa del 1%, son los que cumplan con la totalidad de las siguientes condiciones: Que el agua sea tomada directamente de una fuente natural, sea superficial o subterránea; Que el proyecto requiera licencia ambiental; que el proyecto, obra o actividad utilice el agua en su etapa de ejecución, entendiéndose por esta, las actividades correspondientes a los procesos de construcción y operación; que el agua tomada se utilice en alguno de los siguientes usos: consumo humano, recreación, riego o cualquier otra actividad industrial o agropecuaria .

En la **Resolución 865 del 2004** [13] la cual recoge el conocimiento y el análisis metodológico para la obtención del índice de escasez, definiéndose este como la relación porcentual entre la demanda de agua del conjunto de actividades sociales y económicas con la oferta hídrica disponible, luego de aplicar factores de reducción por calidad del agua y caudal ecológico.

En el mismo orden, en la **Resolución 1284 del 2006** [37] expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial por la cual se acogen los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental para la construcción de presas, represas y embalses con capacidad mayor a 200 millones de metros cúbicos de agua y se adoptan otras determinaciones, haciendo referencia en el Art. Segundo donde todo interesado en obtener una licencia ambiental debe verificar que no queden excluidos en la evaluación aspectos que puedan afectar negativamente el uso óptimo y racional de los recursos naturales renovables o el medio ambiente, o alguna de las medidas de prevención, corrección,

compensación, y mitigación de impactos y efectos negativos que pueda ocasionar el proyecto, obra o actividad.

En el **Decreto 1323 de 2007** [38] en el cual se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico -SIRH- el cual hace uso del conjunto de elementos que integra y estandariza el acopio, registro, manejo y consulta de datos, bases de datos, estadísticas, sistemas, modelos, información documental y bibliográfica, reglamentos y protocolos que facilita la gestión integral del recurso hídrico.

El **Estudio Nacional del Agua 2014** [39] donde se realiza el estudio técnico-científico, que permite reconocer el estado y la dinámica del agua en Colombia. Éste logra identificar subzonas hidrográficas y cuencas que se deben priorizar, para mejorar la gestión sobre el recurso hídrico por sus vulnerabilidades, presiones por uso y afectaciones a la calidad.

5. METODOLOGIA

En este capítulo se presenta los diferentes procedimientos que se abordaron para llevar a cabo cada uno de los objetivos propuestos.

En la primera parte se elabora el diagnóstico preliminar desde la Bocatoma El pórtico hasta el Puente San Rafael que se agrupa en dos tipos de tareas la delimitación de la zona de estudio donde se establecen tres puntos de muestreo a lo largo del tramo y características de la zona que reúnen aspectos socioeconómicos asociados al uso del agua.

Seguido de la realización de aforos con correntómetro en los puntos establecidos; donde se describe el método implementado para obtención de tres registros diarios de caudal (caudales medios diarios) de manera que se pudiese obtener la caracterización hidráulica del sistema hídrico para la aplicación del método hidráulico perímetro mojado.

Del mismo modo, se mencionan los diferentes protocolos que fueron de vital importancia para la evaluación de la calidad del agua en los puntos establecidos en la zona de estudio y así definir el estado de las condiciones hídricas del tramo. Por último, se describe el procedimiento adoptado para el cálculo del caudal ambiental.

5.1 Elaboración del diagnóstico técnico preliminar desde la Bocatoma El pórtico-Puente San Rafael para la delimitación y definición de las características de la zona.

5.1.1 Delimitación de la zona de estudio.

Se realizó una visita previa al lugar de estudio, el cual se modificó según lo establecido por la Corporación Autónoma Regional Nororiental (Ver anexo K) para determinar los puntos de interés. Los cuales se eligieron de acuerdo a la facilidad de acceso para el transporte de equipos, la presencia de población aledaña al río y actividades en el sector.

Determinando estos criterios se tomaron tres puntos de aforo: el primero ubicado cerca a la bocatoma del acueducto de Cúcuta que limita en el margen izquierdo del río con el corregimiento de San Pedro (El pórtico) y por la margen derecha con el corregimiento de los Vados; para conocer la cantidad de caudal disponible antes de la extracción, el segundo después de la bocatoma, que por la margen izquierda del río con limita con la vereda El Pórtico y por la margen derecha limita con la zona de construcción del puente nuevo, sobre el anillo vial de Cúcuta; esto debido al fácil acceso a la zona al río por este punto y para la ejecución del aforo, y así

conocer las condiciones actuales del líquido después de la captación y el último en el Puente San Rafael donde el cauce vuelve a presentar un aumento de caudal debido a los vertimientos presentes en la zona.

5.1.2 Características de la zona.

Se tuvieron en cuenta aspectos considerados de relevancia para la determinación del caudal ambiental, como las características de la zona referentes a la parte socioeconómica y al manejo del recurso hídrico (Componentes del recurso hídrico, fuentes de contaminación -Vertimientos) que permiten conocer el respectivo uso del agua en la zona y actividades económicas que pueden repercutir sobre la disponibilidad y calidad del recurso hídrico.

Cabe resaltar que alguna de esta información se consultó en el POMCA 2014 (Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca del río pamplonita) y otra fue proporcionada por la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR).

5.2 Realización de aforos con correntómetro en el tramo de estudio para la obtención de caudales medios diarios.

Se llevaron a cabo tres aforos diarios por el método de vadeo en los puntos establecidos en el apartado 5.1.1 en un periodo de 4 meses. Cabe destacar que se solicitó información de medición de caudales para los meses de enero, febrero, marzo y abril suministrados por la entidad ambiental CORPONOR ya que actualmente se realizan mediciones de control del flujo en la zona.

Los muestreos se realizaron en el siguiente horario; el primer aforo: 7:00 a.m., 1:00 p.m., 4:00 p.m.; el segundo 7:40 a.m., 1:41 p.m., 4:40 p.m. y el tercero 8:30 a.m., 2:20 p.m., 5:15 p.m.

Los cuales servirían para la identificación del punto crítico (Donde los niveles de agua son los más bajos). Para lo cual se ejecutó el procedimiento para la prueba de aforos y ríos en quebradas [40] el cual se describe a continuación:

- Se tomaron las medidas necesarias de seguridad, luego se procedió a revisar y verificar que el equipo (Calibración del correntómetro) y las herramientas estuviesen en buenas condiciones para dar inicio al aforo en el río.
- Se ubicó una sección uniforme en cada punto de aforo, libre de obstáculos (turbulencias, troncos, piedras, afluentes con remansos, entre otros).

- Luego, se colocó una soga asegurada con jalones a ambas orillas del río o quebrada, para continuar con la división de secciones, por medio de una cinta métrica de 30 metros (Ver figura 3).

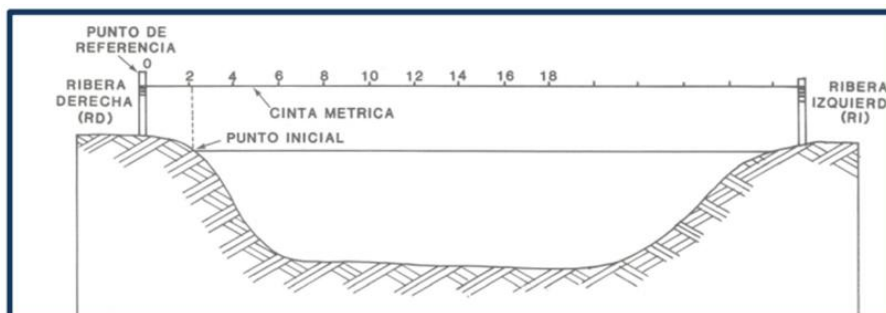


Figura 3 .Técnica para la medición de la sección transversal.

Fuente: UTP [40].

- Con la medida del ancho del río, se procedió a realizar los espaciamentos los cuales variaron según el ancho de cada sección transversal.
- Ya marcados los espaciamentos en la soga, se inició la medición de verticales referidas a las márgenes en las que se mide profundidad.
- Para la medición de velocidades se utilizaron dos correntómetros; el correntómetro OTT C20 y el correntómetro Hydrological Services OSS B1 (Ver imagen 2). Las mediciones de velocidad se tomaron simultáneamente con las medidas de profundidad.

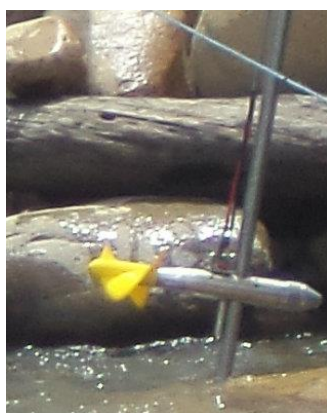


Imagen 2. Correntómetros OTT C20 –OSS B1

Fuente: CORPONOR.

- Luego de determinar las profundidades en cada sección, se midieron las revoluciones a 0.2 h y 0.8 h desde el fondo, criterio que es igualmente utilizado para profundidades mayores a 0.6 metros. A profundidades menores o iguales a 0.6 metros, las revoluciones se midieron a 0.4 h desde el fondo. Para un tiempo de 50 segundos. Y así determinar el número de revoluciones por segundos , para lo cual se aplica la ecuación 8 :

$$\eta = \frac{Nr}{T} \quad \text{Ecuación. (8)}$$

Donde:

η = Numero de revoluciones por segundo

Nr= Numero de vueltas.

T= Tiempo (s)

- Con estos datos se calculó la velocidad puntual en cada una de las profundidades utilizando las ecuación 9 y 10 según el tipo de molinete :

$$V_p = (0,104) \eta + 0,03 \quad \text{Ecuación. (9)}$$

$$V_p = (0,0555) \eta + 0,0184 \quad \text{Ecuación. (10)}$$

Donde:

V_p =Velocidad puntual.

η = Numero de revoluciones por segundo.

- Con los datos obtenidos se determinaron las velocidades media y áreas parciales en las subsecciones con las cuales se determinó los caudales parciales, cuya sumatoria arrojó el caudal total que pasaba por cada sección.

5.3 Evaluación de la calidad del agua superficial en el tramo según la normativa nacional vigente, con el fin de conocer las condiciones actuales del recurso hídrico.

Se emplearon registros históricos suministrados por la entidad ambiental CORPONOR de los monitoreos hechos en dos puntos de muestreo : Bocatoma Cúcuta (El Pórtico) y Puente San Rafael de los parámetros fisicoquímicos pH, T°(C), OD , Conductividad , SST , DQO Y DBO₅ correspondientes a los años 2010-2011, 2012 2014-2015 [41]-[42] , los cuales se muestran georeferenciados en la tabla 3.

También, se utilizaron datos del monitoreo 2014-2015 de los parámetros fisicoquímicos acidez, alcalinidad, dureza que solo se encontraron para estos años, ya que, para años anteriores no se contaba con registros para estos parámetros.

Tabla 3. Puntos de muestreo.

Punto	Coordenadas		Altura (m.s.n.m)
	X	y	
1	1170603	1350101	465
2	1173911	1372066	336

Fuente: POMCA [1].

Los cuales se ubican en la siguiente imagen:

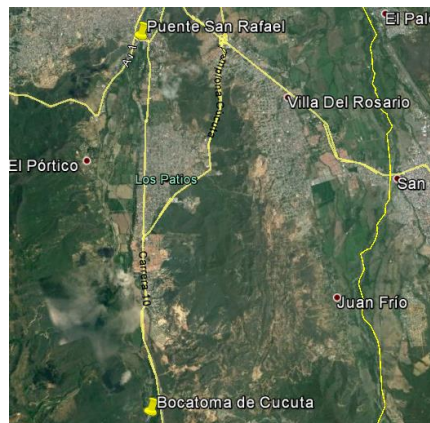


Imagen 3. Localización puntos de muestreo.

Fuente: Autora.

De esta manera, se logró realizar el respectivo análisis y comparación con los valores obtenidos en el monitoreo que se llevó a cabo en los meses de marzo, abril y mayo 2016 para los parámetros fisicoquímicos mencionados anteriormente.

Los cuales se llevaron a cabo para los años 2010-2011, 2012 2014-2015 en el Laboratorio Ambiental de Análisis de Aguas de la corporación ; acreditado por el IDEAM, según la Resolución N° 0174 del 27 de octubre de 2003 con un sistema de calidad, planificado y documentado, basado en la ISO/IEC 17025/2005 . Por falta de disponibilidad del laboratorio de la corporación, los monitoreos para el año 2016 se desarrollaron en el Laboratorio de control y calidad de la Universidad de Pamplona.

La recolección, almacenamiento y transporte se desarrolló bajo los protocolos establecidos por el Reglamento Técnico del sector del agua Potable y saneamiento Básico [43].

Los análisis desarrollados en el Laboratorio Ambiental de Aguas de CORPONOR, se realizaron de acuerdo con los métodos recomendados por las agencias internacionales como: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [44], metodología de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (E: P.A.), adoptados por la normatividad ambiental del país: protocolos analíticos del IDEAM, estandarizados y validados por los técnicos del Laboratorio.

De acuerdo, a las normas estándar para el análisis de aguas y aguas residuales se definen en la tabla 4 cada uno de los métodos utilizados para el análisis de los parámetros fisicoquímicos.

Tabla 4. Métodos estándar para el análisis de los parámetros fisicoquímicos.

Parámetro	Unidades	Método a utilizar
pH	Unidades de pH	Método Potenciómetro
Conductividad	$\mu\text{s}/\text{cm}^2$	Método conductimétrico
Oxígeno Disuelto(OD)	mgO_2 / l	Método oximétrico.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mgO_2 / l	Método reflujo cerrado.

Fuente: Estándar Methods [44].

Demanda Bioquímica de Oxígeno(DBO ₅)	mgO ₂ /l	Método Manométrico.
Sólidos suspendidos Totales (SST)	mg/l	Método Gravimétrico
Acidez	mgCaO ₃ / l	Método titulométrico con NaOH.
Alcalinidad	mgCaO ₃ / l	Método titulométrico con H ₂ SO ₄
Dureza	mgCaO ₃ / l	Método titulométrico con EDTA.

5.4 Determinación del caudal ambiental utilizando el método perímetro mojado para la toma de decisiones sobre el manejo y gestión de los recursos ecosistémicos.

Después de obtener los valores de las mediciones en los diferentes puntos realizados por la corporación durante 4 meses, se logró identificar que la sección más crítica en el cauce era la ubicada en el punto 2 según los valores obtenidos en los aforos (Ver anexo B). Para la aplicación del método hidráulico perímetro mojado se aplicaron algunos criterios basados en este procedimiento [45]:

- Se realizó la medición de la sección transversal realizando desplazamientos desde el borde del río de un metro y en cada espaciamiento con una regla graduada se midió la profundidad de la lámina de agua, así mismo se realizó la identificación de las características hidráulicas el coeficiente de rugosidad de Manning del cauce (n), medición de la lámina de Agua (h), Área total (m²), Perímetro mojado (m).

- Se graficó la sección transversal a partir de los valores de Distancia entre verticales (d) en función de la profundidad.
- A partir de las características hidráulicas del cauce se calculó el caudal por la ecuación 10 (Ecuación de manning) para su respectiva comparación con el caudales aforados en el punto.

$$Q = 1/n * A * R_h^{2/3} * S^{1/2} \quad \text{Ecuación (11).}$$

Donde:

Q= Caudal (m³/s).

n=Coefficiente de rugosidad de manning.

A=Área (m²).

R_h= Radio Hidráulico.

S= Pendiente (m).

- Por medio de la ecuación 11 se hallaron los diferentes perímetros mojados, con la variación de la altura del cauce (método del perímetro mojado), tomando valores de profundidad que se presentaron en la medición del punto de interés.
- Con los valores de altura y su respectivo perímetro mojado se estimaron los caudales correspondientes.
- Se construyó la curva caudal vs perímetro mojado, graficada mediante una curva de dispersión y de esta manera determinar el punto de inflexión que representa el caudal ambiental así como se muestra en la figura 4.

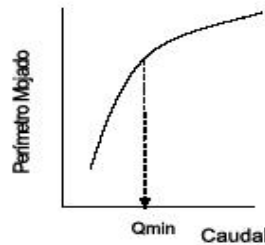


Figura 4. Método Perímetro mojado

Fuente: Diez H [46].

Además, se realizó el cálculo del caudal ambiental por medio de las ecuaciones de Franquet [47], [48]. El proceso de cálculo del caudal a partir de la utilización del método de Franquet consistió en:

- Calcular los parámetros geométricos e hidráulicos del río como área total (A), radio hidráulico (Rh) y perímetro mojado (Pm), Pendiente (S); datos obtenidos de las mediciones de las secciones transversales.
- Se determinó el coeficiente de rugosidad K según el tipo de cauce y se estimaron los caudales por las ecuaciones 12 y 13 propuestas por el autor.

$$K = 9 \dots Q = 31,55 \cdot Pm \cdot Rh^{1,7083} \cdot S^{0,5} \quad \text{Ecuación (12).}$$

$$K = 10 \dots Q = 27,05 \cdot Pm \cdot Rh^{1,7111} \cdot S^{0,5} \quad \text{Ecuación (13).}$$

$$K = 11 \dots Q = 23,21 \cdot Pm \cdot Rh^{1,7166} \cdot S^{0,5} \quad \text{Ecuación (14).}$$

$$K = 12 \dots Q = 19,53 \cdot Pm \cdot Rh^{1,7192} \cdot S^{0,5} \quad \text{Ecuación (15).}$$

Donde:

Q= Caudal (m³/s).

K= Coeficiente de rugosidad Franquet.

Pm=Perímetro mojado (m)

Rh=Radio hidráulico (m).

S =Pendiente (m).

También, se corrobora el valor del caudal estimado aplicando la expresión multivariante de Franquet, la cual se basa en la ecuación 16 de Darcy-Weissbach para las conducciones libres, a saber se obtiene que:

$$V = \sqrt{\frac{2g}{\lambda}} \times \sqrt{R \cdot I} = \sqrt{\frac{2g \cdot R \cdot I}{\lambda}} \quad \text{Ecuación (16)}$$

Donde:

V =Velocidad (m/s)

R=Radio hidráulico (m)

I=pendiente (m)

g=9, 81 m/s²

λ= Factor de fricción.

Se tiene, para cada caso de las categorías de rugosidad del 9 al 12, la ecuación 17:

$$V = \sqrt{\frac{2g \cdot R \cdot I}{R^{-0.4112} \times e^{-6.8639 + 0.3236 \cdot K}}} \quad \text{Ecuación (17).}$$

Donde:

V=Velocidad (m/s).

G=Gravedad (m/s²).

R= Radio hidráulico (m).

I=pendiente (m).

e= Logaritmo.

k= Coeficiente de rugosidad.

El caudal ambiental, por otra parte, en función del contorno o perímetro mojado c (teniendo en cuenta que: $Q = S \cdot V$, $R = S/c$), se obtendrá de la ecuación 19:

$$Q = 4'43 \times R \times c \times \sqrt{I \cdot R^{1'4112} \cdot e^{6'8639 - 0'3236 \times k}}$$

Ecuación (19).

Donde:

Q= Caudal (m/s).

R =Radio Hidráulico (m).

C= Contorno o perímetro mojado (m).

e = Logaritmo

k= Coeficiente de rugosidad.

Para determinar la pendiente del tramo de río aplicable para la ecuación de Manning y Franquet en la determinación del caudal ambiental de la zona de estudio se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones:

- El cauce del río aguas arriba de la sección transversal del punto 2 objeto de estudio presenta un cauce recto y homogéneo, observándose flujo laminar, con algo de vegetación, lecho uniforme, altura de lámina de agua suficiente, dichas características son consideradas en la tabla de coeficientes de rugosidad de Manning y Franquet.
- Se tuvo en cuenta este tramo inmediatamente anterior al punto 2 con una distancia de 100 metros aguas arriba, estableciéndose como los punto extremos inicial y punto extremo final respectivamente.

- Se procede a montar la estación total en el punto 2 de la sección en estudio que fue tomado como punto extremo inicial y dirigiéndolo el prisma aguas arriba a 100 metros de longitud donde se ubicó el punto extremo final, se toma lectura a la mira y se determinó con base en la altura tomada en el punto inicial la altura final presentada en ese punto.

$$S_m = \frac{H_{\text{máx}} - H_{\text{mín}}}{L_c}$$

Ecuación. (20)

6. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presentan los análisis y resultados de la información procedente de los cálculos realizados después de haber llevado a cabo la metodología descrita en el capítulo anterior.

6.1 Elaboración del diagnóstico técnico preliminar desde la Bocatoma El pórtico-Puente San Rafael para delimitación y definición de las características de la zona de estudio.

6.1.1 Delimitación de la zona de estudio.

El área de estudio como ya se ha establecido se define, desde la bocatoma El pórtico hasta el Puente San Rafael, localizada en la cuenca media- baja del rio pamplonita (Ver anexo M). Para el siguiente estudio se tomaron tres puntos de aforo mencionados anteriormente los cuales se describen a continuación:

El punto 1 posee gran vegetación, diversidad de matorrales y pastos .Con la presencia de alta corriente con el paso del flujo a través de la zona; el cual es significativo. El lecho se compone de cantos rodados, gravas, arenas y limos, por lo cual se observa la alta turbiedad del agua consecuencia del material de arrastre.

El punto 2 presenta poca vegetación, algunos matorrales y pastos en más baja proporción. El lecho se compone de piedras, gravas, arenas y limos, producto de la extracción del material de arrastre .La sección transversal tiende a semejarse a un canal rectangular, debido a que el cauce ha sido intervenido varias veces

antropicamente .Con baja corriente y zonas de remanso , al observarse también la disminución del flujo por su paso .

El punto 3 se caracteriza por tener una amplia sección transversal con baja corriente pero si con aumento en la cantidad de flujo, proporciones altas de vegetación, presencia de árboles alrededor de la ribera del rio .El lecho está compuesto por bloques, cantos rodados, arenas, arcillas y limos. El agua posee gran turbidez, presencia de olores fuertes debido a las descargas de aguas residuales provenientes del municipio de los Patios.

En la imagen 3 se visualiza la ubicación de cada uno de los puntos de aforo.

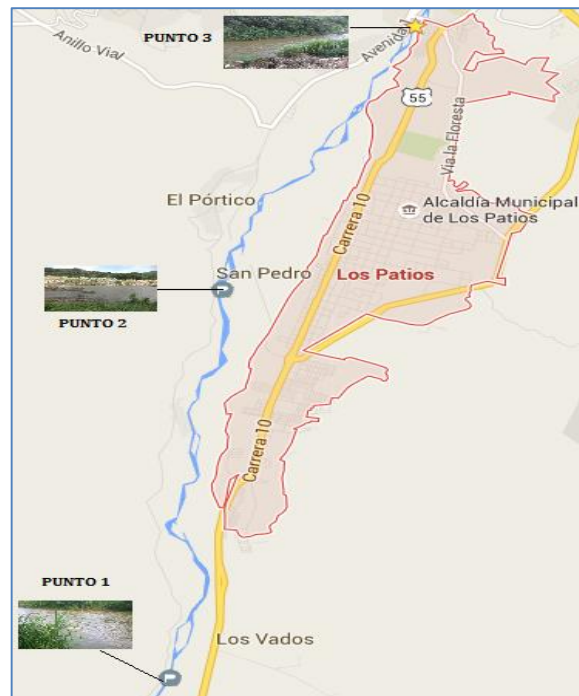


Imagen 4.Localización de los puntos de aforo.

Fuente: Autora.

Los cuales se georeferenciaron utilizando el GPS, según se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Puntos de aforo.

Punto	Coordenadas	Altura (m.s.n.m)
-------	-------------	------------------

1	7°46'41,3" N	72°31'34,6" W	456
2	7°50'10.8"N	72°31'12.3"W	375
3	7°52'02.2" N	72°30'04.9" W	331

Fuente: Autora.

6.1.2 Características de la zona.

6.1.2 .1 Aspectos socioeconómicos

En la margen izquierda del río prevalece la actividad minera de la explotación en forma artesanal del carbón seguida del empleo directo por la empresa del Acueducto Aguas Kpital, la actividad agropecuaria se limita principalmente a la producción de pastos, abono, grama y a la cría de ganado caprino. De igual forma, en la margen derecha del río predomina la actividad agropecuaria representada principalmente en la industria avícola, piscícola y caprina, la manufactura de la arcilla, actividades de minería y extracción de materiales, así como la presencia de cultivos de arroz. Así mismo; en el recorrido, el funcionamiento de cuatro acueductos privados ubicados en el municipio de los patios (Montebello I y II, Empresa Privada de Servicios, Acuapatios y San Fernando) los cuales se abastecen de la toma Duplat (ubicada en uno de los brazos del río pamplonita después de la captación del acueducto aguas Kpital).

6.1.2.2 Usos del Agua

En cuanto al uso del agua, en la zona existe una característica y es la ausencia de servicios públicos en algunas zonas alejadas del casco urbano, en el caso de la población aledaña a la zona la mayoría tienen acceso al líquido por la prestación del servicio por parte de los acueductos (ver tabla 6), en el Anexo A se presenta una información más detallada de los operadores del servicio de acueducto. Algunas poblaciones de la zona toman directamente el líquido para uso agrícola y para actividades de minería.

Tabla 6.Operadores del servicio de acueducto en la zona.

Razón social	Área de Influencia	Fuente Abastecedora	Usuarios	Caudal Captado
Asociación de Propietarios y Usuarios Montebello I y II	Urb. Montebello 1 y Urb. Montebello 2.	Toma Duplat	913	13 l/s
Empresa Privada de Servicios E.SP	Tierra Linda, Portal de los Patios, Iscaligua I e Iscaligua II.	Toma Duplat	1417	16 l/s
Aguas Kpital S.A	Urb. Juana Paula, La floresta, Villa Camila, Pinar del rio. (Patios) San Pedro , El pórtico , San Rafael (Cúcuta)	Rio Pamplonita	2300	1900 l/s
Acuapatios	San Nicolas I Y II	Toma Duplat	330	5 l/s
Agua de Los patios	Casco Urbano Los patios	Quebrada la Honda	13705	160 l/s
Acueducto Urb. San Fernando	Urb. San Fernando	Toma Duplat	146	3 l/s

Fuente: POMCA [1].

6.1.2.3 Componente hídrico

Los elementos que integran el sistema hidrográfico como componente natural y que hacen parte de la estructura ecológica principal de la cuenca media –baja del río pamplonita, está integrado por las quebradas La Honda, la Tascarena y sus afluentes quebrada García; quebrada Paramillo, Caño La Mona, quebrada Agualinda con sus afluentes las quebradas Buenos Aires, La Ciénaga y la quebrada Juana Paula [49]. En la imagen 4 se observan las quebradas que conforman principalmente el sistema hidrográfico de la cuenca del río pamplonita, donde se visualizan algunas de las quebradas ya mencionadas:



Imagen 5 .Componente hídrico de la cuenca el río Pamplonita

Fuente: Carlos Romero [50].

A continuación se define la importancia de cada una de las quebradas que conforman el componente hídrico de la cuenca media-baja del río pamplonita:

- **Quebrada La Honda:** Es utilizada por el acueducto municipal de Los Patios, su aporte promedio es de 130 litros por segundo, su recorrido desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Pamplonita, es de aproximadamente 25 km, sirve de límite natural con el municipio Chinácota; Además, beneficia a las comunidades de las veredas California, y La Garita, Corozal y El Trapiche.
- **Quebrada La Tascarena:** Tiene su nacimiento en un sector del cerro La Vieja. Tiene como afluentes las quebradas Los Cedros y la García, y de pequeñas corrientes como los caños, Ramón Díaz, El Suspiro, La Paila y el Higuerón, entre otros, su aporte en agua, al río Pamplonita es mínimo. Sirve de límite municipal con Chinácota.
- **Quebrada Los Cedros o Abejuca:** Afluente de la quebrada La Tascarena.

- **Quebrada García:** Afluente de la quebrada La Tascarena, nace en la parte alta de la vereda El Helechal.
- **Quebrada Paramillo:** Nace en la parte oriental del municipio en la parte baja del cerro Santa Rita, es afluente directo del río Pamplonita, funciona más como un drenaje natural de aguas lluvias.
- **Quebrada La Mona:** Nace en los cerros de la parte oriental del municipio, afluente directo del río Pamplonita, sirve de drenaje natural en épocas de invierno.
- **Quebrada Agua linda:** La red hídrica de la microcuenca Agualinda, está constituida por las quebradas Buenos Aires, La Ciénaga y Agualinda, siendo ésta última quebrada el cauce principal que recoge todas las aguas de escorrentía en épocas de invierno y entrega finalmente al río Pamplonita.
- **Quebrada Juana Paula:** Nace al oriente del municipio, su desplazamiento es sur - norte, sirve de drenaje natural en épocas de invierno, afluente directo del río Pamplonita.
- **Caño El Recreo:** Nace en las colinas medias al Norte de la vereda Agualinda, atraviesa totalmente el municipio de sur a norte, transporta aguas negras.
- **La Toma Duplat:** Canal artificial por el cual se extrae agua del río Pamplonita, construido para abastecer los cultivos de pan coger.
- **La Quebrada El Burro:** como drenaje superficial intermitente, que sirve de límite municipal entre Los Patios y Cúcuta.

6.1.2.4 Fuentes de contaminación del recurso hídrico

6.1.2.4.1 Vertimientos

La información aquí consignada hace parte de las descargas de aguas residuales que se realizan directamente en el tramo en estudio, los cuáles son manejo del acueducto Agua de los Patios. En la tabla 7 se presentan cada uno de los puntos de vertimientos.

Tabla 7. Identificación de los puntos de vertimientos en el tramo.

Municipio			Coordenadas	
-----------	--	--	-------------	--

	Sitios en los que realiza la descarga	Punto de vertimiento	x	y	Fuente Receptora
Los Patios	Urbanización miradores del Pamplonita	Miradores del Pamplonita	1171966	1356847	Rio pamplonita
	Barrio sector de Nazaret	Sector Nazaret	1172013	1354906	
	Barrio Pizarreal	Barrio Pizarreal	1172011	1355527	
	Kilómetro 9	Kilómetro 9	1172009	1356009	
	Emisario final	Emisario final	1172882	1359490	

Fuente: POMCA [1].

Los cuales se encuentran localizados en la imagen 5.



Imagen 6. Puntos de vertimiento en el tramo.

Fuente: Autora.

6.1.2.4.2 Otras fuentes de contaminación

- Minería extracción de material de arrastre y piedra caliza fuente de contaminación industrial con alto contenido de sólidos y materiales de arrastre.
- Agricultura: Hortalizas, cítricos, pastos; fuente de contaminación agrícola con la generación de agroquímicos, sedimentos, arrastre de materiales y sólidos.

6.2 Realización de aforos con correntómetro en el tramo de estudio para la obtención de caudales medios diarios.

Se procedió a tomar los datos de las respectivas mediciones (para establecer los valores promedios diarios que determinarían las condiciones actuales de la cantidad de agua en la zona.

Los correspondientes valores registrados diariamente se encuentran en el anexo B (Caudales registrados en los puntos de muestreo en l/s), donde se evidencia el registro hecho durante 4 meses de estudio. De esta manera, obtener la mayor cantidad de datos para su correspondiente tabulación y análisis.

En el grafico 1 se presenta el comportamiento de los caudales medios diarios consignados en el Anexo C (Caudales medios diarios l/s).

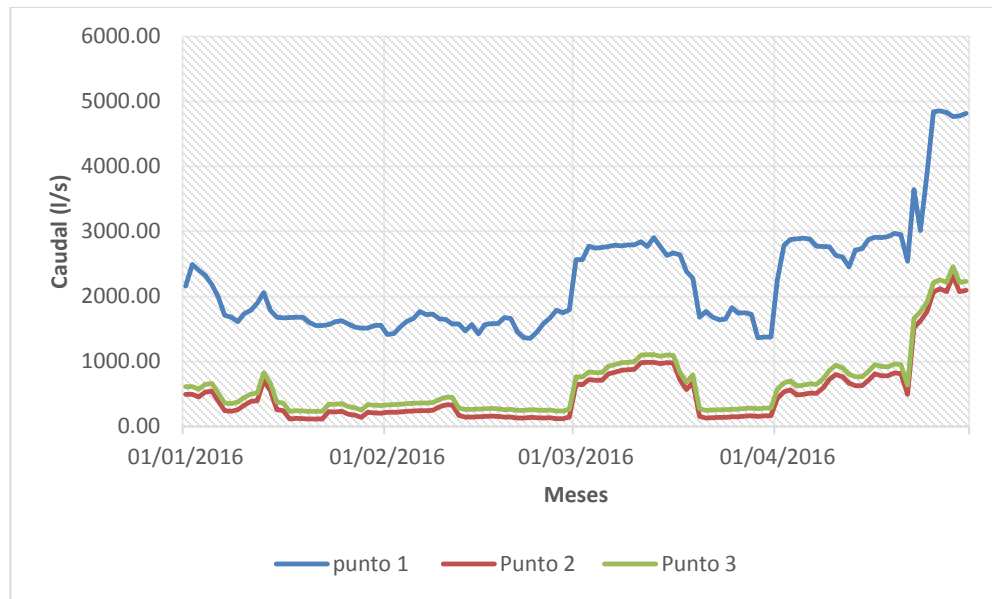


Grafico 1 .Comportamiento de los caudales medios diarios.

Fuente: Autora.

A partir del grafico anterior puede observarse, que los caudales mínimos se presentan en los meses de enero y febrero esto se debe a factores climáticos relacionados con la época de estiaje que se venía presentando desde los últimos meses del año 2015 y que continuo para los primeros meses del año 2016. Siendo notorios los valores presentados en el punto 2 en el cual se aprecia una disminución drástica del caudal donde el valor más bajo registrado fue de 114,59 l/s para el mes de enero.

A su vez, se manifiesta un incremento en el caudal para el mes de abril en los tres puntos esto debido a las lluvias que empezaron a prolongarse desde mediados de marzo, por lo cual surge la recuperación del caudal en la zona.

Por otra parte, se presenta el comportamiento de los caudales mediante las distribuciones de frecuencias (Ver anexo D), representado en los histogramas de los gráficos 2, 3 y 4 para cada uno de los puntos en estudio.

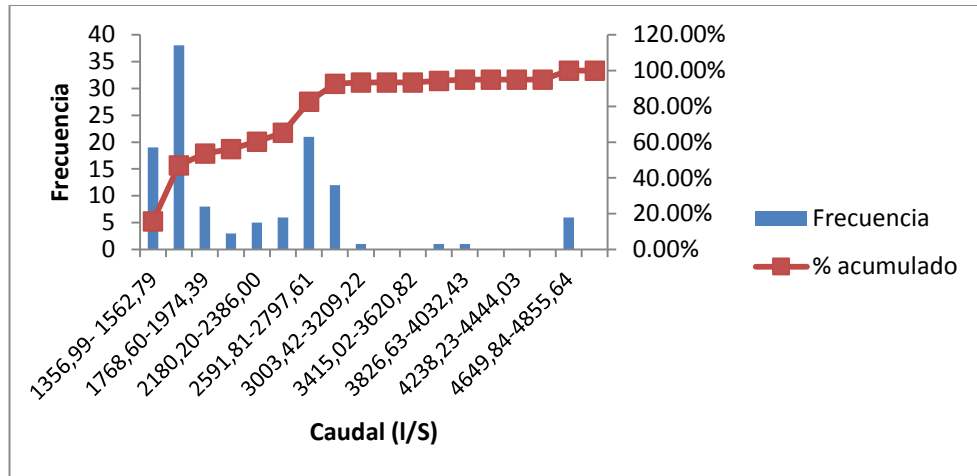


Grafico 2. Histograma de caudales para el punto 1.

Fuente: Autora.

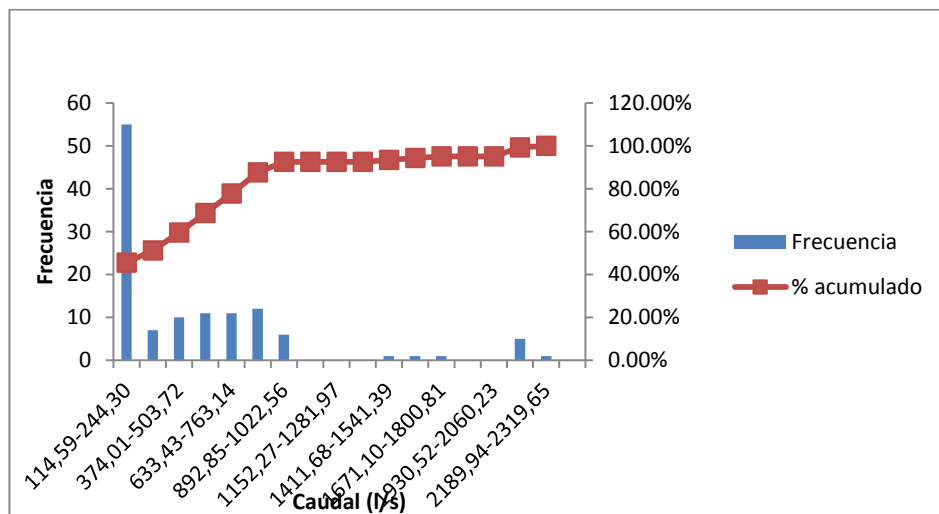


Grafico 3 .Histograma de caudales para el punto 2.

Fuente: Autora.

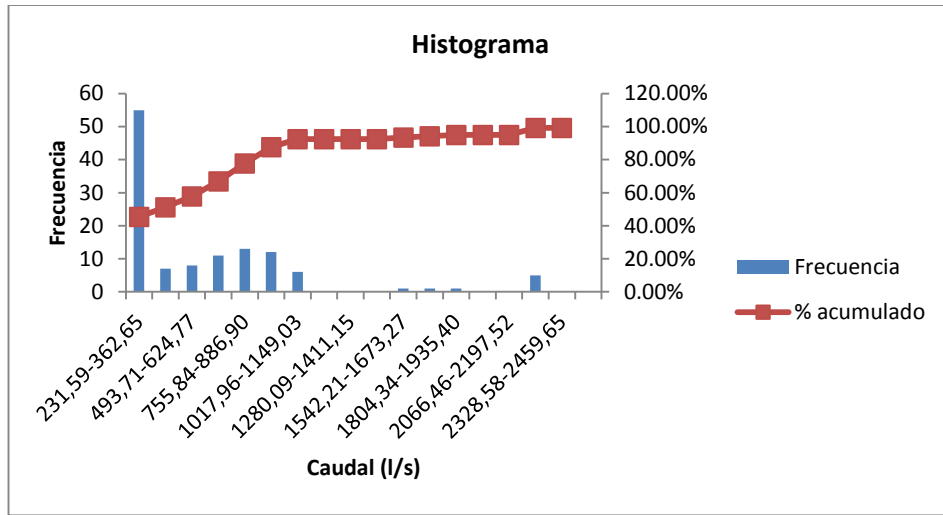


Grafico 4. Histograma de Caudales para el punto 3.

Fuente: Autora.

Se observa, para el punto 1, que los valores más frecuentes de caudal medio diario se encuentran entre 1562,79 y 1768,59 l/s, distribuyéndose los valores en un rango de 1356,99 y 4855,64 l/s. En la distribución de caudales medios diarios para los puntos 2 y 3, la mayor parte de los valores de caudal se encuentran en el primer intervalo con una frecuencia de 45,45 %.

Los estadísticos básicos calculados para el registro se muestran en la tabla 8, que evidencia que el valor medio del caudal para el punto 1 es de 2226,11 l/s y la desviación estándar es de 829,26 l/s, con una asimetría positiva de 1,52, indicando que la distribución de los caudales es asimétrica a la derecha. En el punto 2 el valor medio de la distribución de caudales alcanza los 519,71 l/s con una desviación estándar de 494,95 l/s y de igual forma asimetría positiva de 1,94. Por último, en el punto 3 el valor medio es de 642,42 l/s con una desviación de 501,05 l/s y asimetría positiva. Para todos los puntos el coeficiente de Kurtosis es positivo, indicando distribuciones más empinadas que la normal.

Tabla 8. Estadísticos básicos de los caudales medios diarios.

Punto	N	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Rango	Varianza	Desvió	Asimetría	Curtosis
1	121	2226,11	1786,41	1356,99	4855,64	3498,65	687675,16	829,26	1,52	2,43
2	121	519,71	332,21	114,59	2319,65	2205,06	244974,49	494,95	1,94	1,94
3	121	642,42	449,21	231,59	2459,65	2228,06	251054,38	501,05	1,93	3,73

Fuente: Autora.

En el grafico 5 se presentan los diagramas de caja de las series temporales de caudal medio diario para ambos puntos. En ella, los extremos de la caja representan los percentiles de 25 y 75, expresando la variabilidad de los valores. Las marcas horizontales definen los valores máximos y mínimos del período, indicando el rango de los valores de caudal medio diario.

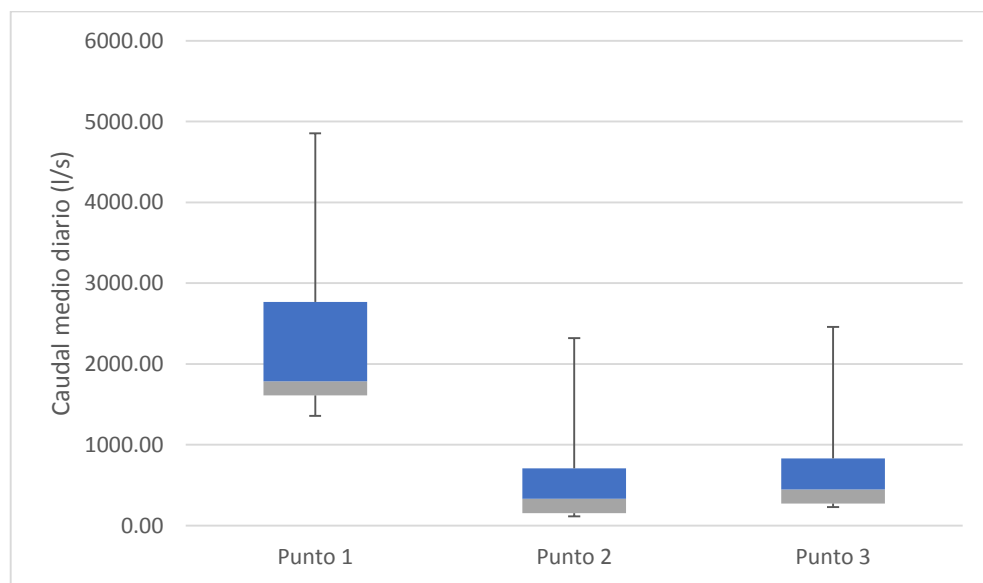


Grafico 5. Diagrama de caja de caudales medios diarios.

Fuente: Autora.

La parte de arriba de la caja es mayor que la de abajo; ello quiere decir que los caudales comprendidos entre el 75% y el 50% de los caudales medios diarios registrados está más dispersa que entre el 50% y el 25%.

En las cajas de los puntos se observa que la que la distribución es Asimétrica positiva y generalmente la media suele ser mayor que la mediana así como se muestra en los análisis estadísticos de la tabla 8 donde en todos los puntos los valores son positivos y mayores de 0.

6.3 Evaluación de la calidad del agua superficial en el tramo según la normativa nacional vigente, con el fin de conocer las condiciones actuales del recurso hídrico.

En la tabla 9 se presentan, los valores promedios y los gráficos de cada uno de los parámetros fisicoquímicos (pH, Temperatura, OD, conductividad, caudal, DBO₅, DQO, SST) de las caracterizaciones realizadas en los años 2010-2011, 2012, 2014-2015 en el punto 1 Bocatoma Cúcuta y en el Punto 2 Puente San Rafael, los cuales se evaluaron en el desarrollo de este trabajo, con el monitoreo realizado en el año 2016 (Ver anexo E) empleando la metodología descrita anteriormente.

Tabla 9. Resultados de parámetros In situ.

Punto	Año 2010-2011					Año 2012					2014-2015					Año 2016				
	pH	T° Amb. (°C)	T°H ₂ O (°C)	OD (mgO ₂ /l)	Cond. (μs/cm ²)	pH	T° Amb. (°C)	T°H ₂ O (°C)	OD (mgO ₂ /l)	Cond. (μs/cm ²)	PH	T° Amb. (°C)	T°H ₂ O (°C)	OD (mgO ₂ /l)	Cond. (μs/cm ²)	pH	T° Amb. (°C)	T°H ₂ O (°C)	OD (mgO ₂ /l)	Cond. (μs/cm ²)
1	7,31	24,33	22,21	7,28	223,96	8	26,24	24,32	7,74	272,5	9,02	31,17	27,02	6,7	332,9	8,16	28,6	29,3	7,26	218,7
2	7,13	24,88	23,1	7,03	108,34	7,88	27,07	23,89	7,01	280,14	7,84	30,5	27,03	5,45	398,09	8,28	27,2	27,9	6,72	274

Fuente: CORPONOR.

Las gráficas de la 6 a la 9 representan los resultados de medición de los parámetros in-situ .Los cuales son resultados de los valores promedios calculados para los años de monitoreo y el realizado en el estudio.

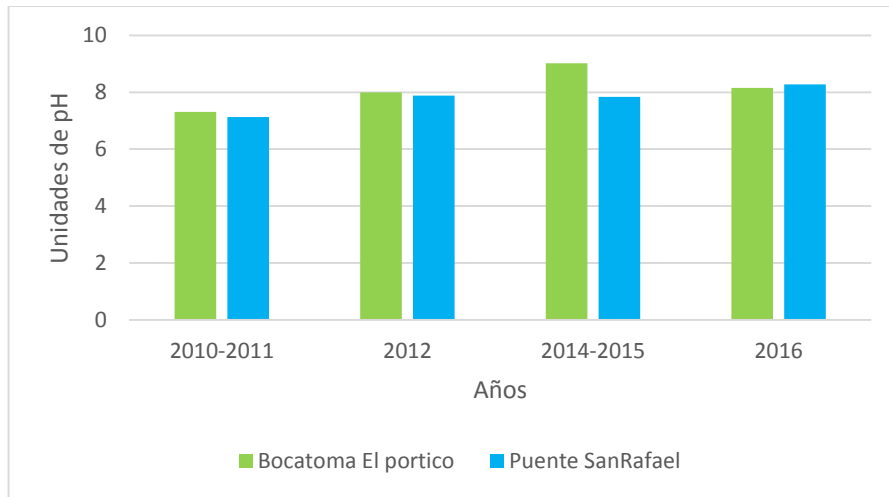


Gráfico 6. Comportamiento pH

Fuente: Autora.

Según la gráfica 6 se puede observar que el pH tiene un rango de 7-9 unidades, el cual, según el anexo F(Ras 2013) la ubica como fuente regular .El valor más bajo del pH se registra en los años del 2010-2011 para el punto 2 con un valor de 7,13 unidades. El valor máximo del pH se da en los años 2014-2015 para el punto 1 con un valor de 9,02 unidades. Dicha variación depende de varios factores como aportes permanentes naturales (quebradas) y antrópicos (Vertimientos) y reacciones químicas generadas por los diferentes compuestos.

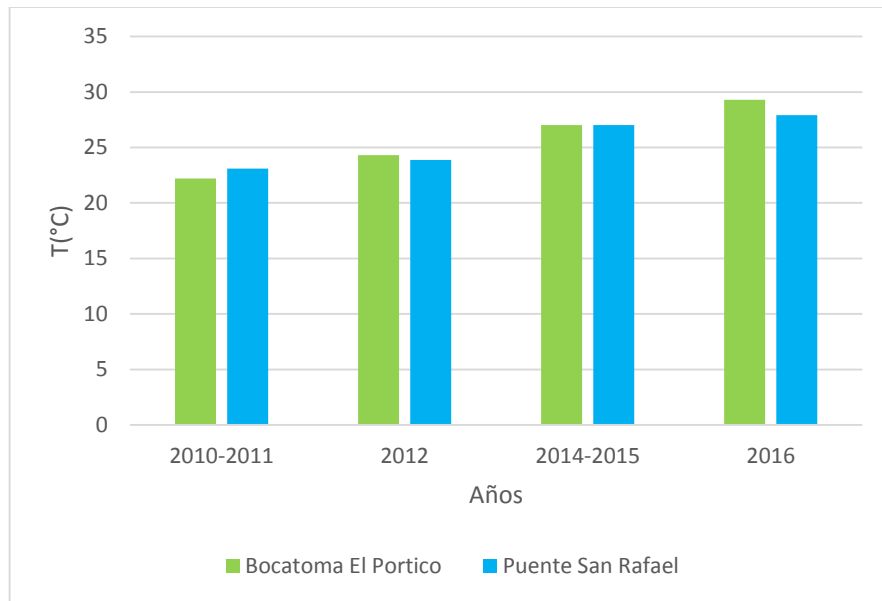


Gráfico 7. Comportamiento de la T (°C) del H₂O.

Fuente: Autora.

Los valores de temperatura para el tramo se muestran en el gráfico 7, los cuales permanecen alrededor de los 22,21 -29,3 °C. Este parámetro no aplica para la norma pero es un parámetro importante para la determinación del comportamiento de otras variables.

Se observa que la temperatura para los primeros años tiene un orden creciente donde las variaciones para los puntos 1 y 2 son poco significativas

A partir de los años 2014-2015 se observa un incremento en la temperatura asociado con el Fenómeno del niño que se presentó durante estos años, el cambio de altitud y la cobertura vegetal. Con el aumento de la temperatura se presenta la disminución de niveles de oxígeno disuelto en el agua, que afectan directamente la vida acuática.

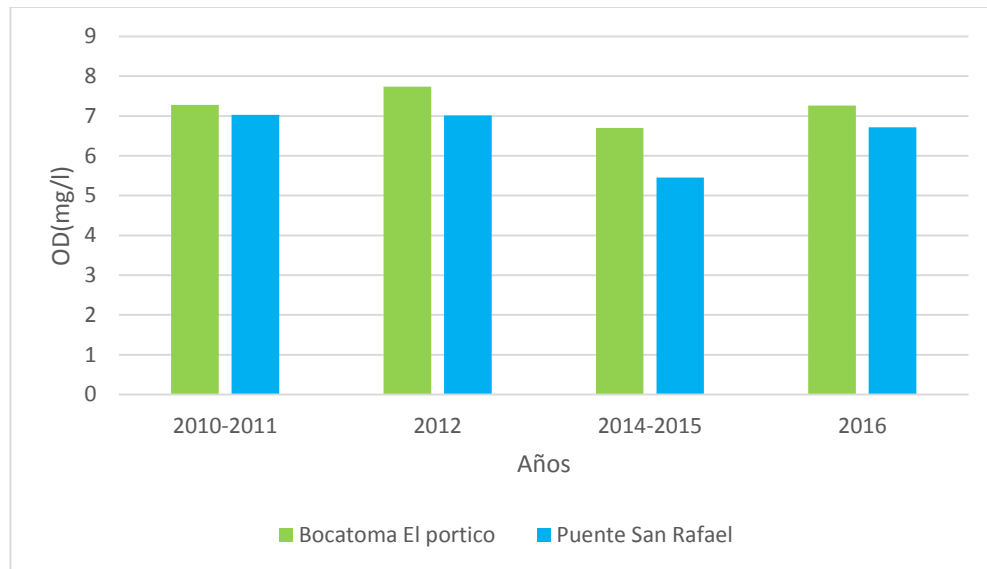


Gráfico 8. Comportamiento del Oxígeno Disuelto

Fuente: Autora.

De acuerdo con el gráfico 8 se observa que los valores de oxígeno disuelto son afectados directamente por la temperatura, en los años 2010-2011 y 2012 las concentraciones de oxígeno disuelto son mayores en relación con los otros años de monitoreo, asociados con los niveles altos de precipitación presentados en estos periodos lo cual favorece la dinámica del río, disminuyendo la carga orgánica.

La concentración más baja de oxígeno disuelto se presenta en el periodo 2014-2015 para el punto 2 con un valor de 5,45 mg/l, esto relacionado con la disminución de caudal que se da después de la captación que no permite la correcta dilución del agua, aumentando la deposición de materia orgánica, y así mismo se incrementa la producción de microorganismos, los cuales emplean el oxígeno para la descomposición de estos compuestos.

Para el año 2016 se muestra un incremento de los niveles de oxígeno disuelto respecto a los dos años anteriores, esto debido, al drástico cambio climático después de una dura época de sequía, incrementándose el caudal en la zona debido a las lluvias que empezaron a pronunciarse a partir del tercer mes del 2016, como se evidencia en el gráfico 1, lo cual permitió un mejoramiento en la dinámica del río.

En general, los valores de oxígeno disuelto para los años de monitoreo se encuentran en un rango de 5,45 -7,74 mg/l, los cuales de acuerdo a la Norma RAS 2013 Título C (Anexo F) y a lo expuesto en la tabla 10 se encuentra como fuente

aceptable, adecuadas para la vida de la gran mayoría de peces y otros organismos acuáticos.

Tabla 10. Rango de concentraciones de oxígeno disuelto

OD(mg/l)	Condición	Consecuencias
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios
0-0,5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies sensibles
5-8	Aceptable	(OD) adecuadas para la vida de la gran mayoría de peces y otros organismos acuáticos
8-12	Buena	
>12	Sobresaturada	Sistemas en plena producción fotosintética

Fuente: POMCA [1].

Asimismo, se presentan en la tabla 11 las caracterizaciones de los parámetros ex situ calculados en los años anteriores, y los obtenidos en el desarrollo del presente trabajo.

Tabla 11. Resultados de parámetros Ex situ

Punto	Año 2010-2011				Año 2012				Año 2014-2015				Año 2016			
	Caudal (m ³ /s)	SST (mg/l)	DQO (mgO ₂ /l)	DBO5 (mgO ₂ /l)	Caudal (m ³ /s)	SST (mg/l)	DQO (mgO ₂ /l)	DBO5 (mgO ₂ /l)	Caudal (m ³ /s)	SST (mg/l)	DQO (mg/O ₂)	DBO5 (mg/O ₂)	Caudal (m ³ /s)	SST (mg/l)	DQO (mgO ₂ /l)	DBO5 (mgO ₂ /l)
1	8,436	30,375	12,85	6,25	10,293	27,79	11,47	3,82	2,741	28,332	13,61	7,84	2,09	18	36	11,5
2	11,794	61,963	17,2	9,525	7,955	28,38	10,93	3,88	0,715	33,792	22,98	11,21	0,535	90	14	9,8

Fuente: CORPONOR.

Las gráficas de la 9 a la 12 representan los resultados de los datos obtenidos de los parámetros ex situ para los años de monitoreo y el realizado en el estudio.

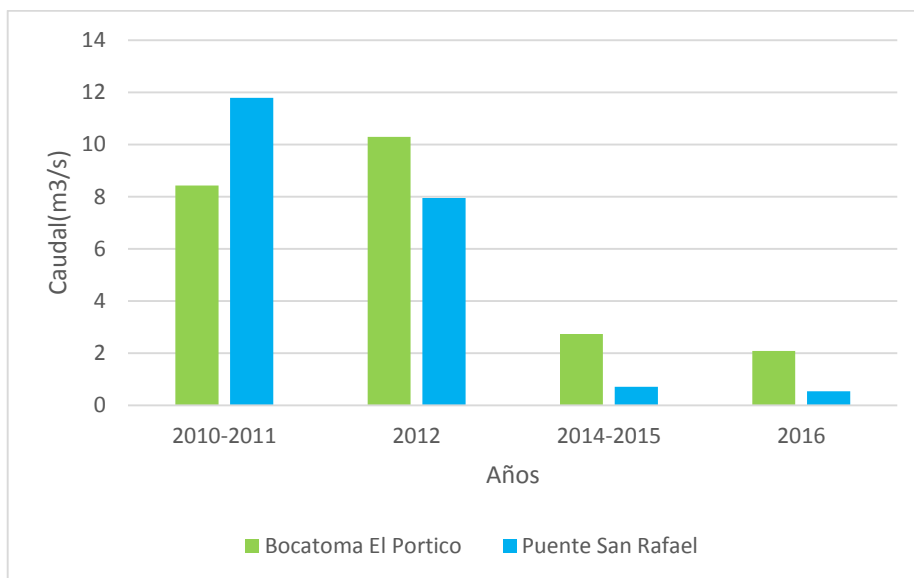


Grafico 9.Comportamiento del caudal.

Fuente: Autora.

Como se mencionó anteriormente, el caudal es la cantidad de agua que pasa por un punto en un tiempo en concreto. Los valores de caudales presentados fueron evaluados en los periodos de lluvias (2010-2011,2012) y periodos seco (2014-2015,2016).

Para los años 2010-2011 en el punto 2 se observa un incremento de caudal bastante significativo respecto al punto 1 , en consecuencia de las lluvias presentadas a lo largo de estos dos periodos y la cantidad de vertimientos presentes en la zona que hacen que el caudal aumente de forma considerable.

Para los años 2014-2015 ,2016 se presentaron los niveles más bajos de caudal para el punto 2 con un rango de 0,715 m³/s-0,535 m³/s, valores relacionados directamente con la época de estiaje que se presencié a lo largo de estos tres años.

A partir de estos datos de caudales se obtuvo un promedio de caudal para cada punto a partir de los datos de los monitoreos, el cual refleja un caudal de 5,89 m³/s y 5,249 m³/s, respectivamente, estos valores tienden a ser similares con una diferencia de 0,641 m³/s, esto debido a que el punto 1 se recibe más aportes tanto naturales como antrópicos de caudal.

Tabla 12. Valores promedio caudales anuales.

Punto	Caudal (m ³ /s)				Promedio
	2010-2011	2012	2014-2015	2016	
1	8,436	10,293	2,741	2,09	5,89
2	11,794	7,955	0,715	0,535	5,249

Fuente: Autora.

El valor obtenido de SST para los puntos de muestreo es presentado en la gráfica 10. De ésta se puede observar que los valores de solidos suspendidos totales aumentan considerablemente para el punto 2 esto es debido a las diversas descargas realizadas en el afluente después del punto de la captación donde se ejecutan actividades agrícolas, de minería y extracción de materiales que provocan la presencia de material de suspensión en la zona.

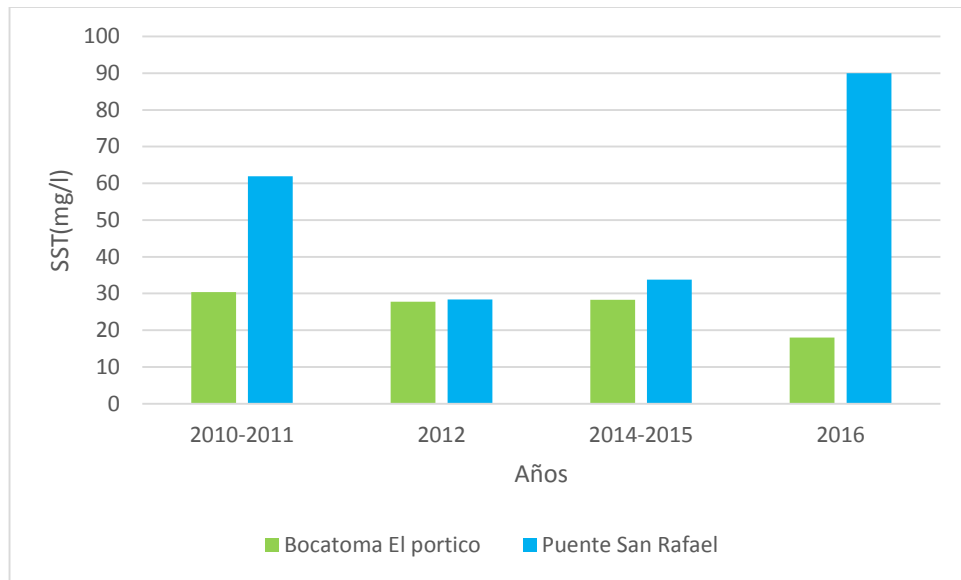


Grafico 10. Comportamiento SST

Fuente: Autora.

En cuanto al punto 1 se evidencia un rango de valores entre 18mg/l-30, 375 mg/l siendo el menor registrado para el año 2016 y el valor máximo para el año 2010. En el punto 2 el rango varia de 28,38 mg/l -90 mg/l, registrando el valor mínimo en el año 2012 y el valor máximo en el año 2016.

De la misma forma, en el punto 1 los niveles de SST durante los años de monitoreo presentan una disminución respecto al punto 2, a causa de los diferentes aportes que realizan los efluentes naturales los cuales regulan la cantidad de partículas suspendidas en el agua.

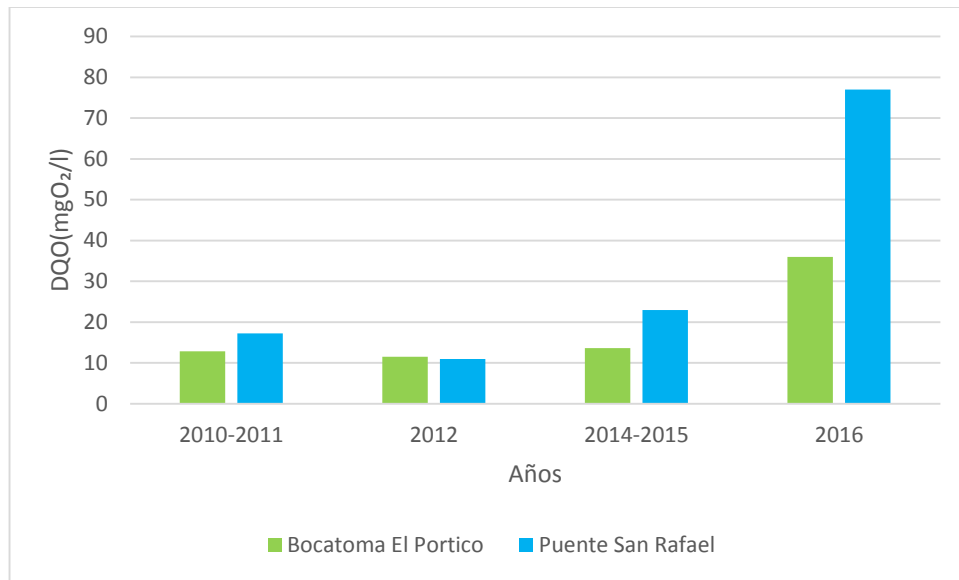


Grafico 11 .Comportamiento DQO.

Fuente: Autora.

En el grafico 11 se muestran las concentraciones de la DQO (mgO₂/l), donde los valores registrados en el año 2016 para el punto 2 tienden a ser mayores respecto a los otros monitoreos realizados en años anteriores en este mismo punto , producto de los vertimientos recibidos de aguas residuales del municipio de Los Patios , lo cual propicia el aumento de la materia orgánica , relacionado directamente con la disminución significativa de caudal , producto de la captación hecha por el acueducto , cuyo valor es de 0,642 m³ /s y se evidencia en el grafico 9 . También debido a la ausencia de precipitaciones en la zona y la incidencia de los rayos solares que aumentan la temperatura del agua disminuyendo las cantidades de oxígeno, por lo tanto los requerimientos de este parámetro aumentan para la correspondiente degradación de la materia orgánica.

Para los otros años anteriores, la DQO obtuvo valores bajos para los años 2010-2011 y 2011, respecto a los años 2014 -2015, 2016 asociado con la temporada de lluvias donde los valores registrados de caudal oscilaron entre 7,955-11,794 m³/s , provocando un ascenso en la velocidad del agua lo cual aumenta los niveles del oxígeno en su recorrido .De manera que el proceso de degradación de la materia orgánica es más satisfactorio en estas condiciones y no demanda de grandes cantidades , sus requerimientos tienden a ser mínimos.

Respecto a la normativa para los valores máximos permitidos de las concentraciones de DQO para aguas superficiales, no se han fijado bien en ninguna norma.

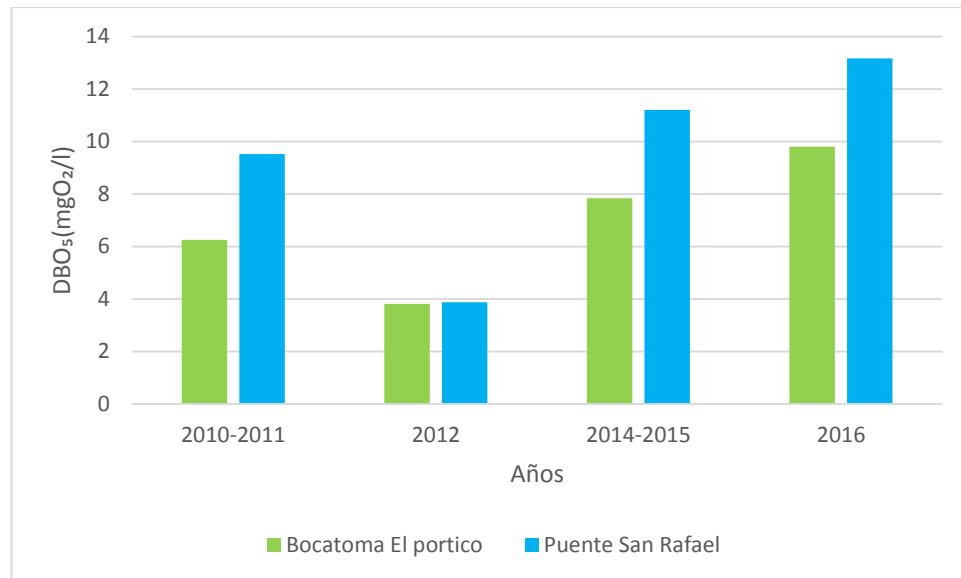


Grafico 12.Comportamiento DBO₅.

Fuente: Autora.

Las concentraciones de DBO₅ se muestran en el grafico 12. El DBO₅ fluctúa de acuerdo con el contenido de materia orgánica, sin embargo en el grafico permanece alrededor de 3,82 -13,17 mgO₂/l. Los valores más altos se observan en el punto 2 debido a las constantes descargas de aguas residuales domesticas provenientes de la localidad de Los Patios.

En relación, con el punto 1 que al igual que el punto 2, recibe aportes de los vertimientos de aguas residuales aguas arriba y la cantidad de efluentes que provocan un aumento en el caudal, sumado a el aumento de caudal que se da en la zona que mejoran la calidad de algunos parámetros aumentando la oxigenación del agua, por la velocidad que adquiere el rio en su recorrido, por ende el contenido de materia orgánica disminuye.

Respecto a los valores obtenidos para el año 2016, el incremento de DBO₅ se evidencia en el punto 2, como se mencionó anteriormente se ve afectado por los vertimientos y la disminución drástica del caudal, por tanto los microorganismos requieren más cantidad de oxígeno para realizar los procesos de degradación.

Por último, se incluyen los valores de los parámetros de Acidez, dureza y alcalinidad para los años 2014-2015 y los obtenidos en el desarrollo del trabajo para el año 2016 en la tabla 13, los otros años no se tuvieron en cuenta debido a que en las caracterizaciones no se encontraron datos relacionados con estos parámetros.

Tabla 13. Resultados parámetros Ex situ Acidez, Alcalinidad y Dureza.

Punto	Año 2014-2015			Año 2016		
	Acidez (MgCaCo3/l)	Alcalinidad (mgCaCo3/l)	Dureza (MgCaCo3/l)	Acidez (MgCaCo3/l)	Alcalinidad (mgCaCo3/l)	Dureza (MgCaCo3/l)
1	18,83	96,2	268,75	25	120	355,3
2	33,25	163,15	208,5	30	230	422,1

Fuente: CORPONOR.

En el grafico 13, se observan los resultados obtenidos para la acidez donde se evidencia que para el año 2016, hubo un incremento en los niveles de acidez del agua, el valor máximo es 35 mgCaCO₃/l registrado en el punto 2 esto se debe a la producción de dióxido de carbono que se produce en el agua por la oxidación de la materia orgánica, relación que se asume para niveles de pH mayores de 4 unidades, así como se muestra en el grafico 9 con un valor de 8,28 unidades pH para el Puente San Rafael, esta condición se presenta para aguas contaminadas.

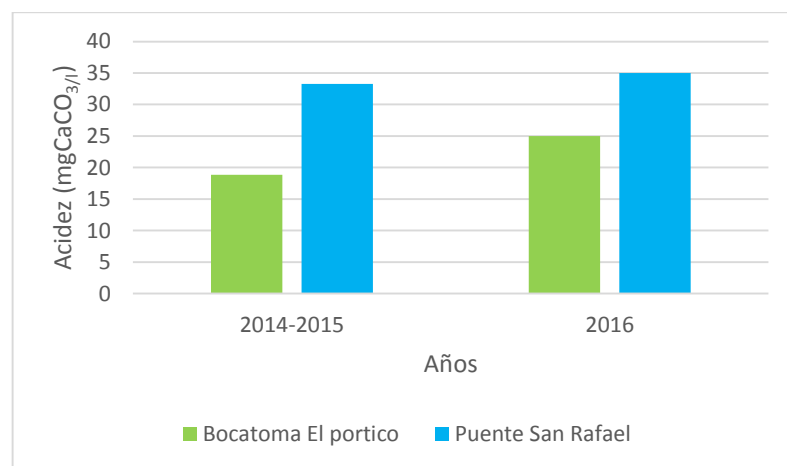


Grafico 13 .Comportamiento de acidez
Fuente: Autora.

Los valores de alcalinidad en los puntos de monitoreo se presentan en el grafico 14, el valor máximo se presenta en el punto 2, esto es originado por las descargas de aguas residuales de diferente índole que en relación con la época sequia provocan la poca dilución del efluente, desencadenando la concentración de compuestos químicos que hacen que estos valores aumenten.

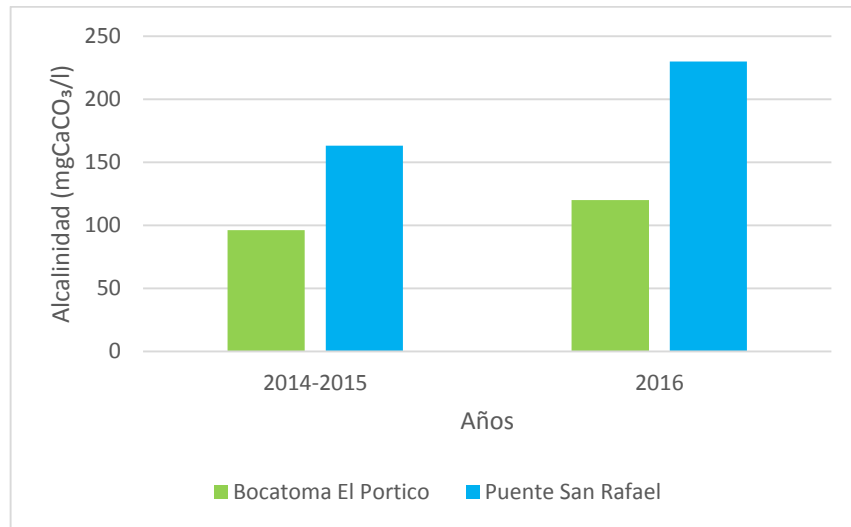


Grafico 14 .Comportamiento de la alcalinidad.

Fuente: Autora.

En el grafico 15 se evidencia para el año 2014-2015 un valor máximo de 268,75 mgCaO₃/l para el punto 1, y para el año 2016 estos valores aumentan para el punto 2 el cual registra una dureza de 422,1 mgCaO₃/l, los cuales según la tabla 14 se clasifica como aguas moderadamente duras y muy duras, respectivamente. Esto es consecuencia de los vertimientos hechos en la zona donde su composición en la gran mayoría tiene un gran contenido de detergentes.

Respecto a la normativa no cumple con los valores máximos permitidos con los valores registrados para el monitoreo del año 2016, según el anexo G el valor máximo permitido es de 300 mg/l.

Tabla 14 .Grado de dureza

Mg/l	Grado de dureza
0-75	Blandas
75-150	Moderadamente duras

150-300	Duras
300 y mas	Muy duras

Fuente: Manual lab [51].

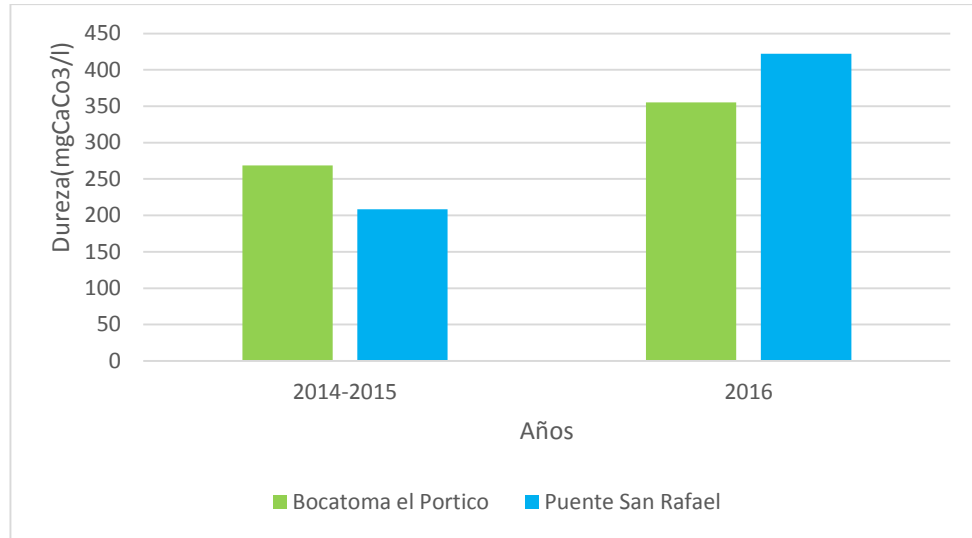


Grafico 15. Comportamiento de la dureza.

Fuente: Autora.

Adicionalmente, se presenta en la tabla 15 un resumen de los valores máximos permitidos por la norma nacional vigente para los parámetros In-situ y ex -situ que se evaluaron en esta sección, donde algunos de ellos no están contemplados en la normativa actual ya que se encuentra definida para sistemas de potabilización por lo cual nose puede definir a ciencia cierta la calidad de la fuente y si es apta o no para el consumo humano. Sin embargo, se destaca que en los resultados obtenidos de estos parámetros los valores que ofrecen una mejor calidad de agua en términos de agua potable son los registrados en el punto 1.

Tabla 15. Valores permitidos según la normativa nacional vigente.

Parámetros In situ	Rango obtenido	RAS 2013 TITULO C	RESOLUCIÓN 2115 DE 2007
		Agua Potable	Agua para consumo humano
pH	7,13-9,02	Se ubica en el rango de 5-9 unidades de pH. La clasifica como Fuente regular.	Deber estar entre 6,5 -9 Apta para el consumo humano
T(°C) H ₂ O	22,21-29,3	Ausente	Ausente
OD(mgO ₂ /l)	5,45-7,74	>4 mg/l - Fuente Aceptable.	Ausente
Cond.(µs/cm ²)	108,3-398,09	Ausente	Apta para consumo Humano < 1000µs

Fuente: Autora.

Continuación .Tabla 15. Valores permitidos por la normativa nacional vigente.

Parámetros Ex-situ	Rango obtenido	RAS 2013	Resolución 2115 de 2007
		Título C	
		Agua Potable	Agua para consumo humano
SST (mg/l)	18 -30, 375	Ausente	Ausente
DQO (mgO ₂ /l)	10,93-77	Ausente	Ausente
DBO ₅ (mgO ₂ /l)	3,82 -13,17	Ausente	Ausente
Acidez (MgCaCo3/l)	18,83-35	Ausente	Ausente
Alcalinidad (MgCaCo3/l)	96,2-230	Ausente	200 mgCaCO ₃ /l No apta para el consumo Humano
Dureza (MgCaCo3/l)	208,5-422,1	Ausente	300 mgCaCO ₃ /l No apta para el consumo humano

Fuente: Autora.

6.4 Determinación del caudal ambiental por el método hidráulico perímetro mojado, para la toma de decisiones sobre el manejo y gestión de los recursos ecosistemicos.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos para el punto 2 en el Anexo B (Caudales medios diarios) se identificó que esta era la sección más crítica del cauce ya que los valores más bajos del caudal se presentaron en este punto, después de esto se procedió a realizar la medición de la sección transversal la cual se obtuvo por método del correntómetro y adicionalmente el levantamiento topográfico con la estación total para la determinación de la pendiente.

De acuerdo a los valores obtenidos en campo se identificaron las características hidráulicas de la sección para la aplicación del método perímetro mojado utilizando la ecuación de manning.

En el grafico 16 aparece graficada la sección transversal original en el punto 2 con un ancho de 17 metros y de forma casi rectangular debido a las bajas variaciones en la lámina de agua que hacen que la sección tome ese aspecto.

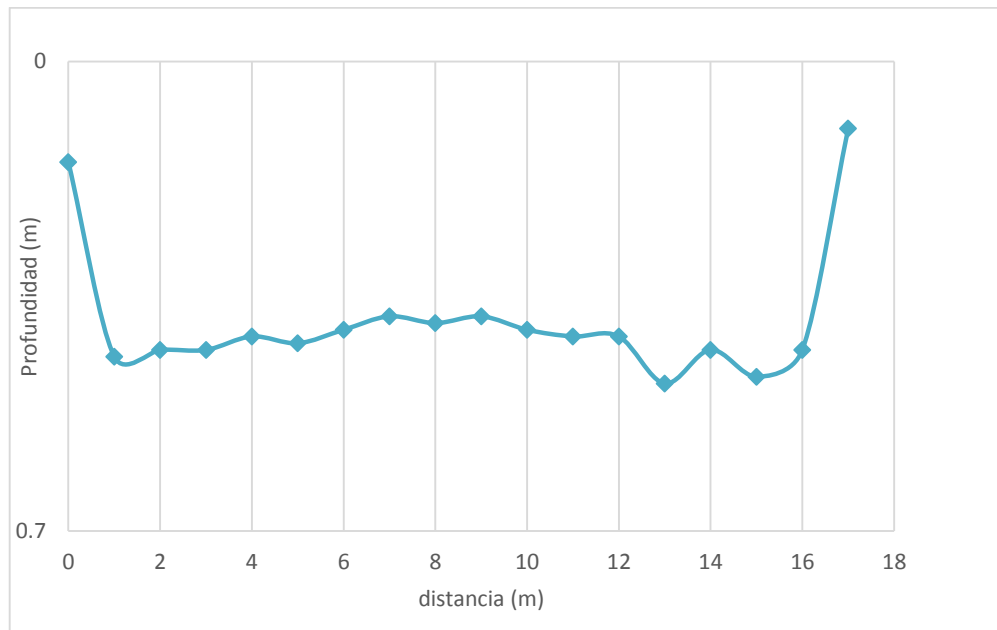


Gráfico 16. Sección transversal en el punto 2

Fuente: Autora.

A partir de la sección transversal y el coeficiente de manning correspondiente a 0,035 según el anexo G (Coeficiente de rugosidad de manning para diferentes materiales), se determinó el caudal por la ecuación de manning y se comparó con los valores del caudal aforados en el punto 2 que se presentan en la tabla 16.

Tabla 16. Contraste de caudales.

Caudal Aforado (m ₃ /s)	Caudal Manning (m ₃ /s)	Error %
1,7	1,82	6,59
1,67	1,74	4,02
1,345	1,78	24,44
1,432	1,529	6,34
2,34	2,21	-5,88
1,23	1,5	18,00
2,029	1,97	-2,99
2,12	2,21	4,07
2,99	2,34	-27,78
1,98	1,95	-1,54

Fuente: Autora.

Según se observa el caudal hallado por la ecuación de manning y el aforado son relativamente similares. Además, el error diferencia porcentual entre el caudal de manning y el caudal aforado adquieren valores negativos como positivos, es decir, en unos casos donde el caudal de manning es menor que el caudal aforado.

El proceso de variación que plantea el método perímetro mojado, permitió obtener el perímetro mojado en función de la variación de la profundidad del agua en el cauce y así estimar el caudal correspondiente. Los valores para el caudal estimado por el método perímetro mojado se muestran en la tabla 17.

Tabla 17. Estimación del caudal por el método perímetro mojado

h (m)	Perímetro mojado (m)	Caudal estimado(m ³ /S)
0,05	13,760	0,120
0,06	14,100	0,160
0,09	15,920	0,290
0,15	17,090	0,648
0,2	17,430	1,033
0,25	17,500	1,495
0,3	17,600	2,018

0,35	17,690	2,600
0,4	17,800	3,235
0,45	17,900	3,922
0,5	17,980	4,661
0,55	18,090	5,441
0,6	18,220	6,260
0,65	18,310	7,130

Fuente: Autora.

Con los datos de caudal y perímetro se trazó la curva que se muestra en el grafico 17, en la que se observa un punto de inflexión a partir del cual se encontró el caudal ambiental con valor de 1,033 m³/s

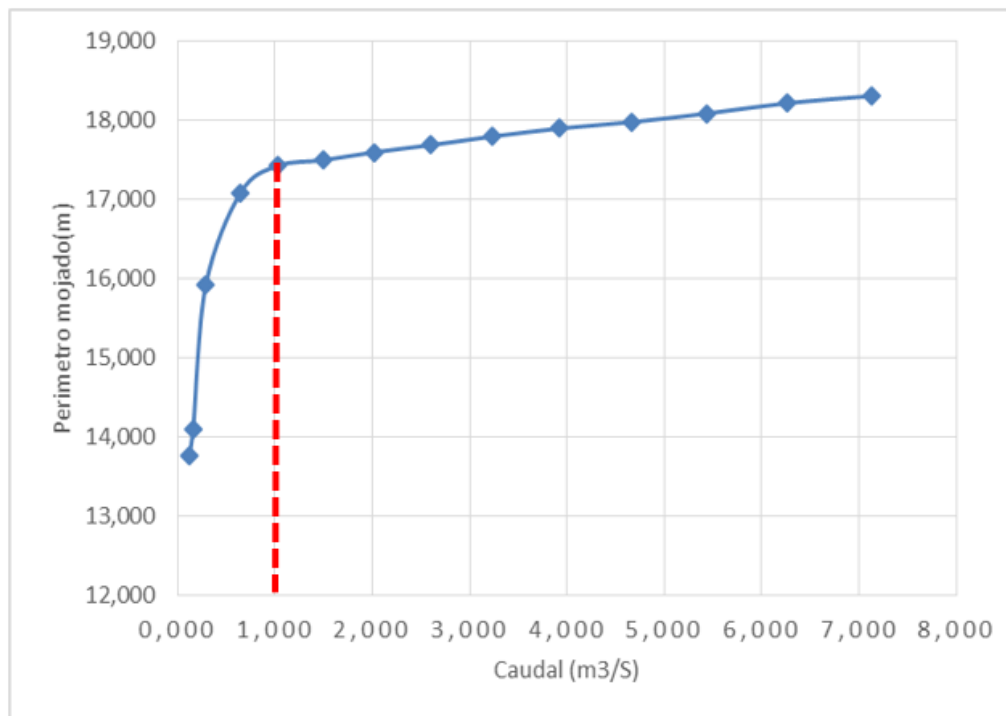


Gráfico 17. Curva Q vs P. Método Perímetro mojado

Fuente: Autor.

Para la aplicación de las ecuaciones de Franquet se halló el coeficiente de rugosidad según la tipología del cauce (Ver anexo H) el cual se encuentra ubicado como cauces naturales, categoría K=9, k=10 con una rugosidad alta, luego, se calcularon los parámetros hidráulicos (ver tabla 18) a partir de los datos obtenidos de la medición de las secciones transversales.

Tabla 18 .Parámetros hidráulicos.

Radio Hidráulico (m)	Perímetro mojado (m)
1,7595	0,3285

Fuente: Autora.

Los diferentes valores hallados, se calcularon por las ecuaciones 12 y 13 mencionadas en la metodología descrita anteriormente, los cuales se aplicaron para determinar un valor promedio del caudal ambiental entre los dos tipos de rugosidades los cuales se muestran en la tabla 19.

Tabla 19. Caudales estimados por la formulas Franquet.

Rugosidad (k)	Caudal ecuación de Franquet	Caudal por la expresión multivariante	Error (%)
K=9	0,859 m ³ /s	0,870 m ³ /s	1,28
K=10	0,737 m ³ /s	0,740 m ³ /s	0,40

Fuente: Autora.

Según los valores hallados por la ecuación de Franquet y por la expresión multivariante establecida por el mismo autor, los valores determinados de caudal son semejantes y los errores son poco significativos, por lo que se verifica, que por medio de cualquier expresión se puede establecer inmediatamente el caudal ambiental.

Los valores estimados según los coeficientes de rugosidad para la primera ecuación tiene un valor promedio de 0,798 m³/s y para la siguiente de 0,775 m³/s, por lo cual se promedia un valor de caudal ambiental de estos dos datos dando como resultado un caudal ambiental de 0,786 m³/s estimado por las ecuaciones de Franquet.

Si se compara con el valor hallado por el método del perímetro mojado con el método de Franquet al hallar el error entre estos dos valores se calcula una diferencia porcentual del 23,91 % entre los dos valores; por lo cual se puede observar el gran porcentaje de error que existe entre estos métodos, esto se debe

a los diferentes valores de rugosidades aplicadas por el autor y la naturaleza de las ecuaciones de manning y franquet.

En el grafico 18 se muestra el comportamiento de los caudales mínimos mensuales durante los meses de estudio para el punto 2 respecto al caudal ambiental estimado por los dos métodos perímetro mojado y el calculado por la ecuación de franquet en el cual se observa que los caudales determinados cumplen los requerimientos de caudal en la zona, donde los valores del caudal ambiental exceden los caudales más bajos registrados para este punto. Lo que permite asegurar que cuando se presenten los niveles de agua mínimos, el caudal ambiental permitirá la preservación del ecosistema.

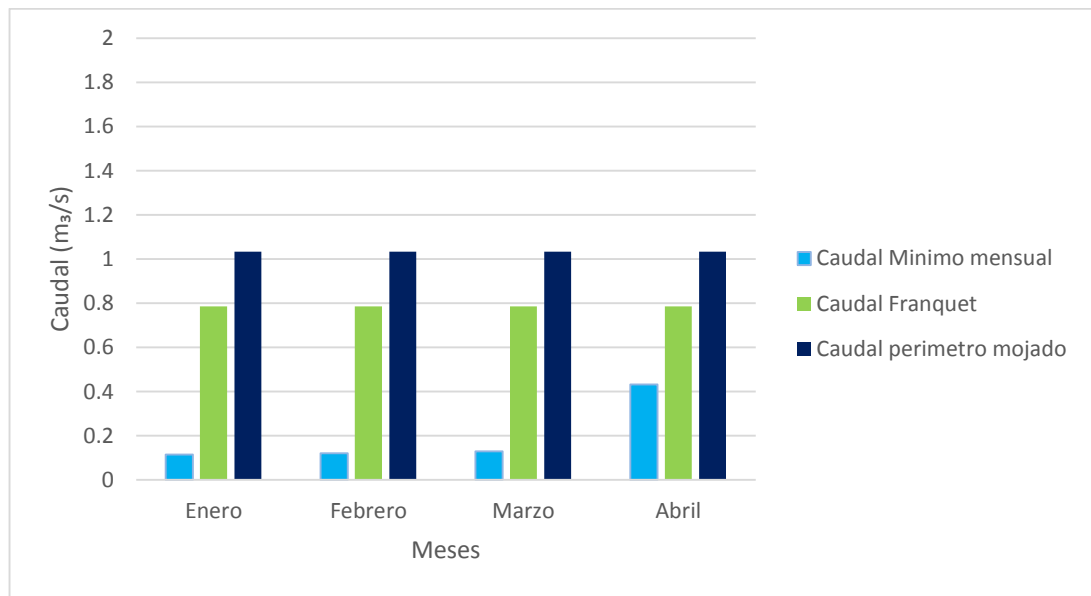


Grafico 18. Comportamiento del caudal ambiental respecto al caudal mínimo mensual.

Fuente: Autora.

7. CONCLUSIONES

El recurso hídrico de la zona estudio (boca toma el Pórtico hasta el puente San Rafael) se encuentra afectado directamente por la captación hecha por parte del acueducto, riego de cultivos, extracción de material para la construcción, vertimientos, que afectan considerablemente las condiciones de calidad y cantidad de agua en el río, a pesar de la buena resiliencia que presenta en su recorrido sobre los factores que afectan su calidad, generan grandes cambios en el ecosistema fluvial.

Las fluctuaciones de caudales en los puntos de muestreo a lo largo de tramo, varía considerablemente debido a los efectos directos antrópicos relacionados con la descarga de aguas tratadas y de aguas residuales, que pueden cambiar de manera esporádica los valores típicos de caudal como puede observarse en los diferentes resultados arrojados en los aforos.

En el periodo de estudio, se observó que el caudal promedio total antes de la extracción en el punto 1 era de 2098,61 l/s, dejando un caudal aguas abajo en el punto 2 promedio total de 413,03 l/s, el cual no permitía la correcta dilución de los diferentes aportes hechos de origen antrópico.

Los aportes de los contaminantes procedentes de las aguas residuales del municipio de los Patios en la parte baja del Puente San Rafael reducen considerablemente la calidad del agua del río. En caso contrario, la eficiencia mejora disminuyendo el grado de contaminación en la parte media del punto Bocatoma El pórtico, debido a sus características hidráulicas como pendiente, gradiente altitudinal y estacionalidad.

El caudal ambiental se determinó por método perímetro mojado obteniendo un valor de 1,033 m³/s para la zona de estudio. Este valor supera los valores más bajos de caudal registrados para las épocas de estiaje, siendo efectivo a la hora de la conservación del ecosistema y la disponibilidad del recurso hídrico en la zona.

Con la comparación realizada finalmente entre el caudal ambiental hallado por el método perímetro mojado y por las fórmulas de Franquet fue de 1,033 m³/s y 0,786 m³/s, respectivamente, y corresponde a una diferencia porcentual del 23,91 % entre los dos valores obtenidos. Se logró observar que la variable como la rugosidad y la naturaleza de las ecuaciones hidráulicas hacen que el valor del caudal ambiental cambie drásticamente.

8. RECOMENDACIÓN

Se recomienda a la entidad ambiental encargada CORPONOR que se realice control de los niveles de caudal antes de la captación, con el fin de que se pueda mantener el caudal ambiental establecido y la distribución del recurso hídrico a la población, de este modo prevenir futuras consecuencias sobre la cantidad disponible del líquido en épocas de estiaje o sequía.

Es necesario hacer un estudio de la dinámica de los caudales transportados por los colectores de manera que pueda clasificarse la variabilidad de caudales en el interior del tramo, ya que las tres mediciones diarias de caudal realizadas en este estudio no permiten representar los diversos cambios de caudales por factores antrópicos (Vertimientos), de forma tal que puede obtenerse el valor real del caudal transportado en el tramo y se puedan separar las cantidades de caudal no naturales del río.

Se deben tener en cuenta para próximos estudios las diferentes concesiones actuales de agua que se han otorgado en la zona, con el fin de que se establezcan pautas en los valores de caudal concedido que contemplen el que se debe captar cuando se presenta escases del líquido y que lleven a conservar el caudal ambiental establecido.

Se hace la recomendación de realizar inventarios de flora y fauna existentes en la zona que incluyan el respectivo análisis e implicación de cada variable hidráulica o hidrológica para la sobrevivencia y subsistencia de las especies.

Se recomienda hacer un seguimiento a las diferentes poblaciones aledañas al río que no posean un sistema de alcantarillado o estén depositando directamente desechos al cauce provenientes de diferentes actividades, así disminuir la carga orgánica, las concentraciones de químicos y de esta manera mejorar la calidad del agua.

Se sugiere la incorporación de campañas ambientales por la entidad CORPONOR que den a conocer a la población la temática que gira alrededor de la conservación del recurso hídrico, en términos generales, haciendo hincapié en el "caudal ambiental", término que muchos desconocen, exponiendo su importancia tanto para la sociedad como para el medio ambiente.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ASOCARS, CORPONOR, UFPS .Plan de Ordenamiento y Manejo De la Cuenca del rio pamplonita (POMCA).Tomo 3 Caracterización y Diagnostico. Cúcuta .2014 .p 1278.
- [2] Estudio FAO Montes 131.El Agua. En: Ecología y Enseñanza Rural. Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas. Volumen 131.Viale delle Term di Caracalla, 00100 Roma, Italia.1996.p187.
- [3]Citado 6 de Marzo 2016 Disponible en <http://www.ecured.cu/Aguas_superficiales >.
- [4]Citado el 28 de Febrero de 2008 Disponible en <<http://geografia.laguia2000.com/hidrografia/el-estudio-de-los-rios-el-caudal> >.
- [5] RIOS ARANGO José, ESCOBAR PANIAGUA Jhon, GONZALEZ VALENCIA Alejandro .Guía metodológica para determinar módulos de consumo y factores de vertimiento de agua. Universidad Pontificia Bolivariana .Medellin.2010.pp14-15.
- [6] IDEAM.Guia para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas.Bogota.2002.p12.
- [7] Universidad Tecnológica de Panamá .Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotecnicas .Área de Hidráulica .Procedimiento para las pruebas de aforo en ríos y quebradas .Panamá .2016.p1.
- [8] Barrenechea A. Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. En L. Canepa, Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I. Lima: CEPIS/OPS.2004.p 278.
- [9] Citado el 2 de marzo 2016 Disponible en <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido_en_linea_Disenos_de_Plantas_Potabilizadoras/leccin_2_criterios_de_calidad_del_agua.html >.
- [10] Protocolo de Monitoreo de la Calidad del agua .Facultad de ciencias del ambiente .Universidad Nacional. 2010 .p 40.
- [11] PINILLA AGUDELO G, RODRÍGUEZ-SANDOVAL E, CAMACHO BOTERO L. Propuesta metodológica preliminar para la estimación del caudal ambiental en proyectos licenciados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Colombia. Acta biológica. Colombia. 2014. p135.
- [12] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. Análisis de criterios hidroambientales en el manejo de recursos hídricos .Monitoreo en una cuenca piloto para la

determinación de caudales mínimos aconsejables. Departamento de Conservación y Protección de los Recursos hídricos. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Chile. Santiago. 2009. p24.

[12] LENNTECH. Agua residual & purificación del aire. Holding B.V. Rotterdamseweg 402 M2629 HH Delft, Holanda. 2006.

[13] COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 865 (4 Agosto, 2004) Por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones. Diario Oficial Bogotá D.C., 2004 No 45.630. p19.

[14] DYSON M Bergkamp, SCANLON J. Caudal. Elementos esenciales de los caudales ambientales. Traducido por José María Blanch. San José, C.R.: UICN-ORMA. 2003. p16.

[15] CASTILLO G Ana. Canal Trapezoidal. Geogebra. Universidad de Sonora. 2014. p1.

[16] N.W Hudson. FAO .Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía. 1997. p61.

[17] Citado el 18 de febrero de 2015 Disponible en < <http://nivelaciontopo.galeon.com/links.htm> >.

[18] PEREZ P, Albeiro. Determinación del caudal ambiental por el método hidráulico perímetro mojado en la quebrada el rosal ubicada en el municipio de Pamplona, Norte de Santander. Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero ambiental. Pamplona: Universidad de Pamplona .2014. p111.

[19] RODRIGUEZ L José, TORO B Rubén. Evaluación comparativa de la calidad ecológica del agua de las estaciones el diamante, confluencia iscalá, la Garita, el pórtico y san Rafael del cauce principal del río pamplonita, norte de Santander. Trabajo de grado para optar por el título de licenciatura en biología y química. Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander. 2014. p329.

[20] MOLINARES M Andrea. Apoyo a la subdirección de desarrollo sectorial sostenible, en la evaluación de la calidad de agua del río pamplonita y del cumplimiento de los objetivos de calidad de agua, establecidos por la corporación autónoma regional de la frontera nororiental. Trabajo de grado para optar por el título de ingeniera biotecnológica. Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander. 2012. p162.

- [21] ROJAS R Maroly ,ESLAVA R Daylin. Evaluación de la cantidad y calidad del cauce principal del río pamplonita en cinco puntos de interés, afectados por la sequía como consecuencia del “fenómeno el niño”, temporada 2014-2015.Trabajo de grado para optar por el título de ingenieras biotecnológicas. Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander.2015.p137.
- [22] DIEZ H Juan, RUIZ C Dario.Determinación de caudales ambientales confiables en Colombia: el ejemplo del río Palacé .Cauca.2007.p14.
- [23] Grupo De Investigación en Recursos Hídricos GIREH. Metodología para la estimación del caudal ambiental en proyectos licenciados. Bogotá .Universidad Nacional De Colombia. Facultad de ingeniería. Departamento de ingeniería civil y agrícola. 2008. Convenio 004/2007.pp10-29.
- [24] Parra R Emerson Arturo (2013) Modelamiento y manejo de las interacciones entre la hidrología, la ecología y la economía en una cuenca hidrográfica para la estimación de caudales ambientales. Maestría tesis, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.
- [25]CASANOVA O Juan, Figueroa C Apolinar. Determinación del caudal ambiental y su relación con variables indicadoras de calidad del recurso hídrico. En: Revista Luna Azul. 2014;(40)05-24 DOI 10.17151/luaz.2015.40.2.
- [26] MONTOYA A Gabriel. Análisis de los criterios físicos de la metodología para la estimación de caudales ambientales del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Casos proyectos hidroeléctricos Mayaba y Santo Domingo. Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Programa académico Ingeniería civil .Envigado.2013.p92.
- [27] CANTERA K, Jaime. CARVAJAL E, Yesid y CASTRO H, Lina. Caudal ambiental-Conceptos, experiencias y desafíos. Santiago de Cali: Editorial Universidad del Valle.2009. p325.
- [28] ORDOÑEZ G José. Proyecto piloto para la estimación de caudales ambientales en la cuenca del río Pastaza, basado en un panel de expertos. Trabajo de grado ingeniero ambiental .Quito: Escuela Politécnica Nacional.2010.p162.
- [29] MARTINEZ S Laura. Determinación de caudales ambientales para ríos de la cuenca del río san juan (México) mediante la aplicación de métodos hidrológicos. Trabajo de grado Magister en ciencias con orientación en Ingeniería Ambiental. México: Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ingeniería civil.2012.p231
- [30] GALLEGO R Lorena, CHRETIES Christian, CRISCI Magdalena, HERNANDEZ Marianela, COLOMBO Noelia, LANZILOTTA Bibiana, SARAVIA Matilde, NEME

Carolina, SABAJ Viveka, CONDE Daniel. Fortalecimiento del concepto de Caudales Ambientales como Herramienta para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. Vida silvestre.Uruguay.2012.p138.

[31] CONSTITUCION POLITICA DE COLOMBIA. Asamblea Nacional Constituyente Diario Oficial Bogotá D.C., 1991.p216.

[32] COLOMBIA. Secretaría general de la alcaldía mayor de Bogotá. Decreto 1541 (28 Julio, 1978).Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.Diario Oficial Bogotá D.C., 1978.p19.

[33] COLOMBIA. Secretaría general de la alcaldía mayor de Bogotá. Congreso de Colombia. Ley 99 (22 Diciembre, 1993). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial Bogotá D.C., 1993 N° 41146.p44.

[34] COLOMBIA. Secretaría general de la alcaldía mayor de Bogotá. Congreso de Colombia. Decreto 1729 (6 Agosto, 2002).Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del Artículo 5° de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial Bogotá D.C., 1993 N° 44893.p19.

[35] COLOMBIA. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia. Decreto 3930 (25 Octubre, 2010). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y dictan otras disposiciones. Diario Oficial Bogotá D.C., 2010 N° 47837.p26.

[36] COLOMBIA. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia. Decreto 1900 (12 Junio, 2006). Por el cual se reglamenta el parágrafo del artículo 43 de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial Bogotá D.C., 2006.p26.

[37] COLOMBIA. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia. Decreto 1284 (2 septiembre, 2006). Por la cual se acogen los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental para la construcción de presas, represas y embalses con capacidad mayor a 200 millones de metros cúbicos de agua y se adoptan otras determinaciones. Diario Oficial Bogotá D.C., 2006 N° 46379.p26.

- [38] COLOMBIA. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia. Decreto 1323 (19 abril, 2007). Por el cual se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico -SIRH. Diario Oficial Bogotá D.C., 2007.p4.
- [39] IDEAM, Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá, D. C., 2015. 496 páginas.
- [40] TUP.Universidad Tecnológica de Panamá. Centro de Investigaciones Hidráulicas e hidrotecnicas.Area de Hidraulica.Procedimiento para la prueba de aforo en ríos y quebradas.2006.pp1-3.
- [41] ASOCARS, CORPONOR, UFPS .Plan de Ordenamiento y Manejo De la Cuenca del rio pamplonita (POMCA).Tomo 3 Caracterización y Diagnostico. Cúcuta .2014 .pp 406-407, 414-417.
- [42]CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE LA FRONTERA NORORIENTAL.CORPONOR.Subdireccion de Recursos naturales. Base de registros de Monitoreos del rio Pamplonita.2014-2015.
- [43] RAS 2013.Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable .Titulo C .Sistemas de Potabilizacion.Bogota D.C.2010.p236.
- [44] APHA. American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater.2005.p1325.
- [45] Oscar Brown Manrique I, Yurisbel Gallardo Ballat II, Patricio W. Williams Harriote III, Yuneisi Torres Martínez IV.Caudal Ecológico en la provincia ciego de avila.La Habana.Cuba.2016.
- [46]DIEZ H Juan, BURBANO B Liliana. Técnicas avanzadas para la evaluación de caudales ecológicos en el ordenamiento sostenible de cuencas hidrográficas. Ingeniería e investigación. vol.26, ISSN 0120-5609 n.1, 2006. pp.58-68.
- [47] FRANQUET B Josep. El plan hidrológico y los trasvases. Cinco Temas de Hidrología e Hidráulica. Universidad de Catalunya. Escuela Universitaria de ciencias y tecnología.2003.pp 77-79.
- [48] FRANQUET B Josep. El caudal mínimo medioambiental del tramo inferior del río Ebro. 2009. pp 285-286.
- [49]CORPONOR. Acuerdo 024 de 2000 modificado Artículo 93. Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Los Patios.2011.p52-53.
- [50] Citado el 21 de Febrero de 2016 Disponible en < <http://www.laopinion.com.co/region/estoy-condenado-morir-de-sed-rio-pamplonita-107232#ATHS> >.

ANEXOS

Anexo A. Empresas Urbanas del servicio de acueducto.

EMPRESA	DIRECCION	No USUARIOS		CONDICIONES Y PROCESOS											PROYECCION-LEGALIDAD-MEDIO AMBIENTE		
		ACUEDUCTO	ALCANTARILLADO	FUENTE HIDRICA	CAUDAL CAPTADO	CAUDAL PROCESADO	HORA RIO DEL SERVICIO	MICROMEDICION	MACROMEDICION	INTERVENIDA POR LA SUPER	CALIDAD	CONTINUIDAD	PRESION	TARIFAS	PROYECCIONES	CONFORMACION SEGUN LEY 14284	TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALE
ACUEDUCTO URBANIZACION MONTEBELLO I Y II	PLANTA DE TRATAMIENTO URB MONTEBELLO 1 - 5802605	I=697 II=216	I=697 II=216	Toma Duplat	13 L/S	13 L/S	5:00 am 9:00 pm	SI	NO	NO	Cuenta con laboratorio, la Secretaria de Salud Dptal hace visita mensual	Horario establecido de 5:00 am a 9:00 pm, suspenden 1 vez a la semana para limpieza y mantenimiento,	No cuentan con manómetros, se reviza por visita ocular	Estudio Tarifario	* Cambio de redes. * Mejorar el sistema de sedimentación	APYUM (Asociación de usuarios de montebello)	Montebello I cuenta con laguna de oxidación. Con todo el tratamiento químico que se requiere. Montebello II es encausado a alcantarillado de Agua de Los Patios.
ACUEDUCTO SAN FERNANDO / JESUS ANTONIO RINCON	SALON COMUNAL URB SAN FERNANDO - 5800686	146	146	Toma Duplat	3 L/S	3 L/S	5:00 A.M. 9:00 P.M.	NO	NO	NO	Cuentan con equipos de cloración y PH, tiene contrato con un laboratorio provado los analisis fisico - quimicos. La Secretaria de salud departamental hace visita una vez al mes	Horario de 5:00 a 9:00 -lunes a sabado. No tiene problemas con las redes	No cuentan con manómetros, se reviza por visita ocular	Cuota fija mensual	Cumplir con los requerimientos de la super intendencia con respecto a equipar el laboratorio y la instalación de micromedición.	Junta de acción comunal urbanización san fernando a travez del comité empresarial.	Tenian convenio con EMPATIOS, por lo que pasaron a trabajar con Aguas de Los Patios.
EMPRESA PRIVADA DE SERVICIOS PUBLICOS / TIERRA LINDA	DIAGONAL 16 49 52 TIERRA LINDA TEL 5803622	1417	1417	Toma Duplat	16 L/S	16 L/S	5:00 AM 7:00 PM	100%	100%	NO	Cuentan con laboratorio para analisis fisico quimico y microbiologico, además la Secretaria de Salud Departamental realiza visita sorpresa una vez al mes	Horario de 5:00 a 7:00 . No tienen problemas con las redes	Cuentan con Manómetros	Estudio Tarifario		Sociedad Anónima	Tratamiento de aguas residuales por medio de Lagunas de Oxidación, con los respectivos quimicos que se requieren. Convenio agua de los patios
ACUAPATIOS S.A. ESP - SARA GENE SEPULVEDA (URB SAN NICOLAS I Y II)	CLL 12 No. 3 - 12 OF 302 CC COLON TEL 5831917	330	330	Toma Duplat	5 L/S	5 L/S	8:00 AM 6:00 PM			NO	Laboratorio contratado para estudios fisico quimicos y microbiologicos. La Secretaria de Salud departamental toma muestra una vez al mes	12 Horas diarias	Visita técnica a varios puntos de la red	Estudio Tarifario	COMPROMISOS: 1. PROGRAMA DE USO Y AHORRO DEL AGUA. 2. DEFINIR CON LA CRAP EL CONTRATO DE CONDICIONES UNIFORMES	S.A. E.S.P.	Convenio con Aguas de los Patios

Fuente: Municipio de Los Patios Plan Básico de Ordenamiento Territorial 2010 -2022.

Anexo B. Caudales registrados en los puntos de muestreo en l/s.

Fecha	Punto 1			Prom.Punto 1	Punto 2			Prom.Punto2	Punto 3			Prom.Punto 3
	7:00 a. m.	1:00 p. m.	4:00 p.m.		7:40 a. m.	1:41 p. m.	4:40 p. m.		8:30 a. m.	2:20 p. m.	5:15 p. m.	
01/01/2016	2155,23	2160,56	2150,65	2155,48	495,67	493,86	491,34	493,62	615,67	609,86	606,34	610,62
02/01/2016	2456,56	2566,34	2455,76	2492,89	499,58	500,03	487,45	495,69	619,58	616,03	602,45	612,69
03/01/2016	2378,89	2456,76	2377,87	2404,51	433,23	437,17	489,24	453,21	553,23	553,17	604,24	570,21
04/01/2016	2168,15	2378,87	2434,33	2327,12	530,34	540,23	520,37	530,31	650,34	656,23	635,37	647,31
05/01/2016	2156,95	2155,98	2234,96	2182,63	546,46	543,35	544,23	544,68	666,46	659,35	659,23	661,68
06/01/2016	1988,17	1979,22	1999,87	1989,09	391,80	393,56	390,78	392,05	511,80	509,56	505,78	509,05
07/01/2016	1716,15	1720,29	1697,34	1711,26	243,15	244,86	240,13	242,71	363,15	360,86	355,13	359,71
08/01/2016	1686,28	1670,34	1680,45	1679,02	233,17	231,14	230,32	231,54	353,17	347,14	345,32	348,54
09/01/2016	1576,24	1678,33	1580,25	1611,61	250,56	257,89	260,76	256,40	370,56	373,89	375,76	373,40
10/01/2016	1678,99	1756,25	1774,78	1736,67	324,36	328,14	329,90	327,47	444,36	444,14	444,90	444,47
11/01/2016	1789,56	1788,34	1781,34	1786,41	382,67	387,77	380,26	383,57	502,67	503,77	495,26	500,57
12/01/2016	1899,32	1900,56	1892,67	1897,52	391,80	393,32	397,14	394,09	511,80	509,32	512,14	511,09
13/01/2016	2047,46	2112,16	2020,18	2059,93	701,79	711,56	708,14	707,16	821,79	827,56	823,14	824,16
14/01/2016	1784,03	1776,09	1787,10	1782,41	549,43	548,66	543,23	547,11	669,43	664,66	658,23	664,11
15/01/2016	1686,45	1676,34	1671,24	1678,01	254,47	257,23	260,13	257,28	374,47	373,23	375,13	374,28
16/01/2016	1679,16	1678,18	1660,15	1672,50	249,19	242,13	240,23	243,85	369,19	358,13	355,23	360,85
17/01/2016	1689,15	1670,76	1665,54	1675,15	118,20	115,34	110,24	114,59	238,20	231,34	225,24	231,59

Fuente: CORPONOR.

Anexo B .Continuación. Caudales registrados en los puntos de muestreo en l/s.

18/01/2016	1667,56	1680,89	1690,45	1679,63	125,15	120,16	123,98	123,10	245,15	236,16	238,98	240,10
19/01/2016	1634,34	1645,35	1765,38	1681,69	118,23	119,54	121,12	119,63	238,23	235,54	236,12	236,63
20/01/2016	1586,27	1656,45	1567,37	1603,36	115,18	117,10	114,34	115,54	235,18	233,10	229,34	232,54
21/01/2016	1562,23	1534,67	1556,56	1551,15	119,23	116,45	111,35	115,68	239,23	232,45	226,35	232,68
22/01/2016	1542,23	1554,29	1564,34	1553,62	114,18	119,23	116,90	116,77	234,18	235,23	231,90	233,77
23/01/2016	1560,14	1566,23	1570,45	1565,61	220,65	234,66	221,13	225,48	340,65	350,66	336,13	342,48
24/01/2016	1610,34	1611,43	1605,19	1608,99	229,76	223,32	221,98	225,02	349,76	339,32	336,98	342,02
25/01/2016	1634,23	1612,38	1630,15	1625,59	237,15	234,45	231,22	234,27	357,15	350,45	346,22	351,27
26/01/2016	1583,65	1580,70	1572,33	1578,89	189,16	188,34	187,90	188,47	309,16	304,34	302,90	305,47
27/01/2016	1523,30	1518,24	1543,18	1528,24	170,13	173,33	171,23	171,56	290,13	289,33	286,23	288,56
28/01/2016	1504,38	1519,65	1510,34	1511,46	137,01	136,23	137,38	136,87	257,01	252,23	252,38	253,87
29/01/2016	1514,55	1510,34	1517,67	1514,19	216,28	219,56	217,33	217,72	336,28	335,56	332,33	334,72
30/01/2016	1535,66	1564,76	1549,18	1549,87	210,33	209,14	208,35	209,27	330,33	325,14	323,35	326,27
31/01/2016	1567,35	1566,18	1540,56	1558,03	200,56	201,45	214,23	205,41	320,56	317,45	329,23	322,41
01/02/2016	1410,25	1420,34	1409,80	1413,46	216,32	215,90	214,87	215,70	336,32	331,90	329,87	332,70
02/02/2016	1416,28	1420,14	1453,20	1429,87	219,11	217,14	218,22	218,16	339,11	333,14	333,22	335,16
03/02/2016	1540,41	1512,13	1543,54	1532,03	221,78	222,96	220,89	221,88	341,78	338,96	335,89	338,88
04/02/2016	1613,24	1623,15	1614,21	1616,87	233,17	237,18	234,76	235,04	353,17	353,18	349,76	352,04

Fuente: CORPONOR.

Anexo B .Continuación. Caudales registrados en los puntos de muestreo en l/s.

05/02/2016	1654,54	1670,12	1660,17	1661,61	237,27	239,67	238,55	238,50	357,27	355,67	353,55	355,50
06/02/2016	1756,18	1767,20	1786,25	1769,88	240,34	242,87	243,33	242,18	360,34	358,87	358,33	359,18
07/02/2016	1714,15	1725,18	1716,25	1718,53	241,22	242,22	243,76	242,40	361,22	358,22	358,76	359,40
08/02/2016	1720,83	1730,34	1743,22	1731,46	248,15	246,33	247,44	247,31	368,15	362,33	362,44	364,31
09/02/2016	1650,75	1640,76	1667,78	1653,10	300,23	299,14	298,15	299,17	420,23	415,14	413,15	416,17
10/02/2016	1645,23	1648,16	1650,76	1648,05	333,93	330,16	332,54	332,21	453,93	446,16	447,54	449,21
11/02/2016	1560,65	1576,34	1589,78	1575,59	331,44	335,14	330,27	332,28	451,44	451,14	445,27	449,28
12/02/2016	1576,38	1580,17	1575,36	1577,30	168,41	166,54	165,13	166,69	288,41	282,54	280,13	283,69
13/02/2016	1456,76	1476,67	1478,78	1470,74	140,32	144,55	147,22	144,03	260,32	260,55	262,22	261,03
14/02/2016	1556,18	1578,99	1564,23	1566,47	145,34	146,87	144,32	145,51	265,34	262,87	259,32	262,51
15/02/2016	1417,17	1426,29	1435,18	1426,21	149,22	147,71	148,81	148,58	269,22	263,71	263,81	265,58
16/02/2016	1556,26	1576,35	1567,98	1566,86	151,50	152,33	154,34	152,72	271,50	268,33	269,34	269,72
17/02/2016	1567,34	1589,35	1589,67	1582,12	157,11	159,45	155,78	157,45	277,11	275,45	270,78	274,45
18/02/2016	1590,67	1592,56	1567,17	1583,47	150,55	153,56	156,23	153,45	270,55	269,56	271,23	270,45
19/02/2016	1670,56	1687,89	1665,34	1674,60	140,22	141,23	144,14	141,86	260,22	257,23	259,14	258,86
20/02/2016	1645,23	1654,34	1677,87	1659,15	147,28	142,77	143,33	144,46	267,28	258,77	258,33	261,46
21/02/2016	1456,15	1466,76	1435,39	1452,77	129,54	128,43	127,90	128,62	249,54	244,43	242,90	245,62
22/02/2016	1377,88	1345,87	1367,67	1363,81	131,25	130,22	129,42	130,30	251,25	246,22	244,42	247,30
23/02/2016	1345,99	1356,99	1367,98	1356,99	137,45	139,23	140,34	139,01	257,45	255,23	255,34	256,01

Fuente :CORPONOR.

Anexo B .Continuación. Caudales registrados en los puntos de muestreo en l/s.

24/03/2016	1645,23	1656,23	1644,23	1648,56	140,32	139,39	141,11	140,27	260,32	255,39	256,11	257,27
25/03/2016	1789,23	1791,23	1899,10	1826,52	144,44	147,22	149,99	147,22	264,44	263,22	264,99	264,22
26/03/2016	1730,12	1766,20	1733,10	1743,14	150,14	147,34	148,78	148,75	270,14	263,34	263,78	265,75
27/03/2016	1724,89	1750,34	1767,29	1747,51	160,09	158,34	155,88	158,10	280,09	274,34	270,88	275,10
28/03/2016	1718,67	1723,56	1734,54	1725,59	167,27	164,34	161,32	164,31	287,27	280,34	276,32	281,31
29/03/2016	1368,36	1360,56	1365,40	1364,77	156,33	151,90	150,22	152,82	276,33	267,90	265,22	269,82
30/03/2016	1370,76	1373,45	1375,14	1373,12	160,44	159,88	166,90	162,41	280,44	275,88	281,90	279,41
31/03/2016	1377,34	1374,25	1378,86	1376,82	163,55	162,22	166,45	164,07	283,55	278,22	281,45	281,07
01/04/2016	2232,56	2250,76	2277,29	2253,54	432,56	430,76	431,33	431,55	562,56	565,76	586,33	571,55
02/04/2016	2789,76	2787,78	2785,67	2787,74	530,88	534,74	529,69	531,77	660,88	669,74	684,69	671,77
03/04/2016	2878,17	2877,55	2879,44	2878,39	560,33	567,98	559,99	562,77	690,33	702,98	714,99	702,77
04/04/2016	2885,09	2887,17	2883,86	2885,37	485,67	483,16	481,33	483,39	615,67	618,16	636,33	623,39
05/04/2016	2895,26	2899,29	2893,66	2896,07	495,45	494,78	495,25	495,16	625,45	629,78	650,25	635,16
06/04/2016	2880,47	2882,34	2881,11	2881,31	512,22	516,33	512,22	513,59	642,22	651,33	667,22	653,59
07/04/2016	2775,60	2778,98	2771,43	2775,34	501,33	505,45	510,78	505,85	631,33	640,45	665,78	645,85
08/04/2016	2770,67	2771,21	2768,91	2770,26	602,22	569,12	601,01	590,78	732,22	704,12	756,01	730,78
09/04/2016	2769,29	2766,09	2759,29	2764,89	702,70	700,12	769,99	724,27	832,70	835,12	924,99	864,27
10/04/2016	2615,76	2660,30	2611,13	2629,06	803,23	800,11	799,23	800,86	933,23	935,11	954,23	940,86
11/04/2016	2609,13	2600,04	2603,99	2604,39	767,78	769,80	755,98	764,52	897,78	904,80	910,98	904,52
12/04/2016	2456,66	2449,84	2453,03	2453,18	669,17	664,09	662,77	665,34	799,17	799,09	817,77	805,34

Fuente: CORPONOR.

Anexo B .Continuación. Caudales registrados en los puntos de muestreo en l/s.

13/04/2016	2718,23	2711,55	2706,87	2712,22	623,78	628,71	626,11	626,20	753,78	763,71	781,11	766,20
14/04/2016	2734,05	2730,01	2738,28	2734,11	600,34	634,33	639,34	624,67	730,34	769,33	794,34	764,67
15/04/2016	2881,56	2877,54	2875,56	2878,22	712,20	710,90	708,28	710,46	842,20	845,90	863,28	850,46
16/04/2016	2916,34	2911,33	2908,18	2911,95	809,17	810,16	811,12	810,15	939,17	945,16	966,12	950,15
17/04/2016	2910,23	2907,26	2901,55	2906,35	779,56	780,10	782,22	780,63	909,56	915,10	937,22	920,63
18/04/2016	2925,97	2920,22	2921,31	2922,50	776,54	781,23	778,28	778,68	906,54	916,23	933,28	918,68
19/04/2016	2966,67	2961,15	2976,26	2968,03	820,17	822,45	821,12	821,25	950,17	957,45	976,12	961,25
20/04/2016	2956,44	2945,76	2950,90	2951,03	817,33	812,06	810,45	813,28	947,33	947,06	965,45	953,28
21/04/2016	2545,50	2544,17	2540,22	2543,30	498,77	494,44	488,45	493,89	628,77	629,44	643,45	633,89
22/04/2016	3650,23	3645,76	3641,21	3645,73	1525,73	1530,80	1510,19	1522,24	1655,73	1665,80	1665,19	1662,24
23/04/2016	3016,67	3009,33	3012,70	3012,90	1629,80	1617,99	1622,18	1623,32	1759,80	1752,99	1777,18	1763,32
24/04/2016	3898,67	3891,41	3890,90	3893,66	1774,56	1770,11	1768,38	1771,02	1904,56	1905,11	1923,38	1911,02
25/04/2016	4842,05	4844,10	4840,22	4842,12	2072,15	2070,17	2069,78	2070,70	2202,15	2205,17	2224,78	2210,70
26/04/2016	4850,34	4860,32	4856,26	4855,64	2112,18	2120,34	2115,34	2115,95	2242,18	2255,34	2270,34	2255,95
27/04/2016	4826,67	4816,67	4849,99	4831,11	2205,05	2010,27	2009,19	2074,84	2335,05	2145,27	2164,19	2214,84
28/04/2016	4777,76	4754,64	4767,06	4766,49	2300,32	2312,87	2345,76	2319,65	2430,32	2447,87	2500,76	2459,65
29/04/2016	4788,00	4765,15	4775,45	4776,20	2076,00	2067,78	2079,07	2074,28	2206,00	2202,78	2234,07	2214,28
30/04/2016	4814,78	4808,19	4821,42	4814,80	2090,80	2096,26	2087,46	2091,51	2220,80	2231,26	2242,46	2231,51

Fuente: CORPONOR.

Anexo C. Caudales medios diarios (l/s).

Fecha	Punto 1	Punto 2	punto 3
01/01/2016	2155,48	493,62	610,62
02/01/2016	2492,89	495,69	612,69
03/01/2016	2404,51	453,21	570,21
04/01/2016	2327,12	530,31	647,31
05/01/2016	2182,63	544,68	661,68
06/01/2016	1989,09	392,05	509,05
07/01/2016	1711,26	242,71	359,71
08/01/2016	1679,02	231,54	348,54
09/01/2016	1611,61	256,40	373,40
10/01/2016	1736,67	327,47	444,47
11/01/2016	1786,41	383,57	500,57
12/01/2016	1897,52	394,09	511,09
13/01/2016	2059,93	707,16	824,16
14/01/2016	1782,41	547,11	664,11
15/01/2016	1678,01	257,28	374,28
16/01/2016	1672,50	243,85	360,85
17/01/2016	1675,15	114,59	231,59
18/01/2016	1679,63	123,10	240,10
19/01/2016	1681,69	119,63	236,63
20/01/2016	1603,36	115,54	232,54
21/01/2016	1551,15	115,68	232,68
22/01/2016	1553,62	116,77	233,77
23/01/2016	1565,61	225,48	342,48
24/01/2016	1608,99	225,02	342,02
25/01/2016	1625,59	234,27	351,27
26/01/2016	1578,89	188,47	305,47
27/01/2016	1528,24	171,56	288,56

Fuente: CORPONOR.

Anexo C.Continuacion.Caudales medios diarios (l/s)

28/01/2016	1511,46	136,87	253,87
29/01/2016	1514,19	217,72	334,72
30/01/2016	1549,87	209,27	326,27
31/01/2016	1558,03	205,41	322,41
01/02/2016	1413,46	215,70	332,70
02/02/2016	1429,87	218,16	335,16
03/02/2016	1532,03	221,88	338,88
04/02/2016	1616,87	235,04	352,04
05/02/2016	1661,61	238,50	355,50
06/02/2016	1769,88	242,18	359,18
07/02/2016	1718,53	242,40	359,40
08/02/2016	1731,46	247,31	364,31
09/02/2016	1653,10	299,17	416,17
10/02/2016	1648,05	332,21	449,21
11/02/2016	1575,59	332,28	449,28
12/02/2016	1577,30	166,69	283,69
13/02/2016	1470,74	144,03	261,03
14/02/2016	1566,47	145,51	262,51
15/02/2016	1426,21	148,58	265,58
16/02/2016	1566,86	152,72	269,72
17/02/2016	1582,12	157,45	274,45
18/02/2016	1583,47	153,45	270,45
19/02/2016	1674,60	141,86	258,86
20/02/2016	1659,15	144,46	261,46
21/02/2016	1452,77	128,62	245,62
22/02/2016	1363,81	130,30	247,30
23/02/2016	1356,99	139,01	256,01
24/02/2016	1455,02	133,08	250,08
25/02/2016	1583,88	129,48	246,48

Fuente: CORPONOR

Anexo C.Continuacion.Caudales medios diarios (l/s)

26/02/2016	1663,81	135,21	252,21
27/02/2016	1788,66	120,51	237,51
28/02/2016	1750,83	121,73	238,73
29/02/2016	1791,79	142,92	259,92
01/03/2016	2567,34	648,91	765,91
02/03/2016	2568,00	642,45	759,45
03/03/2016	2774,84	721,82	838,82
04/03/2016	2741,21	709,89	826,89
05/03/2016	2752,85	710,62	827,62
06/03/2016	2768,67	807,48	924,48
07/03/2016	2787,02	832,25	949,25
08/03/2016	2779,31	864,74	981,74
09/03/2016	2792,48	870,62	987,62
10/03/2016	2792,48	877,38	994,38
11/03/2016	2840,20	981,23	1098,23
12/03/2016	2768,43	986,63	1103,63
13/03/2016	2908,33	984,77	1101,77
14/03/2016	2764,61	964,06	1081,06
15/03/2016	2630,43	981,82	1098,82
16/03/2016	2671,92	978,26	1095,26
17/03/2016	2640,27	712,89	829,89
18/03/2016	2381,88	565,47	682,47
19/03/2016	2282,64	677,95	794,95
20/03/2016	1681,68	154,63	271,63
21/03/2016	1770,88	129,48	246,48
22/03/2016	1683,05	133,21	250,21
23/03/2016	1641,99	137,84	254,84
24/03/2016	1648,56	140,27	257,27
25/03/2016	1826,52	147,22	264,22
26/03/2016	1743,14	148,75	265,75
27/03/2016	1747,51	158,10	275,10
28/03/2016	1725,59	164,31	281,31

Fuente: CORPONOR.

Anexo C.Continuacion.Caudales medios diarios (l/s)

29/03/2016	1364,77	152,82	269,82
30/03/2016	1373,12	162,41	279,41
31/03/2016	1376,81	164,07	281,07
01/04/2016	2253,53	431,55	571,55
02/04/2016	2787,73	531,77	671,77
03/04/2016	2878,38	562,77	702,77
04/04/2016	2885,37	483,39	623,39
05/04/2016	2896,05	495,16	635,16
06/04/2016	2881,30	513,59	653,59
07/04/2016	2775,33	505,85	645,85
08/04/2016	2770,26	590,78	730,78
09/04/2016	2764,89	724,27	864,27
10/04/2016	2629,06	800,86	940,86
11/04/2016	2604,38	764,52	904,52
12/04/2016	2453,17	665,34	805,34
13/04/2016	2712,21	626,20	766,20
14/04/2016	2734,11	624,67	764,67
15/04/2016	2878,22	710,46	850,46
16/04/2016	2911,95	810,15	950,15
17/04/2016	2906,34	780,63	920,63
18/04/2016	2922,50	778,68	918,68
19/04/2016	2968,02	821,25	961,25
20/04/2016	2951,03	813,28	953,28
21/04/2016	2543,29	493,89	633,89
22/04/2016	2532,01	453,16	593,16
23/04/2016	2628,29	515,74	655,74
24/04/2016	2630,30	507,69	647,69
25/04/2016	2635,03	452,97	592,97
26/04/2016	2553,54	497,97	637,97
27/04/2016	2757,03	500,63	640,63
28/04/2016	2781,84	511,04	651,04
29/04/2016	2670,95	616,09	756,09
30/04/2016	2821,75	698,97	838,97

Fuente: CORPONOR.

Anexo D. Comportamiento de los caudales medios diarios.

Anexo D .Distribucion de Frecuencias para el punto 1.

Intervalo	Lim inf	lim sup	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa acumulada
1	1356,99	1562,79	19	19	15,70	15,70
2	1562,79	1768,59	38	57	31,40	47,11
3	1768,60	1974,40	8	65	6,61	53,72
4	1974,40	2180,20	3	68	2,48	56,20
5	2180,20	2386,00	5	73	4,13	60,33
6	2386,01	2591,81	6	79	4,96	65,29
7	2591,81	2797,61	21	100	17,36	82,64
8	2797,61	3003,41	12	112	9,92	92,56
9	3003,42	3209,22	1	113	0,83	93,39
10	3209,22	3415,02	0	113	0,00	93,39
11	3415,02	3620,82	0	113	0,00	93,39
12	3620,82	3826,62	1	114	0,83	94,21
13	3826,63	4032,43	1	115	0,83	95,04
14	4032,43	4238,23	0	115	0,00	95,04
15	4238,23	4444,03	0	115	0,00	95,04
16	4444,04	4649,84	0	115	0,00	95,04
17	4649,84	4855,64	6	121	4,96	100
			121			

Fuente: Autora.

Anexo D . Continuacion .Distribucion de Frecuencias para el punto 2 .

Intervalos	Lim inf.	lim sup.	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa acumulada
1,00	114,59	244,30	55,00	55,00	45,45	45,45
2,00	244,30	374,01	7,00	62,00	5,79	51,24
3,00	374,01	503,72	10,00	72,00	8,26	59,50
4,00	503,72	633,43	11,00	83,00	9,09	68,60
5,00	633,43	763,14	11,00	94,00	9,09	77,69
6,00	763,14	892,85	12,00	106,00	9,92	87,60
7,00	892,85	1022,56	6,00	112,00	4,96	92,56
8,00	1022,56	1152,27	0,00	112,00	0,00	92,56
9,00	1152,27	1281,97	0,00	112,00	0,00	92,56
10,00	1281,97	1411,68	0,00	112,00	0,00	92,56
11,00	1411,68	1541,39	1,00	113,00	0,83	93,39
12,00	1541,39	1671,10	1,00	114,00	0,83	94,21
13,00	1671,10	1800,81	1,00	115,00	0,83	95,04
14,00	1800,81	1930,52	0,00	115,00	0,00	95,04
15,00	1930,52	2060,23	0,00	115,00	0,00	95,04
16,00	2060,23	2189,94	5,00	120,00	4,13	99,17
17,00	2189,94	2319,65	1,00	121,00	0,83	100,00
			121			

Fuente: Autora.

Anexo D . Continuacion. Distribucion de frecuencias para el punto 3 .

Intervalos	Lim inf	lim sup	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa acumulada
1	231,59	362,65	55,00	55,00	45,45	45,45
2	362,65	493,71	7,00	62,00	5,79	51,24
3	493,71	624,78	8,00	70,00	6,61	57,85
4	624,78	755,84	11,00	81,00	9,09	66,94
5	755,84	886,90	13,00	94,00	10,74	77,69
6	886,90	1017,96	12,00	106,00	9,92	87,60
7	1017,96	1149,03	6,00	112,00	4,96	92,56
8	1149,03	1280,09	0,00	112,00	0,00	92,56
9	1280,09	1411,15	0,00	112,00	0,00	92,56
10	1411,15	1542,21	0,00	112,00	0,00	92,56
11	1542,21	1673,27	1,00	113,00	0,83	93,39
12	1673,27	1804,34	1,00	114,00	0,83	94,21
13	1804,34	1935,40	1,00	115,00	0,83	95,04
14	1935,40	2066,46	0,00	115,00	0,00	95,04
15	2066,46	2197,52	0,00	115,00	0,00	95,04
16	2197,52	2328,58	5,00	120,00	4,13	99,17
17	2328,58	2459,65	1,00	121,00	0,83	100,00
			121			

Fuente : Autora.

Anexo E . Monitoreos año 2016.

Anexo E . Parametros In situ Punto 1.

Punto 1	Parametros In situ	Hora	1 Monitoreo		Hora	2 monitoreo		Hora	3 Monitoreo		Promedio
			03/03/2016	16/03/2016		07/04/2016	14/04/2016		05/05/2016	12/05/2016	
			pH	9:00 a. m.		7.8	8.1		8:00 a. m.	8.5	
T° Amb. (°C)		28.8	28.6		28.3	28.9		28.3	28.4	28.6	
T°H ₂ O (°C)		28.6	28.9		29.2	29.5		29.6	29.9	22.1	
OD (mg/l)		6.9	7.2		7.23	7.14		7.5	7.6	7.26	
Cond. (µs)		217.13	217.4		219.6	218.3		221.3	218.2	218.7	

Fuente : Autora.

Anexo E .Parámetros In situ Punto 2.

Punto 2	Parametros In situ	Hora	1 Monitoreo		Hora	2 monitoreo		Hora	3 Monitoreo		Promedio
			03/03/2016	16/03/2016		07/04/2016	14/04/2016		05/05/2016	12/05/2016	
			pH	9:45 a. m.		8.27	8.15		8:30 a. m.	8.7	
T° Amb. (°C)		27.8	27.1		26.3	26.9		27.3	27.9	27.2	
T°H ₂ O (°C)		28.8	28.9		29.2	29.5		29.6	29.9	22.1	
OD (mg/l)		6.9	7.2		7.23	7.14		7.5	7.6	7.26	
Cond. (µs)		217.13	217.4		219.6	218.3		221.3	218.2	218.7	

Fuente: Autora.

Anexo E. Parámetros Ex situ Punto 1.

	Parametros Ex situ	Hora	1 Monitoreo		Hora	2 Monitoreo		Hora	3 Monitoreo		Promedio
			03/03/2016	16/03/2016		07/04/2016	14/04/2016		05/05/2016	12/05/2016	
Punto 1	Acidez (MgCaCo3/l)	9:00 a. m.	23.5	23	8:00 a. m.	24.33	24.2	9:30 a. m.	25.66	28	25
	Alcalinidad (MgCaCo3/l)		119.1	117.3		117.3	120.34		118.28	127	120
	Dureza (MgCaCo3/l)		354.87	367.73		351.86	356.9		340.29	360	266.5
	SST (mg/l)		17.21	17.34		16.78	17.68		18.1	18.4	18
	DQO (mgO ₂ /l)		35.6	36.78		34	36.1		35.6	38	36
	DBO ₅ (mgO ₂ /l)		10.4	11.34		12.3	11.21		10.69	12.8	11.5

Fuente: Autora.

Anexo E. Parámetros Ex situ Punto 2.

	Parametros Ex situ	Hora	1 Monitoreo		Hora	2 monitoreo		Hora	3 monitoreo		Promedio
			03/03/2016	16/03/2016		07/04/2016	14/04/2016		05/05/2016	12/05/2016	
Punto 2	Acidez (MgCaCo3/l)	9:45 a. m.	32.5	30.9	8:30 am.	26.1	28.9	9:50 a. m.	28	30.7	30
	Alcalinidad (MgCaCo3/l)		220	232		231.4	235		232	230	230
	Dureza (MgCaCo3/l)		400	445		454.89	484		365	384	361.9
	SST (mg/l)		88.8	93		89	87.8		91.5	91	90
	DQO (mgO ₂ /l)		78	76		80	83.5		69.2	74	77
	DBO ₅ (mgO ₂ /l)		10	9.8		11	11.2		8.9	8.1	9.8

Fuente: Autora.

Anexo F. Calidad de la fuente.

Parámetros	Análisis según		Nivel de calidad de acuerdo al grado de contaminación			
	Norma Técnica Icontec NTC	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
DBO 5 días	9630					
Promedio mensual mg/L			≤ 1.5	1.5 - 2.5	2.5 - 4	>4
Máximo diario mg/L			1 - 3	3 - 4	4 - 6	>6
Coliformes totales (NMP/100 mL)						
Promedio mensual		D-8870	0 - 50	50 - 500	500 - 5000	> 5000
Oxígeno disuelto mg/L	4705	D-888	≥ 4	≥ 4	≥ 4	< 4
PH promedio	9651	D 1293	6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	8.8 - 10.5	
Turbiedad (UNT)	4707	D 1889	< 2	2 - 40	40 - 150	≥ 150
Color verdadero (UPC)			< 10	10 -20	20 - 40	≥ 40
Sabor y olor		D 1292	Aceptable	Aceptable	Rechazable	Inaceptable
Cloruros (mg/L - Cl)		D 512	< 50	50 - 150	150 - 200	900
Fluoruros (mg/L - F)		D 1179	< 1.2	< 1.2	< 1.2	> 1.7
GRADO DE TRATAMIENTO						
- Necesita un tratamiento convencional			NO	NO	SI, hay veces (ver requisitos para uso FIME: literal C.7.4.3.2.)	SI
- Necesita unos tratamientos específicos			NO	NO	NO	SI
- Procesos de tratamiento utilizados			(1) = Desinfección + Estabilización	(2) = Filtración Lenta o Filtración Directa + (1) FIME	(3) = Pretratamiento + [Coagulación + Floculación + Sedimentación + Filtración Rápida] o [FIME Filtración en múltiples etapas] + (1)	(4) = (3) + Tratamientos específicos

Fuente: Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.2013.

ANEXO G. Calidad de Agua para Consumo humano.

		Resolución 2115 de 2007
Características	Expresadas como	Agua para consumo humano
Sustancias activas al azul de metileno	ABS	
Grasas y aceites	–	
Trihalometanos Totales	THMs	0,2
Calcio	Ca	60
Acidez	CaCO ₃	
Hidróxidos	CaCO ₃	
Alcalinidad Total	CaCO	200 (d)
Cloruros	Cl	250
Dureza Total	CaCO ₃	300
Hierro Total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0,1
Sulfatos	SO ₄ -2	250
Zinc	Zn	3
Fluoruros	F	1,0
Fosfatos	PO ₄ -3	0,5
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	0,01
Carbón Orgánico Total	COT	5,0
Calcio	Ca	60
Otros (Art. 9, 10, 38, 39)	pH	6,5 -9,0
	Cloro residual	0,3 - 2,0

Fuente: CDR-CDMA.

ANEXO H. Coeficiente de rugosidad de manning para diferentes materiales.

Cunetas y canales sin revestir	
En tierra ordinaria, superficie uniforme y lisa	0,020-0,025
En tierra ordinaria, superficie irregular	0,025-0,035
En tierra con ligera vegetación	0,035-0,045
En tierra con vegetación espesa	0,040-0,050
En tierra excavada mecánicamente	0,028-0,033
En roca, superficie uniforme y lisa	0,030-0,035
En roca, superficie con aristas e irregularidades	0,035-0,045
Cunetas y Canales revestidos	
Hormigón	0,013-0,017
Hormigón revestido con gunita	0,016-0,022
Encachado	0,020-0,030
Paredes de hormigón, fondo de grava	0,017-0,020
Paredes encachadas, fondo de grava	0,023-0,033
Revestimiento bituminoso	0,013-0,016
Corrientes Naturales	
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lamina de agua suficiente	0,027-0,033
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lamina de agua suficiente, algo de vegetación	0,033-0,040
Limpias, meandros, embalses y remolinos de poca importancia	0,035-0,050
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados	0,060-0,080
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados, vegetación densa	0,100-0,200 ¹
Rugosas, corrientes en terreno rocoso de montaña	0,050-0,080
Areas de inundación adyacentes al canal ordinario	0,030-0,200 ¹

Fuente: S.M. Woodward and C. J Posey. Hydraulics of steady flow in open channels.

Anexo I. Coeficiente de rugosidad según la tipología del cauce.

Clase de Cauce	Coeficiente (k)	Rugosidad	Tipología del cauce
Cauces artificiales	1 ,2	Muy baja	Acequias de riego y tuberías parcialmente llenas.
	3, 4	Baja	Canales revestidos de hormigón.
	5, 6	Media- baja	Canales revestidos de mampostería.
	7,8	Media-alta	Canales excavados (sin revestir)
Cauces naturales	9,10	Alta	Cauces naturales consolidados.
	10,11	Muy alta	Cauces naturales sin consolidar (En avenidas).

Fuente: Franquet ,2009.

ANEXO J. Registro fotográfico



Imagen 7. Visita a la zona de estudio.

Fuente: Autora.



Imagen 8. Caudal antes de la captación.

Fuente: Autora.



Imagen 9. Bocatoma del acueducto.

Fuente: Autora.



Imagen 10. Caudal aguas abajo de la Bocatoma.

Fuente: Autora.



Imagen 11. Caudal en el punto 3.

Fuente: Autora.



Imagen 12. Visita a la bocatoma del acueducto.

Fuente: Autora.



Imagen 13. Medición de los parámetros in situ.

Fuente: Autora.



Imagen 14. Medición de parámetros In situ.

Fuente: Autora.



Imagen 15 .Punto de la captación del acueducto de Cúcuta.

Fuente: Autora.



Imagen 16. Visita a los acueductos.

Fuente: Autora.



Imagen 17. Visita al acueducto Urb .San Fernando.

Fuente: Autora.



Imagen 18.Pruebas de laboratorio

Fuente: Autora.

Anexo K. Constancia de cambio de título.



CORPONOR

República de Colombia
 Sistema Nacional Ambiental SINA
 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
 Corporación Autónoma Regional de la Franja Noroccidental




3000.32.05

San José de Cúcuta,

Señores
COMITÉ TRABAJO DE GRADO
 Programa Ingeniería Ambiental
 Universidad de Pamplona.

Asunto: Aclaración trabajo de grado.

Cordial saludo.

De la manera más gentil me permito informar que el trabajo de grado realizado por la Estudiante Mayeline Silva Leal; con acta de vinculación No. 006 del 1 de marzo de 2016, fue realizado en el sector comprendido entre la Bocanoma El Pórtico hasta el Puente San Rafael en la ciudad de Cúcuta, sector este que pertenece a la Cuenca Media del río Pamplonita, de acuerdo al Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca; en donde el conocimiento de los caudales ecológicos es de gran importancia debido a la demanda del recurso hídrico en esta zona, para el desarrollo de actividades productivas, así como también para el suministro de agua de los acueductos de los municipios de Cúcuta y Los Patios.

Agradezco inmensamente su atención y colaboración

Atentamente,



SANDRA MILENA GÓMEZ PEÑARANDA
 Subdirectora Recursos Naturales

	Nombre y Apellidos	Cargo	Firma
Revisó:	Sandra Milena Gómez Peñaranda	Subdirectora Recursos Naturales	
Elaboró:	Sandra Milena Gómez Peñaranda	Subdirectora Recursos Naturales	

Los arriba firmantes declaramos que hemos revisado el presente documento y lo encontramos ajustado a las disposiciones legales y/o técnicas vigentes y por lo tanto, bajo nuestra responsabilidad lo presentamos para la firma del Remitente.

**HACIA UN NORTE AMBIENTALMENTE SOSTENIBLE...
 ¡TODOS POR EL AGUA!**

Calle 13 Av. El Bosque #3E-278 PBX 5828484. E-Mail: corpornor@corpornor.gov.co
 San José de Cúcuta, Norte de Santander - Colombia

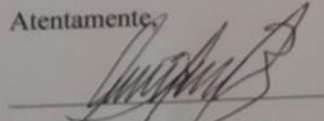
Anexo L. Constancia de levantamiento topográfico en la zona de estudio.

30 de Junio del 2016
San José De Cúcuta, Norte De Santander.

CONSTANCIA
DE TOPOGRAFIA

Yo ing. Guillermo Bolívar, identificado con c.c 13249983 de Cúcuta con tarjeta profesional 5420281733 NTS , consta que en mi fe se realizaron levantamientos topográficos con la estación total TOPCON GTS 229 con la señorita Mayeline Silva Leal identificada con c.c 1143366476 de Cartagena , en el sector el Pórtico, Corregimiento de San Pedro para el proyecto denominado ESTIMACION DEL CAUDAL AMBIENTAL POR EL METODO HIDRAULICO PERIMETRO MOJADO EN EL TRAMO BOCATOMA EL PORTICO -PUENTE SAN RAFAEL , CUCUTA.

Atentamente,


GUILLERMO BOLIVAR
C.C 13249983 Cúcuta.
NTS 5420281733

REPUBLICA DE COLOMBIA
CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERIA
Y SUS PROFESIONES AUXILIARES



MATRICULA No. 5420281733NTS
INGENIERO CIVIL
DE FECHA 2000/07/27
APELLIDOS
BOLIVAR BERNAL
NOMBRES
GUILLERMO
C.C. 13.249.983
UNIVERSIDAD
ANTONIO NARIÑO

Jairo Bateman
Presidente del Consejo

ANEXO M. Constancia del laboratorio de control y calidad de la Universidad de Pamplona de análisis fisicoquímicos.

1 de 1

 UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
Una Universidad incluyente y comprometida con el desarrollo integral

A QUIEN PUEDA INTERESAR

EL LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA HACE CONSTAR QUE:

MAYELINE SILVA LEAL, con código 1143366476, estudiante de Ingeniería ambiental, realizó análisis fisicoquímicos de aguas para su proyecto de grado titulado: ESTIMACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL POR EL MÉTODO HIDRÁULICO PERÍMETRO MOJADO EN EL TRAMO BOCATOMA EL PÓRTICO PUENTE SAN RAFAEL DE LA CIUDAD DE CÚCUTA.


Asesor Científico Laboratorio Control Calidad


Analista Químico