

**DISEÑO DE MODELO DE SIMULACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA  
SUPERFICIAL EN LA QUEBRADA EL ARENAL, MUNICIPIO JUNÍN –  
CUNDINAMARCA EN EPOCA DE ESTIAJE**

**LUISA FERNANDA CRUZ CARDENAS  
COD: 2700662**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
ESPECIALIZACIÓN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE LOS  
RECURSOS NATURALES  
FACULTAD DE INGENIERIA  
BOGOTA D. C., 2016**

# **DISEÑO DE MODELO DE SIMULACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL EN LA QUEBRADA EL ARENAL, MUNICIPIO JUNÍN – CUNDINAMARCA EN EPOCA DE ESTIAJE**

## **DESIGN SIMULATION MODEL OF SUPERFICIAL WATER QUALITY IN THE QUEBRADA ARENAL, MUNICIPALITY JUNÍN – CUNDINAMARCA IN LOW WATER**

Luisa Fernanda, Cruz Cárdenas

Ingeniera Ambiental, Profesional de Proyectos, Daphnia Ltda., Bogotá, Colombia.  
lufercru@gmail.com

### **RESUMEN**

La calidad del recurso hídrico Quebrada El Arenal, es de vital importancia en el municipio de Junín, debido a que es la principal fuente receptora del agua de esta población. El objetivo del presente artículo es diseñar un modelo de simulación de calidad de agua superficial del cuerpo mencionado, que permita determinar la afectación de los vertimientos domésticos en época de estiaje. La metodología utilizada para realizar el artículo se basa en la determinación del índice de calidad de agua, análisis e interpretación ambiental de las cargas contaminantes de los vertimientos domésticos y la determinación de las diferentes variables utilizadas para realizar el modelo en el programa QUAL2K. Los resultados obtenidos permiten evidenciar las condiciones moderadas y buenas del cuerpo hídrico en la época de estudio, así como las bajas cargas contaminantes de los dos vertimientos y por tanto la capacidad de autodepuración del cuerpo hídrico ante las mismas, señalando como principal problema en la Quebrada El Arenal, la presencia de Coliformes Totales y nutrientes (Nitrógeno Total y Fosforo Total).

**Palabras Claves:** Calidad del agua, modelo de simulación, vertimiento, oxígeno disuelto, estiaje, autodepuración.

### **ABSTRACT**

The water's quality of the Quebrada El Arenal, it is an issue of big importance in the town of Junin, because it is the main source of water receiving this population. The purpose of this paper is to design a simulation model surface water quality resource mentioned, should determine the allocation of domestic discharges in the dry season. The methodology used for the article is based on the determination of the water quality, environmental analysis and interpretation of pollutant loads from domestic discharges and the determination of the different variables used for the model in the QUAL2K program. The results obtained show moderate and good condition of the water body at the time of study and low pollutant loads of the two discharges, therefore the self-purification capacity of the water body, noting that the main problem in Quebrada El Arenal, is the presence of total coliforms and nutrients (nitrogen and phosphorus).

**Keywords:** Water quality, simulation model, discharge, dissolved oxygen, low water, autodepuration.

## INTRODUCCION

Colombia se caracteriza por ser uno de los países de Suramérica con mayor cantidad de riqueza hídrica, debido principalmente a sus diferencias geográficas y topografías, lo que hace que la “precipitación media anual sea de 3.000 mm” [1]. No obstante, el crecimiento de la población, la variabilidad climática, la necesidad de desarrollo y la reducida regulación presente en el país, hace que el recurso hídrico superficial presente afectaciones de calidad de agua a través de los años.

De acuerdo con lo anterior, se evidencia que el país, aunque cuenta con instrumentos para garantizar las condiciones de cantidad y calidad de agua, como son los Planes de Ordenamiento de Cuencas (POMCA's), los cuales indican el planeamiento del uso y manejo sostenible de los recursos naturales [2] y los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH's), que permiten un mayor conocimiento del agua a través del establecimiento de los usos de la misma, la determinación de normas de vertimiento y la definición de zonas condicionadas [3], no han sido ampliamente desarrollados.

Por esta razón, se ha generado un desconocimiento en muchas regiones sobre las condiciones del recurso hídrico del cual se abastecen, y la capacidad de resiliencia de los mismos ante los vertimientos principalmente originados por actividades domésticas.

Esta situación, se ve representada en el municipio de Junín ubicado en el departamento de Cundinamarca, el cual según el DANE ha aumentado su población durante los últimos “10 años en un 2,5% [aproximadamente]” [4], refiriendo así un incremento del caudal del vertimiento de aguas residuales domesticas que se descargan directamente sobre la Quebrada El Arenal, la cual es la fuente principal de abastecimiento de la comunidad. Lo anterior, señala una situación problemática debido a que no se tiene certeza de la calidad del agua y los diferentes usos a la cual puede ser destinada.

Por consiguiente, se hace necesario identificar las características actuales del recurso hídrico y establecer el posible comportamiento del mismo bajo determinadas presiones, con el fin de brindar a la comunidad condiciones mínimas de calidad de agua que puede ser utilizada en diferentes labores teniendo una visión de crecimiento en la cantidad de habitantes.

Así mismo, proporcionar a las diferentes especies acuáticas características básicas para su desarrollo, supervivencia, por tanto, señalar el equilibrio adecuado entre los organismos que se abastecen de este recurso hídrico, a través de la representación de alternativas y de escenarios reales que podrían ocurrir [5], mediante el diseño de

un modelo de simulación de calidad de agua de la Quebrada El Arenal ubicada en el municipio de Junín – Cundinamarca en época de estiaje.

Dicho modelo, además de referir una aproximación del sistema real, permite involucrar diferentes campos, porque no solo se basa en determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas, sino que también incluye el componente morfológico de la cuenca, lo que hace que su representación sea más exacta. Igualmente, sirve como herramienta de planeación integral de los recursos, puesto que permite establecer las relaciones causa – efecto, lo que lo hace importante a la hora de tomar decisiones oportunas y económicamente viables.

Con el fin de desarrollar el modelo de simulación, se plantea en principio determinar la calidad del agua superficial, por medio del cálculo del índice de calidad de agua (ICA) bajo dos metodologías; la primera, definida en el Estudio Nacional del Agua del Año 2014 que presenta seis variables, las cuales son, el Oxígeno disuelto, los Sólidos suspendidos totales, el DQO, la relación nitrógeno/fosforo, la Conductividad y pH [6].

La segunda metodología se basa en un estándar desarrollada en Estados Unidos, la cual tiene en cuenta nueve variables; el Porcentaje de Saturación, los Coliformes Fecales, el pH, la DBO, los Nitratos, los Fosfatos, la Temperatura, la Turbiedad y los Sólidos Totales [7].

A continuación, se realiza una interpretación ambiental de las condiciones del vertimiento doméstico generado en el municipio de Junín, por medio de un diseño descriptivo de revisión bibliográfica, además de definir las cargas contaminantes de cada uno de los parámetros evaluados según la ecuación determinada en el Decreto 3100 de 2003.

Posteriormente, se efectúa el montaje de la simulación mediante la utilización del modelo Qual2K, “el cual representa de forma adecuada los fenómenos de transporte de contaminantes, de transformación de materia orgánica carbonacea y nitrogenada y a capacidad de autopurificación de los ríos” [5], debido a que incorpora parámetros de calidad de agua, medidas hidráulicas, datos de elevación, ubicación geográfica, meteorología y procesos de reaireación. Una vez obtenidos los resultados se realiza una verificación y posterior interpretación ambiental de los mismos.

## **1. MATERIALES Y MÉTODOS**

En la siguiente sección se muestra la localización del área de estudio, así como la metodología a seguir para la determinación de la calidad del agua superficial y residual, además del diseño del modelo de simulación para la Quebrada El Arenal en época de estiaje, el cual es el objeto principal del artículo.

## 1.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Quebrada El Arenal, como lo consigna el Corporación Autónoma Regional - CORPOGUAVIO [8], registra una longitud de 4,1 Km, hace parte de una de las dieciséis microcuencas de la subcuenca del Rio Guavio, cuenca Meta y zona hidrográfica Orinoco, denominada área de drenaje Rucio, la cual corresponde al código Ideam 350605 y presenta una extensión de 75,74 Km<sup>2</sup>. Este cuerpo hídrico se encuentra localizado en el municipio de Junín, en el departamento de Cundinamarca.

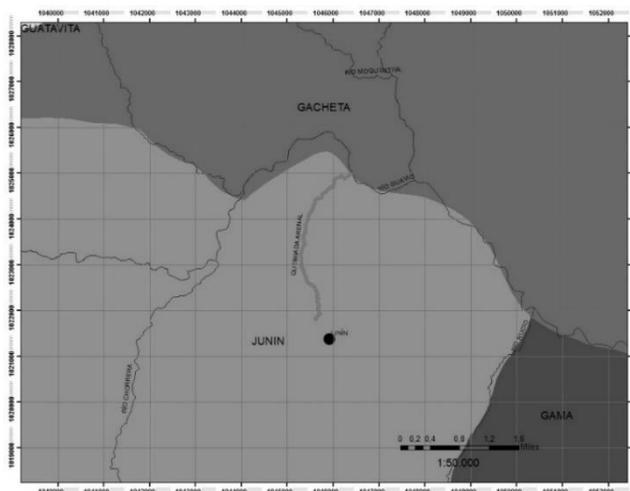


Figura 1. Localización del área de estudio  
Fuente: Elaboración propia, 2016.

El Municipio de Junín se encuentra localizado al sur oriente del departamento de Cundinamarca, formando parte de la provincia del Guavio en conjunto con los municipios de Gacheta, Gachalá, Gama y Ubalá [9]. Con respecto a la demografía, se aprecia que el municipio de Junín cuenta con una población total de 8115 habitantes que se divide entre 804 habitantes en la zona urbana y 7311 habitantes en la parte rural, según el último censo del DANE efectuado en el año 2005.

## 1.2. METODOLOGÍA

En la siguiente sección se presenta la metodología para la valoración de la calidad de agua superficial de la Quebrada El Arenal, así como de las descargas residuales domésticas efectuadas al cuerpo hídrico. Adicionalmente se refieren los pasos a llevar a cabo para el diseño del modelo de simulación.

### 1.2.1. Metodología para la evaluación de la calidad de agua superficial

Existen diferentes métodos para la evaluación o análisis de calidad de agua superficial, entre estos se encuentran los diseños descriptivos de revisión bibliográfica, los índices de contaminación por mineralización, materia orgánica y sólidos suspendidos, y los índices de calidad del agua.

Los índices de calidad de agua, son utilizados para simplificar la interpretación de datos de monitoreo, debido a que se reducen y reflejan una relación entre parámetros generados en una simple expresión que da como resultado un número, el cual indica las condiciones del agua.

De acuerdo con lo anterior, se evidencian diversas ventajas en la valoración de la calidad del recurso bajo este tipo de indicadores, debido a que permiten valorar la variación espacial y temporal de las condiciones del agua, además de ser válido para expresar la importancia de los datos monitoreados, facilitando la interpretación. De igual manera, se presentan limitaciones como la ausencia de evaluación de riesgo y la generalización conceptual teniendo como base que no todas las cuencas son iguales [7].

En primer lugar, se observa el índice desarrollado en el año 1970 por la National Sanitation Foundation de los Estados Unidos, por medio del uso de la técnica de investigación Delphi, no obstante, también se evidencian otras metodologías, como lo es la establecida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, junto con el Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales en el Estudio Nacional del Agua del año 2014.

El cálculo de los índices se hace teniendo en cuenta los monitoreos realizados desde los años 2010 al 2014 en la Quebrada El Arenal [8], [10]–[13], con el propósito de establecer la tendencia del agua a través del tiempo, es importante recordar que únicamente se utilizan los datos de época seca.

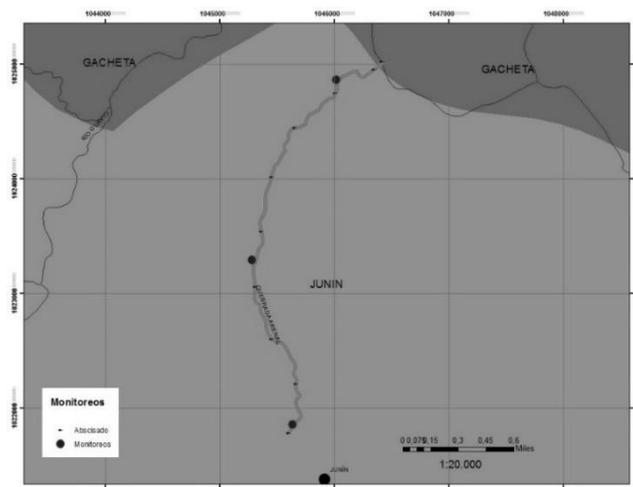


Figura 2. Localización de puntos de monitoreo  
Fuente: Elaboración propia, 2016.

En este sentido, el Índice de Calidad de Agua bajo la metodología estadounidense incorpora nueve parámetros fisicoquímicos como el Oxígeno Disuelto, los Coliformes Fecales, el pH, la DBO, el cambio de Temperatura, los Fosfatos, los Nitratos, la Turbiedad y los Sólidos Totales. A cada variable nombrada anteriormente se le asignó un peso ponderado (Tabla 1), teniendo en cuenta diferentes opiniones de

expertos, para después desarrollar una suma lineal ponderada, como se muestra a continuación:

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i W_i$$

Donde  $WQI$ : Índice de Calidad de Aguas

$SI_i$ : Subíndice del parámetro  $i$

$W_i$ : Factor de ponderación para el subíndice  $i$

Tabla 1. Factores de ponderación, método estadounidense

Parámetro	Factor de Ponderación	Parámetro	Factor de Ponderación
Oxígeno Disuelto	0,17	Fosfatos	0,10
Coliformes Fecales	0,16	Nitratos	0,10
pH	0,11	Turbiedad	0,08
DBO	0,11	Sólidos Totales	0,07
Cambio de T°	0,10		

Fuente: Fernández Parada & Solano Ortega, 2013

El resultado final es un número de 0 a 100, el cual será interpretado por la siguiente escala de clasificación, en la cual a cada rango le corresponde un color característico.

Tabla 2. Escala de clasificación ICA, método estadounidense

Parámetro	Factor de Ponderación
Excelente	91 – 100
Buena	71 – 90
Media	51 – 70
Mala	26 – 50
Muy Mala	0 - 25

Fuente: Fernández Parada & Solano Ortega, 2013

En el caso del Índice de calidad establecido en el Estudio Nacional de Agua en el año 2014, se calcula a partir de datos de concentraciones de seis variables; el Oxígeno Disuelto (OD), los Sólidos Suspendidos (SST), la Demanda Química de Oxígeno (DQO), la relación Nitrógeno Total (NT)/ Fosforo Total (FT), la Conductividad eléctrica y el pH.

Al igual que en el índice anterior, este ICA refiere una ecuación para determinar el valor de cada parámetro, posteriormente se pondera según los pesos expuestos en la Tabla 3 y se realiza la suma de los subíndices, para obtener un número de 0 a 1 y una clasificación de acuerdo con lo presentado en la Tabla 4.

Tabla 3. Factores de ponderación, método IDEAM

Parámetro	Unidad de medida	Factor de Ponderación
OD	% Saturación	0,17
SST	mg/L	0,17
DQO	mg/L	0,17
NT/FT	--	0,17

Parámetro	Unidad de medida	Factor de Ponderación
Conductividad Eléctrica	μS/cm	0,17
pH	Unidades de Ph	0,15

Fuente: IDEAM, 2015

Tabla 4. Escala de clasificación ICA, método IDEAM

Parámetro	Factor de Ponderación
Muy Mala	0,00 – 0,25
Mala	0,26 – 0,50
Regular	0,51 – 0,70
Aceptable	0,71 – 0,90
Buena	0,91 – 1,00

Fuente: IDEAM, 2015

### 1.2.2. Metodología para la evaluación de la calidad de agua residual doméstica

El municipio de Junín presenta dos vertimientos domésticos que son descargados directamente sobre la Quebrada El Arenal debido a que no se cuenta con una planta de tratamiento, no obstante, según la Resolución 253 de 2009 [16], se manifiesta que en el año 2016 se deberán realizar las obras del alcantarillado sanitario y pluvial, con lo cual se pretende disminuir las cargas contaminantes.

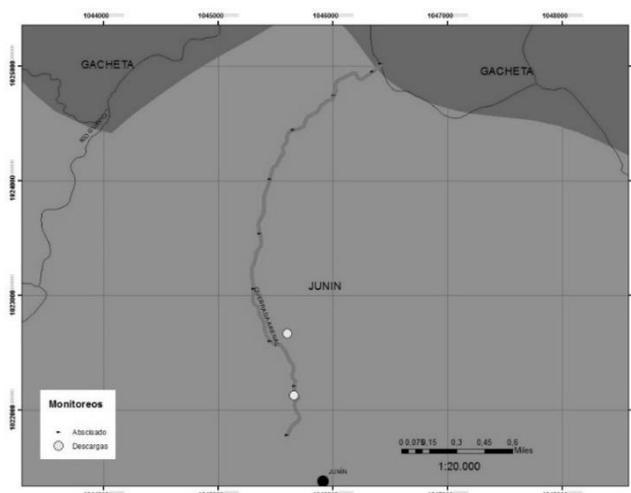


Figura 3. Localización de descargas

Fuente: Elaboración propia, 2016.

La información fisicoquímica y microbiológica de las descargas se toma de los monitoreos efectuados en los años 2012 y 2013 que se realizaron en época de estiaje, analizando la calidad de los efluentes con ayuda de bibliografía asociada a la misma. Posteriormente, se realiza el cálculo de las cargas contaminantes de acuerdo con la siguiente ecuación, presentada en el Decreto 3100 de 2003 [17]:

$$Cc = Q * C * 0,0864 * \left(\frac{t}{24}\right)$$

Donde  $C_c$ : Carga contaminante, en kilogramos por día (Kg/día)

$Q$ : Caudal promedio (L/s)

$C$ : Concentración de la sustancia contaminante (mg/L)

$t$ : Tiempo de vertimiento, en horas por día

### 1.2.3. Metodología para el diseño de modelo de simulación

El objetivo principal en el desarrollo de un modelo de calidad de agua es el de usar una herramienta que tenga la capacidad de representar el comportamiento de los componentes hidrológicos y la calidad del agua de una corriente [18]. En el presente artículo es utilizado el programa Qual2K, el cual es ampliamente manipulado en la modelación de calidad del agua en ríos o corrientes superficiales, debido a que se encuentra desarrollado en formato Excel, lo que brinda un fácil manejo, amabilidad con el usuario y entrega de resultados en forma gráfica.

De acuerdo con lo anterior, para el diseño del modelo de simulación se requieren diversos datos de entrada, a continuación, se describe de manera breve su obtención:

- Latitud y longitud inicial

Esta variable se establece de acuerdo con la normatividad del IGAC, conforme al uso del nuevo marco de referencia para Colombia MAGNA-SIRGAS. Es necesario que al momento de ingresar información en la plantilla del modelo Qual2K las coordenadas sean curvilíneas (Geográficas) establecidas como Grados, Minutos y Segundos, asociadas al elipsoide de referencia determinado según normativa nacional con el fin de garantizar la estandarización en la información geográfica.

Tabla 5. Características de los segmentos de la Quebrada El Arenal

ABSCISADO	LATITUD			LONGITUD			ELEVACIÓN	ANCHO MINIMO	PENDIENTE	
	GG	MM	SS	GG	MM	SS	Metros	Metros	Lateral	Media
0+000	4	47	35,18	-73	39	59,37	2292,6	0,35	1,00	0,070
0+500	4	47	49,05	-73	39	57,28	2256,9	1,46	1,00	0,072
1+000	4	48	1,80	-73	40	4,01	2168,0	1,46	1,00	0,178
1+500	4	48	16,65	-73	40	8,73	2094,7	1,46	1,00	0,146
2+000	4	48	32,22	-73	40	6,96	2008,2	0,85	0,55	0,173
2+500	4	48	47,86	-73	40	4,03	1937,7	0,85	0,55	0,141
3+000	4	49	1,65	-73	39	57,61	1865,1	0,85	0,55	0,145
3+500	4	49	11,47	-73	39	45,98	1781,3	0,85	0,55	0,168
4+000	4	49	18,15	-73	39	35,01	1711,8	0,90	0,36	0,139
4+099	4	49	20,38	-73	39	32,86	1702,7	0,90	0,36	0,093

Fuente: Elaboración propia, 2016

- Elevación

La elevación expresada en metros representa la distancia vertical desde un plano de referencia. En la pestaña Reach se ingresan las respectivas elevaciones de cada

segmento de 500 metros. La elevación se obtiene con base en modelos de elevación digital y una interpolación de los segmentos con el modelo. Esta información es utilizada en primera medida para mostrar una disminución en la altura debido a una caída de agua al final de un alcance, en segundo lugar, para corregir la saturación de oxígeno de los efectos de elevación.

- Caudal

El caudal es una de las principales variables para el diseño del modelo de simulación de calidad de agua, debido a que se debe tener el flujo del nacimiento del cuerpo hídrico, en este sentido, los caudales para época de estiaje, son tomados de los estudios hidrológicos realizados por CORPOGUAVIO en el año 2014, siendo el caudal mínimo 0,064 m<sup>3</sup>/s.

- Ancho de fondo

Esta variable permite al modelo identificar la geometría del río, estos anchos son calculados con la ayuda de los resultados de caracterización fisicoquímica, así como por medio de ortofotos, por lo que se toma el ancho superficial y de acuerdo con las gráficas de los perfiles resultado de los monitoreos, se resta la distancia que da hacia las orillas del cuerpo hídrico.

- Pendientes laterales

Estas pendientes se calculan con la información generada en la caracterización en la sección longitudinal del cuerpo hídrico, esta sección forma dos triángulos y con sus longitudes y anchos se calcula la pendiente.

- Pendientes medias

Se calcula por medio de la diferencia de la elevación inicial menos la elevación final dividido por la distancia del segmento, en el caso de la Quebrada El Arenal estos son de 500 metros, obteniéndose finalmente la pendiente media del punto final.

- Fuentes difusas

Estos puntos hacen referencia a las descargas o captaciones que se realizan en otros cuerpos hídricos tributarios de la Quebrada El Arenal. Estas fuentes se determinan por medio del censo del 2007 y su respectiva actualización en el año 2014 y hacen referencia especialmente a las captaciones efectuadas alrededor del cuerpo de agua [19].

Con los datos obtenidos del censo se ubican en el mapa por medio de las coordenadas geográficas los puntos difusos, de acuerdo con la división por segmento se suman las fuentes difusas y de ahí se obtiene el caudal en LPS que tendrán que convertirse en MCS [20], unidades utilizadas en el programa de

modelación. En cuanto a las fuentes difusas de vertimientos no se aprecian en los censos evaluados.

Tabla 6. Fuentes difusas de los segmentos de la Quebrada El Arenal

FUENTES DIFUSAS	SEGMENTO		CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
	Inicio (Km)	Fin (Km)	
Captación 1	1	2	0,01389
Captación 2	2	3	0,011
Captación 3	3	4	0,00314

Fuente: Elaboración propia, 2016

- Fuentes puntuales

Son todas aquellas que caen o son abstraídas directamente del cuerpo hídrico, en el caso de la Quebrada El Arenal, corresponde a las dos descargas provenientes de las actividades domésticas del sector rural del municipio de Junín, así como dos captaciones provenientes de los acueductos San Roque y San Pedro.

- Datos de calidad

Estos datos de calidad de agua son tomados de la caracterización efectuada en el año 2014 en los diferentes puntos de la Quebrada El Arenal, por tratarse del último monitoreo efectuado en la zona en época de estiaje, no obstante, se tienen como valores de referencia los efectuados en los años 2010 a 2013.

## 2. RESULTADOS Y ANALISIS

En el siguiente capítulo se evidencian los resultados obtenidos y los análisis de los mismos, concernientes a la calidad de agua superficial y residual doméstica, así como los datos obtenidos del modelo de simulación de calidad de agua de la Quebrada El Arenal en época de estiaje.

### 2.1. CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL

Los resultados obtenidos de los índices de calidad de agua, bajo las dos metodologías se presentan en la siguiente tabla, es de resaltar que por tratarse de un cuerpo de agua de corta longitud, la Corporación Autónoma Regional únicamente caracterizaba en su mayoría la calidad en dos puntos; uno ubicado en la parte media de la quebrada después de la zona de mezcla, el segundo en la sección más baja encontrada antes de la confluencia con el río Guavio, no obstante, en los años 2010 y 2014, se incluyó un punto adicional localizado en parte alta de la cuenca (nacimiento).

La información necesaria de los monitoreos es tomada de los reportes de los siguientes laboratorios de análisis ambiental: Analquim Ltda en los años 2010 y 2011, Daphnia Ltda en el año 2012 y Anascol S.A en el año 2013, contratados por CORPOGUAVIO.

Tabla 7. Resultados de los Índices de Calidad de la Quebrada El Arenal

ESTACION DE MUESTREO	AÑO	ESTIAJE			
		ICA (WQI)		ICA (IDEAM)	
		Índice	Clasificación	Índice	Clasificación
Zona Alta	2010	78,58	Buena	0,80	Aceptable
	2014	60,50	Media	0,68	Regular
<b>Promedio</b>		69,54	Media	0,74	Aceptable
Zona Media	2010	73,61	Buena	0,74	Aceptable
	2011	55,46	Media	0,59	Regular
	2012	61,29	Media	0,78	Aceptable
	2013	64,40	Media	0,63	Regular
	2014	55,41	Media	0,67	Regular
<b>Promedio</b>		62,03	Media	0,68	Regular
Zona Baja	2010	77,60	Buena	0,81	Aceptable
	2011	63,25	Media	0,68	Regular
	2012	64,29	Media	0,75	Aceptable
	2013	69,82	Media	0,73	Aceptable
	2014	57,36	Media	0,64	Regular
<b>Promedio</b>		66,46	Media	0,72	Aceptable
<b>Promedio Total</b>		65,13	Media	0,71	Aceptable

Zonal Alta: Quebrada el Arenal zona de cuenca alta; Zona media: Quebrada Arenal después de la zona de mezcla de las aguas residuales domésticas; Zona baja: Quebrada El Arenal antes del Casco Urbano

Fuente: Elaboración propia, 2016

De acuerdo con los resultados obtenidos, se evidencian ciertas divergencias entre el método estadounidense y el señalado por el IDEAM, lo anterior debido principalmente a las variables tenidas en cuenta en cada una de las metodologías. En este sentido se observa, según el método estadounidense una calidad media del recurso en la mayoría de monitoreos, únicamente refiriendo condiciones buenas en el muestreo efectuado en el año 2010, lo que demuestra características que se conservan en el tiempo.

Una situación contraria, se aprecia con la metodología IDEAM, el cuerpo hídrico oscila entre una calidad regular y aceptable, observándose las mejores condiciones en la zona baja antes de la confluencia con el río Guavio, en su caso las características regulares priman en la zona media, después de la zona de mezcla, lo que indica la afectación del cuerpo hídrico causada por las descargas residuales domésticas.

En este sentido, debido a las discrepancias encontradas entre los dos métodos se hace necesario revisar de manera más detallada los resultados obtenidos en las caracterizaciones. Dicho lo anterior, en general se observan concentraciones de oxígeno disuelto que en todos los casos son adecuadas para la supervivencia de organismos acuáticos [21].

En cuanto a las características asociadas a la materia orgánica, se destacan cantidades que refieren una buena calidad del agua, no obstante, el punto ubicado

después de la zona de mezcla, señala concentraciones medias de este tipo de material, refiriendo así una ligera contaminación en el agua de la quebrada en esta parte [22]. Los nutrientes asociados principalmente al Fosforo Total en todos los monitoreos y puntos de muestreo, refieren concentraciones elevadas que pueden llegar a causar eutrofización en el cuerpo hídrico y por tanto la proliferación de biomasa [23].

Finalmente, el contenido de material en suspensión o coloidal del agua en todas las situaciones se evidencian concentraciones bajas tanto de Solidos Suspendidos como de Turbiedad, lo que sugiere condiciones que favorecen la conservación de comunidades acuáticas [22], no obstante, se resaltan los mayores valores en el año 2014.

Lo anterior, permite evidenciar que las condiciones de descenso de la calidad de agua en el cuerpo hídrico Quebrada Arenal, son principalmente ocasionadas por la presencia de nutrientes en el cuerpo hídrico, así como con las cantidades de materia orgánica, en especial en la sección ubicada después de la zona de mezcla de las aguas residuales domésticas.

## 2.2. CALIDAD DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA

Los resultados de calidad de agua residual doméstica, correspondiente a los dos vertimientos procedentes de la población de Junín, los cuales son descargados en la Quebrada El Arenal sin previo tratamiento, se evidencian en la Tabla 8, siendo consignadas las caracterizaciones más recientes que corresponden a los años 2012 y 2013.

Tabla 8. Resultados de las caracterizaciones de los vertimientos residuales domésticos

Parámetros	Unidades	2012		2013	
		Descarga AR sobre quebrada Arenal (Municipio Junín) 1	Descarga AR sobre quebrada Arenal (Municipio Junín) 2	Descarga AR sobre quebrada Arenal (Municipio Junín) 1	Descarga AR sobre quebrada Arenal (Municipio Junín) 2
pH	Unidades	6,55	7,31	6,72	6,63
Temperatura	°C	17,62	16,5	16,2	16,9
Conductividad	µS/cm	--	--	227	285
Oxígeno Disuelto	mg/L	5,25	5,34	3,05	4,18
Caudal	L/s	1,70	0,9	0,362	0,617
		1,71	1,5	0,442	0,659
		1,71	8,7	0,289	0,29
DBO	mg/L	3	83	64	16
		4	32	38	9
		4	35	12	7
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	12	16	140	16
		13	55	28	14
		10	47	26	9

Parámetros	Unidades	2012		2013	
		Descarga AR sobre quebrada Arenal (Municipio Junín) 1	Descarga AR sobre quebrada Arenal (Municipio Junín) 2	Descarga AR sobre quebrada Arenal (Municipio Junín) 1	Descarga AR sobre quebrada Arenal (Municipio Junín) 2
Carga Contaminante DBO	Kg/día	0,541	12,303	1,251	0,514
Carga Contaminante SST	Kg/día	1,720	14,567	2,032	0,625

Fuente: Elaboración propia, 2016

El pH el cual refleja la intensidad de las condiciones acidas o básicas [24], en las dos descargas sugieren características tendientes a la neutralidad, lo que señala la ausencia de ácidos o álcalis fuertes en el agua. Por su parte, la Temperatura se mantiene constante en el tiempo, reflejando la ausencia de descargas calientes al cuerpo hídrico.

La Conductividad, la cual mide la cantidad de iones en el agua, indica una moderada presencia de sales disueltas en el recurso, mientras el Oxígeno Disuelto refiere condiciones considerables teniendo en cuenta la procedencia del agua, es importante resaltar que las concentraciones de este parámetro en el 2013 fueron inferiores a las encontradas en el 2012. En el caso de los nutrientes, las descargas demuestran valores que indican cantidades bajas tratándose de este tipo de aguas, no obstante, pueden llegar afectar las condiciones del cuerpo hídrico receptor.

En relación con los caudales se evidencia una reducción del flujo en los dos vertimientos en el año 2013, mientras las concentraciones tanto de DBO como de SST disminuyen en el vertimiento 2 y aumentan en la descarga 1, no obstante, en general los valores indican cantidades débiles de estas sustancias en el agua [25].

De acuerdo con lo anterior, se aprecian cargas contaminantes moderadas debido a los caudales presentados en los dos monitoreos, indicando en el año 2012 mayores valores en la descarga 2, una situación contraria ocurre con el vertimiento 1, el cual referencia los máximos reportes en el año 2013.

### 2.3. MODELO DE SIMULACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL

Después de evaluar de manera individual los diferentes resultados conseguidos en las caracterizaciones tanto de agua residual domestica como del agua superficial que componen el sistema de la Quebrada El Arenal, se procedió a diseñar el modelo de simulación del cuerpo hídrico teniendo en cuenta las variables mencionadas en la metodología. Este escenario se representa mediante los caudales mínimos con las cargas calculadas, lo cual es adecuado para la toma de decisiones y es representativo pues genera la simulación del caso crítico con las cargas normales de contaminación, los resultados se evidencian en las gráficas posteriores.

En primer lugar, se evidencian los tiempos de viaje, los cuales corresponden a la duración del desplazamiento del agua a través del cauce [23], tendiendo estos al aumento como es de suponer en ríos de montaña. En el caso del flujo que indica la cantidad de agua que pasa por un punto determinado, se observa una disminución a través del cauce, debida a las captaciones, sin embargo, la mayor abstracción de agua se observa en los dos primeros kilómetros de la quebrada, en los cuales se localizan los acueductos San Roque y San Pedro. En cuanto a la velocidad se aprecia un rango relativamente estable en el cuerpo hídrico, asociado al cambio de pendiente y características hidráulicas del mismo.

Por otra parte, la reaireación es el proceso por el cual el oxígeno y demás componentes gaseosos del aire son renovados en la columna de agua, debido al movimiento del río [26]. Según los resultados obtenidos, el modelo señala que el cuerpo hídrico disminuye su tasa de reaireación a una altura de 1,5 kilómetros, pocos metros después de la descarga de Junín 2, no obstante, esta vuelve aumentar.

Lo mencionado anteriormente, se comprueba con el comportamiento de oxígeno disuelto, que, aunque demuestra algunas variaciones entre los 0,75 y 1,25 Kilómetros, en general se encuentra entre 6 mg/L y 8 mg/L, concentraciones necesarias para la supervivencia de las comunidades acuáticas presentes en la Quebrada El Arenal. Así mismo, evidencia la poca perturbación en cuanto a esta variable se refiere.

Asociado a las concentraciones de oxígeno disuelto modelado, se evidencia el comportamiento de la DBO del cuerpo hídrico, indicando en general condiciones buenas en la cabecera que se ven alterados después de las dos descargas, manteniendo después estas condiciones a través del cauce, no obstante, en general, se observa una buena calidad del agua y un bajo contenido de materia orgánica biodegradable [22], lo que sugiere que si bien se modifican los valores de esta variable, el cuerpo hídrico los resiste sin cambiar drásticamente las características del mismo.

Por su parte, la simulación de pH indicó una tendencia al aumento de las concentraciones a través del cauce, sugiriendo después de las descargas, cantidades que indican neutralidad en el cuerpo hídrico [27], después de los 3,25 kilómetros los valores se vuelven estables.

En relación con los resultados de Temperatura, si bien las descargas de aguas residuales no demostraban cantidades que señalen altas temperaturas, según las características del cauce, a medida que el flujo corre, los reportes de esta variable aumentan, aun así, el cambio de temperatura no excede los 2°C, es importante aclarar que esto podría afectar algunas características y reacciones químicas en el cuerpo hídrico, sin embargo, dentro de los parámetros evaluados no se aprecia una relación directa.

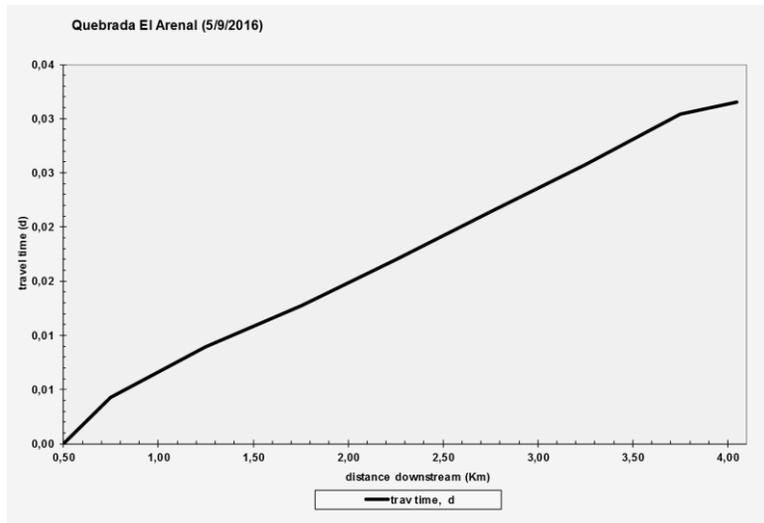


Figura 4. Resultados de tiempo de viaje  
Fuente: Elaboración propia, 2016.

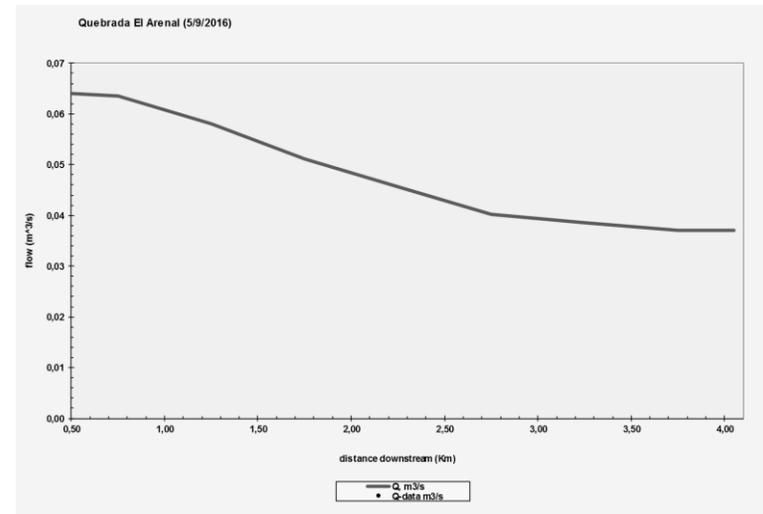


Figura 5. Resultados de flujo  
Fuente: Elaboración propia, 2016.

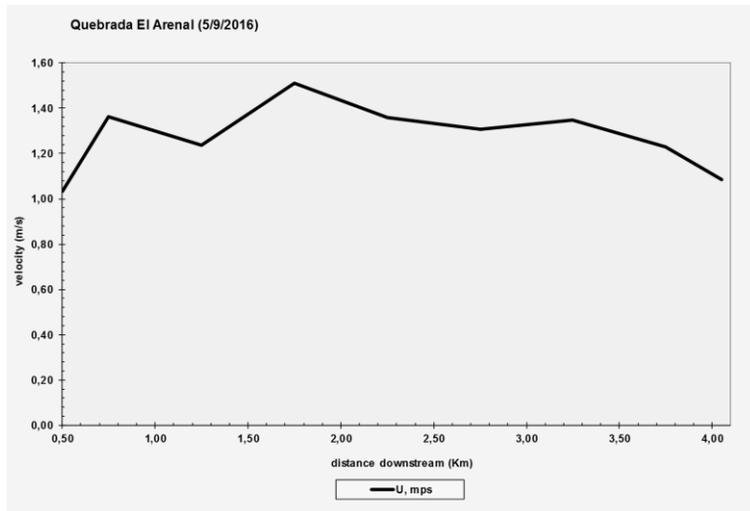


Figura 6. Resultados de velocidad  
Fuente: Elaboración propia, 2016.

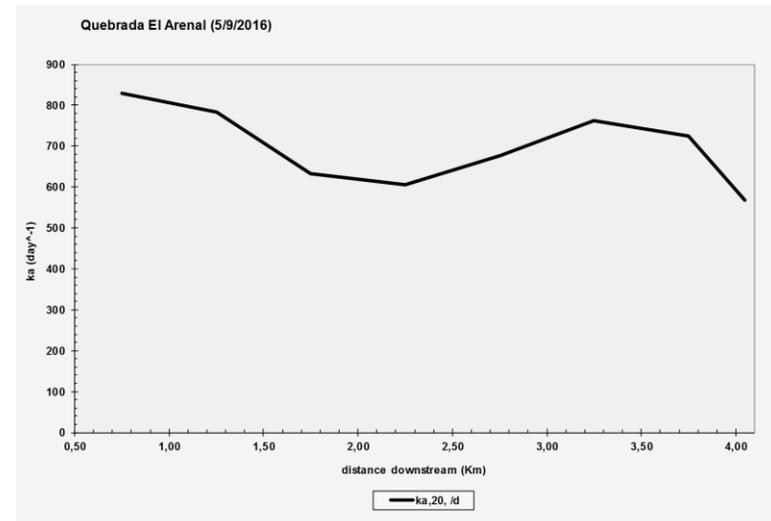


Figura 7. Resultados tasas de reaireación  
Fuente: Elaboración propia, 2016.

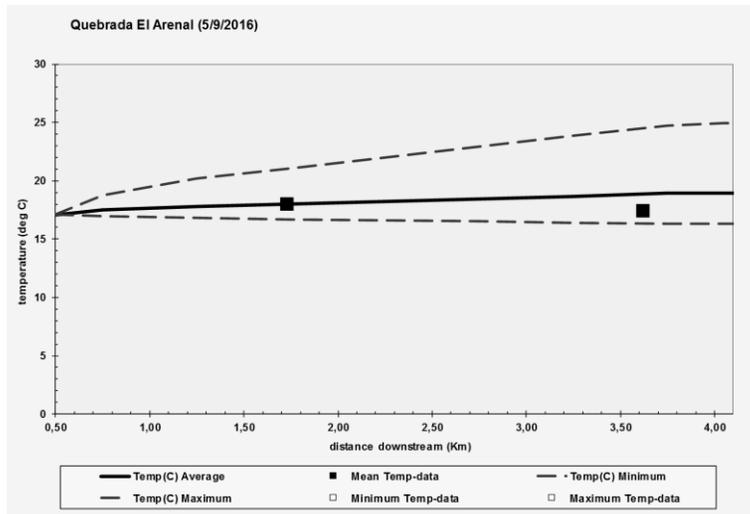


Figura 8. Resultados de Temperatura  
Fuente: Elaboración propia, 2016.

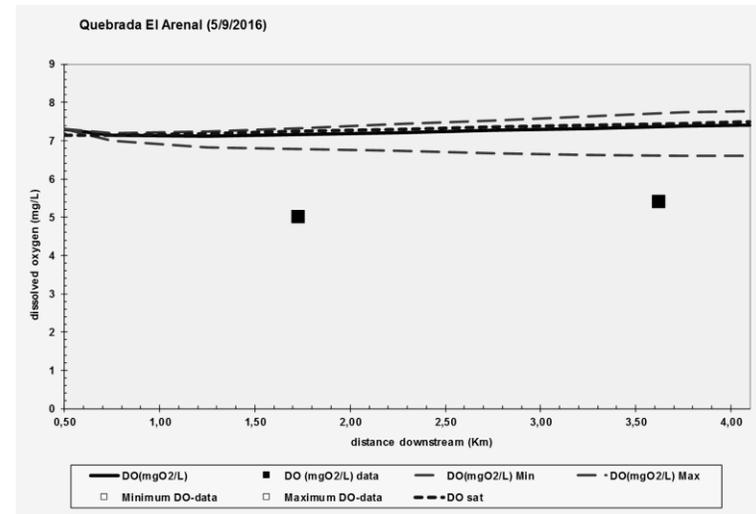


Figura 9. Resultados de Oxígeno Disuelto  
Fuente: Elaboración propia, 2016.

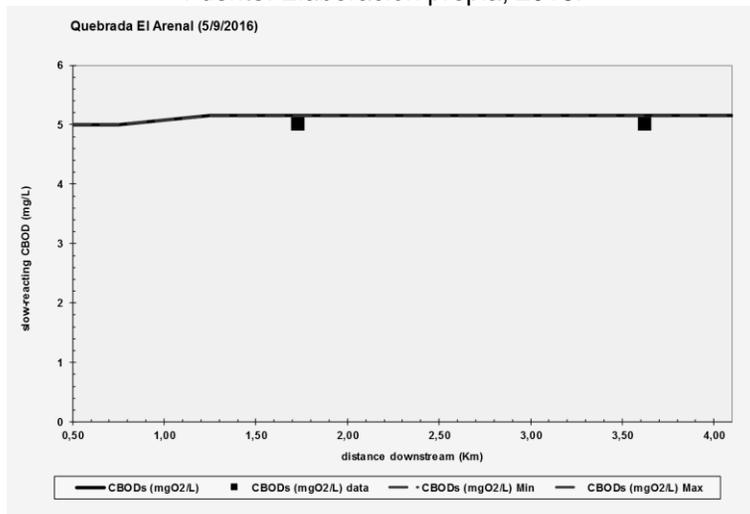


Figura 10. Resultados de DBO  
Fuente: Elaboración propia, 2016.

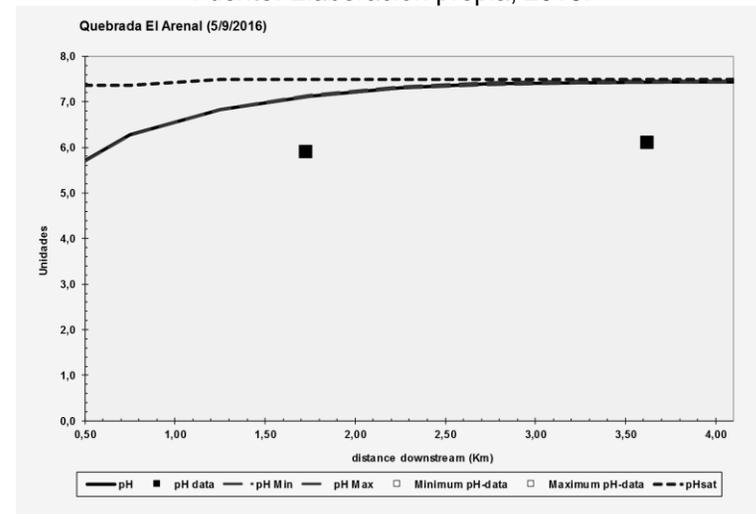


Figura 11. Resultados de pH  
Fuente: Elaboración propia, 2016.

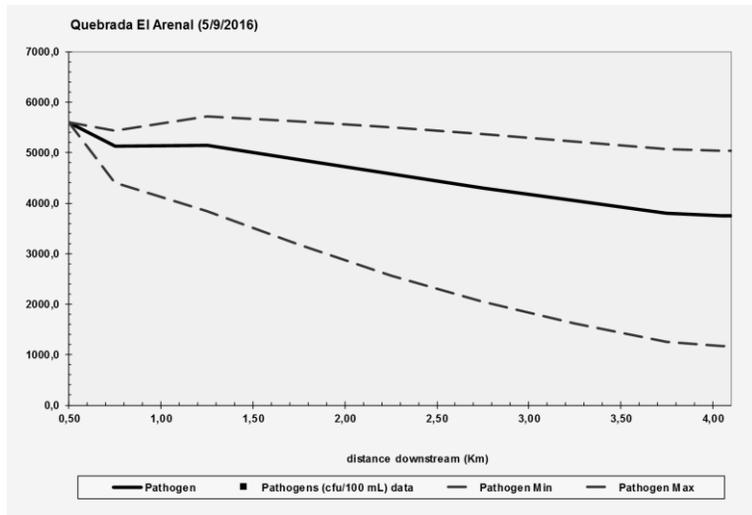


Figura 12. Resultados de patógenos.  
Fuente: Elaboración propia, 2016.

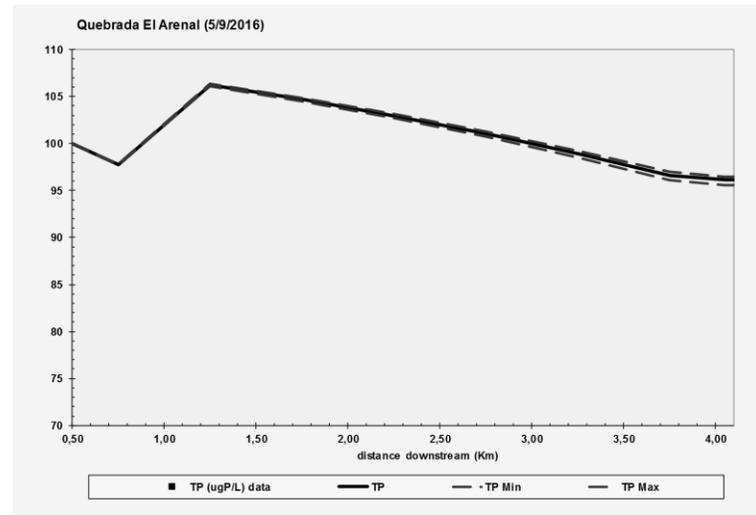


Figura 13. Resultados de Fosforo Total  
Fuente: Elaboración propia, 2016.

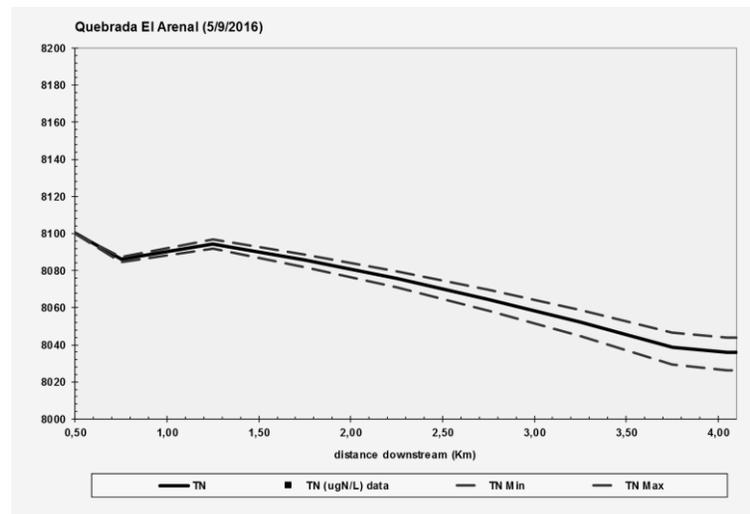


Figura 14. Resultados de Nitrógeno Total  
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Con respecto a los nutrientes presentes en el cuerpo hídrico, el Nitrógeno Total demuestra concentraciones que disminuyen en los primeros 0,5 kilómetros, posteriormente estos aumentan nuevamente debido a las descargas de agua doméstica, luego de esto en la quebrada se presenta una tendencia a la disminución, sin embargo, en general esos incrementos pueden ocasionar proliferación de biomasa debido a que en aguas sin polución el rango típico de este parámetro es de 0,18 a 3 mg/L [27].

Una situación similar ocurre para el Fosforo Total cuyas cantidades simulan el mismo comportamiento que el Nitrógeno Total, demostrando un incremento sustancial entre los 0,75 y 1,75 kilómetros, posteriormente los valores disminuyen progresivamente hasta lograr características similares a las iniciales antes de los 3,5 Kilómetros. Lo anterior, demuestra concentraciones considerables que pueden causar eutrofia en el cuerpo hídrico.

El principal problema de las aguas domesticas del municipio de Junín son los patógenos, representados principalmente por los Coliformes Totales, en el agua superficial la descarga afecta las condiciones microbiológicas, sin embargo, con el recorrido estos disminuyen progresivamente.

Finalmente, la capacidad de autodepuración del agua, la cual depende del medio que recibe la misma, la capacidad de dilución y dinámica del cuerpo receptor, y la presencia de microorganismos [28], evidencia que aunque la cabecera presenta condiciones de Coliformes significativas que afectan el recurso dado el lavado natural de estos por escorrentía, en los recorridos del cauce se logra amortiguar esta condición, así mismo se aprecia la autodepuración de las cargas provenientes de los vertimientos domésticos del municipio de Junín, lo que indica que el crecimiento población bajo de esta región no afecta de manera significativa el recurso hídrico.

### **3. CONCLUSIONES**

Se demostraron divergencias entre los dos métodos escogidos para calcular el índice de calidad de agua (ICA), señalando para el método estadounidense una calidad media del recurso en la mayoría de monitoreos, con excepción de las condiciones buenas encontradas en el año 2010, en tanto el método IDEAM refiere características que oscilan entre una calidad regular y aceptable, observándose los mejores resultados en la zona baja antes de la confluencia con el rio Guavio.

Debido a que, se encontraron diferencias en los resultados obtenidos para el ICA, se hizo necesario analizar de manera detallada los parámetros caracterizados en cada uno de los monitoreos evaluados en época de estiaje, demostrando las mayores perturbaciones en la parte media de la quebrada, aguas abajo de la confluencia de las descargas de agua domestica provenientes del municipio de Junín, así mismo se evidenció el alto contenido de nutrientes en el agua.

En cuanto a los valores encontrados de la caracterización de aguas residuales, se observan condiciones tendientes a la neutralidad, un bajo contenido de iones y sales disueltas en el agua, así como la ausencia de descargas calientes y condiciones normales de oxígeno disuelto teniendo en cuenta el tipo de recurso.

En los dos vertimientos del municipio de Junín, se aprecian flujos bajos, que generan cargas contaminantes moderadas teniendo en cuenta la procedencia del agua, no obstante, se resalta las mayores cargas de DBO y SST en el año 2012 en la descarga 2, una situación contraria ocurre con el vertimiento 1, el cual referencia los máximos reportes en el año 2013.

El modelo de simulación de aguas superficiales de la Quebrada El Arenal, permitió evidenciar la baja afectación de las descargas domésticas provenientes del municipio de Junín, observando así la capacidad de autodepuración del cuerpo hídrico ante las cargas ocasionadas por la población de dicha región, sin embargo, se resalta la mayor perturbación del agua en relación con la presencia de Coliformes Totales y nutrientes.

De acuerdo con la simulación, se evidencian problemas de Coliformes Totales, Nitrógeno Total y Fosforo Total que se localizan desde la cabecera del mismo, viéndose afectada levemente el agua por las descargas, con excepción del Fosforo Total, el cual representa una fuente de entrada que impacta el cuerpo hídrico, volviendo a sus condiciones iniciales antes de llegar a la confluencia con el Río Guavio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. Ojeda, "Informe Nacional sobre la Gestión del Agua en Colombia, Recursos Hídricos," 2000.
- [2] Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo, "Guía Técnica para la formulación de los POMCAS," p. 104, 2014.
- [3] Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo, Guía técnica para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico. 2014.
- [4] DANE, "Censo General 2005," Población y Demogr., pp. 4–7, 2005.
- [5] J. Holguín, "Estudio de actualización del modelo de calidad del agua del río Palo 2011 tramo puente de Guachené – Bocas del Palo," p. 76, 2014.
- [6] IDEAM, Estudio Nacional del Agua. 2015.
- [7] P. Torres, C. H. Cruz, and P. Patiño, "Índices De Calidad De Agua En Fuentes Superficiales Utilizadas En La Producción De Agua Para Consumo Humano. Una Revisión Crítica," Rev. Ing. Univ. Medellín, vol. 8, no. 15, pp. 79–94, 2009.
- [8] Corporación Autónoma Regional del Guavio - CORPOGUAVIO, "Formulación del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico para 12 áreas de drenaje que hacen parte de la cuenca del río Guavio en la jurisdicción de CORPOGUAVIO," J. Chem. Inf. Model., vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2014.
- [9] Corporación Autónoma Regional del Guavio - CORPOGUAVIO, "Diagnostico y plan de ordenamiento y manejo de la cuenca aportante del río guavio, fases diagnostico, prospectiva y formulacion," p. 176, 2011.
- [10] Analquim Ltda, "ANÁLISIS DE CALIDAD Y CANTIDAD DEL RECURSO

HÍDRICO EN TREINTA Y UN ( 31 ) FUENTES HÍDRICAS SUPERFICIALES UBICADAS EN DIEZ Y SEIS ( 16 ) ÁREAS DE DRENAJE DE CORPOGUAVIO , A TRAVÉS DE DOS ( 2 ) CAMPAÑAS DE MONITOREO EN CUARENTA Y SIETE ( 47 ) PUNTOS DE MUES,” 2010.

- [11] Analquim Ltda, “CORPOGUAVIO MONITOREO DE CALIDAD Y CANTIDAD EN CINCUENTA Y SEIS ( 56 ) PUNTOS UBICADOS EN VEINTE ( 20 ) AREAS DE DRENAJE DE LA JURISDICCION DE LA CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL GUAUVIO – CORPOGUAVIO . CONTRATO DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS No . 200-12-7- 4,” 2011.
- [12] Daphnia Ltda, “Informe monitoreo de calidad y cantidad en ochenta y un puntos ubicados en veinte áreas de drenaje de la jurisdicción de CORPOGUAVIO: Municipio de Junin temporada de estiaje,” 2012.
- [13] Anascol S.A, “Caracterización de cuerpos hídricos Junín - Cundinamarca,” 2013.
- [14] N. J. Fernández Parada and F. Solano Ortega, “ÍNDICES DE CALIDAD ( ICAs ) Y DE CONTAMINACIÓN ( ICOs ) DEL AGUA DE IMPORTANCIA MUNDIAL,” Conf. Int. Usos Múltiples del Agua Para la Vida y el Desarro. Sosten., no. III, p. 116, 2013.
- [15] IDEAM, “Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00).,” Sist. Indicadores Ambient. Colomb. - Indicadores Calid. del agua Superf., pp. 1–10, 2015.
- [16] Corporación Autónoma Regional del Guavio - CORPOGUAVIO, “Resolución 253 de 2009.” 2009.
- [17] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, Decreto 3100 de 2003, vol. 2003, no. 45. 2003.
- [18] B. Diaz, “Modelación De La Calidad Del Agua En El Interceptor Río Bogotá En Los Tramos Fucha – Tunjuelo – Canoas,” p. 149, 2004.
- [19] Corporación Autónoma Regional del Guavio - CORPOGUAVIO, “Censo de usuarios área de drenaje Rucio.” 2007.
- [20] S. Chapra, G. Pelletier, and H. Tao, “QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.11: Documentation and Users Manual.,” p. 109, 2008.
- [21] UPRM, “Nutrientes y Gases : Oxigeno Disuelto,” Biol. Massol, pp. 1–15, 2007.
- [22] C. N. del A. de M.- Conagua, “Red de monitoreo de calidad del agua,” 2014.
- [23] G. Ramírez G., Alberto; Viña Vizcaíno, “Limnología colombiana : aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis.” p. 293, 1998.
- [24] C. A. Sierra Ramirez, Calidad del agua. Evaluación y Diagnostico. 2011.
- [25] M. Félez Santafé, “Situación actual del estado de la depuración biológica. Explicación de los métodos y sus fundamentos,” pp. 13–184, 2006.
- [26] J. Rivera, “Evaluation of the kinetics of oxidation and removal of organic matter in the self-purification of a mountain river Evaluación de la cinética de oxidación y remoción de materia orgánica en la autopurificación de un río de montaña,” Dyna, vol. 82, no. 191, pp. 183–193, 2015.
- [27] J. Romero, Calidad del Agua, no. Tercera Edicion. 2009.
- [28] S. Grisolia, “Contaminación de las aguas.,” 2014.