



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ  
MANUEL FÉLIX LÓPEZ  
CARRERA DE MEDIO AMBIENTE**

**INFORME DE TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIA LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MEDIO  
AMBIENTE**

**MODALIDAD:  
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:  
EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DE  
MATERIA ORGÁNICA DEL RÍO CARRIZAL SOBRE LOS  
EFLUENTES DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE CALCETA**

**AUTORES:  
FLORES PINARGOTE JOSÉ ALFREDO  
MENÉNDEZ VERA JESÚS YARDHEL**

**TUTOR:  
Q.F. PATRICIO NOLES AGUILAR, M. SC**

**CALCETA, JULIO DEL 2020**

## DERECHOS DE AUTORÍA

JOSÉ ALFREDO FLORES PINARGOTE Y JESÚS YARDHEL MENÉNDEZ VERA, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.



**JOSÉ A. FLORES PINARGOTE**



**JESÚS Y. MENÉNDEZ VERA**

## CERTIFICACIÓN DE TUTOR

**Q.F. PATRICIO NOLES AGUILAR**, certifica haber tutelado el proyecto **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DEL RÍO CARRIZAL SOBRE LOS EFLUENTES DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE CALCETA**, que ha sido desarrollada por **JOSÉ ALFREDO FLORES PINARGOTE Y JESÚS YARDHEL MENÉNDEZ VERA**, previo a la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.



---

**Q.F. PATRICIO NOLES AGUILAR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DEL RÍO CARRIZAL SOBRE LOS EFLUENTES DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE CALCETA**, que ha sido propuesto, desarrollado por JOSÉ ALFREDO FLORES PINARGOTE Y JESÚS YARDHEL MENÉNDEZ VERA, previa la obtención del título de ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.



Ing. Carlos A. Villafuerte Vélez, Mg. C.A.

**MIEMBRO**



Ing. José M. Giler Molina, M.Sc.

**MIEMBRO**



Ing. Carlos R. Delgado Villafuerte, Mg. C.A.

**PRESIDENTE**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos primordialmente al Ser Supremo por permitirnos la oportunidad de existir y mantenernos sanos, a sus grandes bendiciones que lograron que este sueño se cumpla y realizarnos como profesionales.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López por habernos brindado tantas oportunidades por formarnos con valores que nos permitieron crecer humanamente y enriquecernos en conocimiento profesional día a día.

De manera especial a nuestro tutor de tesis Q.F. Patricio Noles Aguilar por habernos guiado, no solo en la elaboración de este trabajo de titulación, sino a lo largo de nuestra carrera universitaria y habernos brindado el apoyo para desarrollarnos profesionalmente y seguir cultivando nuestros valores.

A nuestros padres, por hacer el esfuerzo y brindarnos la educación para permitir formarnos profesionalmente, por su amor y apoyo incondicional y darnos palabras de aliento para culminar nuestros objetivos en los momentos buenos y malos de nuestra etapa estudiantil, por su ejemplo de superación y la motivación que pusieron en nosotros para cumplir este ansiado sueño de ser profesionales.

**LOS AUTORES**

## DEDICATORIA

Dedico este logro complido especialmente a Dios, por permitirme existir y darme la sabiduría para culminar esta meta tan importante de mi formación como profesional.

A mis padres: Mersy por ser mi inspiración, por su inmenso amor, por creer en mi dándome su cariño incondicionalmente y a José Luis que me educo y me preparo para este gran momento.

A mi hermana que siempre ha estado en los momentos difíciles apoyándome.

A mi esposa Iza por su amor y dedicación que fueron un pilar importante para la culminación de mi carrera. A mis hijos: Thiago que desde el cielo me enseñó que la vida continua y que nunca me dé por vencido y a mi bebé en camino que me motiva a seguir superándome.

A mis familiares y amigos, que de alguna u otra manera me ayudaron incondicionalmente y compartieron los momentos malos y buenos en mi vida profesional.



---

**JOSÉ A. FLORES PINARGOTE**

## DEDICATORIA

Dedico este arduo trabajo a Dios por ser el inspirador por permitirme tener y disfrutar de mi familia y amigos. A mi hermosa Familia por el amor recibido, por la dedicación y paciencia con la que cada día se preocupan mis padres por mi avance y desarrollo de esta tesis. Sin dejar atrás a mi ángel guardián mi abuelo Diógenes por haberme guiado con sus consejos.

A mi gran amigo y compañero de tesis por la paciencia, dedicación y esfuerzo requerido en este arduo trabajo.

Dedico este trabajo al abogado Mendoza por brindarme su apoyo incondicional en la mayor parte de mi carrera Universitaria. A la familia Espinel Pino por su noble corazón por acogerme en su hogar en la etapa más difícil de mi carrera universitaria

.

A todos mis amigos que cooperaron desinteresada en este laborioso recorrido que de manera directa o indirecta me ayudaron a culminar mi carrera universitaria.



---

**JESUS Y. MENENDEZ VERA.**

## CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA .....	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR .....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
DEDICATORIA .....	vii
CONTENIDO GENERAL.....	viii
CONTENIDO DE CUADROS, FIGURAS Y GRÁFICOS .....	xi
RESUMEN .....	xii
PALABRAS CLAVE .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
KEY WORDS .....	xiii
CAPITULO I. ANTECEDENTES .....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	1
1.2. Justificación .....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general .....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Hipótesis .....	3
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Aguas residuales .....	4
2.1.1. Tratamiento de aguas residuales.....	4
2.1.2. Materia orgánica en aguas residuales .....	4
2.1.3. Contaminación en ríos.....	4
2.1.4. Vertido de aguas residuales .....	5
2.2. El río como depurador de aguas residuales .....	5
2.2.1. Capacidad de autodepuración de ríos .....	6
2.3. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) .....	6
2.4. Oxígeno disuelto .....	7
2.4.1. Determinación del oxígeno disuelto .....	8
2.5. Modelos de oxígeno disuelto en ríos.....	8
2.5.1. Modelo simplificado de oxígeno disuelto.....	8
2.5.1.1. Fuentes principales de oxígeno disuelto en los ríos.....	9
2.5.2. Modelo de Streeter y Phelps.....	9
2.5.3. Constante de desoxigenación.....	11



2.5.4. Constante de reoxigenación .....	11
2.5.5. Corrección de constantes cinéticas a temperaturas.....	12
2.5.5.1. Influencia de la temperatura en las tasas de reacción .....	13
2.5.6. Modelo de disminución del oxígeno disuelto.....	13
2.5.7. Concentración saturación de oxígeno disuelto.....	13
2.6. Temperatura .....	14
2.7. Velocidad.....	15
2.8. Caudal hidrológico .....	15
2.8.1. Determinación del caudal .....	16
2.8.2. Balance general.....	17
2.9. Protocolo de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos .....	17
2.9.1. Selección de puntos de monitoreo en ríos. ....	18
2.9.2. Frecuencia del monitoreo .....	18
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	20
3.1. Descripción de la zona de estudio .....	20
3.1.1. Ubicación.....	20
3.2. Duración del trabajo.....	21
3.3. Tipo de investigación .....	21
3.4. Variables en estudio .....	21
3.4.1. Variable independiente .....	21
3.4.2. Variable dependiente .....	21
3.5. Procedimiento.....	21
3.5.1. Fase 1: Diagnóstico de la zona de estudio para establecer puntos de muestreo .....	22
3.5.1.1. Actividad 1.1: Reconocimiento de la zona de estudio .....	22
3.5.1.2. Actividad 1.2: Establecimiento de los puntos de muestreo.....	22
3.5.1.3. Actividad 1.3: Georreferenciación de la zona de muestreo .....	23
3.5.2. Fase 2: Determinación de los parámetros físico-químicos (DBO <sub>5</sub> , oxígeno disuelto, ph, temperatura y caudal) en el río Carrizal del cantón Bolívar .....	23
3.5.2.1. Actividad 2.1: Toma de los parámetros en el agua .....	23
3.5.2.2. Actividad 2.2: Ejecución de los parámetros de campo (OD, pH, temperatura y caudal).....	24
3.5.2.3. Actividad 2.3: Realización de los análisis de DBO <sub>5</sub> en el laboratorio de química ambiental de la ESPAM MFL.....	24
3.5.3. Fase 3: Realización del modelado de la capacidad autodepurativa del río Carrizal a través de un modelo matemático.....	25
3.5.3.1. Actividad 3.1: Tabulación de datos .....	25

3.5.3.2. Actividad 3.2: Modelización de datos .....	25
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
4.1. Diagnóstico de la zona de estudio para establecer puntos de muestreo	27
4.2. Determinación de los parámetros físico-químicos (DBO <sub>5</sub> , oxígeno disuelto, ph, temperatura y caudal) en el río Carrizal del cantón Bolívar .....	29
4.2.1. Demanda bioquímica de oxígeno .....	29
4.2.2. P.h.....	30
4.2.3. Oxígeno disuelto.....	32
4.2.4. Caudal.....	34
4.2.5. Temperatura .....	36
4.2.6. Valores promedios de la época de estiaje en los puntos de muestreo complementarios .....	38
4.3. Realización del modelado de la capacidad autodepurativa del río Carrizal a través de un modelo matemático .....	40
4.3.1. Comportamiento de oxígeno disuelto y materia orgánica en el monitoreo del mes de septiembre.....	44
4.3.1.1. Porcentaje de remoción de materia orgánica según el modelo matemático Streeter and Phelps del mes de septiembre .....	46
4.3.2. Comportamiento de oxígeno disuelto y materia orgánica en el monitoreo del mes de octubre .....	47
4.3.2.1. Porcentaje de remoción de materia orgánica según el modelo matemático Streeter and Phelps del mes de octubre.....	48
4.3.3. Comportamiento de oxígeno disuelto y materia orgánica en el monitoreo del mes de noviembre.....	49
4.3.3.1. Porcentaje de remoción de materia orgánica según el modelo matemático Streeter and Phelps del mes de noviembre.....	51
4.3.4. Comportamiento de oxígeno disuelto y materia orgánica en la época de estiaje .....	52
4.3.4.1. Porcentaje de remoción de materia orgánica según el modelo matemático Streeter and Phelps de la época seca o de estiaje.....	53
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	55
5.1 Conclusiones .....	55
5.2. Recomendaciones .....	56
BIBLIOGRAFÍA.....	57
ANEXOS.....	63

## CONTENIDO DE CUADROS, FIGURAS Y GRÁFICOS

### CONTENIDO DE CUADROS

<b>Cuadro 2.1.</b> Constantes de reoxigenación según el río .....	12
<b>Cuadro 2.2.</b> Concentración de saturación de OD según la temperatura .....	14
<b>Cuadro 4.1.</b> Puntos de muestreo base .....	27
<b>Cuadro 4.2.</b> Puntos de muestreo complementarios .....	28
<b>Cuadro 4.3.</b> Valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) del río Carrizal en mg/l.....	29
<b>Cuadro 4.4.</b> Valores del pH en puntos de monitoreo principales .....	31
<b>Cuadro 4.5.</b> Valores del oxígeno disuelto en el río Carrizal en mg/l.....	33
<b>Cuadro 4.6.</b> Valores de los caudales en el río Carrizal en m <sup>3</sup> /s. ....	35
<b>Cuadro 4.7.</b> Valores de temperatura (°C) en el agua del río Carrizal .....	37
<b>Cuadro 4.8.</b> Valores de parámetros físico-químicos en puntos complementarios .....	38
<b>Cuadro 4.9.</b> Valores de la semana 1 en puntos bases .....	40
<b>Cuadro 4.10.</b> Resultados de datos en el punto de mezcla de semana 1 .....	41
<b>Cuadro 4.11.</b> Modelación de datos para el mes de septiembre .....	44
<b>Cuadro 4.12.</b> Modelación de datos para el mes de octubre .....	47
<b>Cuadro 4.13.</b> Modelación de datos para el mes de noviembre .....	49
<b>Cuadro 4.14.</b> Modelación de datos en época de estiaje .....	52

### CONTENIDO DE FIGURAS

<b>Figura 3.1.</b> Zona de estudio.....	20
<b>Figura 4.1.</b> Puntos de muestreos base en el río Carrizal .....	27

### CONTENIDO DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 4.1.</b> Promedios mensuales de DBO en el río Carrizal .....	30
<b>Gráfico 4.2.</b> Promedios mensuales de pH en el río Carrizal .....	32
<b>Gráfico 4.3.</b> Promedios mensuales de OD en el río Carrizal .....	34
<b>Gráfico 4.4.</b> Promedios mensuales de caudal en el río Carrizal .....	36
<b>Gráfico 4.5.</b> Valores temperatura (°C) promedios mensuales en el agua del río Carrizal .....	37
<b>Gráfico 4.6.</b> Valores físico-químicos promediados mensuales en puntos complementarios.....	39
<b>Gráfico 4.7.</b> Modelación promedio para el mes de septiembre.....	45
<b>Gráfico 4.8.</b> Modelación promedio para el mes de octubre .....	48
<b>Gráfico 4.9.</b> Modelación promedio para el mes de noviembre.....	50
<b>Gráfico 4.10.</b> Modelación promedio para la época de estiaje .....	53

## **RESUMEN**

En el presente trabajo de investigación ayudó a identificar la forma más fiel posible a la realidad un problema al río Carrizal, en especial a aquellas personas que utilizan el recurso hídrico para sus actividades cotidianas. La capacidad de autodepuración es uno de los factores que influye en la calidad de agua del río Carrizal. Para ello se realizaron varios monitoreos de parámetros físicos químicos como caudal, pH, temperatura, Oxígeno disuelto y materia Orgánica. El monitoreo se realizó de acuerdo al Protocolo de Monitoreo de los Recursos Hídricos del Perú donde se tomaron 4 puntos después de la descarga, el punto de descarga y un punto blanco como referencia en la época de estiaje del 2019 en los meses de (septiembre, octubre y noviembre). Para definir estos puntos de monitoreo se realizó un recorrido primario de la zona estudio y con el software ArcGis v10.4.1 se pudo realizar un mapa georreferenciado. Los monitoreos se los realizaron en la época de estiaje. En el laboratorio de química ambiental de la ESPAM MFL se realizó las muestras de materia orgánica y el resto de los parámetros se los realizaron con la ayuda de instrumentos como potenciómetro y oxímetro. Una vez concluida la tabulación se procedió a ingresar los datos al software de Excel v14.0 con el modelo Stretter-Phelps el cual proyectó que el río Carrizal removió el 23,76% de materia orgánica, desde el punto de mezcla con la descarga hasta los 9000 metros con una disminución de 7,28 mg/l a 5,52 mg/l.

## **PALABRAS CLAVE**

Autodepuración, Oxígeno disuelto, estiaje, Streeter and Phelps.

## **ABSTRACT**

This research work helped to identify the problem as true to reality as possible which is a problem for the Carrizal River, especially for those who use the water resource for their daily activities. The self-purification capacity is one of the factors that influences the water quality of the Carrizal River. To do this, various physical chemical parameters such as flow, pH, temperature, dissolved oxygen and organic matter were carried out. The monitoring was carried out according to the Monitoring Protocol of the Water Resources of Peru where 4 points were taken after the discharge, the point of discharge and a white point as a reference in the dry season of 2019 in the months of (September, October and November). To define these monitoring points, a primary tour of the study area was made and with the ArcGis v10.4.1 software, a georeferenced map could be made. The monitoring was done in dry season. Samples of organic matter were carried out in the environmental chemistry laboratory of ESPAM MFL and the rest of the parameters were carried out with the help of instruments such as potentiometer and oximeter. Once the tabulation was completed, the data was entered into the Excel v14.0 software with the Streeter-Phelps model, which projected that the Carrizal river removed 23,76% of organic matter, from the mixing point with the discharge to the 9000 meters with a decrease of 7,28 mg / l to 5,52 mg / l.

## **KEY WORDS**

Self-purification, Dissolved oxygen, sewage, Streeter and Phelps

# **CAPITULO I. ANTECEDENTES**

## **1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Alrededor de 25% de los ríos de América Latina están severamente contaminados con agentes patógenos, relacionados principalmente con desechos cloacales no tratados. Hasta 25 millones de personas corren riesgo de contraer enfermedades relacionadas con la contaminación (Ambrus, 2016). En el Ecuador cuatro Ríos están gravemente contaminados "Machángara, Guayllabamba, Esmeraldas y Guayas" algunos de ellos tienen tramos declarados biológicamente muertos (El Universo, 2009).

En muchas partes del mundo, el vertido de sustancias antropogénicas de agua no tratada o subtratada se ha convertido en el responsable de muchas enfermedades y problemas de salud. La carga contaminante del agua residual está conformada de materia orgánica, inorgánica y microorganismos; Las aguas residuales urbanas, sin residuos industriales, presentan grandes cantidades de materia orgánica (Suárez, 2008).

Actualmente las descargas de agua residuales han aumentado exponencialmente debido al crecimiento de la población, por lo general las aguas residuales tienen grandes cargas de materia orgánica lo que provoca la eutrofización que afecta a la calidad de las aguas, ya que al aumentar la podredumbre y agotarse el oxígeno las aguas dejan de ser aptas para la mayor parte de los seres vivos. El resultado final es un ecosistema casi destruido (IAGUA, 2017).

Los ríos pueden asimilar cierta cantidad de residuos antes de que los efectos negativos de la contaminación sean apreciables. En líneas generales, cuanto más caudalosos, rápidos y más aislados estén los cursos de agua y no hayan sido utilizados, más capaces son de tolerar una cantidad mayor de aguas residuales; pero una cantidad excesiva de cualquier tipo de contaminante produce daños a todo el sistema de tal manera que afecta la flora la fauna producción agrícola incluso zonas costeras (Gil, Soto, Usma, & Gutiérrez, 2012).

De acuerdo con los problemas mencionados de que los altos contenidos de materia orgánica en los ríos son causantes de ocasionar impactos ambientales que afectan a la calidad de las aguas, se plantea la siguiente interrogante:

¿Cuál será la capacidad de autodepuración de materia orgánica en el río Carrizal ocasionado por la descarga de aguas residuales de la laguna de oxidación en la ciudad de Calceta?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

El estudio de la capacidad de autodepuración de materia orgánica del río Carrizal establece un gran aporte a la disposición de información de carácter ambiental y favorecerá a su diagnóstico, por lo cual aportará a la sustentabilidad de los ecosistemas y a la priorización del consumo y aprovechamiento del agua; esto en relación con lo establecido por La Constitución de la República del Ecuador (2008) en su Art. 12 “El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.”

Art. 411.- “El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua”.

Debido a que el 80 % de aguas residuales se vierte en vías fluviales sin ningún tratamiento adecuado, es necesario llevar a cabo esta investigación que favorecerá en la protección y el cuidado de las reservas de líquido vital de los ecosistemas frágiles y amenazados y de esta manera cumplir con lo establecido en el Plan Nacional de Desarrollo (2017-2021) en su Objetivo 3: “Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones”. En la actualidad en el cantón Bolívar no se conocen datos acerca de la capacidad de autodepuración del río Carrizal, por lo que se propone en la presente investigación implementar un sistema de modelamiento ambiental que permita

valorar el verdadero porcentaje de remoción de materia orgánica del río y además de identificar cuáles son los puntos críticos de concentración de materia orgánica en función de las descargas de la laguna de oxidación y así favorecer a la conservación de los ecosistemas y el buen funcionamiento de plantas que se han adecuado a estos.

Llevar a cabo esta investigación, permitirá evaluar el estado actual de la contaminación por materia orgánica en el río Carrizal, ya que este afluente es el principal recurso para la captación y tratamiento del agua de la planta potabilizadora la Estancilla la cual es la principal fuente de agua potable de 5 cantones en la provincia de Manabí, lo que favorecería a la importancia de la calidad para la protección de la salud y del medio ambiente.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la capacidad de autodepuración de materia orgánica del río Carrizal sobre los efluentes de la laguna de oxidación de Calceta.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Diagnosticar la zona de estudio para establecer puntos de muestreo.
- b) Determinar los parámetros físico-químicos ( $DBO_5$ , oxígeno disuelto, temperatura, pH y caudal) en el río Carrizal del cantón Bolívar.
- c) Realizar el modelado de la capacidad autodepurativa del río Carrizal a través de un modelo matemático.

### **1.4. HIPÓTESIS**

El río Carrizal posee una capacidad de autodepuración del 80% de materia orgánica en una distancia de 9 km frente a los efluentes de la laguna de oxidación de la ciudad de Calceta.



## **CAPITULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. AGUAS RESIDUALES**

Espigares & Pérez (2014) afirman que las aguas residuales constituyen un gran peligro debido al uso incorrecto de las mismas realizado por el hombre, son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por las distintas actividades humanas y que por sus componentes y su mala calidad necesitan de un tratamiento previo, para poder ser reusadas, debido a que cuentan con una gran cantidad de sustancias y microorganismos, los cuales provocan un impacto negativo al ambiente.

#### **2.1.1. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Belzona (2014) menciona que existen tres tipos, el tratamiento primario es en cual las aguas residuales son transportadas desde las viviendas y actividades comerciales hacia la planta de tratamiento a través de los desagües sanitarios. El tratamiento secundario consiste en ayudar a que se perfeccione el proceso de eliminación de partículas contaminantes, de tal modo que se evacúe el 90% de éstas. Por otro lado, el tratamiento terciario higieniza las aguas de contaminantes concretos como: compuestos orgánicos, metales pesados, fósforo, etc.

#### **2.1.2. MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES**

La presencia de contaminantes orgánicos en el agua altera la composición natural de la misma, y dan como resultado la disminución de oxígeno, esto resulta de la degradación biológica de los compuestos (Raffo & Ruiz, 2014).

#### **2.1.3. CONTAMINACIÓN EN RÍOS**

De acuerdo con Escobar & Moreno (2016) la variación ocasionada por la presencia de agentes contaminantes en los ríos provoca graves daños, debido a que éstos drenan al mar, por lo consecuente afectan a los ecosistemas marinos y a sus ambientes asociados. Dicho acontecimiento es causado debido a la deflación o al aumento de nutrientes, sedimentos y contaminantes, los cuales inducen alteraciones que afligen principalmente los estuarios, golfos y otros cuerpos acuáticos que cuentan con limitada renovación y movimiento.

### **2.1.4. VERTIDO DE AGUAS RESIDUALES**

Los vertidos de aguas residuales alteran la composición natural de medio, suponen la entrada de materia orgánica, inorgánica y microorganismos en el río, éstos tienen cierta capacidad de asimilación de contaminantes antes de que sean estimables efectos negativos. La mayor capacidad la poseen los ríos caudalosos, rápidos y bien conservados (Sánchez D. , 2006).

### **2.2. EL RÍO COMO DEPURADOR DE AGUAS RESIDUALES**

Los ríos pueden ser designados como un sistema natural de purificación ya que son capaces de excluir las sustancias contaminantes presentes, y recuperar progresivamente su pureza inicial mediante mecanismos del medio natural sin requerir utilización de un aditivo químico durante su proceso (Valencia, 2013).

- a) **ZONA DE DESCOMPOSICIÓN.** - De acuerdo con Sánchez (2006) es una zona inmediata a la incorporación de las aguas contaminadas al río, cuentan con un dominante número de concentraciones de contaminantes. Se caracteriza porque en ella se desvanecen peces y algas mientras que en el fango surgen gusanos tubíficados, hongos y protozoos ciliados. En esta zona existen peces que se nutren de materia orgánica y demandan de poco oxígeno.
- b) **ZONA DE DESCOMPOSICIÓN ACTIVA.** - La zona de descomposición activa cuenta con niveles mínimos de oxígeno disuelto, se define por la carencia de peces y existencia de espumas en la parte más superficial. Emanan gases como metano, hidrógeno, y ácido sulfhídrico debido a que los organismos delegados de la descomposición orgánica se ocupan activamente del proceso (Sánchez, 2006).
- c) **ZONA DE RECUPERACIÓN.** - Sánchez (2006) afirma que en esta etapa se aprecia un líquido más claro, y a su vez un aumento del oxígeno. Existe una reaparición de la vida acuática macroscópica y de algas. En esta zona los peces son resistentes y es posible encontrar nitratos, sulfatos y carbonatos.

- d) **ZONA DE AGUA LIMPIA.** - El oxígeno disuelto se halla cercano a saturación y existe una corriente natural. Ahora los peces son útiles para la pesca, aunque puede persistir la existencia de bacterias patógenas resistentes y compuestos metálicos no alterados por los procesos bioquímicos existentes (Sánchez, 2006).

### **2.2.1. CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DE RÍOS**

Los ríos poseen la capacidad de auto depurarse, proceso que es ejecutado debido al dominante número de microorganismos de múltiples especies, tanto animal como vegetales existentes en el mismo, las cuales a su vez manipulan y mineralizan las sustancias orgánicas contribuidas por los vertidos (Molero, Saez, & Soler, 2009).

Por otra parte, Mocoroa (2013) señala que existen diversos factores que actúan en la capacidad de autodepuración de un río, entre los cuales menciona:

- a) El caudal, que establece la dilución del contaminante durante el recorrido en el río.
- b) Temperatura.
- c) Tipo de contaminante y la cantidad.
- d) Caudal de las descargas.

### **2.3. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO<sub>5</sub>)**

Del Ángel (2014) menciona que es un análisis de tipo biológico, el cual mide el oxígeno molecular utilizado por los microorganismos para lograr degradar la materia orgánica, asumiendo así una duración de cinco días.

Zabaleta (2016) expresa que para calcular el porcentaje de remoción de la materia orgánica se deben obtener los parámetros de entrada y salida de las DBO<sub>5</sub> en el río el cual plantea la ecuación 2.1, esto certificado por (Muñoz & Reyes, 2013).

$$e = \frac{DBO_5(entrada) - DBO_5(salida)}{DBO_5(entrada)} * 100 \quad [2.1]$$

Para poder estimar la  $DBO_5$  en un punto, la ecuación 2.2 indica la demanda biológica de oxígeno está sujeta a un proceso de reacción de primer orden (Chapra, 1997).

$$DBO = L_0 * e^{(-kd * \frac{x}{V})} \quad [2.2]$$

Dónde:

DBO = Demanda Biológica de Oxígeno mg/l

$L_0$  = DBO inicial en la mezcla en mg/l

$kd$  = constante de desoxigenación,  $d^{-1}$

$X$  = distancia en metros

$V$  = velocidad en m/d

## 2.4. OXÍGENO DISUELTO

En la ingeniería ambiental uno de los factores con más relevancia es la determinación del oxígeno disuelto, ya que por medio de este factor se determina la presencia de condiciones anaeróbicas o aeróbicas provocadas por microorganismos en un entorno determinado. La determinación de este factor sirve como referencia para calcular otros factores como la  $DBO_5$ , las tasas de aireación y la aerobividad en los procesos de tratamiento, aeróbico y sus niveles de contaminación de los ríos (Romero, 2004).

Este parámetro, es inevitable para los microorganismos aeróbicos en sus procesos de oxidación, igualmente para distintas formas de vida. El oxígeno disuelto impide la formación de malos olores que pueden presentarse en las aguas residuales. Para admitir una buena digestión aeróbica es ansiado y provechoso disponer de los niveles suficientes de oxígeno disuelto en las aguas (Metcalf y Eddy, 1996).

De otra manera Goyenola (2007) afirma la producción de OD en el agua está asociada a diversos factores, como la fotosíntesis ya que en la noche las plantas acuáticas no producen oxígeno para incorporar al agua; y por medio del intercambio de oxígeno con la atmosfera a través de difusión o mezcla turbulenta; mientras que el consumo lo relaciona con la respiración, descomposición de sustancias orgánicas y diferentes reacciones químicas.

### 2.4.1. DETERMINACIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO

EL OD se puede expresar de dos formas: por medio de porcentaje de saturación (%) que se enuncia como el porcentaje de la concentración de saturación para una temperatura determinada; o a través de miligramos por litro (mg/L) que manifiesta la masa de oxígeno por litro de agua (Goyenola, 2007).

- a) Procedimiento:** Para la determinación del OD se realiza tomando la muestra en un recipiente que permanezca perfectamente sellado y sin la existencia de aire. Luego en el instante de establecer los niveles de OD el material de análisis se debe hallar a temperatura ambiente. Posteriormente con el instrumento de medida (oxímetro) se realizan las mediciones correspondientes (Villacis, 2011).

## 2.5. MODELOS DE OXÍGENO DISUELTO EN RÍOS

### 2.5.1. MODELO SIMPLIFICADO DE OXÍGENO DISUELTO

De acuerdo a Sánchez (2006) este modelo se caracteriza por no estar sometido a mareas, por tener un caudal constante y carecer de sumideros o fuentes. En este se estudia la evolución del OD en una corriente de agua sometida a vertidos, por medio de la ecuación 2.3 del modelo teórico general.

$$0 = -U + \frac{dC}{dx} + R(C) \quad [2.3]$$

En dónde:

R(C)= variación por reacción

0 = Si el contaminante es no reactivo.

U = velocidad media

$dC$  = degradación del contaminante

$dX$  = coeficiente de reaireación

### 2.5.1.1. FUENTES PRINCIPALES DE OXÍGENO DISUELTO EN LOS RÍOS

Sánchez (2006) menciona que es complicado caracterizar la contaminación de un río, debido a que existen diferentes efectos que producen los variados tipos de contaminantes sobre las aguas. Sin embargo, existe un contaminante que sobresale y el cual es considerado como el más significativo sobre el sistema acuático, es conocida como materia orgánica. Lo que ocasiona graves problemas en todo el ecosistema acuático, es la fuerte demanda de oxígeno disuelto para la oxidación de materia orgánica como inorgánica.

### 2.5.2. MODELO DE STREETER Y PHELPS

De acuerdo a Sánchez (2006) este modelo es ventajoso para la determinación de las condiciones más perjudiciales que ocasionan el valor más alto del déficit de OD, el cual es definido como un déficit crítico.

El modelo matemático planteado por Streeter and Phelps (1925) consiste en la relación de los dos mecanismos principales como la descomposición de la materia orgánica y la reaireación de oxígeno, los cuales determinan el oxígeno disuelto en los ríos (ecuación 2.4). Para su desarrollo consta de parámetros hidráulicos determinados en campo como el área, la profundidad, velocidad y caudal de un río; y de datos de la calidad del agua como temperatura,  $DBO_5$  y OD (Cajas, 2015). El modelo presenta una serie de ecuaciones que determinaran el déficit de oxígeno en el río.

$$D = D_o * e^{-k_2 * \frac{x}{V}} + \frac{k_1 * L_o}{k_2 - k_1} (e^{-k_1 * \frac{x}{V}} - e^{-k_2 * \frac{x}{V}}) \quad [2.4]$$

En dónde:

$D$  = déficit de oxígeno disuelto en mg/l

$L_o$  =  $DBO$  inicial en la mezcla en mg/l

$D_o$  = déficit inicial de oxígeno disuelto

$k_1$  = constante de desoxigenación,  $d^{-1}$

$k_2$  = constante de reaireación,  $d^{-1}$

$x$  = distancia en metros

$V$  = velocidad media en m/d

Para Chapra (1997) a través de las ecuaciones del modelo clásico de Streeter and Phelps se puede establecer diferentes situaciones en el río, como el punto crítico relacionado a la distancia sobre el vertido puntual, se debe establecer el tiempo crítico en días, el cual se determina mediante la ecuación 2.5:

$$t_c = \frac{1}{(k_a - k_d)} * \ln \left\{ \frac{k_a}{k_d} \left[ 1 - \frac{D_o(k_a - k_d)}{k_d * L_o} \right] \right\} \quad [2.5]$$

En dónde:

$t_c$  = tiempo crítico en días

$L_o$  = DBO inicial en la mezcla en mg/l

$D_o$  = déficit inicial de oxígeno disuelto mg/l

$k_d$  = constante de desoxigenación,  $d^{-1}$

$k_a$  = constante de reaireación,  $d^{-1}$

La distancia crítica estaría representada por la ecuación 2.6:

$$X_c = V * t_c \quad [2.6]$$

Dónde:

$X_c$  = distancia crítica en metros

$V$  = velocidad media del río en m/d

$t_c$  = tiempo crítico en días

El déficit de oxígeno en el punto crítico se determinará mediante la ecuación 2.7:

$$D_c = \frac{k_d}{k_a} L_o e^{-k_d * t_c} \quad [2.7]$$

Dónde:

$D_c$  = déficit crítico de oxígeno disuelto

$L_o$  = DBO inicial en la mezcla en mg/l

$k_d$  = constante de desoxigenación,  $d^{-1}$

$k_a$  = constante de reaireación,  $d^{-1}$

$t_c$  = tiempo crítico en días

El oxígeno disuelto crítico se establece mediante la ecuación 2.8:

$$OD_c = O_s - D_c \quad [2.8]$$

Dónde:

$OD_c$  = oxígeno disuelto crítico en mg/l

$O_s$  = oxígeno de saturación a temperatura en mg/l

$D_c$  = déficit crítico en mg/l

### 2.5.3. CONSTANTE DE DESOXIGENACIÓN

Altamirano y Alvarado (2013) menciona que en el momento en el que ingresa la materia orgánica en el agua, comienza u biodegradación, proliferando las bacterias sobre el sustrato orgánico, utilizando el oxígeno disuelto en el agua para su metabolización, lo que da como resultado una disminución de la concentración de oxígeno disuelto desde la saturación.

Chapra (1997) establece a la constante de desoxigenación como una constante cinética de primer orden para el consumo de oxígeno, relacionando  $k_d$  a 20°C con la profundidad del río se representa mediante la ecuación 2.9:

$$k_d = 0,3 * \left(\frac{H}{8}\right)^{-0,434} \quad \text{para: } \leq H \leq 2,4 \quad [2.9]$$

Dónde:

$k_d$  = constante de desoxigenación,  $d^{-1}$

$H$  = profundidad promedio del río en metros

### 2.5.4. CONSTANTE DE REOXIGENACIÓN

De acuerdo con Valdez & Vázquez (2003) esta constante depende de las condiciones particulares del río, una corriente rápida y poco profunda tendrá una



constante de reoxigenación mayor que una lenta y profunda. Se puede calcular mediante la ecuación 2.10:

$$k_a = \frac{3,9v^{0,5}}{H^{1,5}} \quad [2.10]$$

Dónde:

$k_a$  = Constante de reoxigenación a 20 °C, día<sup>-1</sup>.

$V$  = Velocidad medida de la corriente, m /d.

$H$  = Profundidad media de la corriente, m.

Por otra parte, Rowe y Tchobanoglous (1985) establecieron valores comunes para constantes de reoxigenación dependiendo de las características de la corriente del río el cual se muestra en el cuadro 2.1:

**Cuadro 2.1.** Constantes de reoxigenación según el río

Cuerpo de agua	$K_a$ a 20 °C, d <sup>-1</sup>
Pequeños estanques y agua en reposo	0,10 - 0,23
Ríos muy lentos y lagos	0,23 - 0,35
Ríos largos de velocidad baja	0,35 - 0,46
Ríos largos de velocidad moderada	0,46 - 0,69
Ríos rápidos	0,69 - 1,15
Rabiones y cascadas	> 1,15

Fuente: (Rowe y Tchobanoglous, 1985).

### 2.5.5. CORRECCIÓN DE CONSTANTES CINÉTICAS A TEMPERATURAS.

Sánchez (2006) señala la variación de las tasas de reacción con la temperatura viene expresada por la ecuación 2.11 de Van Hoff-Arrhenius:

$$K^T = K^{20} \cdot \theta^{(T-20)} \quad [2.11]$$

Dónde:

$K^T$  = Constante corregida a temperatura

$k^{20}$  = Constante a 20°C

$\theta$  = Coeficiente de corrección

### 2.5.5.1. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LAS TASAS DE REACCIÓN

- $K_d$  el coeficiente de temperatura  $\Theta$  varía entre 1,010 y 1,060 pero normalmente se utiliza el valor de 1,047. Un valor de  $\Theta = 1,047$  enseña que la velocidad de oxidación asciende un 4,7% por cada grado de temperatura.
- $K_a$  suele considerarse un valor de  $\Theta = 1,024$ . La Temperatura afecta al coeficiente de reaireación  $k_a$  como al valor de la concentración del OD en saturación (Sánchez, 2006).

### 2.5.6. MODELO DE DISMINUCIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO.

Altamirano y Alvarado (2013) menciona que este modelo permite estimar el grado de tratamiento que requiere un agua residual, una forma de calcularse es la de dilución necesaria para mantener una concentración determinada de oxígeno disuelto en la corriente.

Esta disminución oxígeno disuelto puede ser evaluada con la ecuación 2.12:

$$O = O_s - D_o \quad [2.12]$$

Dónde:

$O$  = Concentración de oxígeno disuelto en el agua en mg/l

$D_o$  = Déficit inicial de concentración de oxígeno disuelto mg/l

$O_s$  = Concentración de oxígeno disuelto a saturación en mg/l

### 2.5.7. CONCENTRACIÓN SATURACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO

De acuerdo con Goyenola (2007) de la misma manera en que se genera también se consume oxígeno en el agua. La concentración total de oxígeno disuelto dependerá del equilibrio entre la respiración, descomposición de sustancias orgánicas y otras reacciones químicas. Si la cantidad de oxígeno consumido es más elevada que la cantidad que se produce y se absorbe en el sistema, el tenor de OD caerá, perturbando así la vida de muchos organismos.

Metcalf & Eddy (1996) mencionan que existen varias metodologías para determinar el oxígeno disuelto de saturación, entre ellas algunas como la Ley de

Henry o también plantea una tabla en donde relaciona el Oxígeno Disuelto de saturación en función de la temperatura la cual se muestra en el cuadro 2.2:

**Cuadro 2.2.** Concentración de saturación de OD según la temperatura

<b>Oxígeno disuelto en función de la temperatura</b>					
Temperatura	OD	Temperatura	OD (mg/l)	Temperatura	OD
°C	(mg/l)	°C		°C	(mg/l)
0	14,62	11	11,01	22	8,74
1	14,20	12	10,76	23	8,57
2	13,81	13	10,52	24	8,41
3	13,44	14	10,29	25	8,3
4	13,09	15	10,07	26	8,11
5	12,75	16	9,86	27	7,96
6	12,43	17	9,65	28	7,82
7	12,12	18	9,46	29	7,68
8	11,83	19	9,27	30	7,55
9	11,55	20	9,08	31	7,42
10	11,27	21	8,91		

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1996)

Kiely (1999) expone que para determinar la concentración de oxígeno disuelto se establece una diferencia entre la concentración saturación de oxígeno a temperatura y el déficit inicial de oxígeno disuelto en el río, está dada mediante la ecuación 2.13:

$$OD = OS - D_o \quad [2.13]$$

Dónde:

OD = concentración de oxígeno

OS = oxígeno de saturación a temperatura del río

Do = déficit inicial de oxígeno disuelto

## 2.6. TEMPERATURA

Minaya (2016) indica que la temperatura tiene una relación directa con el oxígeno disuelto y señala que esta es una medida de energía o calor térmico de las

partículas de una determinada sustancia. El incremento de temperatura en el agua reduce la disolución de gases como el oxígeno, e incrementa en general la de sales, provocando un aceleramiento en la velocidad de reacciones metabólicas, acelerando la descomposición. Este parámetro es primordial para diseñar la mayoría de procesos en un sistema de tratamiento de agua.

Por otra parte, Sierra (2011) recalca que este parámetro tiene atribución directa en el desarrollo de la vida en la flora y fauna que se encuentran en las corrientes de las aguas en los ríos, principalmente cuando concurren variaciones de temperatura; de modo que aumenta los niveles de toxicidad de sustancias disueltas que se puedan encontrar en el agua y originando la disminución de OD.

## 2.7. VELOCIDAD

Del Ángel (2014), describe que la velocidad del agua, en un conducto se define como el trayecto que transita el líquido en un tiempo concluyente tiempo. Cuando se presenta una mayor velocidad al centro del gasto que en las orillas, ocurre debido a que las paredes del canal frenan la corriente, es por esto que mientras más cerca de la orilla menos velocidad, se puede calcular mediante la ecuación 2.14.

$$v = \frac{S}{t} \quad [2.14]$$

Dónde:

v = velocidad del agua

S = sección o tramo

t = unidad de tiempo

## 2.8. CAUDAL HIDROLÓGICO

Pérez (2005) indica que al caudal se lo conoce igual con los términos como gasto o descarga, y lo representa como a la cantidad de volumen de líquido que cruza

regularmente por la sección transversal del cauce del río, en un tiempo determinado. Se expresa matemáticamente en la ecuación 2.15 como:

$$Q = \frac{V}{t} \quad [2.15]$$

Dónde:

Q = caudal

V = volumen del líquido

t = unidad de tiempo

Así mismo el caudal se consigue determinar aplicando la ecuación 2.16 de continuidad de masa:

$$Q = v * A \quad [2.16]$$

Dónde:

Q= caudal (m<sup>3</sup>/s)

v = velocidad media del flujo en trayectoria vertical a la sección transversal (m/s)

A = área de la sección transversal o cauce en m<sup>2</sup>

### **2.8.1. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL**

Para Sánchez J (2013) poder calcular el caudal de un río es decir el volumen de agua que circula por una sección transversal existen diferentes métodos y la elección de cada método está determinado por las condiciones de cada sitio. Uno de los métodos más utilizados cuando se carecen de instrumentos de medida de caudal es el método del aforo, donde se lo realiza de la siguiente manera:

- a) Se procede a la toma de la velocidad media en un tramo del río. Se la realiza a través de flotadores que se arrojan al agua donde se mide el recorrido del flotador en un tiempo determinado regularmente en m/s.
- b) Se calcula el área de la sección transversal del río. Lográndolo a través de sondas o varillas graduadas, donde se mide la profundidad que existe

entre las paredes del cauce y la superficie del agua, separando la profundidad unas de otras y dividiendo las secciones en pequeñas áreas para así determinar la sección transversal de la corriente del río.

- c) Posteriormente se estima el caudal multiplicando la velocidad media por el área de sección transversal.

### **2.8.2. BALANCE GENERAL**

La ecuación del balance general sirve para establecer los valores de los parámetros e el punto de mezcla entre las variables de la descarga y el río. Para Sierra (2011) a través del método del balance de masa se puede estudiar los cambios que se dan en un medio acuático al estar en contacto con una sustancia química contaminante, se lo determina mediante la ecuación 2.17:

$$\textit{Entrada} - \textit{Salida} = \textit{Acumulación} \quad [2.17]$$

## **2.9. PROTOCOLO DE MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS**

De acuerdo a ANAP (2011), indica que el monitoreo de la calidad del agua es importante para la conservación de las aguas continentales y marinas de los efectos del cambio climático y los contaminantes. Por ello se estableció el protocolo de monitoreo de los recursos hídricos que reúne todos los procesos a seguir (antes, durante y después) para efectuar los monitoreos de la calidad de aguas.

El protocolo recomienda que se debe realizar un diagnóstico del río antes empezar con las actividades de muestreo para conocer los parámetros que se deben analizar, el número de los puntos de muestro y la frecuencia en que se debe realizar.

### **2.9.1. SELECCIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO EN RÍOS.**

Para el monitoreo de las aguas en ríos se debe considerar algunos criterios que determinaran la selección de cada punto: como la ubicación efluentes residuales, la ubicación de fuentes de captación de agua para consumo humano, la accesibilidad a los puntos de muestreo, la geomorfología del río (ANAP, 2011). Las zonas de muestreo se establecerán de la siguiente forma:

- El Protocolo de monitoreo se debe de tomar un punto cerca de la naciente del río para tener un valor de referencia en blanco antes de la mezcla con el efluente.
- Los puntos de muestreo se localizarán aguas arriba y aguas debajo desde un efluente de agua residual, donde se prioriza la descarga más característica que recibe el río.
- La zona de muestreo aguas arriba se ubicarán distanciadamente lejos del efluente de agua residual, para certificar que no intervenga en las particularidades naturales del río, se propone a una distancia de 50 a 100 m de acuerdo a la factibilidad de tomar las muestras u otra situación que la altere.
- La zona de muestreo aguas abajo se ubicará de acuerdo a la accesibilidad y caudal de esta y de acuerdo al objeto de estudio, se sugiere realizar mediciones que sean consecutivas de parámetros de campo (conductividad, pH, temperatura) a una distancia de 500 m para precisar la zona de mezcla completa de las descargas en el río.

### **2.9.2. FRECUENCIA DEL MONITOREO**

La frecuencia del monitoreo dependerá también de varios factores como: el presupuesto para la investigación, la estacionalidad de la zona, los objetivos de la investigación. Se requiere una evaluación periódica de resultados para establecer si es necesario incluir o suprimir parámetros de estudio o si alguno de los parámetros se debiera determinar con menor o mayor frecuencia. Se debe considerar el cambio de la frecuencia de monitoreo de acuerdo a los datos o los análisis de campo (ANAP, 2011).

Por otra parte, Reinoso (2015), indica que el análisis de los procesos de autodepuración se deberá realizar en la época del año en que se presentan los menores caudales del afluente, es decir cuando esté presente condiciones críticas y señala que el horario en que se presentan una mayor carga orgánica en las descargas de aguas residuales, es cercano al medio día (12h00), de manera que los análisis para establecer la capacidad de autodepuración se los debe realizar cercanos a este.



# CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

## 3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

### 3.1.1. UBICACIÓN

La presente investigación se la ejecutó en las aguas del río Carrizal, ubicado en el cantón Bolívar, provincia de Manabí. El río Carrizal tiene su nacimiento en las montañas del cantón Bolívar, este es el principal recurso hídrico del cantón y sustento vital de la biodiversidad de la microcuenca del mismo, tiene su desembocadura en las aguas del río Chone donde se convierte en la mayor cuenca hidrográfica de la provincia.

Para resultado de la investigación se escogió la ciudad de Calceta que tiene un área de 650 km<sup>2</sup>, la misma que posee un clima cálido seco con temperaturas aproximadas de 26°C, donde el río Carrizal realiza su recorrido hasta en lugares como la planta de tratamiento de agua potable La Estancilla. La ciudad se caracteriza por ser la cabecera cantonal y la única parroquia urbana donde prevalecen más las viviendas, el comercio y la agricultura cerca del afluente.



Figura 3.1. Zona de estudio

### **3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO**

El presente estudio presento una duración de 9 meses que correspondieron de agosto de 2019 hasta mayo de 2020, en este tiempo se distribuyó para realizar todo el trabajo bibliográfico y práctico.

### **3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Por su grado de profundidad es descriptiva, ya que permitió conocer la capacidad de remoción de materia orgánica de las aguas del río Carrizal. Mediante el método de investigación es no experimental, ya que no se efectuó manipulación intencional de las variables; se determinaron tal cómo se presentaron en el medio.

### **3.4. VARIABLES EN ESTUDIO**

#### **3.4.1. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Capacidad de autodepuración del río Carrizal

#### **3.4.2. VARIABLE DEPENDIENTE**

Concentración de carga orgánica en el río Carrizal

### **3.5. PROCEDIMIENTO**

Para la ejecución de la presente investigación, se establecieron los procedimientos descritos a continuación, los cuales estuvieron acordes con los objetivos propuestos, estos se dividieron en 3 fases y cada una con sus oportunas actividades a realizarse.

### **3.5.1. FASE 1: DIAGNÓSTICO DE LA ZONA DE ESTUDIO PARA ESTABLECER PUNTOS DE MUESTREO**

#### **3.5.1.1. ACTIVIDAD 1.1: Reconocimiento de la zona de estudio**

Para desarrollar esta actividad se realizó un recorrido en la zona de estudio donde se efectuó un levantamiento de información por medio de fotografías y datos observacionales y se estableció el punto preciso de la descarga de las lagunas de oxidación en la ciudad de Calceta. Se examinó las condiciones que presento el terreno y la accesibilidad para acceder a la toma de muestras de agua, además se observó las características del río antes y después del punto de descarga.

#### **3.5.1.2. ACTIVIDAD 1.2: Establecimiento de los puntos de muestreo**

Posterior al reconocimiento de la zona de estudio y luego de haber establecido la ubicación del punto de descarga de las lagunas de oxidación se establecieron puntos de muestreos de acuerdo a ANAP (2011); donde se tomaron 6 puntos bases que se efectuaron de la siguiente manera: el primer punto se situó aguas arriba a 500 metros antes de los efluentes de las lagunas de oxidación este se registró como punto blanco de referencia, el segundo punto se estableció en el lugar de la descarga de las lagunas de oxidación hacia el río Carrizal este se estableció como punto de descarga; se registraron cuatro puntos de muestreos aguas abajo desde el punto de descarga de los efluentes a distancias de 100 metros, 3km, 7km y 9km, los cuales se registraron como punto de mezcla, punto 1, punto 2 y punto 3 el cual se ubicó cerca de la planta de tratamiento de agua “La Estancilla”.

Además, de acuerdo con Zabaleta (2016) se establecieron puntos de muestreo complementarios donde se fraccionaron las distancias que hay entre los puntos de muestreo bases de 1 km que dependieron de las características del río, esto se lo realizó para obtener información adicional de datos que ayudaron a conocer el comportamiento de los parámetros en el río.

### **3.5.1.3. ACTIVIDAD 1.3: Georreferenciación de la zona de muestreo**

Una vez que se instauraron los puntos de muestreo, se continuó con lo señalado en el protocolo de monitoreo cada punto de muestreo se describió acotando lo siguiente: código del punto de muestreo, las coordenadas datum ws84, el nombre y la descripción del lugar. Posterior a esto se efectuó la georreferenciación de cada punto de muestreo utilizando el software de sistemas de información geográficas ArcGis en su versión 10.5, el cual permitió recopilar, organizar y distribuir la información geográfica de la zona de muestreo representándola por medio de un mapa satelital hidrológico, lo cual ayudo a obtener la información cartográfica para la ejecución del estudio.

## **3.5.2. FASE 2: DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS (DBO<sub>5</sub>, OXÍGENO DISUELTO, pH, TEMPERATURA Y CAUDAL) EN EL RÍO CARRIZAL DEL CANTÓN BOLÍVAR**

### **3.5.2.1. ACTIVIDAD 2.1: Toma de los parámetros en el agua**

Los parámetros físico-químicos se basaron a lo establecido por Zúñiga (2014) y el modelo matemático de Streeter and Phelps (1925) que son las variables que influyen en la autodepuración de materia orgánica. La toma de los parámetros se realizó en la época seca de acuerdo a lo establecido por Reinoso (2015) en un periodo de 10 semanas, que correspondieron a los meses de estiaje del río. La frecuencia de las tomas se basó de acuerdo a ANAP (2011), en la cual señala que esta dependerá de varios factores como el presupuesto de la investigación, la estacionalidad de la zona y además indica que esta puede variar en el transcurso de la investigación donde se pueden incluir o suprimir parámetros de estudio o también determinar si algunos de los parámetros se debiesen establecer con menor o mayor frecuencia esto de acuerdo a los datos de análisis de campo; por lo cual se estableció de la siguiente manera:

En los puntos de muestreo base se establecieron los parámetros de (DBO<sub>5</sub>, temperatura, pH, OD y caudal) se registraron cada semana. En los puntos de muestreo complementarios se reconocieron los parámetros de temperatura, pH y OD los cuales se realizaron una vez cada dos semanas donde permitieron obtener una mayor cantidad de datos para el respaldo de la investigación. Las

muestras se tomaron en horarios cercanos al medio día (12h00) de acuerdo a Reinoso (2015) es el horario en que se presenta una mayor cantidad de carga orgánica de las aguas residuales.

La toma de las muestras de agua se recogió lo más cerca posible al centro del río y en contra corriente al flujo del agua y a una profundidad establecida, para evitar alteraciones de las condiciones reales, tal como lo indica ANAP (2011). Para la conservación y transporte de las muestras se las realizara según la norma técnica INEN 2169:2013 donde se indica el muestreo, manejo y conservación de las muestras de agua.

### **3.5.2.2. ACTIVIDAD 2.2: Ejecución de los parámetros de campo (OD, pH, temperatura y caudal)**

El oxígeno disuelto, el pH y la temperatura se tomaron directamente in situ dentro de las zonas de estudio mediante el método electroquímico de acuerdo a la norma técnica INEN 2169:2013, donde señala tomar muestras directamente en los puntos catalogados, registrándolos en una libreta y utilizando todos los equipos adecuados para la medición de Oxígeno Disuelto, pH y temperatura (anexo 1).

Para la toma de los caudales en las estaciones de monitoreo, se los determinó a través del método del aforo (anexo 2; 3; 4). Donde se calcularon las velocidades del río lanzando flotadores en una distancia conocida, determinando el tiempo en viajar por cada tramo, luego se estableció el ancho y la profundidad del río para determinar el área transversal y multiplicarla por la velocidad (Sánchez J. , 2013).

### **3.5.2.3. ACTIVIDAD 2.3: Realización de los análisis de DBO<sub>5</sub> en el laboratorio de química ambiental de la ESPAM MFL**

La DBO<sub>5</sub> se realizó en el laboratorio de química ambiental de la ESPAM MFL (anexo 5; 6) donde las muestras de agua se incubaron a 20 °C con hidróxido de sodio por cinco días en la oscuridad, el valor de la DBO<sub>5</sub> se determinó electrónicamente por medio de analizadores de DBO<sub>5</sub> Oxitop que comparaban

el valor de oxígeno disuelto de una muestra tomada inmediatamente con el valor de la muestra luego de la incubación. La diferencia de los dos valores de OD representa la cantidad de oxígeno requerido para la descomposición de material orgánico en la muestra.

### **3.5.3. FASE 3: REALIZACIÓN DEL MODELADO DE LA CAPACIDAD AUTODEPURATIVA DEL RÍO CARRIZAL A TRAVÉS DE UN MODELO MATEMÁTICO**

#### **3.5.3.1. ACTIVIDAD 3.1: Tabulación de datos**

Luego de obtener toda la información de campo de los parámetros físico químicos del río se procedió a la creación de una base de datos utilizando el software de Excel, en donde se permitió de una manera organizada disponer de todos los datos necesarios para poder evaluar la capacidad de autodepuración de materia orgánica del río.

#### **3.5.3.2. ACTIVIDAD 3.2: Modelización de datos**

Posteriormente luego de disponer la base datos, a través del software de Excel se procedió a la elaboración del modelo matemático planteado por Streeter and Phelps (1925), para su aplicación se utilizaron diferentes variables de las condiciones del río y la descarga en época de estiaje como  $DBO_5$ , OD, temperatura, caudales y velocidades, tal como como lo indica (Zuñiga, 2014).

Para el desarrollo del modelo se utilizaron los valores semanales de cada mes de las variables del río (anexo 7) y se registraron las diferentes ecuaciones citadas en el marco teórico de la investigación para establecer los respectivos cálculos, las cuales fueron ingresadas en el software de Excel de la siguiente manera:

- a) Ecuación del balance general
- b) Constante de desoxigenación
- c) Correcciones de constantes
- d) Déficit inicial de oxígeno disuelto
- e) Modelación de la DBO

- f) Déficit de oxígeno disuelto
- g) Representación de OD a x distancia
- h) Tiempo crítico
- i) Distancia crítica
- j) Déficit crítico
- k) Oxígeno disuelto crítico
- l) Porcentaje de remoción de  $\text{DBO}_5$

Luego se representaron gráficamente los resultados de los valores promedios mensuales del comportamiento del oxígeno disuelto en función de la descarga de las lagunas de oxidación, lo cual permitió conocer la capacidad autodepurativa de materia orgánica del río Carrizal.

# CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 4.1. DIAGNÓSTICO DE LA ZONA DE ESTUDIO PARA ESTABLECER PUNTOS DE MUESTREO

Los puntos de muestreo establecidos proyectados en coordenadas cartográficas UTM son los siguientes:

Cuadro 4.1. Puntos de muestreo base

Código	Coordenadas		Distancia	Sitio
	Este	Norte		
PB	592158	9907559	500m	El Morro (blanco)
PD	592112	9907824	0m	El Morro (descarga)
PM	592150	9907970	100m	El Morro (mezcla)
P1	590619	9908106	3km	Coliseo ESPAM
P2	588973	9909299	7km	La Pastora
P3	588973	9909299	9km	La Estancilla

Fuente: (Flores y Menéndez, 2019)

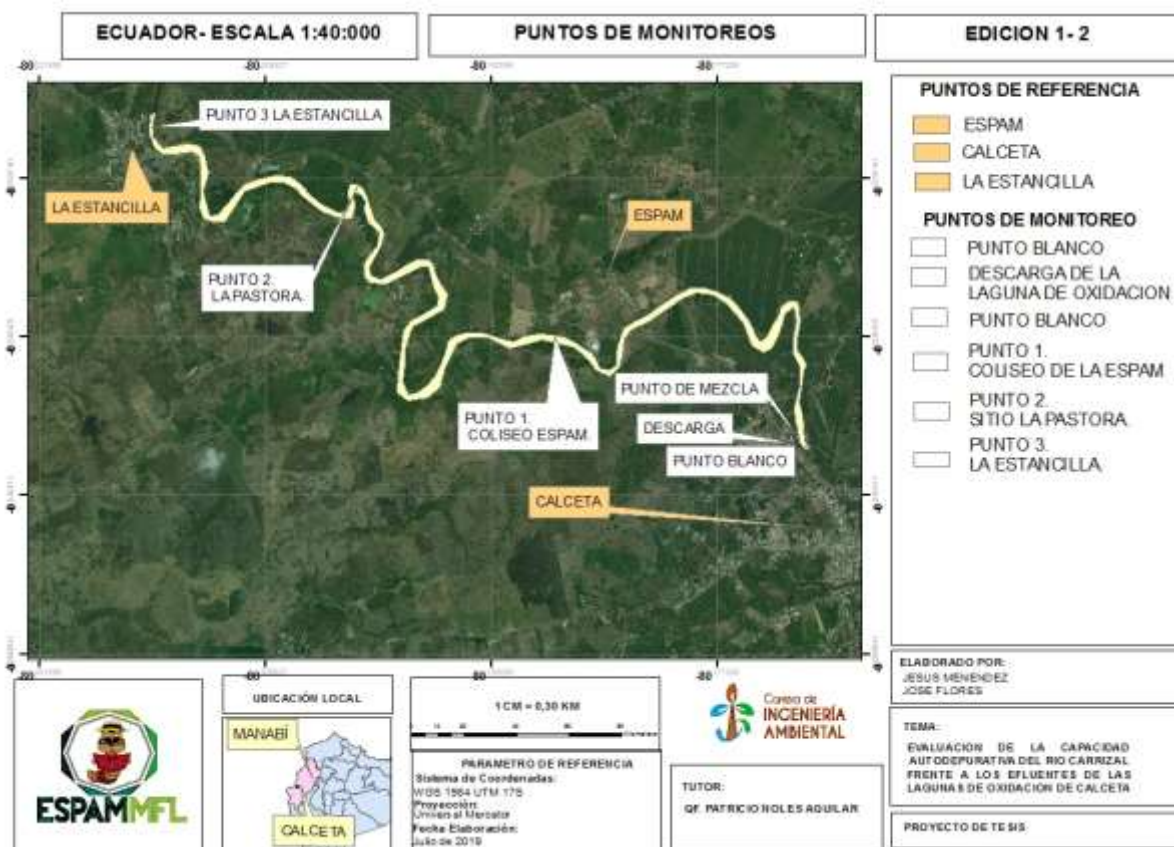


Figura 4.1. Puntos de muestreo base en el río Carrizal



Se instauraron 6 puntos de muestreos base acordes con ANAP (2011) que se determinaron una vez ubicado el lugar de las descargas de los efluentes, los cuales se denominaron de acuerdo al sitio donde se encontraron ubicados.

EL punto de muestreo blanco de referencia se lo establecido en el sitio El Morro 500 metros antes de la descarga de los efluentes, este punto de monitoreo sirvió para observar las condiciones que presenta el río antes de la descarga. Se ubicó un punto de muestreo en el lugar de la descarga de los efluentes para determinar las condiciones que presentan los mismos, este se los ubico en el sitio de El Morro. Se estableció otro punto de muestreo 100 metros después de la descarga, este se lo registro como punto de mezcla donde se situó en el sitio de El Morro, lo que permitió tomar muestras para determinar los parámetros físico-químicos luego de la mezcla de los efluentes con el río.

Se ubicaron puntos de muestreos aguas abajo del lugar de la descarga de los efluentes que sirvieron para la representación de la capacidad de autodepuración durante el recorrido del río Carrizal, los cuales se ubicaron a 3km en el sitio “Coliseo Espam”, 7km en el sitio “La Pastora”, 9km en el sitio “La Estancilla”, este último fue esencial para evaluar las condiciones que presenta el río cerca de la planta potabilizadora “La Estancilla” y evaluar la capacidad de autodepuración de materia orgánica frente a los efluentes de las lagunas de oxidación de Calceta.

**Cuadro 4.2.** Puntos de muestreo complementarios

Código	Coordenadas		Distancia	Sitio
	Este	Norte		
C1	591259	9908543	2km	Puente ESPAM
C2	590002	9908178	4km	
C3	589222	9907931	5km	Figuroa
C4	589014	9908838	6km	Figuroa
C5	589098	9908646	8km	Loma Estancilla

Fuente: (Flores y Menéndez, 2019)

Se establecieron 5 puntos de muestreo complementarios de acuerdo con lo establecido por Zabaleta (2016), donde se dividieron las distancias de los puntos base en transectos de 1 km, los cuales se registraron para establecer una mayor

cantidad de datos para la representación de la capacidad de autodepuración de materia orgánica. Los puntos se instauraron aguas abajo del lugar de la descarga de los efluentes a distancias de: 2km ubicado en el sitio “Puente ESPAM”, 4 km registrado en el sitio “la pastora”, 5km y 6km situado en la comunidad “Figueroa” y a 8 km situado en el sector “Loma Estancilla”.

## 4.2. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS (DBO<sub>5</sub>, OXÍGENO DISUELTO, pH, TEMPERATURA Y CAUDAL) EN EL RÍO CARRIZAL DEL CANTÓN BOLÍVAR

### 4.2.1. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

En el cuadro 4.3 se encuentran los valores de cada punto de muestreo del río Carrizal de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) realizada en el laboratorio de química ambiental de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí.

**Cuadro 4.3.** Valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) del río Carrizal en mg/l

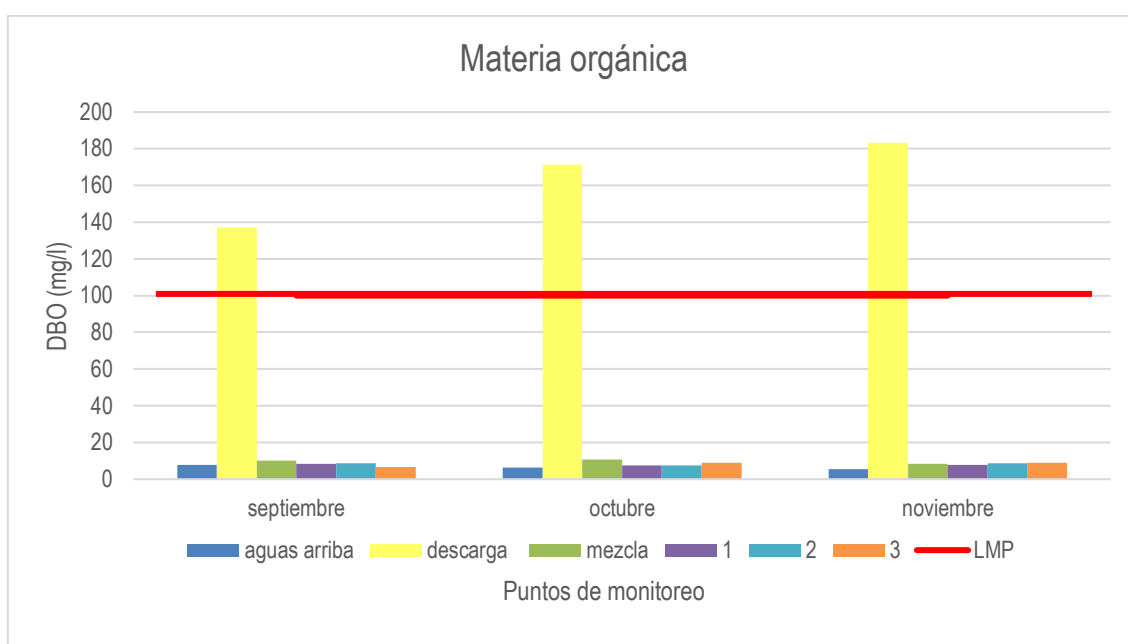
Mes	Semana	LMP (mg/l)	Aguas arriba	Descarga	punto mezcla	p1	p2	p3
Septiembre	1	100	9	193	12	9	10	9
	2	100	7	180	12	10	10	8
	3	100	5	80	6	5	5	5
	4	100	10	95	10	9	10	5
	5	100	4	105	6	2	2	8
Octubre	6	100	9	199	13	10	9	9
	7	100	6	210	13	10	11	10
	8	100	5	170	7	8	9	8
Noviembre	9	100	5	185	9	7	8	9
	10	100	6	195	9	8	9	10

Fuente: (Flores y Menéndez, 2019)

En el cuadro 4.3 las concentraciones de descarga DBO<sub>5</sub> fueron comparadas con la tabla 12 del Registro Oficial 061 Reforma del libro VI, Anexo 1, donde se especifica un valor de 100 mg/l como límite máximo permisible de DBO<sub>5</sub> para descargas a cuerpos de agua dulce. Se evidenció que la mayoría de las

concentraciones de  $\text{DBO}_5$  presentes en el río se encuentran por encima del límite máximo permisible, alcanzando un valor máximo en el lugar de la descarga de 210 mg/l en la semana 7 en el mes de octubre y un valor mínimo aguas arriba de 4 mg/l en la semana 5 en el mismo mes.

El punto de mezcla es el punto más afectado por la descarga por lo que se observan valores mayores a los de aguas arriba sin embargo se observa una disminución de materia orgánica en el sitio la pastora (punto 2).



**Gráfico 4.1.** Promedios mensuales de DBO en el río Carrizal

Se puede distinguir en el gráfico 4.1 el punto que más sobresale es el de descarga ya que tiene el máximo de las concentraciones 183,3 mg/l en promedio en el mes de noviembre. De acuerdo con Alcívar & Velásquez (2013) indican la falta de mantenimiento de las lagunas de oxidación de la ciudad de Calceta como principal problema, ocasionando el aumento de los valores de  $\text{DBO}_5$  en el punto de mezcla y los puntos de monitoreo 1, 2 y 3.

#### 4.2.2. P.H

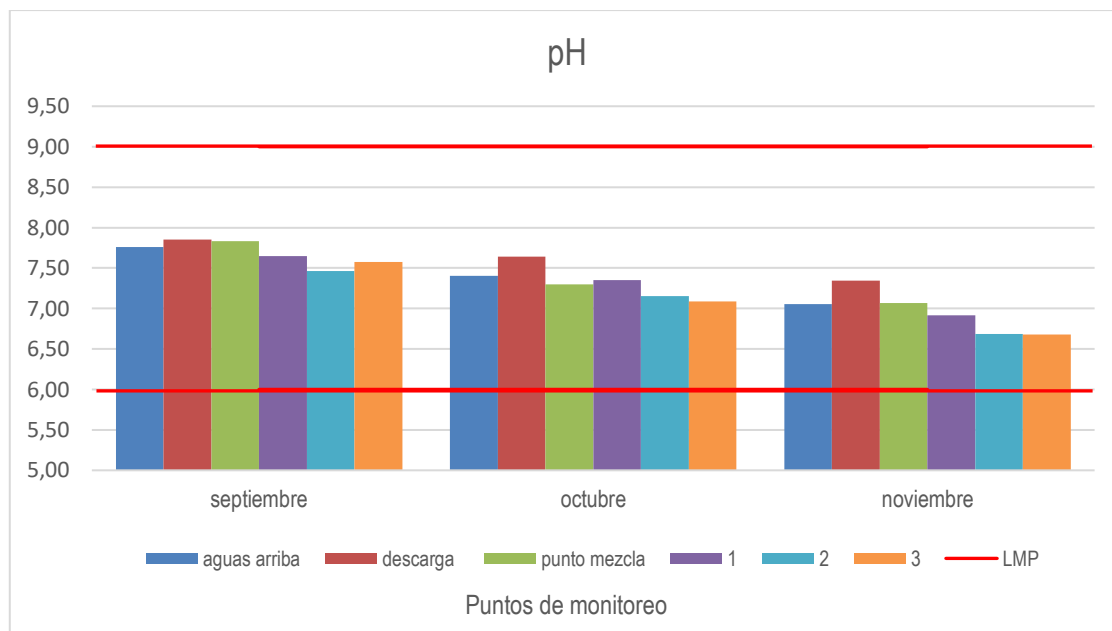
Los datos de potencial de hidrógeno fueron obtenidos in situ (anexo 8) en los 6 puntos de muestreos por medio del potenciómetro de la marca Milwaukee modelo pH55 que funcionó como un medidor de pH.

**Cuadro 4.4.** Valores del pH en puntos de monitoreo principales

Mes	Semana	LMP	Aguas arriba	Descarga	punto mezcla	p1	p2	p3
Septiembre	1	6-9	7,9	7,83	7,86	7,74	7,64	7,72
	2	6-9	7,72	7,82	8,09	7,69	7,5	7,64
	3	6-9	7,9	7,93	7,83	7,7	7,38	7,48
	4	6-9	7,49	7,82	7,55	7,46	7,33	7,45
Octubre	5	6-9	7,48	7,73	7,45	7,46	7,44	7,35
	6	6-9	7,3	7,41	7,17	7,25	6,93	6,9
	7	6-9	7,43	7,78	7,28	7,34	7,1	7,01
Noviembre	8	6-9	6,79	7,15	6,95	6,45	6,25	6,24
	9	6-9	7,15	7,41	7,15	7,17	6,9	6,9
	10	6-9	7,22	7,48	7,1	7,12	6,91	6,9

Fuente: (Flores y Menéndez, 2019)

El cuadro 4.4 muestra los valores del potencial de hidrogeno de río Carrizal con un mínimo de 6,24 y un máximo de 8,09 considerándose como un pH neutro. Estos valores reportados están de acuerdo con los límites máximos permisibles ya que se encuentran dentro del rango de 6 a 9 en lo establecido en la tabla 3 Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario del Registro Oficial 061, reforma del libro VI del TULSMA.



**Gráfico 4.2.** Promedios mensuales de pH en el río Carrizal

En el gráfico 4.2 se observa el promedio de los meses de monitoreo en cada uno de los tramos, donde hay poca variabilidad en sus valores siendo noviembre el mes con los valores más bajos, debido a que existe una mayor dilución por las primeras precipitaciones en este mes, pero se encuentran dentro de los parámetros establecidos en la tabla 3 Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario del Registro Oficial 061, reforma del libro VI del TULSMA.

#### 4.2.3. OXÍGENO DISUELTO

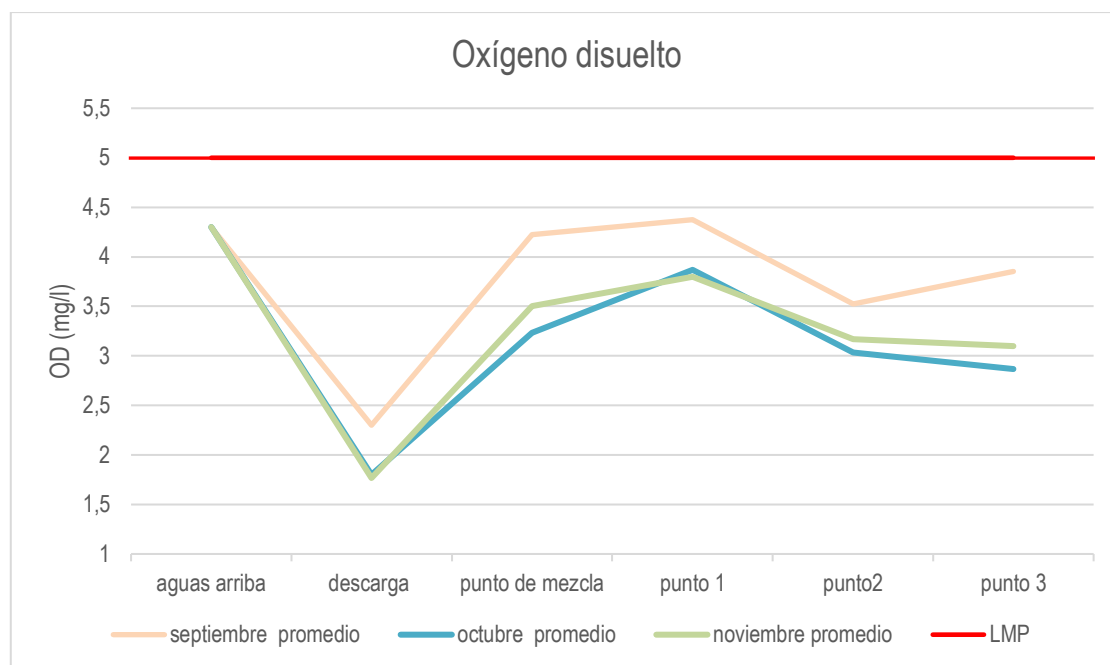
Los valores de oxígeno disuelto medidos en los 6 puntos se establecieron in situ (anexo 9) a través de un medidor oxígeno disuelto de la marca Milwaukee modelo mw600.

**Cuadro 4.5.** Valores del oxígeno disuelto en el río Carrizal en mg/l.

Mes	Semana	LMP (mg/l)	Aguas arriba	Descarga	punto mezcla	p1	p2	p3
Septiembre	1	5	4,6	1,6	3,8	4,6	3,7	4,3
	2	5	3,7	2	3,9	3,9	3,2	3,5
	3	5	4,4	2,9	4,6	5,2	4,4	4,6
	4	5	4,5	2,7	4,6	3,8	2,8	3
Octubre	5	5	4,1	2,5	4,1	4	3,2	3,2
	6	5	4,5	1,6	2,9	3,8	3,2	2,5
	7	5	4,3	1,3	2,7	3,8	2,7	2,9
Noviembre	8	5	4,2	2	4,1	3,8	3,3	3,3
	9	5	4,3	1,7	3,1	3,8	3,1	3
	10	5	4,4	1,6	3,3	3,8	3,1	3

Fuente: (Flores y Menéndez, 2019)

En el cuadro 4.5 se muestran los valores de oxígeno disuelto tomados en las 10 campañas. Se observa los valores máximos encontrados durante el estudio, el cual se presenta en la semana 3 en el mes de septiembre con valores de hasta 5,2 mg/l en el punto 1 y de 2,9 mg/l en el lugar de la descarga durante el periodo. Los valores mínimos se establecieron durante la semana 7 en el mes de octubre registrándose hasta 2,7 mg/l en los puntos mezcla y 2 de monitoreo; de 1,3 en el lugar de la descarga durante el mismo periodo. Se muestra que los valores identificados en todos los puntos están por debajo del mínimo, teniendo en cuenta que el estándar es 5 mg/l establecidos en la tabla 3 Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario. Del Registro Oficial 061, reforma del libro VI del TULSMA.



**Gráfico 4.3.** Promedios mensuales de OD en el río Carrizal

Se observa en el gráfico 4.3. que desde el primer punto de monitoreo el río Carrizal presenta condiciones poco favorables debido que kilómetros arriba se encuentra el embalse “La Esperanza” considerada como una cuenca anóxica lo que para Steves (2011) es aquí donde ocurre un desequilibrio ecológico debido a la descomposición de vegetación que provoca bajísimas concentraciones de oxígeno disuelto. De tal manera que se observan que todos los valores de OD están por debajo del límite máximo permisible que es 5 mg/l establecidos en la tabla 3 Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario. Del Registro Oficial 061, reforma del libro VI del TULSMA.

Los valores de la descarga prestan condiciones poco aerobias esto está relacionado con los procesos de estratificación y desertificación, lo que provoca que el punto de mezcla y punto de muestreo 1,2 y 3 tengan valores inferiores a los del punto de aguas arriba (Bezerra & Pinto 2002).

#### **4.2.4. CAUDAL.**

Estos valores fueron obtenidos in situ, durante las 10 semanas de monitoreo durante los meses de septiembre, octubre y noviembre, datos tomados en la

época de estiaje del año. Valores necesarios para la modelación de la capacidad auto depurativa del río carrizal frente a los efluentes de la Lagunas de oxidación a continuación los siguientes datos.

**Cuadro 4.6.** Valores de los caudales en el río Carrizal en m<sup>3</sup>/s.

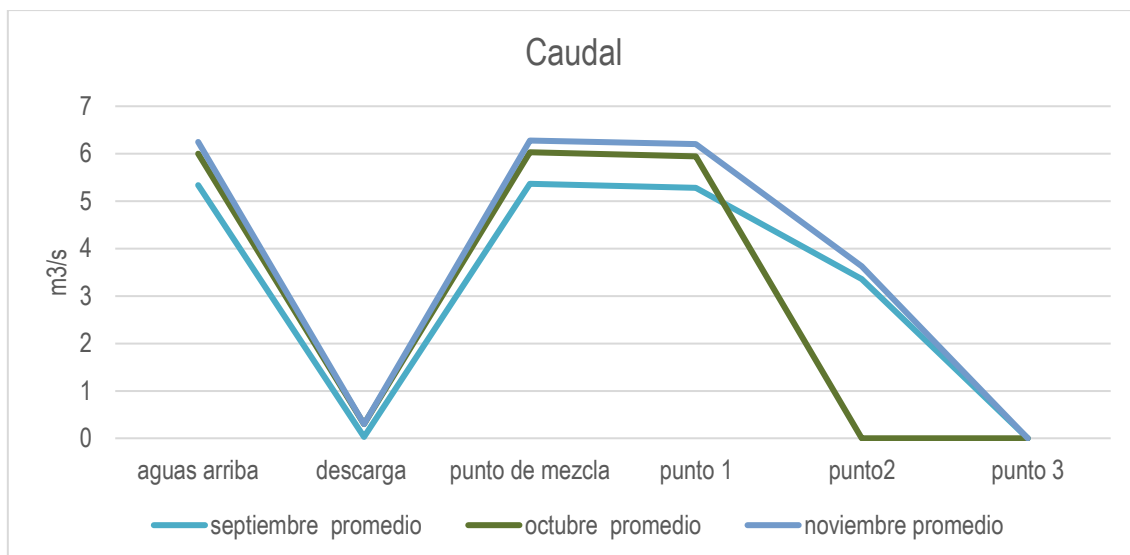
Mes	Semana	Aguas arriba	Descarga	punto mezcla	p1	p2	p3
septiembre	1	5,75	0,03	5,78	5,69	5,29	-
	2	4,26	0,024	4,28	4,23	3,69	-
	3	4,86	0,032	4,89	4,81	4,47	-
	4	6,49	0,022	6,51	6,41	-	-
Octubre	5	7,63	0,028	7,66	7,56	-	-
	6	4,85	0,025	4,88	4,80	-	-
	7	5,51	0,035	5,55	5,48	-	-
noviembre	8	6,74	0,03	6,77	6,73	-	-
	9	5,87	0,027	5,90	5,8	5,32	-
	10	6,13	0,033	6,16	6,07	5,57	-

Fuente: (Flores y Menéndez, 2019)

Se puede observar en el cuadro 4.6 que el incremento del caudal en el punto de mezcla se debe al aporte de la descarga. Se evidencia el mayor caudal en el punto de mezcla en la semana 5 en el mes de octubre llegando hasta 7,66 m<sup>3</sup>/s y en el punto de la descarga el caudal más representativo fue de 0,035 m<sup>3</sup>/s en el mismo mes. Los caudales mínimos presentados fueron de 3,69 m<sup>3</sup>/s en el punto 2 de monitoreo en la semana 2 en el mes de septiembre y de 0,022 en la semana 4 en el mes del mismo mes.

En la última semana del mes de septiembre, el mes de octubre y la primera semana del mes de noviembre el punto de monitoreo número 2 estuvo obstruido por lechuguines (anexo 10; 11) lo que impidió la toma de este parámetro. En el punto de monitoreo número 3 no se registraron valores debido que existe un embalsamiento del río (anexo 12) de tal forma no se pudo establecer la velocidad que es un dato necesario para la obtención de este parámetro.





**Gráfico 4.4.** Promedios mensuales de caudal en el río Carrizal

En el gráfico 4.4 se muestran las variaciones de caudal. Se evidenció que el punto de monitoreo 1 y 2 hay una ligera disminución del caudal debido a la infiltración y captación de agua para el uso agrícola (anexo 13). El mes de noviembre fue uno de los más caudalosos dando como promedio  $6,24 \text{ m}^3/\text{s}$  en el punto aguas arriba,  $6,27 \text{ m}^3/\text{s}$  en el punto de mezcla y  $6,205 \text{ m}^3/\text{s}$  en el coliseo de la ESPAM (punto 1), en el sitio La Pastora (punto 2)  $5,45 \text{ m}^3/\text{s}$  y en La Estancilla (punto 3) donde no se registraron mediciones (anexo 14) debido que fue inexigible obtener el valor de la velocidad dado el problema del represamiento del río donde la corriente es menor en la superficie y mayor en las regiones más profundas (Tundisi & Matsumura, 2008).

#### 4.2.5. TEMPERATURA

Los valores registrados de la temperatura del agua se tomaron in situ durante las 10 semanas de monitoreo, estos valores se registraron mediante un potenciómetro de la marca Milwaukee modelo pH55 que funcionó como termómetro.

Cuadro 4.7. Valores de temperatura (°C) en el agua del río Carrizal

Mes	Semana	LMP (°C)	Aguas arriba	Descarga	punto mezcla	p1	p2	p3
Septiembre	1	32	25,4	26,1	25,2	26,3	28	26,8
	2	32	25,9	27,4	26,4	26,6	28,4	27,8
	3	32	26,8	27,5	27	27,7	27,3	26,5
	4	32	26	27	26	25,9	26	25,4
Octubre	5	32	24,9	26,5	25,4	26	26,6	26,4
	6	32	26,9	28,5	27,4	26,4	26,8	27,3
	7	32	27,1	28	27,1	26,7	26,8	27,1
Noviembre	8	32	26,7	27,7	26,5	26,5	26,9	27,4
	9	32	26,9	28,1	27,1	26,6	26,8	27,3
	10	32	26,9	28	26,9	26,5	26,8	27,2

Fuente: (Flores y Menéndez, 2019)

El cuadro 4.7 muestra los valores de la temperatura en grados Celsius de las aguas del río Carrizal y de la descarga de los efluentes de las lagunas de oxidación de Calceta. Se observa que la temperatura más alta registrada se encontró en los efluentes de la laguna con 28,5°C en la semana 6 en el mes de octubre, mientras que el valor mínimo registrado fue de 24,9 °C localizándose aguas arriba de la descarga en la quinta semana de monitoreo en el mes de octubre.

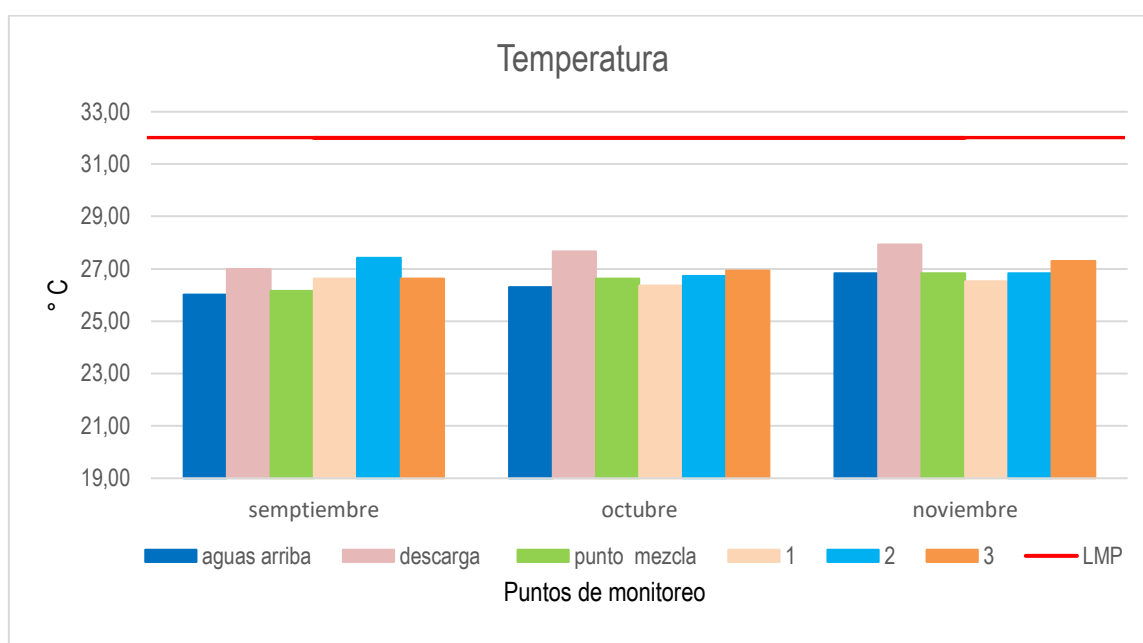


Gráfico 4.5. Valores temperatura (°C) promedios mensuales en el agua del río Carrizal

Se puede observar en el gráfico 4.5 las variaciones de temperatura promedio que existieron durante los tres meses de monitoreo. El cual destaca que los valores más altos de temperatura corresponden a la descarga de las lagunas de oxidación en el mes de noviembre llegando cerca de los 28°C. Por otra parte, se registran valores mínimos de temperatura aguas arriba de la descarga, registrándose en promedio en el mes de septiembre 26,03°C. Se evidencia que todos los valores se encuentran dentro del límite máximo permisible establecidos en la tabla 3 Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario. Del Registro Oficial 061, reforma del libro VI del TULSMA.

#### 4.2.6. VALORES PROMEDIOS DE LA ÉPOCA DE ESTIAJE EN LOS PUNTOS DE MUESTREO COMPLEMENTARIOS

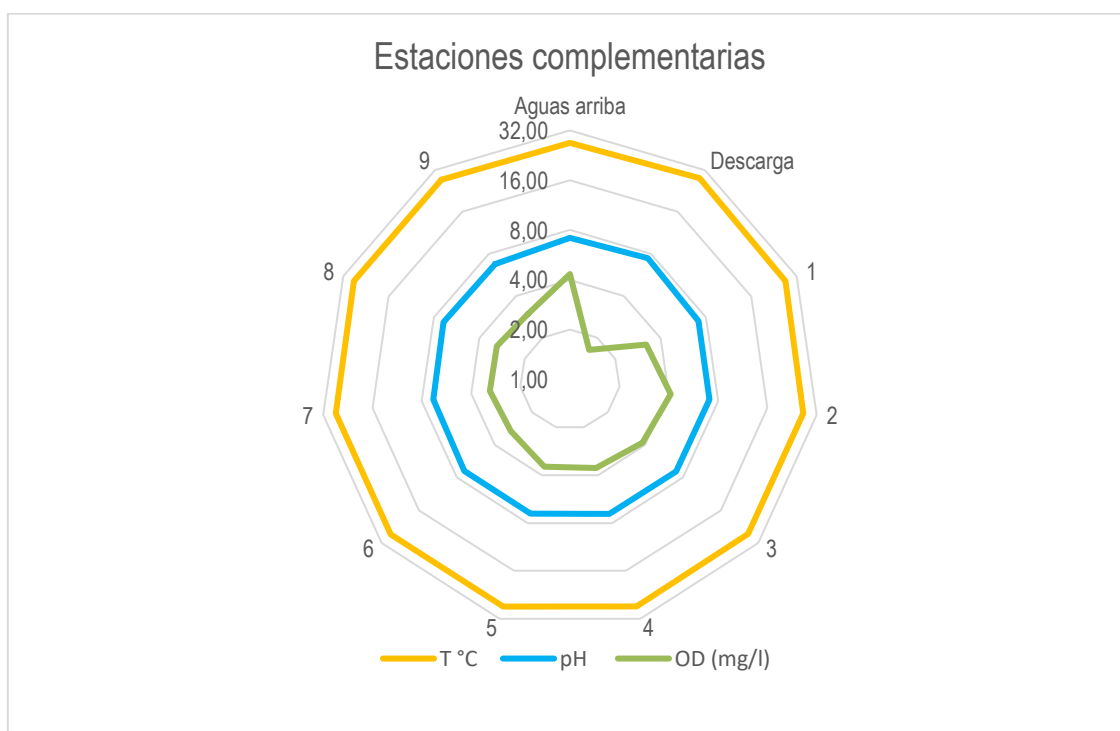
Además de los puntos de muestreo base se conocieron puntos de muestreo complementarios (anexo 15), que sirvieron para entender mejor el comportamiento de los parámetros físico-químicos en el río, en los cuales se establecieron monitoreos de temperatura, pH y OD.

**Cuadro 4.8.** Valores de parámetros físico-químicos en puntos complementarios

Coordenadas		Puntos	T °C	pH	OD (mg/l)
Este	Norte				
592158	9907559	Aguas arriba	26,90	7,18	4,34
592112	9907824	Descarga	28,06	7,45	1,64
592150	9907970	1	27,00	7,13	3,22
591259	9908543	2	26,52	7,10	4,12
590619	9908106	3	26,54	7,07	3,80
590002	9908178	4	26,78	7,00	3,60
589222	9907931	5	26,82	6,95	3,54
589014	9908838	6	26,92	6,98	2,96
588973	9909299	7	26,82	6,82	3,08
589098	9908646	8	27,20	6,89	3,06
588973	9909299	9	27,26	6,79	2,94

Fuente: (Flores y Menéndez, 2019)

En el cuadro 4.8 se observan los valores promedios de la época de estiaje en los tres meses de monitoreo, registrándose valores máximos de 28,06 °C en el lugar de la descarga para la temperatura, valores máximos de 7,45 en el mismo lugar para el pH y de 4,34 mg/l aguas arriba para el OD. Los valores mínimos registrados fueron de 26,52 °C en el punto 2 de monitoreo para la temperatura, valores mínimos de 6,82 en el punto 7 de monitoreo para el pH y de 1,64 mg/l en el lugar de la descarga para el oxígeno disuelto.



**Gráfico 4.6.** Valores físico-químicos promediados mensuales en puntos complementarios

El gráfico 4.6 muestra los valores promedios que se alcanzaron en la época de estiaje durante los 3 meses de monitoreo en los puntos de muestreo complementarios. Se puede observar que el pH es el valor que presenta una mínima variación y que se mantiene casi estable a lo largo del río, mientras que en la temperatura y el oxígeno disuelto existen variaciones en torno al lugar de la descarga de los efluentes de las lagunas. Por otra parte, se evidencia la relación que hay entre la temperatura y el OD, ya que a medida que aumenta la temperatura disminuye el OD en el agua.

### 4.3. REALIZACIÓN DEL MODELADO DE LA CAPACIDAD AUTODEPURATIVA DEL RÍO CARRIZAL A TRAVÉS DE UN MODELO MATEMÁTICO

Luego de obtener los datos de monitoreo durante las 10 semanas de época de estiaje se utilizó el software de Microsoft Excel versión 2013 donde se realizó un promedio total del periodo analizado. A continuación, se muestra los resultados del procedimiento del modelo a través de las ecuaciones que fueron ingresadas en Excel:

**Primero:** Se utilizaron para el modelado los valores de cada semana (anexo 7) que luego fueron promediados para obtener los resultados mensuales y de la época de estiaje.

**Cuadro 4.9.** Valores de la semana 1 en puntos bases

	T	OD	DBO <sub>5</sub>	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	H (m)	V (m/s)
Descarga	26,1	1,6	193	0,03		
Río	25,4	4,6	9	5,75	0,5	0,522

Fuente: (Flores y Menéndez, 2019)

Se aplicó la ecuación del balance general para determinar los parámetros de en el punto de mezcla donde se obtuvo lo siguiente:

#### Balance para el caudal

$$Q_m = Q_r + Q_d$$

$$Q_m = (5,75 + 0,03) \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_m = 5,78 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### Balance para el OD

$$OD_m = \frac{(OD_r * Q_r + OD_d * Q_d)}{Q_m}$$

$$OD_m = \frac{(4,6 * 5,75 + 1,6 * 0,03)}{5,78}$$

$$OD_m = 4,58 \text{ mg/l}$$

**Balance para la DBO**

$$DBOm = \frac{(DBOr * Qr + DBOd * Qd)}{Qm}$$

$$DBOm = \frac{(9 * 5,75 + 193 * 0,03)}{5,78}$$

$$DBOm = 9,96 \text{ mg/l}$$

**Balance para la temperatura**

$$Tm = \frac{(Tr * Qr + Td * Qd)}{Qm}$$

$$Tm = \frac{(25,4 * 5,75 + 26,1 * 0,03)}{5,78}$$

$$Tm = 25,40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Resultado de los parámetros en el punto de mezcla:

**Cuadro 4.10.** Resultados de datos en el punto de mezcla de semana 1

<b>Mezcla (balance de masas)</b>		
Qm	5,78	m <sup>3</sup> /s
DBOm	9,96	mg/l
ODm	4,58	mg/l
Tm	25,40	°C

Fuente: (Flores y Menéndez, 2019)

**Segundo:** Determinación de las constantes cinéticas de desoxigenación y reoxigenación:

$$kd = 0,3 * \left(\frac{H}{8}\right)^{-0,434}$$

$$kd = 0,3 * \left(\frac{0,5}{8}\right)^{-0,434}$$

$$kd = 0,9993309 \text{ d}^{-1} \text{ a } 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Se fijó una constante de reoxigenación de 0.46 a 20 °C d<sup>-1</sup> según el cuadro de intervalos de acuerdo a las características del río.

$$kd = 0,9993309 d^{-1} a 20 ^\circ C$$

$$ka = 0,46 d^{-1} a 20 ^\circ C$$

Correcciones de las constantes cinéticas por temperatura:

$$K^T = K^{20} \cdot \theta^{(T-20)}$$

$$kd = 0,9993309 * 1047^{(25,40-20)}$$

$$kd \text{ corregida a temperatura de mezcla} = 1,2808 d^{-1}$$

$$ka = 0,46 * 1024^{(25,40-20)}$$

$$ka \text{ corregida a temperatura de mezcla} = 0,523 d^{-1}$$

**Tercero:** Se calculó del déficit inicial de oxígeno disuelto:

$$Do = Os - OD$$

$$Do = 8,26 - 4,58$$

$$Do = 3,6756 mg/l$$

**Cuarto:** Modelación de la concentración de DBO y OD. Se calculó para una distancia referencial de 1000 metros con una velocidad transformada a m/d de 45100,8:

$$DBO = Lo * e^{(-kd * \frac{x}{v})}$$

$$DBO = 9,96 * e^{(-1,2808 * (\frac{1000}{45100,8}))}$$

$$DBO_{1000m} = 9,68 mg/l$$

Se calculó el déficit de oxígeno a x distancia:

$$D = Do * e^{-ka * \frac{x}{v}} + \frac{kd * Lo}{ka - kd} (e^{-kd * \frac{x}{v}} - e^{-ka * \frac{x}{v}})$$

$$D = 3,6756 * e^{-0,523 * \frac{1000}{45100,8}} + \frac{1,2808 * 9,96}{0,523 - 1,2808} (e^{-1,2808 * \frac{1000}{45100,8}} - e^{-0,523 * \frac{1000}{45100,8}})$$

$$D = 3,91 \text{ mg/l}$$

Se calculó la representación del oxígeno disuelto a x distancia:

$$OD = Os - D_x \text{ distancia}$$

$$OD = 8,26 - 3,91_{1000 \text{ m}}$$

$$OD_{1000\text{m}} = 4,35 \text{ mg/l}$$

**Quinto:** Se establecieron las condiciones críticas:

#### Tiempo crítico

$$tc = \frac{1}{(Ka - kd)} * \ln \left\{ \frac{ka}{kd} \left[ 1 - \frac{Do(kd - ka)}{kd * Lo} \right] \right\}$$

$$tc = \frac{1}{(0,523 - 1,2808)} * \ln \left\{ \frac{0,523}{1,2808} \left[ 1 - \frac{3,6756 (0,523 - 1,2808)}{1,2808 * 9,96} \right] \right\}$$

$$tc = 0,92 \text{ días}$$

#### Distancia crítica

$$Xc = V * tc$$

$$Xc = 45100,8 * 0,92$$

$$Xc = 41,551 \text{ m}$$

#### Déficit crítico

$$Dc = \frac{kd}{ka} Lo e^{-kd * tc}$$

$$Dc = \frac{1,2808}{0,523} 9,96 e^{-1,2808 * 0,92}$$

$$Dc = 7,49 \text{ mg/l}$$



### Oxígeno disuelto crítico

$$ODc = Os - Dc$$

$$ODc = 8,26 - 7,49$$

$$ODc = 0,77 \text{ mg/l}$$

**Sexto:** Se calculó del porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub>:

$$e = \frac{DBO_5(\text{mezcla}) - DBO_5(9000m)}{DBO_5(\text{mezcla})} * 100$$

$$e = \frac{9,96 - 7,71}{9,96} * 100$$

$$e = 23\%$$

### 4.3.1. COMPORTAMIENTO DE OXÍGENO DISUELTO Y MATERIA ORGÁNICA EN EL MONITOREO DEL MES DE SEPTIEMBRE

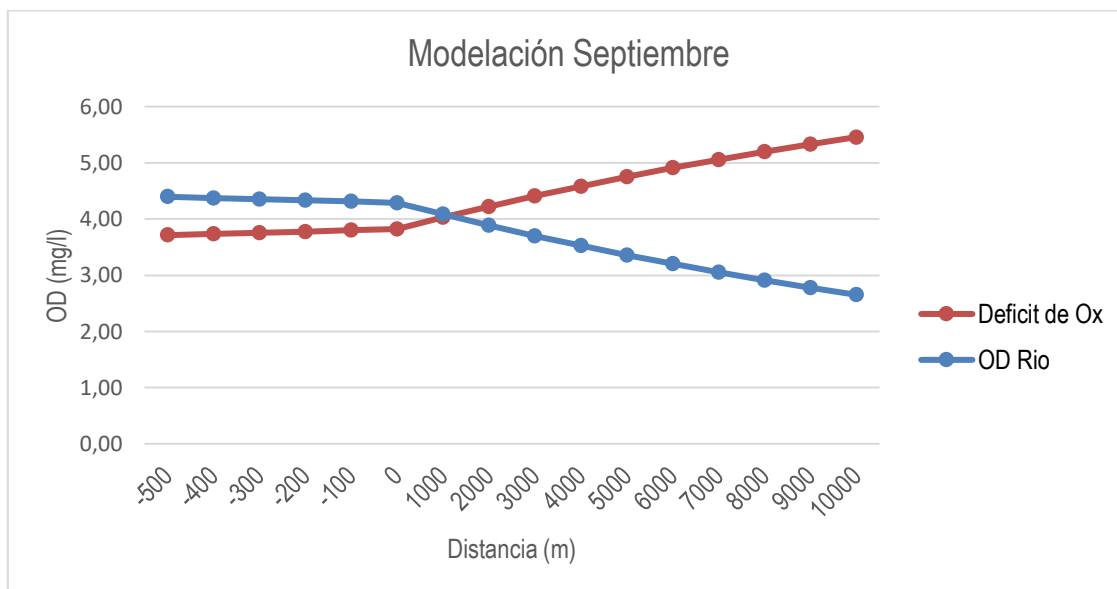
Luego de los cálculos se promediaron los resultados de las semanas de cada mes y de la época de estiaje para determinar la capacidad autodepurativa del río Carrizal en función de los efluentes de las lagunas de oxidación de Calceta.

**Cuadro 4.11.** Modelación de datos para el mes de septiembre

Promedio septiembre (semana 1-4)			
Distancia (m)	Déficit de OD (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)
-500	3,71	4,40	8,56
-400	3,73	4,38	8,53
-300	3,76	4,35	8,50
-200	3,78	4,33	8,48
-100	3,80	4,31	8,45
0	3,82	4,29	8,43
1000	4,03	4,08	8,17
2000	4,22	3,89	7,92
3000	4,41	3,70	7,68
4000	4,58	3,53	7,45
5000	4,75	3,36	7,22
6000	4,91	3,20	7,00
7000	5,06	3,05	6,79
8000	5,20	2,91	6,59
9000	5,33	2,78	6,39
10000	5,46	2,65	6,19

Fuente: (Flores y Menéndez, 2020)

El cuadro 4.11 muestra los resultados de los datos de la modelación del OD y de la DBO. Se presentan las probabilidades antes y después del punto 0 (punto mezcla), en el cual se observa la disminución del oxígeno disuelto y el aumento del déficit inicial a medida que aumenta cada tramo, llegando a disminuir el OD hasta los 2,78 mg/l durante los 9000 metros de estudio, mientras que la DBO presenta un mínimo de 6,39 mg/l a la misma distancia.



**Gráfico 4.7.** Modelación promedio para el mes de septiembre

El gráfico 4.7 muestra el comportamiento del oxígeno disuelto del mes de septiembre haciendo predicciones cada 1000 metros, donde aguas arriba tiene el valor de 4,40 mg/l que luego de la descarga se observa claramente cómo va decayendo el OD debido al efecto que ejerce la descarga de las lagunas de oxidación. Esto de acuerdo con lo señalado por Margalef (2011) el cual afirma en su investigación sobre las características físicas y químicas y organismos que viven en lagos, ríos y embalses; que el producto de la descomposición de materia orgánica afecta principalmente a la concentración de oxígeno disuelto en el agua, ya que aumentan el consumo de oxígeno por parte de los microorganismos. El modelo matemático reflejó la disminución del OD llegando a su punto crítico 1,275 mg/l en una distancia de 36,25 km partiendo de la descarga lo que se calcula que pasaría en 0,8375 días, siendo después de este punto donde el río empieza a recuperar sus condiciones.

#### 4.3.1.1. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA SEGÚN EL MODELO MATEMÁTICO STREETER AND PHELPS DEL MES DE SEPTIEMBRE

La siguiente ecuación utiliza datos de  $DBO_5$  expresados en el cuadro 4.11 que modela el comportamiento del río Carrizal frente a la laguna de oxidación del Cantón Bolívar.

$$e = \frac{DBO_5 (mezcla) - DBO_5 (9000m)}{DBO_5 (mezcla)} * 100$$

$$e = \frac{8,43mg/l - 6,39mg/l}{8,43mg/l} * 100$$

$$e = 24,19\%$$

De acuerdo con el modelo matemático, el río Carrizal en el mes de septiembre removió el 24,19% de materia orgánica, partiendo del punto de mezcla con un valor de 8,43 mg/l el cual disminuyó a 6,39 mg/l a los 9000 metros a partir de la mezcla con la descarga. El río Carrizal presenta niveles bajos de OD lo que provoca una baja capacidad autodepurativa, esto de acuerdo a lo establecido por Cubillos (s.f) el cual señala que para descomponer gran cantidad de  $DBO_5$  se necesita gran cantidad de OD. Por otra parte, La Cruz, Paredes & Guevara (2006) manifiestan que los resultados de la capacidad de autodepuración son circunstanciales, ya que cualquier aumento o reducción de la carga contaminante, un aumento de la temperatura o del caudal en el punto de mezcla, perturbaría la capacidad de autodepuración.

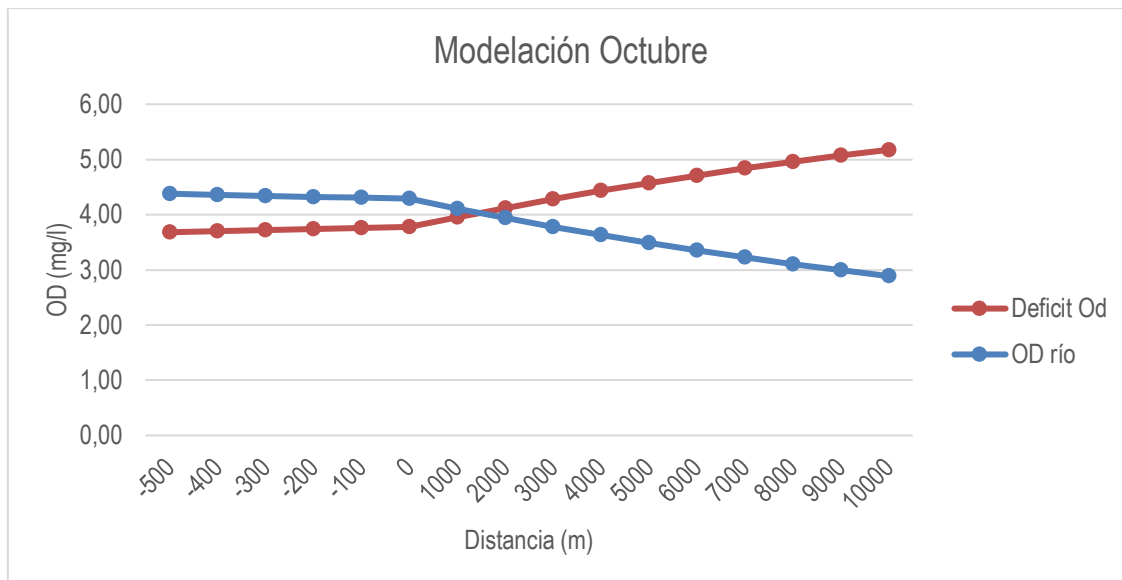
### 4.3.2. COMPORTAMIENTO DE OXÍGENO DISUELTO Y MATERIA ORGÁNICA EN EL MONITOREO DEL MES DE OCTUBRE

**Cuadro 4.12.** Modelación de datos para el mes de octubre

Promedio octubre (semana 5-7)			
Distancia (m)	Déficit (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)
-500	3,68	4,38	7,33
-400	3,70	4,36	7,30
-300	3,72	4,34	7,28
-200	3,74	4,32	7,26
-100	3,75	4,31	7,23
0	3,77	4,29	7,21
1000	3,95	4,11	6,99
2000	4,12	3,94	6,77
3000	4,28	3,78	6,56
4000	4,43	3,63	6,35
5000	4,57	3,49	6,16
6000	4,71	3,35	5,97
7000	4,84	3,22	5,78
8000	4,96	3,10	5,60
9000	5,07	2,99	5,43
10000	5,17	2,89	5,26

Fuente: (Flores y Menéndez, 2020)

El cuadro 4.12 muestra los resultados de los datos de la modelación del OD y de la DBO. Se presentan las probabilidades antes y después del punto 0 (punto mezcla), en el cual se observa la disminución del oxígeno disuelto y el aumento del déficit inicial a medida que aumenta cada tramo, llegando a disminuir el OD hasta los 2,99 mg/l durante los 9000 metros de estudio, mientras que la DBO presenta un mínimo de 5,43 mg/l a la misma distancia.



**Gráfico 4.8.** Modelación promedio para el mes de octubre

El gráfico 4.8 muestra el comportamiento del oxígeno disuelto del mes de octubre haciendo predicciones cada 1000 metros, donde aguas arriba tiene el valor de 4,38 mg/l, que luego de la descarga de agua residual se evidencia que los valores van disminuyendo, lo que para Romero (2004) sucede por la demanda de OD que se necesita para estabilizar la alta carga orgánica. Llegando a su punto crítico 1,84 mg/l en una distancia de 33,34 km partiendo del punto mezcla, lo que se calcula que pasaría en 0,76 días siendo este el punto crítico donde el río empieza a aumentar sus niveles de oxígeno.

#### 4.3.2.1. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA SEGÚN EL MODELO MATEMÁTICO STREETER AND PHELPS DEL MES DE OCTUBRE

La siguiente ecuación utiliza datos de  $DBO_5$  expresados en el cuadro 4.12 que modela el comportamiento del río Carrizal frente a la laguna de oxidación del Cantón Bolívar.

$$e = \frac{DBO_5 (mezcla) - DBO_5 (9000m)}{DBO_5 (mezcla)} * 100$$

$$e = \frac{7,21mg/l - 5,43mg/l}{7,21mg/l} * 100$$

$$e = 24,68\%$$

De acuerdo con el modelo matemático de Streeter and Phelps el río Carrizal en el mes de octubre removi6 el 24,68% de materia Orgánica, partiendo del punto de mezcla con un valor de 7,21 mg/l el cual disminuy6 a 5,43 mg/l a los 9000 metros a partir de la mezcla con la descarga. Pazmiño & Toapanta (2018) indican que la distancia influye directamente en la capacidad auto depurativa del río es decir a mayor distancia mayor ser6 la capacidad de remoci6n de materia orgánica como funci6n biol6gica.

### 4.3.3. COMPORTAMIENTO DE OXÍGENO DISUELTO Y MATERIA ORGÁNICA EN EL MONITOREO DEL MES DE NOVIEMBRE

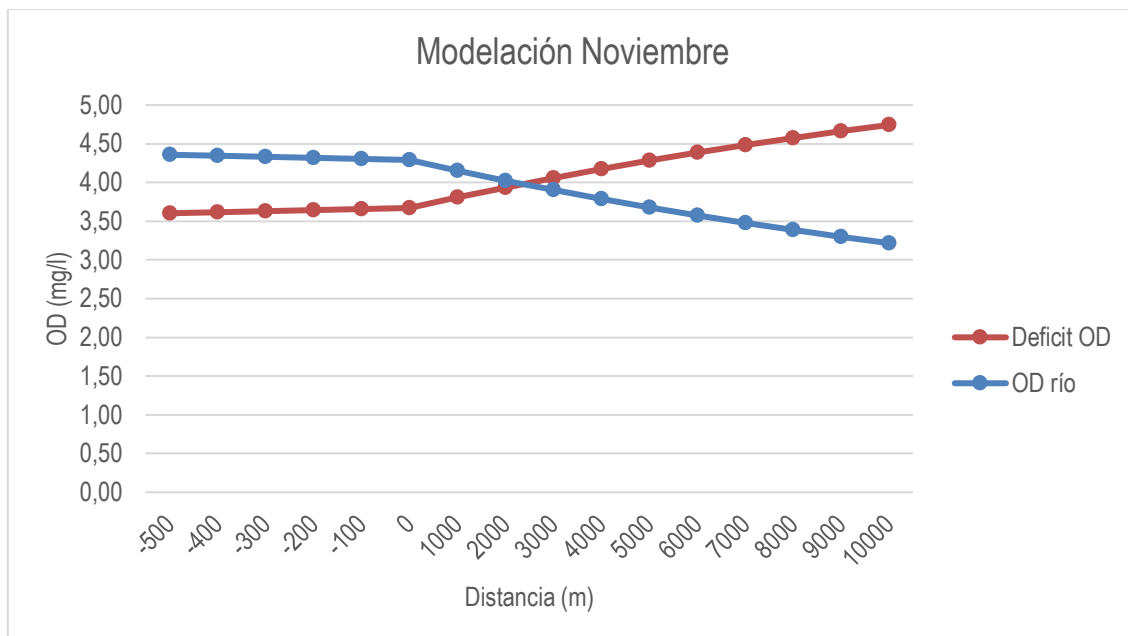
Cuadro 4.13. Modelaci6n de datos para el mes de noviembre

Distancia (m)	Déficit OD (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)
-500	3,60	4,36	6,28
-400	3,62	4,34	6,26
-300	3,63	4,33	6,24
-200	3,64	4,32	6,23
-100	3,66	4,30	6,21
0	3,67	4,29	6,19
1000	3,81	4,15	6,01
2000	3,93	4,03	5,84
3000	4,06	3,90	5,67
4000	4,17	3,79	5,51
5000	4,28	3,68	5,35
6000	4,38	3,58	5,19
7000	4,48	3,48	5,04
8000	4,57	3,39	4,90
9000	4,66	3,30	4,76
10000	4,74	3,22	4,62

Fuente: (Flores y Menéndez, 2020)

El cuadro 4.13 muestra los resultados de los datos de la modelaci6n del OD y de la DBO durante el mes de noviembre. Se presentan las probabilidades antes y despu6s del punto 0 (punto de mezcla), en el cual se observa la disminuci6n del oxígeno disuelto y el aumento del d6ficit inicial a medida que aumenta cada

tramo, llegando a disminuir el OD hasta los 3,30 mg/l durante los 9000 metros de estudio, mientras que la DBO alcanza un mínimo de 4,76 mg/l a la misma distancia.



**Gráfico 4.9.** Modelación promedio para el mes de noviembre

El gráfico 4.9 muestra el comportamiento del oxígeno disuelto del mes de noviembre haciendo predicciones cada 1000 metros, donde aguas arriba tiene el valor de 4,38 mg/l que luego de la descarga se observa claramente cómo va decayendo el OD debido al efecto que ejerce la descarga de las lagunas de oxidación de Bolívar sobre río Carrizal, ocasionando una disminución constante.

Esto sucede ya que el río presenta tasas bajas de reaireación debido a que su velocidad disminuye a medida que se acerca al embalsamiento, en concordancia con lo establecido por Russell (2006) el cual afirma que el río se comporta como reactor flujo pistón donde la principal fuente de aporte de oxígeno es el intercambio aire-agua y el principal sumidero es la DBO<sub>5</sub>. EL modelo expresa que el punto más crítico de OD de 2,38 mg/l en una distancia de 34,67 km partiendo de la descarga lo que se calcula que pasaría en 0,75 días siendo luego de este, el punto donde el río empieza a aumentar sus niveles de oxígeno.

#### 4.3.3.1. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA SEGÚN EL MODELO MATEMÁTICO STREETER AND PHELPS DEL MES DE NOVIEMBRE

La siguiente ecuación utiliza datos de  $DBO_5$  expresados en el cuadro 4.13 que modela el comportamiento del río Carrizal frente a la descarga de las lagunas de oxidación del Cantón Bolívar.

$$e = \frac{DBO_5(\text{mezcla}) - DBO_5(9000m)}{DBO_5(\text{mezcla})} * 100$$

$$e = \frac{6,19mg/l - 4,76mg/l}{6,19mg/l} * 100$$

$$e = 23,10\%$$

A través del modelo matemático Streeter-Phelps se determinó que el río Carrizal en el mes de noviembre removió el 23,10% de materia orgánica, partiendo del punto de mezcla con un valor de 6,19 mg/l el cual disminuye a 4,76 mg/l a los 9000 metros a partir de la mezcla con la descarga. Mocochoa (2013) indica que la capacidad de autodepuración está controlada por los niveles de OD, es decir, a mayor concentración de OD mayor será la capacidad autodepurativa del río, lo que se ve reflejado en la presente investigación al presentar una baja capacidad autodepurativa, por la presencia de bajas cantidades de OD.



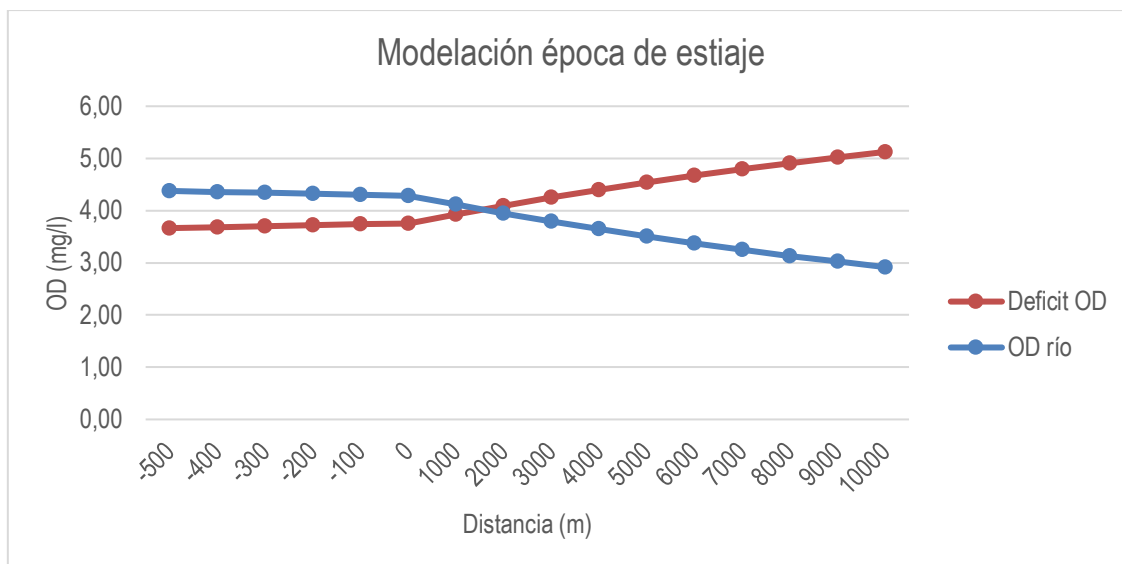
#### 4.3.4. COMPORTAMIENTO DE OXÍGENO DISUELTO Y MATERIA ORGÁNICA EN LA ÉPOCA DE ESTIAJE

Cuadro 4.14. Modelación de datos en época de estiaje

Distancia (m)	Déficit OD (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)
-500	3,67	4,38	7,39
-400	3,68	4,36	7,36
-300	3,70	4,34	7,34
-200	3,72	4,32	7,32
-100	3,74	4,31	7,30
0	3,76	4,29	7,28
1000	3,93	4,12	7,06
2000	4,09	3,95	6,84
3000	4,25	3,80	6,64
4000	4,40	3,65	6,44
5000	4,54	3,51	6,24
6000	4,67	3,38	6,05
7000	4,79	3,25	5,87
8000	4,91	3,13	5,70
9000	5,02	3,02	5,52
10000	5,13	2,92	5,36

Fuente: (Flores y Menéndez, 2020)

El cuadro 4.14 muestra los resultados de los datos de la época de estiaje reproducidos por el modelo matemático Streeter and Phelps, el cual muestra como el OD tiende a decaer desde el punto 0 (punto mezcla) hasta los 9000 metros después (punto 3) con valores de hasta 3,02 mg/l en condiciones poca aerobias. Se evidencia que durante los 9000 metros de muestreo el río Carrizal no muestra ninguna tendencia a la recuperación del oxígeno disuelto. Por otra parte, la DBO<sub>5</sub> desde el punto de mezcla con un valor de 7,28 mg/l disminuye hasta los 5,52 mg/l a los 9000 metros ubicado en el punto 3 en el sitio “La Estancilla”.



**Gráfico 4.10.** Modelación promedio para la época de estiaje

El gráfico 4.10 muestra el comportamiento del oxígeno disuelto la época de estiaje haciendo predicciones cada 1000 metros, donde aguas arriba tiene el valor de 4,38 mg/l que luego de la descarga se observa claramente cómo va decayendo debido al efecto que ejerce la descarga de las lagunas de oxidación de Bolívar sobre la calidad de agua del río Carrizal, ocasionando una disminución constante, alcanzando en su punto crítico una concentración de 1,83 mg/l en una distancia de 34,75 km partiendo de la descarga, lo que se calcula que pasaría en 0,78 días, siendo este el punto crítico donde luego el río empieza aumentar los valores de OD, lo que favorecería de acuerdo con Sardiñas, Chiroles, Fernández, Hernández & Pérez (2016) los cuales señalan que al aumentar el OD, se incrementa la supervivencia de especies acuáticas, pero que también las altas concentraciones facilitan la proliferación de bacterias y microorganismos aeróbicos.

#### **4.3.4.1. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA SEGÚN EL MODELO MATEMÁTICO STREETER AND PHELPS DE LA ÉPOCA SECA O DE ESTIAJE**

La siguiente ecuación utiliza datos de  $DBO_5$  expresados en el cuadro 4.14 que modela el comportamiento del río Carrizal frente a los efluentes de las lagunas de oxidación del Cantón Bolívar.

$$e = \frac{DBO_5(\text{mezcla}) - DBO_5(9000\text{m})}{DBO_5(\text{mezcla})} * 100$$

$$e = \frac{7,28\text{mg/l} - 5,52\text{mg/l}}{7,28\text{mg/l}} * 100$$

$$e = 23,76\%$$

Por medio del modelo matemático de Streeter and Phelps se determinó que el río Carrizal en la época seca o de estiaje removi6 el 23,76% de materia orgánica, desde el punto de mezcla con un valor de 7,28 mg/l el cual disminuye a 5,52 mg/l a los 9000 metros ubicado en el punto 3 en el sitio “La Estancilla”. Esto de acuerdo con Navarro, Domínguez, & Jiménez (2013) en un estudio similar realizado en el río Magdalena de la ciudad de México donde obtuvieron un porcentaje de remoción de materia orgánica que varió entre el 7% y 12% en la época de estiaje, ellos aseguran que las concentraciones de OD y DBO<sub>5</sub> son sensibles a variaciones en la temperatura, el caudal y la carga contaminante que recibe el río.

El modelo matemático presenta resultados concisos sobre la capacidad de autodepuración del río Carrizal, evidenciando que los datos obtenidos en campo dentro de los 9000 metros de estudio están sujetos a los resultados que expresa el modelo. Lo que se corrobora por Pazmiño, Zambrano y Coello (2018) en su investigación en la corriente del estero Aguas Claras en Quevedo, que el modelo Streeter and Phelps obtuvo un buen rendimiento, demostrando que este se ajusta a las condiciones de la variación del oxígeno disuelto. Por otra parte, La Cruz, Paredes, & Guevara (2006) proponen utilizar modelos matemáticos más complejos que utilicen otras variables como la fotosíntesis y respiración asociada al fitoplancton.

# CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1 CONCLUSIONES

- Los puntos de muestreos se establecieron en base a las actividades antropogénicas que se producen; a 500 metros aguas arriba de la descarga, el siguiente punto fue en la descarga de las lagunas de oxidación, seguido por el punto de mezcla donde hay homogeneidad entre el río y la descarga. Para monitorear el comportamiento del río sobre las descargas se establecieron 3 puntos de monitorios ubicados cada 3000 metros; teniendo así el punto de muestreo número uno ubicado en diagonal al coliseo de la ESPAM, el punto número dos de muestreo ubicado en el sitio La Pastora y como último punto en el sitio la Estancilla.
- El parámetro de OD se encuentran fuera de los límites máximos permisibles para la preservación de flora y fauna en aguas dulces. Se pudo evidenciar con los datos obtenidos en campo que el OD desciende hasta 2,5 mg/l por lo que se encuentra por debajo del estándar ambiental que es 5 mg/l establecido en el anexo 1, del libro VI De La Calidad Ambiental, del TULSMA afectando a la preservación de la fauna.
- La DBO<sub>5</sub> de mayor incidencia fue la proveniente de las lagunas de oxidación del cantón Bolívar con una concentración 210 mg/l valor que sobre pasa los valores máximos permisibles para la descarga en cuerpos de agua dulce cuyo estándar ambiental es de 100 mg/l establecido en el anexo 1, del libro VI de Calidad Ambiental, del TULSMA.
- El parámetro de pH tuvo un rango 6,0 a 8,0 en los 6 puntos de muestreos registrando el valor máximo 8,09 y un mínimo de 6,24 teniendo en cuenta que ninguno sobre pasa los límites máximos permisibles establecido en la normativa del libro VI del TULSMA de Calidad Ambiental que es de 6,0 a 9,0.
- El modelo matemático Streeter and Phelps utilizado para el análisis del comportamiento del río carrizal frente a las lagunas de oxidación refleja con los valores obtenidos en el campo que el río tendrá un punto más crítico de 1,83 mg/l a los 34,75 km aguas abajo de la descarga.

- Los datos más representativos fueron los de: punto blanco con OD de 4,3 mg/l y de MO 6,39 mg/l los cuales fueron afectados por la descarga de las lagunas de oxidación con valores de OD 2,07 mg/l y MO de 167,7 mg/l. El modelo matemático Stretter and Phelps predijo sin cambios significativos que el río carrizal removió 23,76% de remoción de materia orgánica provenientes de las lagunas de oxidación.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Al departamento de gestión Ambiental del GADM de Bolívar hacer mantenimiento y seguimiento de control de las lagunas de oxidación para cumplir con los parámetros y exigencia establecidos en la normativa vigente para descargas en cuerpos de agua dulce.
- Realizar estudios más profundos e incluir parámetros que influyen en la capacidad de autodepuración como (coliformes totales, plaguicidas y tenso activos). Realizar el estudio en época lluviosa para comparar la capacidad auto depurativa en las 2 épocas del año.
- Es necesario que a través de la ESPAM MFL se programen monitoreos periódicos de calidad de agua del río Carrizal debido a que hay un sin números de descargas tanto aguas arriba como aguas abajo que provoca el aumento de la concentración de los contaminantes.
- Se evidenció la presencia de residuos sólidos que descienden por río carrizal por lo que necesario las autoridades tomen medidas de control sobre las descargas de residuos sólidos hacia el río Carrizal.
- Profundizar estudios ambientales con modelación matemática en futuras investigaciones sobre la calidad de agua, gracias a su alta eficiencia, su fácil manejo y su variación sin cambios significativos que la hacen una herramienta eficaz al momento de realizar un modelamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álcivar, S., & Velásquez, F. (2013). Sistema de tratamiento para las aguas residuales. (Ponencia). Calceta: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Recuperado el 25 de junio de 2020, de <http://sigloxxi.espam.edu.ec/Ponencias/II/simposio1/23.pdf>
- Altamirano, M., & Alvarado, C. (2013). Estudio hidroquímico y de calidad del agua superficial en la cuenca del río Mira. (Tesis de Grado). Universidad Central del Ecuador. Quito: Carrera de Ingeniería Química. Recuperado el 26 de Junio de 2019, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1711>
- Ambrus, S. (22 de noviembre de 2016). Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado el 23 de mayo de 2019, de <https://blogs.iadb.org/ideas-que-cuentan/es/investigadores-al-combate-de-la-contaminacion-y-las-enfermedades/>
- Autoridad Nacional del Agua del Perú. (2011). Obtenido de [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/2011-protocolo-anaperu.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/2011-protocolo-anaperu.pdf)
- Belzona. (2014). Tratamiento de aguas residuales. Miami. Recuperado el 12 de diciembre de 2019, de [https://www.belzona.com/es/solution\\_maps/wastewater/money\\_map.pdf](https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf)
- Bezerra, J., & Pinto, R. (2002). A morfometria e o estado trófico de um reservatório urbano: lagoa do Nado, Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais. *Acta Scientiarum*(2), 285-290. Recuperado el 28 de abril de 2020, de <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciBioIsci/article/view/2263/2243>
- Cajas, V. (2015). Estimación de valores de contaminación difusa para el río Tomebamba en zonas periféricas y urbanas. (Tesis de Pregrado). Cuenca: Universidad de Cuenca. Recuperado el 25 de Junio de 2019, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23122>
- Chapra, S. (1997). *Surface Water-Quality Modeling* (Vol. 2). (S. W.-Q. Modeling, Ed.) New York, USA: Mc Graw-hill. Recuperado el 30 de mayo de 2019

- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Título III. Capítulo 2. Sección Segunda. Ambiente sano. Recuperado el 7 de mayo de 2019, de [www.desarrollosocial.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2013/10/constitucion.pdf](http://www.desarrollosocial.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2013/10/constitucion.pdf)
- Cubillos, J. (s.f). Lagunas de estabilización, su eficiencia en la remoción de materia orgánica. Cali. Recuperado el 5 de julio de 2020, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/011643/011643-09.pdf>
- Del Ángel, E. (2014). Hidrodinámica. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. Recuperado el 5 de enero de 2020, de <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/16715/LECT147.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- El Universo. (18 de marzo de 2009). Ecuador enfrenta desafíos por contaminación de ríos. Ecuador. Recuperado el 23 de mayo de 2019, de <https://www.eluniverso.com/2009/03/18/1/1430/3927AAEE806F4DF68C94A6C26704856D.html>
- Escobar, J., & Moreno, N. (2016). Determinación de los coeficientes de oxigenación y desoxigenación para la curva de comportamiento de oxígeno disuelto en el río Fucha. (Tesis de Grado). Universidad Católica de Colombia, Bogotá. Recuperado el 12 de diciembre de 2019, de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/6805/4/Determinaci%C3%B3n%20de%20los%20Coeficientes%20de%20oxigenaci%C3%B3n%20y%20desoxigenaci%C3%B3n%20para%20la%20curva%20de%20comportamiento.pdf>
- Espigares, M., & Pérez, L. (2014). Aguas residuales, composición. Granada: Universidad de Granada. Recuperado el 15 de enero de 2020, de [https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)
- Gil, M., Soto, A., Usma, J., & Gutiérrez, O. (2012). Contaminantes emergentes en aguas. Producción más limpia, 2(No 2), 4-8. Recuperado el 28 de mayo de 2019, de <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a05.pdf>
- Goyenola, G. (Junio de 2007). Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos. Recuperado el 5 de noviembre de 2019, de

imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso\_2007/cartillas/tematicas/OD.pdf

- IAGUA. (2017). Eutrofización: Causas, consecuencias y soluciones. Recuperado el 23 de mayo de 2019, de <https://www.iagua.es/noticias/sewervac-iberica/eutrofizacion-causas-consecuencias-y-soluciones>
- Kiely, G. (1999). Ingeniería ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Madrid: McGraw-Hill. Recuperado el 16 de junio de 2019
- La Cruz, F., Paredes, F., & Guevara, E. (2006). Modelación de la autodepuración del agua en el tramo medio del río San Carlos. (Tesis de maestría). Valencia: Universidad de Carabobo. Obtenido de <http://www.revenicyt.ula.ve/storage/repo/ArchivoDocumento/agrollania/v3n1-2/articulo9.pdf>
- Margalef, R. (2011). Limnología aplicada. Barcelona. Recuperado el 5 de Julio de 2020, de <http://www.ediciones-omega.es/ecologia/58-limnologia-978-84-282-0714-0.html>
- Metcalf y Eddy. (1996). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización (Tercera ed., Vol. I). España: Impresos y Revistas SA. Obtenido de [https://www.academia.edu/35963101/Ingenier%C3%ADa\\_de\\_aguas\\_residuales\\_Volumen\\_1\\_3ra\\_Edici%C3%B3n\\_-\\_METCALF\\_and\\_EDDY-FREELIBROS.ORG.pdf](https://www.academia.edu/35963101/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales_Volumen_1_3ra_Edici%C3%B3n_-_METCALF_and_EDDY-FREELIBROS.ORG.pdf)
- Minaya, R. (2016). Parámetros físicos, químicos, microbiológicos para determinar la calidad del agua. (Tesis de Grado). Iquitos: UNAP. Recuperado el 1 de Junio de 2019, de [http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4690/Reynaldo\\_Tesis\\_Titulo\\_2017.pdf?sequence=1](http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4690/Reynaldo_Tesis_Titulo_2017.pdf?sequence=1)
- Mocoroa, F. (2013). La auto-depuración del río Urumea. Recuperado el 06 de mayo de 2019, de <http://www.aranzadi.eus/fileadmin/docs/Munibe/1961117125.pdf>
- Molero, J., Saez, J., & Soler, A. (2009). La autodepuración de las corrientes de agua. Recuperado el 15 de diciembre de 2019, de



<https://redined.mecd.gob.es/xmlui/bitstream/handle/11162/72890/00820073007882.pdf?sequence=1>

- Muñoz, T., & Reyes, R. (2013). Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica y nitrógeno en un filtro percolador con nuevo empaque. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12 (3), 575-583. Recuperado el 8 de octubre de 2019, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-27382013000300019](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382013000300019)
- Navarro, I., Domínguez, R., & Jiménez, B. (2013). Modificación de la capacidad de autodepuración del río Magdalena ante el cambio climático. *Scielo*, 71-83. Recuperado el 25 de junio de 2020, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v4n5/v4n5a5.pdf>
- Pazmiño, J., & Toapanta. (2018). Modelización de la calidad del agua del estero El Limón, Cantón Quevedo, estación seca. (Tesis de Grado). Quevedo: Universidad Estatal de Quevedo. Recuperado el 25 de junio de 2020, de <http://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3642/1/T-AMB-UTEQ-0083.pdf>
- Pazmiño, J., Zambrano, G., & Coello, H. (2018). Modelización de la calidad del agua del estero aguas Claras, cantón Quevedo. *DYNA*, 12. Recuperado el 30 de Marzo de 2020, de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532018000100204&script=sci\\_abstract&tIng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532018000100204&script=sci_abstract&tIng=es)
- Plan Nacional de Desarrollo. (2017). *Toda una Vida*. Recuperado el 23 de mayo de 2019, de <https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/EcuadorPlanNacionalTodaUnaVida20172021.pdf>
- Raffo, E., & Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno (Vol. 17). *Industrial Data*. Recuperado el 12 de diciembre de 2019
- Reinoso, I. (2015). Evaluación Ambiental del río Machangara. (Tesis de Grado). Quito: Escuela Politécnica Nacional. Recuperado el 6 de Junio de 2019, de [bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10479/1/CD-6199.pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10479/1/CD-6199.pdf)

- Romero, J. (2004). Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño (Tercera ed.). Bogotá: Editorial Colombiana de Ingeniería.
- Rowe, R., & Tchobanoglous, G. (1985). McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering. McGraw-Hill. Recuperado el 10 de Julio de 2019
- Russell, D. (2006). Tratamiento de aguas residuales, un enfoque práctico. Estados Unidos: Reverté.
- Sánchez, D. (2006). Calidad de las aguas. Castilla: Universidad de Castilla. Recuperado el 15 de Enero de 2020, de [http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2016/05/12\\_Calidad-agua-r%C3%ADos\\_v2015\\_resumen.pdf](http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2016/05/12_Calidad-agua-r%C3%ADos_v2015_resumen.pdf)
- Sánchez, J. (2013). Dpto. Geología Universidad de Salamanca. Recuperado el 3 de Junio de 2019, de <http://hidrologia.usal.es/temas/Aforos.pdf>
- Sardiñas, O., Chiroles, S., Fernández, M., Hernández, Y., & Pérez, A. (2006). Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba). Higiene y Sanidad Ambiental(6), 202-206. Recuperado el 10 de abril de 2020, de [https://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51015aa031684\\_Hig.Sanid.Ambient.6.202-206\(2006\).pdf](https://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51015aa031684_Hig.Sanid.Ambient.6.202-206(2006).pdf)
- Sierra, C. (2011). Calidad del Agua: evaluación y diagnóstico. (E. L. Escobar., Ed.) Medellín, Colombia: Universidad de Medellín, Ediciones de la U. Recuperado el 31 de Mayo de 2019, de [https://www.academia.edu/9511155/Calidad\\_del\\_agua\\_evaluaci%C3%B3n\\_y\\_diagn%C3%B3stico](https://www.academia.edu/9511155/Calidad_del_agua_evaluaci%C3%B3n_y_diagn%C3%B3stico)
- Steves, F. (2011). Fundamentos de limnología (2da ed.). Río de Janeiro: Interciencia. Recuperado el 29 de abril de 2020
- Suárez, J. (2008). Calidad de Agua en Ríos: Autodepuración. Recuperado el 24 de mayo de 2019, de [http://oa.upm.es/30837/1/PFC\\_Fernando\\_Blanco\\_Santos.pdf](http://oa.upm.es/30837/1/PFC_Fernando_Blanco_Santos.pdf)
- Tundisi, J., & Matsumura, T. (2008). Limnología. Sao Paulo: Oficina de Textos. Recuperado el 28 de Abril de 2020
- Valdez, E., & Vázquez, A. (2003). Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento. México: Fundación ICA. Recuperado el 5 de junio de 2019, de

[http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/ingenieria\\_de\\_los\\_sistemas\\_de\\_tratamiento\\_y\\_disposicion\\_de\\_aguas\\_residuales\\_civilgeeks.pdf](http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/ingenieria_de_los_sistemas_de_tratamiento_y_disposicion_de_aguas_residuales_civilgeeks.pdf)

- Valencia, A. (2013). Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis. (Tesis de Grado). Riobamba: Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. Recuperado el 12 de enero de 2020, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3118/1/236T0084.pdf>
- Villacis, A. (Mayo de 2011). Estudio de un sistema de depuración de aguas residuales para reducir la contaminación de río Ambato y los sectores aledaños, en el sector de Pisocucho, de la parroquia Izamba, del Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua. (Tesis de Grado). Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Recuperado el 25 de junio de 2019, de [repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/1350](http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/1350)
- Zabaleta, E. (2016). Evaluación del porcentaje de remoción de materia orgánica en función a las características físicoquímicas del río Grande – distrito Celendín. (Tesis de grado). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca. Recuperado el 17 de octubre de 2019, de [http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1762/TESIS%20\\_%20EVER%20ZABALETA%20VILLANUEVA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1762/TESIS%20_%20EVER%20ZABALETA%20VILLANUEVA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Zuñiga, L. (2014). Modelación de la calidad de agua del río Malacatos, tramo comprendido desde el Sector Dos Puentes hasta Sauces Norte. Loja: Universidad Católica de Loja. Obtenido de <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/10606>

# **ANEXOS**

**Anexo 1.** Equipos de medición**Anexo 2.** Determinación de profundidades**Anexo 3.** Determinación de la velocidad**Anexo 4.** Determinación ancho del río

**Anexo 5.** Muestra de DBO<sub>5</sub> en la incubadora a 20 °C



**Anexo 6.** Preparación de las muestras de DBO<sub>5</sub>



### Anexo 7. Parámetros físico-químicos en puntos de muestreo principales

Punto monitoreo	T (°C)	pH	OD (mg/l)	DBO (mg/l)	Caudal (m³/s)	H (m)	v (m/s)	Punto monitoreo	T (°C)	pH	OD (mg/l)	DBO (mg/l)	Caudal (m³/s)	H (m)	v (m/s)
<b>semana 1</b>								<b>semana 6</b>							
Descarga	26,1	7,83	1,6	193	0,03			Descarga	29	7,41	1,6	199	0,025		
Río	25,4	7,93	4,6	9	5,75	0,5	0,522	Río	27	7,3	4,5	9	4,85	0,48	0,461
Mezcla	25,2	7,86	3,8	12	5,78			Mezcla	27	7,17	2,9	13	4,88		
1	26,3	7,74	4,6	9	5,69			1	26	7,25	3,8	10	4,80		
2	28	7,64	3,7	10	5,29			2	27	6,93	3,2	9	ND		
3	26,8	7,72	4,3	9	ND			3	27	6,9	2,5	9	ND		
<b>semana 2</b>								<b>semana 7</b>							
Descarga	27,4	7,82	2	180	0,024			Descarga	28	7,78	1,3	210	0,035		
Río	25,9	7,72	3,7	7	4,26	0,46	0,44	Río	27	7,43	4,3	6	5,51	0,49	0,51
Mezcla	26,4	8,09	3,9	12	4,28			Mezcla	27	7,28	2,7	13	5,55		
1	26,6	7,69	3,9	10	4,23			1	27	7,34	3,8	10	5,48		
2	28,4	7,5	3,2	10	3,69			2	27	7,1	2,7	11	ND		
3	27,8	7,64	3,5	8	ND			3	27	7,01	2,9	10	ND		
<b>semana 3</b>								<b>semana 8</b>							
Descarga	27,5	7,93	2,9	80	0,032			Descarga	28	7,15	2	170	0,03		
Río	26,8	7,9	4,4	5	4,86	0,48	0,462	Río	27	6,79	4,2	5	6,74	0,531	0,559
Mezcla	27	7,83	4,6	6	4,89			Mezcla	27	6,95	4,1	7	6,77		
1	27,7	7,7	5,2	5	4,81			1	27	6,45	3,8	8	6,73		
2	27,3	7,38	4,4	5	4,47			2	27	6,25	3,3	9	ND		
3	26,5	7,49	4,6	5	ND			3	27	6,24	3,3	8	ND		
<b>semana 4</b>								<b>semana 9</b>							
Descarga	27	7,82	2,7	95	0,022			Descarga	28	7,41	1,7	185	0,027		
Río	26	7,49	4,5	10	6,49	0,525	0,549	Río	27	7,15	4,3	5	5,87	0,504	0,527
Mezcla	26	7,55	4,6	10	6,51			Mezcla	27	7,15	3,1	9	5,90		
1	25,9	7,46	3,8	9	6,41			1	27	7,17	3,8	7	5,8		
2	26	7,33	2,8	10	ND			2	27	6,9	3,1	8	5,32		
3	25,4	7,45	3	5	ND			3	27	6,9	3	9	ND		
<b>semana 5</b>								<b>semana 10</b>							
Descarga	26,5	7,73	2,5	105	0,028			Descarga	28	7,48	1,6	195	0,033		
Río	24,9	7,48	4,1	4	7,63	0,56	0,58	Río	27	7,22	4,4	6	6,13	0,51	0,525
Mezcla	25,4	7,45	4,1	6	7,66			Mezcla	27	7,1	3,3	9	6,16		
1	26	7,46	4	2	7,56			1	27	7,12	3,8	8	6,07		
2	26,6	7,44	3,2	2	ND			2	27	6,91	3,1	9	5,57		
3	26,4	7,35	3,2	8	ND			3	27	6,9	3	10	ND		

**Anexo 8.** Determinación del pH in situ



**Anexo 9.** Determinación de OD in situ



**Anexo 10.** Lechuguines sitio "La Pastora"



**Anexo 11.** Lechuguines "La Pastora"





**Anexo 12.** Embalsamiento sitio La Estancilla



**Anexo 13.** Captación del agua uso agrícola



**Anexo 14.** Lechuguines en embalsamiento de la planta de tratamiento “La Estancilla”



**Anexo 15.** Parámetros físico-químicos en puntos de muestreo complementarios

Coordenadas este	Coordenadas norte	Puntos	Semana 2			Semana 4			Semana 6		
			T (°C)	pH	OD (mg/l)	T (°C)	pH	OD (mg/l)	T (°C)	pH	OD (mg/l)
592158	9907559	blanco	26,9	7,3	4,5	27,1	7,43	4,3	26,7	6,79	4,2
592112	9907824	0	28,5	7,41	1,6	28	7,78	1,3	27,7	7,15	2
592150	9907970	1	27,4	7,17	2,9	27,1	7,28	2,7	26,5	6,95	4,1
591259	9908543	2	26,2	7,22	4,6	27,3	7,41	3,7	26,7	6,6	4
590619	9908106	3	26,4	7,25	3,8	26,7	7,34	3,8	26,5	6,45	3,8
590002	9908178	4	27,1	7,11	3,7	26,7	7,28	3,5	26,5	6,4	3,6
589222	9907931	5	27	7,1	3,4	26,8	7,22	3,6	26,6	6,36	3,7
589014	9908838	6	26,8	7,1	2,6	26,9	7,1	3,1	27	6,6	3,2
588973	9909299	7	26,8	6,93	3,2	26,8	7,1	2,7	26,9	6,25	3,3
589098	9908646	8	27,2	7,3	3	27,2	7,01	2,9	27,2	6,26	3,3
588973	9909299	9	27,3	6,9	2,5	27,1	7,01	2,9	27,4	6,24	3,3

Coordenadas este	Coordenadas norte	Puntos	Semana 8			Semana 10			Promedio		
			T (°C)	pH	OD (mg/l)	T (°C)	pH	OD (mg/l)	T (°C)	pH	OD (mg/l)
592158	9907559	blanco	26,9	7,15	4,3	26,9	7,22	4,4	26,90	7,18	4,34
592112	9907824	0	28,1	7,41	1,7	28	7,48	1,6	28,06	7,45	1,64
592150	9907970	1	27,1	7,15	3,1	26,9	7,1	3,3	27,00	7,13	3,22
591259	9908543	2	26,2	7,16	4,1	26,2	7,11	4,2	26,52	7,10	4,12
590619	9908106	3	26,6	7,17	3,8	26,5	7,12	3,8	26,54	7,07	3,80
590002	9908178	4	26,7	7,11	3,7	26,9	7,11	3,5	26,78	7,00	3,60
589222	9907931	5	26,9	7,06	3,4	26,8	7,01	3,6	26,82	6,95	3,54
589014	9908838	6	26,9	7,06	3	27	7,03	2,9	26,92	6,98	2,96
588973	9909299	7	26,8	6,9	3,1	26,8	6,91	3,1	26,82	6,82	3,08
589098	9908646	8	27,2	6,9	3,1	27,2	7	3	27,20	6,89	3,06
588973	9909299	9	27,3	6,9	3	27,2	6,9	3	27,26	6,79	2,94

**Anexo 16.** Toma de los parámetros in situ



**Anexo 17.** Punto de descarga de los efluentes



**Anexo 18.** Toma del caudal de descarga

