

<b>193</b> 	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>10-04-2012</b>	<b>A</b>
Dependencia	Aprobado		Pág.	
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<b>1(194)</b>	

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

<b>AUTORES</b>	<b>ANYI PAOLA CASTRO GALVIS LEIDY KATHERINE PALLARES RIZO</b>		
<b>FACULTAD</b>	<b>DE INGENIERIAS</b>		
<b>PLAN DE ESTUDIOS</b>	<b>INGENIERÍA CIVIL</b>		
<b>DIRECTOR</b>	<b>GIOVANI OROZCO ARBELÁEZ</b>		
<b>TÍTULO DE LA TESIS</b>	<b>SIMULACIÓN MATEMÁTICA DE CALIDAD DE AGUA EN EL RÍO TEJO DESPUÉS DEL VERTIMIENTO FINAL DEL ALCANTARILLADO MUNICIPAL DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER, EMPLEANDO MICROSOFT EXCEL</b>		
<b>RESUMEN</b>			
<p>EL PRESENTE TRABAJO DE GRADO TIENE POR OBJETO REALIZAR UNA SIMULACIÓN MATEMÁTICA PARA CONOCER LA CAPACIDAD DE ASIMILACIÓN CON LA QUE CUENTA EL RÍO TEJO ANTE LAS CARGAS CONTAMINANTES QUE SON VERTIDAS EN ESTE, COMO TAMBIEN EL COMPORTAMIENTO QUE PRESENTA EL CAUCE CON RESPECTO A LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO DESDE EL VERTIMIENTO FINAL (LAS FERIAS) HASTA LA CONFLUENCIA DEL RÍO TEJO CON EL RÍO ALGODONAL.</p>			
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
<b>PÁGINAS: 194</b>	<b>PLANOS:</b>	<b>ILUSTRACIONES: 24</b>	<b>CD-ROM: 1</b>



SIMULACIÓN MATEMÁTICA DE CALIDAD DE AGUA EN EL RÍO TEJO DESPUÉS  
DEL VERTIMIENTO FINAL DEL ALCANTARILLADO MUNICIPAL DE OCAÑA,  
NORTE DE SANTANDER, EMPLEANDO MICROSOFT EXCEL.

AUTORES:

ANYI PAOLA CASTRO GALVIS

LEIDY KATHERINE PALLARES RIZO

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniería Civil.

Director:

GIOVANI OROZCO ARBELÁEZ

IC, ESP, MSC

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTA DE INGENIERÍAS

INGENIERÍA CIVIL

Ocaña, Colombia

Abril de 2016

## **DEDICATORIA**

Dedico este triunfo a Dios, quién siempre estuvo conmigo en los momentos más difíciles y también los más dichosos, su amor constante y su guía me han hecho aprender de lo que me rodea, a valorar lo que tengo, lo que soy y lo que puedo alcanzar.

A mi padre y a mi madre, los cuales siempre estuvieron ahí para brindarme todo su apoyo, su sabiduría y su amor, gracias a la educación que me brindaron hoy puedo dar un paso más y me siento orgullosa de ser su hija.

A mi hermana, con la cual me encontré en el camino de la vida y ha sido pieza fundamental para lograr cada uno de mis objetivos, sus palabras y consejos siempre estuvieron en el momento indicado.

A mi compañera y amiga, con la que desarrollé este proyecto, sin su esfuerzo y su apoyo constante nada de esto hubiera sido posible.

Finalmente, agradezco a todos mis amigos que siempre estuvieron ahí para darnos aliento en los momentos más difíciles y nos motivaron a continuar.

Anyi Paola Castro Galvis

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, le dedico este proyecto a Dios, quien es mi guía y mi compañero en cada paso que doy en este camino, dándome fortaleza ante cada obstáculo y siendo mi apoyo incondicional en cada momento.

En segundo lugar dedico este proyecto a mi padre y a mi madre, que son el motor que me impulsa a vivir y a dar lo mejor de mí cada día.

En tercer lugar, y de una forma especial a mi amiga y compañera de proyecto de grado, que sin su constancia, ánimo y actitud, este paso aun estaría inconcluso.

Y por último, les dedico este proyecto a todos mis amigos que en algún momento pusieron su granito de arena para que este fuera un hecho.

Leidy Katherine Pallares Rizo

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos manifestar nuestros más sinceros agradecimientos al Ingeniero Civil Giovani Orozco Arbeláez, quien con sus conocimientos y su guía hizo posible el desarrollo de este proyecto, permitiendo nuestro crecimiento no solo en el ámbito profesional, sino también en el ámbito personal. La dedicación, el esfuerzo y el compromiso fueron la base para lograr todos nuestros objetivos, comprometiéndonos no solamente con la academia, sino, con el desarrollo social y ambiental de la región.

De forma especial, agradecemos también al Ingeniero Civil Santander Rincón, jefe del área físico-operativa de ESPO S.A quien nos brindó apoyo y siempre estuvo dispuesto a suministrar la información necesaria para el desarrollo de la investigación.

Anyi Paola Castro Galvis  
Leidy Katherine Pallares Rizo

# Índice

<b>Introducción .....</b>	<b>14</b>
<b>Capítulo 1 : Simulación Matemática de Calidad del agua en el Río Tejo después del vertimiento final del alcantarillado municipal de Ocaña, Norte de Santander, empleando Microsoft Excel.....</b>	<b>16</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	16
1.2 Formulación del problema.....	17
1.3 Objetivos.....	17
1.3.1 Objetivo general.. .....	17
1.3.2 Objetivos específicos.....	18
1.4 Justificación .....	18
1.5 Delimitaciones.....	19
1.5.1 Delimitación operativa.. .....	19
1.5.2 Delimitación conceptual.....	20
1.5.3 Delimitación geográfica.. .....	20
1.5.4 Delimitación temporal.....	20
<b>Capítulo 2 : Marco referencial.....</b>	<b>21</b>
2.1 Marco histórico.....	21
2.2 Marco conceptual .....	26
2.2.1 Simulación.....	26
2.2.2 Modelación matemática.. .....	26
2.2.3 Hoja de cálculo (Microsoft Excel). .....	27
2.2.4 Río receptor. ....	27
2.2.5 Materia Orgánica. ....	28
2.2.6 Nutrientes. ....	28
2.2.7 DBO5.....	29
2.2.8 Solidos suspendidos. ....	29
2.2.9 Caracterización. ....	30
2.2.10 Vertimientos. ....	31
2.2.11 Ley de vertimientos. ....	31
2.3 Marco Teórico .....	32
2.3.1 Comportamiento hidráulico.....	32
2.3.2 Modelos de calidad del agua. ....	32
2.3.3 Degradación y oxidación de la materia orgánica en el agua. ....	33

2.3.4 Reaireación de Oxígeno. ....	52
2.3.5 Balance de Materia. ....	60
2.3.6 Modelo de Streeter-Phelps. ....	64
2.3.7 Expresiones predictivas para la desoxigenación. ....	68
2.4 Marco legal.....	69
<b>Capítulo 3 : Diseño metodológico.....</b>	<b>71</b>
3.1 Tipo de investigación .....	71
3.2 Población.....	71
3.3 Muestra.....	71
3.4 Recolección de información.....	72
3.5 Análisis de información.....	72
<b>Capítulo 4 : Administración del proyecto.....</b>	<b>73</b>
4.1 Recursos humanos.....	73
4.2 Recursos institucionales .....	73
4.3 Recursos financieros.....	73
<b>Capítulo 5 Aplicación .....</b>	<b>74</b>
5.1 Descripción del área de estudio.....	74
5.1.1 Localización geográfica del río receptor.....	74
5.1.2 Localización de los puntos de estudio sobre el río receptor.....	76
5.2 Características fisicoquímicas de los puntos de estudio.....	79
5.3 Características básicas de la geometría hidráulica .....	81
5.4 Desarrollo de simulación matemática según Streeter-Phelp .....	83
5.4.1 Longitud General Del Cauce 11192 m.....	83
5.4.2 Longitud hasta el vertimiento Los Cristales a 500 m.....	91
5.4.3 Longitud desde el vertimiento de Los Cristales hasta el vertimiento El Hatillo a 1392m.....	98
5.4.4 Longitud desde el vertimiento El Hatillo hasta la confluencia Río Tejo-Río Algodonal a 9303 m.....	107
<b>Capítulo 6 : Conclusiones.....</b>	<b>116</b>
<b>Capítulo 7 : Recomendaciones y trabajo a futuro .....</b>	<b>119</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>120</b>

<b>Apéndices .....</b>	<b>122</b>
Apéndice A. Sustentación legal del proyecto.....	122
Apéndice B. Solubilidad del oxígeno.....	128
Apéndice C. Registro fotográfico.....	129
Apéndice D: Plan de saneamiento y manejo de vertimientos Ocaña, Norte de Santander empresa de servicios públicos de Ocaña. Área físico operativa. Diciembre 2014.....	130

## Lista de tablas

Tabla 2.1 Valores típicos de descomposición de la DBO .....	44
Tabla 2.2 Coeficientes de reaireación para ríos y corrientes.....	55
Tabla 2.3 Valores de coeficientes de temperatura reportados.....	60
Tabla 4.1 Presupuesto para desarrollo del proyecto.....	73
Tabla 5.1 Distancias entre puntos de estudio .....	79
Tabla 5.2 Caracterización fisicoquímica Las Ferias (Vertimiento final) .....	80
Tabla 5.3 Caracterización fisicoquímica confluencia Q. Los Cristales – Río Tejo .....	80
Tabla 5.4 Caracterización fisicoquímica confluencia Q. El Hatillo – Río Tejo.....	81
Tabla 5.5 Resultados de la simulación del modelo matemático para el vertimiento Los Cristales (500 m) .....	97

## Lista de figuras

Figura 2.1 Ciclo natural de producción y descomposición orgánica.....	34
Figura 2.2 Curva de oxígeno disuelto bajo descargas de agua residual sobre corrientes...	36
Figura 2.3 . Cambios en la biota bajo el efecto de tratamiento de planas sobre aguas residuales. ....	38
Figura 2.4 Valores de $L_0$ definidos a partir de la concentración inicial de la materia orgánica o la última concentración de DBO.....	43
Figura 2.5 Gráfico de velocidad de eliminación total versus profundidad de la corriente para la sedimentación del 50% de la DBO. ....	45
Figura 2.6 Velocidad de descomposición en corrientes versus profundidad (Bowie et al. 1985).....	45
Figura 2.7 Relación del oxígeno disuelto en agua con la temperatura y la salinidad.....	48
Figura 2.8 Relación de la saturación de oxígeno en el agua. ....	50
Figura 2.9 Ley de Fick.....	58
Figura 2.10 Fuentes de DBOC en ambientes acuáticos. ....	65
Figura 2.11 El sistema es afectado por la descomposición de DBO. (a). Muestra cerrada y (b), Muestra abierta. ....	68
Figura 6.1 Localización geográfica del río receptor.....	74
Figura 6.2 Localización del río receptor (Sentido: Sur-Norte).....	75
Figura 6.3 Localización del río receptor (2) (Sentido Sur-Norte). ....	75
Figura 6.4 Localización general de los puntos de estudio.....	76
Figura 6.5 Localización del vertimiento final del alcantarillado.....	77
Figura 6.6 Confluencia Quebrada Los Cristales – Río Tejo. ....	77
Figura 6.7 Confluencia Quebrada El Hatillo – Río Tejo.....	78

Figura 6.8 Dimensiones hidráulicas críticas del cauce.....	83
Figura 6.9 . Streeter-Phelp a los 11192 metros. (Las Ferias-confluencia Río Tejo- Algodonal).....	90
Figura 6.10 Streeter-Phelps a los 500 metros. (Las Ferias-Los Cristales). ....	98
Figura 6.11 Streeter-Phelps en Los Cristales-El Hatillo. ....	106
Figura 6.12 Streeter-Phelps en El Hatillo-Confluencia Río Tejo-Algodonal.....	114
Figura 6.13 Streeter-Phelps tramo Las Ferias-Los Cristales-El Hatillo-Confluencia Río Tejo-Río Algodonal.....	115

## **Introducción**

El agua es un elemento importante en el desarrollo de la vida tal como la conocemos, sin embargo esta se ve afectada por una serie de factores que comprometen su calidad y por lo tanto la supervivencia de la biota y las poblaciones que dependen del preciado líquido. La gestión del recurso hídrico en el Municipio de Ocaña no ha involucrado estudios sobre la capacidad de asimilación de cargas contaminantes que tienen los cuerpos de agua, uno de los mayores factores que perjudica la calidad de este recurso. La presente investigación trata de abarcar este tema en uno de los afluentes que atraviesa el casco urbano de la región y recibe descargas de aguas residuales, para efecto de este proyecto, los puntos de estudio están localizados desde el vertimiento final del alcantarillado ubicado en el barrio Las Ferias hasta la confluencia del Río Tejo y el Río Algodonal.

A lo largo de los años las condiciones naturales del Río Tejo han sido modificadas por la disposición inadecuada de residuos sólidos y vertimientos de aguas domésticas provenientes de actividades antrópicas. Este cauce es un ecosistema de interés social y ambiental, ya que debido a los malos olores emitidos afecta la salud de la población aledaña e impide que se desarrolle un ambiente propicio para la conservación de las especies que habitan en este lugar.

La investigación de esta problemática se desarrolló con el interés particular de conocer la capacidad de asimilación con la que cuenta el Río Tejo al recibir vertimientos de aguas residuales provenientes del alcantarillado municipal, ya que la ciudad de Ocaña no cuenta con

un plan de control para evitar el deterioro de la calidad de agua y así mismo, del ecosistema. La falta de planificación conlleva a que no existan acciones claras sobre el manejo del recurso.

Por los motivos mencionados anteriormente este proyecto se enfoca en el desarrollo de una simulación de un modelo matemático en Microsoft Excel, que se constituye como una herramienta de trabajo útil para definir un plan de control del recurso hídrico, el cual puede indicar a base de unos datos iniciales de las cargas contaminantes, el oxígeno disuelto, el caudal y el empleo del Modelo de Streeter-Phelps, la capacidad de asimilación y de recuperación que presenta este cauce, lo cual permite que se ejerza un control y sirva como apoyo para la toma de decisiones en la implementación de sistemas o medidas de saneamiento que mitiguen el impacto de las descargas contaminantes. No obstante los resultados obtenidos hasta la fecha que data del año 2014, pueden considerarse satisfactorios, cabe resaltar la necesidad de seguir investigando con el fin de rectificar o actualizar dichos resultados.

Este documento muestra las diferentes etapas del proyecto y está estructurado en cinco capítulos en donde se resume el desarrollo de la investigación.

# **Capítulo 1 : Simulación Matemática de Calidad del agua en el Río Tejo después del vertimiento final del alcantarillado municipal de Ocaña, Norte de Santander, empleando Microsoft Excel**

## **1.1 Planteamiento del problema**

Las diferentes afluentes del país reciben de sus cuencas hidrográficas agentes contaminantes producidos por las poblaciones aledañas, estos vertimientos cuentan con unas características específicas que miden el grado de contaminación con el cual llegan a la fuente receptora. Lastimosamente en la mayoría del territorio colombiano no se cuenta con un sistema de tratamiento que mitigue el impacto ambiental que generan los diferentes tipos de desechos producidos por actividades antrópicas. Ocaña, Norte de Santander no ha sido la excepción en cuanto a esta problemática, ya que no se cuenta con las herramientas necesarias que permitan ejercer un control de calidad sobre las fuentes hídricas de la región, puntualizando específicamente en el estado de deterioro en que se encuentra el Río Tejo.

El Río Tejo nace en los corregimientos de Buenavista, Agua de la Virgen y el Espíritu Santo, desde allí se extiende desde el sur hasta el norte de la ciudad atravesando todo el casco urbano, en su recorrido recoge las aguas negras producidas por los habitantes de la región, razón por la cual los malos olores son una de las características que presenta esta fuente hídrica. Las entidades encargadas del asunto tampoco han mostrado resultados positivos que permitan, al menos, pensar que se está ejerciendo un control, de manera que la problemática sigue persistiendo.

El crecimiento poblacional es una de las razones por las cuales los vertimientos de cargas contaminantes aumentan de manera significativa empeorando el estado en que se encuentra el río anteriormente mencionado, por otra parte, la falta de conciencia de los habitantes de la región que arrojan basura a dicho afluente, hace que la situación sea aún más preocupante.

Esta investigación basada en los antecedentes del problema, tiene como objetivo realizar una simulación de un modelo matemático, mediante la utilización de una hoja de cálculo de Microsoft Excel para determinar la capacidad de asimilación de las cargas contaminantes que se vierten al río receptor en el vertimiento final del alcantarillado municipal, partiendo de la representación en forma simplificada de los procesos físicos, químicos y biológicos de la calidad del agua.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Qué beneficio tendrá el desarrollo y manejo de una simulación matemática de calidad de agua en el río tejo después del vertimiento final del alcantarillado en el municipio de Ocaña, Norte de Santander?

## **1.3 Objetivos**

**1.3.1 Objetivo general.** Elaborar una simulación matemática de calidad del agua en el río tejo después del vertimiento final del alcantarillado municipal de Ocaña, Norte de Santander, empleando Microsoft Excel.

**1.3.2 Objetivos específicos.** Identificar mediante información secundaria las características físico-químicas necesarias para el desarrollo de la simulación matemática, en el vertimiento final del alcantarillado municipal.

Definir las características básicas con respecto a la geometría hidráulica del punto en estudio, la cual se refiere a la sección transversal y a la relación existente entre los caudales, los niveles de agua, el área hidráulica, el ancho y la velocidad del agua.

Implementar una hoja de cálculo de Microsoft Excel para la simulación del modelo matemático del vertimiento en estudio, aplicando la ecuación de Streeter-Phelp.

Formular una alternativa que permita mitigar el impacto de las aguas residuales producidas por el municipio al Río Tejo.

## **1.4 Justificación**

El agua es el compuesto químico más abundante del planeta y es un recurso fundamental para los seres vivos. A través del tiempo las actividades antrópicas de los seres humanos y los factores naturales han alterado la calidad del agua, trayendo consigo no solo el deterioro del ecosistema sino de la salud de los seres humanos.

El municipio de Ocaña no es ajeno a esta problemática y hace muchos años es testigo del detrimento de las fuentes hídricas que posee, en especial el río Tejo, el cual es

contaminado con las aguas sanitarias de la población cuando este atraviesa la ciudad, convirtiéndose en un problema sanitario y de salud pública. Cabe resaltar que las entidades encargadas del manejo y control del tratamiento de aguas residuales no cuentan con un adecuado mecanismo de evaluación de la contaminación de esta fuente hídrica, motivo por el cual es deficiente su intervención.

Es por esta razón que se hace necesario la realización de un modelo matemático para la calidad del agua en el vertimiento final del Río Tejo, ya que esta zona es la más afectada por la contaminación de las aguas residuales; No obstante, con base en los resultados obtenidos del programa se propone una posible solución para disminuir el impacto ambiental existente. Esta propuesta se plantea con el fin de que esta información esté disponible a las autoridades competentes, para que realicen los respectivos procesos de mitigación y la posibilidad de una futura prevención en la fuente hídrica.

## **1.5 Delimitaciones**

**1.5.1 Delimitación operativa.** La simulación matemática se realizara apoyándose en la herramienta Microsoft Excel la cual, es una aplicación distribuida por Microsoft Office y de dominio académico y es utilizada normalmente para tareas de programación, financieras y contables.

**1.5.2 Delimitación conceptual.** En la presente investigación se manejarán los siguientes conceptos necesarios para entender el enfoque de esta: Simulación, Modelación Matemática, Hoja de Cálculo (Microsoft Excel), Río Receptor, Materia Orgánica, Nutrientes, DBO, Sólidos Suspendidos, Caracterización, Vertimiento, Ley de Vertimientos.

**1.5.3 Delimitación geográfica.** El punto de estudio está ubicado en la zona Nororiental de Ocaña, específicamente en el barrio Las Ferias con coordenadas  $8^{\circ} 15' 57.26'' - 73^{\circ} 21' 34.16''$  y con una elevación de 1146 metros, lugar donde se encuentra el vertimiento final del alcantarillado municipal.

**1.5.4 Delimitación temporal.** Los estudios necesarios para el desarrollo del modelo matemático se realizarán en un lapso de 4 meses, tiempo de duración y ejecución de la propuesta investigativa.

## **Capítulo 2 : Marco referencial**

### **2.1 Marco histórico**

Los seres humanos han almacenado y distribuido el agua durante siglos. En la época en que el hombre era cazador y recolector el agua utilizada para beber era agua del río. Cuando se producían asentamientos humanos de manera continuada estos siempre se producen cerca de lagos y ríos. Cuando no existen lagos y ríos las personas aprovechan los recursos de agua subterráneos que se extrae mediante la construcción de pozos. Cuando la población humana comienza a crecer de manera extensiva, y no existen suficientes recursos disponibles de agua, se necesita buscar otras fuentes diferentes.

Hace aproximadamente 7000 años en Jericó (Israel) el agua almacenada en los pozos se utilizaba como fuente de recursos de agua, además se empezó a desarrollar los sistemas de transporte y distribución del agua. Este transporte se realizaba mediante canales sencillos, excavados en la arena o las rocas y más tarde se comenzarían a utilizar tubos huecos. Por ejemplo en Egipto se utilizan árboles huecos de palmera mientras en China y Japón utilizan troncos de bambú y más tarde, se comenzó a utilizar cerámico, madera y metal. En Persia la gente buscaba recursos subterráneos. El agua pasaba por los agujeros de las rocas a los pozos.

En la antigua Grecia el agua de esorrentía, agua de pozos y agua de lluvia eran utilizadas en épocas muy tempranas. Debido al crecimiento de la población se vieron obligados al almacenamiento y distribución (mediante la construcción de una red de

distribución) del agua. El agua utilizada se retiraba mediante sistemas de aguas residuales, a la vez que el agua de lluvia. Los griegos fueron de los primeros en tener interés en la calidad del agua. Ellos utilizaban embalses de aireación para la purificación del agua.

Los romanos fueron los mayores arquitectos en construcciones de redes de distribución de agua que ha existido a lo largo de la historia. Ellos utilizaban recursos de agua subterránea, ríos y agua de escorrentía para su aprovisionamiento. Los romanos construían presas para el almacenamiento y retención artificial del agua. El sistema de tratamiento por aireación se utilizaba como método de purificación. El agua de mejor calidad y por lo tanto más popular era el agua proveniente de las montañas.

Los acueductos son los sistemas utilizados para el transporte del agua. A través de los acueductos el agua fluye por miles de millas. Los sistemas de tuberías en las ciudades utilizan cemento, roca, bronce, plata, madera y plomo. Las fuentes de agua se protegían de contaminantes externos. (Lenntech, 1998)

Después de la caída del imperio Romano, los acueductos se dejaron de utilizar. Desde el año 500 al 1500 d.C. hubo poco desarrollo en relación con los sistemas de tratamiento del agua. Durante la edad media se manifestaron gran cantidad de problemas de higiene en el agua y los sistemas de distribución de plomo, porque los residuos y excrementos se vertían directamente a las aguas. La gente que bebía estas aguas enfermaba y moría. Para evitarlo se utilizaba agua existente fuera de las ciudades no afectada por la contaminación. Esta agua se llevaba a la ciudad mediante los llamados portadores.

El primer sistema de suministro de agua potable a una ciudad completa fue construido en Paisley, Escocia, alrededor del año 1804 por John Gibb. En tres años se comenzó a transportar agua filtrada a la ciudad de Glasgow.

En 1806 Paris empieza a funcionar la mayor planta de tratamiento de agua. El agua sedimenta durante 12 horas antes de su filtración. Los filtros consisten en arena, carbón y su capacidad es de seis horas.

En 1827 el inglés James Simplón construye un filtro de arena para la purificación del agua potable. Hoy en día todavía se considera el primer sistema efectivo utilizado con fines de salud pública. (Lenntech, 1998)

Actualmente a nivel mundial, 1.700 millones de personas carecen de acceso a agua potable y 3.300 no disponen de servicios de saneamiento adecuados. Los problemas de acceso al agua potable causan más de 3.350 millones de casos anuales de enfermedades. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 80% de la enfermedades más comunes en las regiones en desarrollo (diarreas, fiebres, dengue, malaria, etc...) están relacionadas con la calidad del agua. A la hora de valorar el acceso al agua como una variable de salud, tan importante es tener en cuenta la cantidad como la calidad. Con el proceso de desarrollo, el aumento y la creciente concentración de la población, los vertidos contaminantes industriales, urbanos y agrícolas están creando ya situaciones peligrosas (al menos localmente) para la higiene y la salud humana. (Cortés, 2015)

En América Latina y el Caribe, la población que no tiene acceso a los servicios de agua potable se ve obligada a adoptar soluciones alternativas (tales como fuentes públicas, pozos individuales, conexiones ilegales a la red de agua potable, colección de agua de lluvia o captación de agua de ríos, lagos, manantiales u otros cuerpos de agua sin tratamiento previo). Muchas soluciones de esa índole no garantizan la calidad del agua obtenida, debido principalmente a la creciente contaminación hídrica que afecta muchos cuerpos de agua en los países de la región. En cuanto a los servicios de saneamiento, solamente un 49% de la población regional está conectada a sistemas convencionales de alcantarillado, y otro 31% utiliza sistemas de saneamiento “in situ”. Los niveles de cobertura de alcantarillado son considerablemente menores que los de agua potable con conexión domiciliaria. Tan sólo en Chile, Colombia, Guatemala y México, la población urbana conectada a sistemas de alcantarillado supera al 70%, mientras que en Paraguay, Suriname y varias islas del Caribe la cobertura es inferior al 20%. En las zonas rurales de la mayoría de los países (con la excepción de Colombia, Ecuador, Guatemala, Jamaica, México, Perú y Venezuela), el alcantarillado es algo prácticamente desconocido. (Jouravlev, 2004)

En Colombia, históricamente, una amplia gama de entidades de naturaleza diversa se han encargado de la construcción de proyectos de acueducto y alcantarillado y de la operación de los sistemas. En sus comienzos los municipios o los particulares (bajo concesión municipal) adelantaron este tipo de obras y se encargaron de su operación. Por ejemplo, en Bogotá, Barranquilla y Bucaramanga, las empresas de acueducto pertenecieron y fueron operadas por particulares durante el primer cuarto de siglo. En otras ciudades los municipios se encargaron de estas funciones, recibiendo el apoyo esporádico de la Nación y los Departamentos.

Bogotá inaugura su sistema de acueducto en 1886, al que le siguen Cartagena y Medellín (de iniciativa municipal (1905) y posteriormente Cali en 1919 (Jaramillo (1995)). Los alcantarillados aparecen con rezago, siendo el de Medellín uno de los primeros en 1913 (Jaramillo 1995).

La incapacidad (o desinterés) de los concesionarios por mantener el ritmo de inversión necesario para responder a una demanda creciente, lleva a la municipalización de las pocas empresas privadas. En Bogotá la empresa de acueducto pasa al control municipal en 1914. En Barranquilla rigió desde 1925 un contrato muy particular, que duró hasta 1960, en el que se había acordado que prestamistas norteamericanos administrarían, ellos mismos, la empresa de servicios públicos de la ciudad, mientras se redimiera el empréstito otorgado a esta. (Rodríguez, 2000).

Aunque en Colombia existen sistemas de alcantarillado, es común que las aguas residuales de las diferentes actividades generalmente sean vertidas crudas a las fuentes hídricas, causando contaminación y problemas de salud pública, ya que no se tiene un adecuado tratamiento que implique la calidad de estas aguas.

En Norte de Santander la problemática ambiental principal está asociada al vertimiento de aguas residuales domésticas sin tratamiento, el uso de agua sin concesiones y la alta demanda en la zona media y baja que genera conflictos en épocas de verano.

Ocaña, Norte de Santander desde hace varios años existe una problemática de salud pública a causa de la contaminación de sus fuentes hídricas, como lo son el río Tejo y el río

Chiquito. Actualmente no se ha empleado modelos matemáticos para el manejo de la calidad del agua en esta región.

## **2.2 Marco conceptual**

**2.2.1 Simulación.** Según Shanon (1975), la simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo de un sistema o proceso real y conducir experimentos con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias (dentro de límites impuestos por un criterio o conjunto de criterios) para la operación del sistema.

**2.2.2 Modelación matemática.** Chapra (1997), establece que un modelo matemático es una formulación idealizada que representa la respuesta de un sistema físico frente a un estímulo externo. En este sentido, al implementar un modelo de calidad de agua, se puede simular las condiciones actuales y futuras del comportamiento de los contaminantes en una corriente o área de estudio, conociendo de antemano la variedad de procesos físicos, químicos y biológicos que controlan el transporte y la transformación de estas variables. (p.11)

La estructura de los modelos de calidad de agua corresponde a un conjunto de expresiones matemáticas que cuantifican los diferentes fenómenos que se presentan al interior de un cuerpo de agua, representados en las leyes de conservación de masa y energía. La complejidad de su estructura depende del tipo de problema de calidad del agua que se desea resolver; de las características del cuerpo del agua; de la disponibilidad de datos observados históricos y actuales de la calidad del agua, y de las descargas de aguas residuales; de los

riesgos para la salud pública y el ambiente relacionados con el área; y de estrategias, tiempo y recursos financieros disponibles para el proceso de modelación. (Alean, 2010)

**2.2.3 Hoja de cálculo (Microsoft Excel).** Se denomina hoja de cálculo a una herramienta informática que sirve como medio para realizar cálculos, operaciones lógicas y manejo de datos. Al usuario se le presenta como un conjunto de columnas y filas identificables por letras y números respectivamente que van formando celdas. Su uso se orienta especialmente a actividades que requieren un manejo de muchos cálculos en paralelo. (Definición , s.f.)

**2.2.4 Río receptor.** La corriente o depósito natural de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas, cuando puedan contaminar los suelos, subsuelo o los acuíferos. (CONAGUA, 2015)

**2.2.5 Materia Orgánica.** Todas las aguas naturales contienen sustancias orgánicas, que puede clasificarse en dos tipos: materia orgánica en suspensión, es decir, en partículas gruesas, y materia orgánica disuelta. Entre ambos extremos hay un amplio abanico de materia en estado coloidal. Normalmente, se considera materia en disolución aquella con tamaño de partícula inferior a 100 nm (0.1 mm), y materia en suspensión aquella con tamaño de partícula por encima de 10 mm. Se distingue: materia orgánica total (MOT), carbono orgánico total (COT), que a su vez se divide en carbono orgánico en suspensión (COS) y carbono orgánico en disolución (COD). A veces se habla también de carbono orgánico volátil (COV). (Universidad de Salamanca , 2015)

Las sustancias orgánicas disueltas en las aguas naturales pueden dividirse en sustancias simples y sustancias húmicas. Dentro de las sustancias simples se encuentran las sustancias sintetizadas para el mantenimiento de los organismos vivos, así como los productos de su metabolización, excretados por estos y otros materiales de origen biológico. Están constituidas principalmente por: ácidos carboxílicos, fenoles, hidratos de carbono, aminoácidos, ácidos nucleicos, hidrocarburos, etc. Las sustancias húmicas son sustancias muy complejas, de estructura y comportamiento aún desconocido en alto grado, que se encuentran en las aguas naturales y en los suelos. (Universidad de Salamanca , 2015)

**2.2.6 Nutrientes.** El agua como tal es un nutriente esencial para el desarrollo de todos los seres vivos, por esta razón el estudio de la contaminación presente en ella es vital para garantizar el tratamiento de la misma.

En los vertimientos de aguas residuales se encuentran presentes nutrientes como el oxígeno y el nitrógeno, siendo este último el causante de efectos negativos, como la reducción de la concentración de oxígeno disuelto en las aguas receptoras, toxicidad para la vida acuática, inefectividad de la desinfección con cloro, peligro para la salud pública y efectos sobre el potencial de aguas residuales para ser reutilizadas.

**2.2.7 DBO5.** La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales y en su mayoría residuales; su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores. Los datos de la prueba de la DBO se utilizan en ingeniería para diseñar las plantas de tratamiento de aguas residuales. (Calderonlabs, 2015)

**2.2.8 Sólidos suspendidos.** Corresponde a la cantidad de material (sólidos) que es retenido después de realizar la filtración de un volumen de agua. Es importante como indicador puesto que su presencia disminuye el paso de la luz a través de agua evitando su actividad fotosintética en las corrientes, importante para la producción de oxígeno. (CORPONARIÑO, 2015)

**2.2.9 Caracterización.** Cuando se habla de caracterización, como la palabra lo dice, se trata de las características de un elemento en específico, que en este caso en particular sería el agua residual, para la cual se hace necesario el conocimiento de los componentes físicos, químicos y biológicos que nos facilitan determinar el grado de contaminación que esta posee de acuerdo con los parámetros que exigen las normas en cuanto a la gestión medioambiental para la calidad del agua. A continuación se muestran las principales propiedades físicas, químicas y biológicas que caracterizan el agua residual. (Ojeda, 2012)

Propiedades físicas:

- Color
- Olor
- Sólidos
- Temperatura

Propiedades químicas:

- Orgánicos: Carbohidratos, grasas animales, aceites, pesticidas, fenoles, proteínas, contaminantes prioritarios, agentes tensoactivos, compuestos orgánicos volátiles.
- Inorgánicos: Alcalinidad, cloruros, metales pesados, nitrógeno, PH, fósforo, contaminantes prioritarios, azufre.
- Gases: Sulfuro de hidrógeno, metano, oxígeno.

Propiedades biológicas:

- Animales
- Plantas
- Protistas
- Virus

**2.2.10 Vertimientos.** Los vertimientos son las descargas líquidas dirigidas a un cuerpo de agua o en su defecto a un alcantarillado. Generalmente las aguas residuales son arrojadas sin un tratamiento previo a los cursos de agua, lo cual causa que se desarrollen una serie de efectos sanitarios, estéticos y ambientales, que afectan la salud pública produciendo una serie de enfermedades, además de olores nauseabundos. (IDEAM, 2015)

**2.2.11 Ley de vertimientos.** Es una norma que busca reducir y controlar las sustancias contaminantes que llegan a los ríos, embalses, lagunas, cuerpos de aguas naturales o artificiales de agua dulce, y al sistema de alcantarillado público, para de esta forma, aportar al mejoramiento de la calidad del agua y trabajar en la recuperación ambiental de las arterias fluviales del país. (Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible. , 2015)

La ley de vertimientos es de obligatorio cumplimiento para todas aquellas personas que desarrollen actividades industriales, comerciales o de servicios y que en el desarrollo de las mismas generen aguas residuales, que serán vertidas en un cuerpo de agua superficial o al alcantarillado público.

## **2.3 Marco Teórico**

La simulación del modelo matemático será desarrollada en una hoja de cálculo de Microsoft Excel, la cual mostrará la capacidad de asimilación que tiene el Río Tejo en cuanto a cargas contaminantes que recibe.

Es importante realizar una comparación entre los valores aceptados por la Norma de vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los Sistemas de Alcantarillado Público y los resultados que se obtienen de las pruebas para determinar las características fisicoquímicas del vertimiento final en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.

**2.3.1 Comportamiento hidráulico.** La geometría hidráulica se refiere comúnmente a la sección transversal y su estudio se basa en las relaciones existentes entre los caudales y los niveles de agua y los diferentes parámetros hidráulicos y geométricos, tales como el área hidráulica, el ancho, la pendiente, la rugosidad y la velocidad del agua

**2.3.2 Modelos de calidad del agua.** Uno de los objetivos primordiales al que se pretende llegar con la modelación de la calidad del agua es adquirir la habilidad para predecir con cierto grado de certeza la calidad del agua, en diferentes sectores a lo largo de un tramo de río. (García Quintero , 2008)

En la actualidad existe un sin número de modelos matemáticos, desarrollados con la finalidad de estudiar el comportamiento de un determinado contaminante o un grupo de éstos a

lo largo de una corriente natural. Comúnmente la selección del modelo a implementar depende de la disponibilidad de información con que se cuenta, el propósito de la modelación y los procesos a modelar; esta condición implica que no siempre un modelo puede aplicarse en el estudio de la calidad del agua en una corriente en particular. (García Quintero , 2008)

Entidades como la Agencia de Protección Ambiental (EPA), perteneciente al gobierno de los Estados Unidos ha desarrollado una serie de modelos matemáticos, mediante los cuales se puede estudiar el comportamiento de la calidad del agua en una fuente natural. Entre los modelos desarrollados por esta entidad se pueden mencionar: WASP (Water Quality Analysis Simulation Program), EPD-RIV1, QUAL2K, entre otros. Otras instituciones de reconocimiento internacional también se han preocupado por el estudio y desarrollo de este tipo de herramientas, tal es el caso del Instituto de Hidráulica Danés, (DHI por sus siglas en inglés: Danish Hydraulic Institute), quien en 1999 desarrolló el modelo MIKE11; en el DHI han desarrollado una familia de programas conocidos genéricamente con el nombre de MIKE. Otro modelo del cual se hace un breve recuento en el presente estudio es el BLTM por sus siglas en inglés (Branched Lagrangian Transport Model), desarrollado por el servicio geológico de los Estados Unidos (USGS). (García Quintero , 2008)

**2.3.3 Degradación y oxidación de la materia orgánica en el agua.** Los modelos de calidad de agua se diseñaron para evaluar el impacto de las aguas residuales en las aguas receptoras. El contexto de estos modelos, describe el ciclo de producción orgánica y descomposición que se produce en la biosfera.

**Producción orgánica/Ciclo de descomposición.** Como se presenta en la Figura 2.1, la biosfera se puede ver como un círculo de vida y muerte, motorizado por el sol, organismos autotróficos (primariamente plantas) convertidos en simples nutrientes inorgánicos en moléculas orgánicas más complejas. En fotosíntesis, la energía solar es almacenada como energía química en las moléculas orgánicas. Además el oxígeno es liberado y el dióxido de carbono es consumido. (Chapra S. , 2008, p. 348)

La materia orgánica sirve entonces como una fuente de energía para organismos heterotróficos (bacterias y animales) en los procesos inversos de respiración y descomposición.

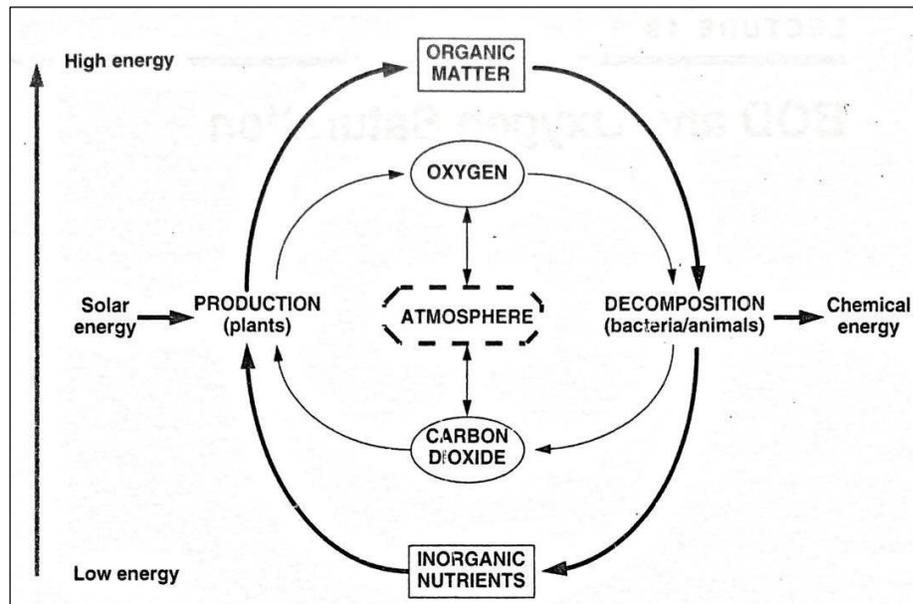
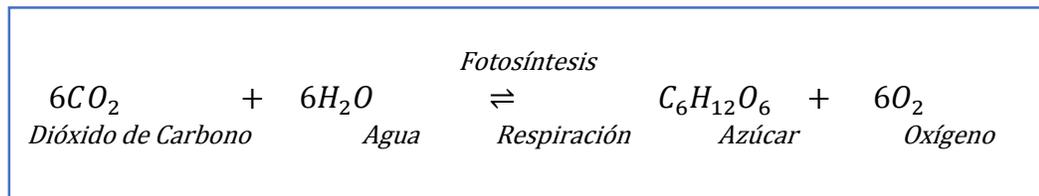


Figura 2.1 Ciclo natural de producción y descomposición orgánica  
Fuente: Chapra, S. (2008). Surface Water-Quality Modeling . Estados Unidos de América : WAVELAND PREES, INC.

Estos devuelven la materia orgánica al estado inorgánico simple. Durante la degradación, el oxígeno es consumido y el dióxido de carbono es liberado. El ciclo puede ser representado en términos químicos por la siguiente expresión simple:



(2.1)

De acuerdo a esta reacción reversible, el dióxido de carbono es utilizado en el agua para sintetizar la materia orgánica y para la producción de oxígeno antes de la reacción fotosintética. A la inversa la materia orgánica es desglosada y el oxígeno es consumido en la respiración y la reacción de descomposición. (Chapra S. , 2008)

**Curva de oxígeno disuelto.** Ahora que tenemos la idea general vamos a vincular el ciclo vida/muerte con el ambiente en una corriente que recibe la descarga de aguas residuales. Si la corriente esta inicialmente libre de contaminación, los niveles de oxígeno disuelto por encima de la descarga estarán cerca de la saturación. Los vertimientos de aguas residuales sin tratar elevarán los niveles tanto de la materia orgánica disuelta como la de los sólidos. Esto tiene dos impactos. Primero, la materia sólida hará que el agua se vuelva turbia. Por lo tanto la luz no puede penetrar y suprime el crecimiento de las plantas. Algunos de los sólidos se depositan aguas debajo de la descarga de los desagües y crean camas de lodos que pueden emitir olores nocivos (Fig. 2.3 a). Segundo, la materia orgánica produce el alimento para los organismos heterotróficos. Por consiguiente predomina el lado derecho de la Fig. 2.1. Grandes

poblaciones de organismos que descomponen la materia orgánica en el agua, en este proceso agotan el oxígeno. Adicional a esto la descomposición de la materia orgánica toma lugar en los lechos de lodo y una demanda de oxígeno por parte de los sedimentos completa la decadencia en el agua. (Chapra S. , 2008)

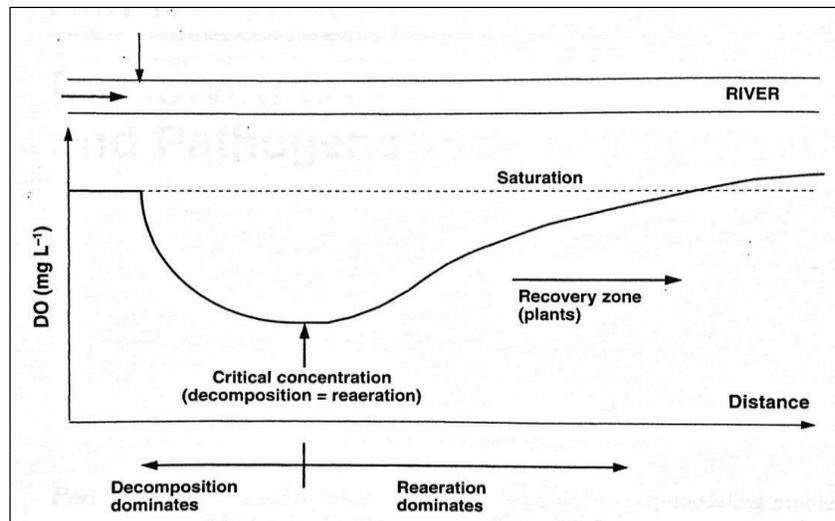


Figura 2.2 Curva de oxígeno disuelto bajo descargas de agua residual sobre corrientes.  
Fuente: Chapra, S. (2008). Surface Water-Quality Modeling . Estados Unidos de América : WAVELAND PREES, INC.

Ya que los niveles de oxígeno caen, el oxígeno atmosférico entra al agua para compensar el déficit de oxígeno. Al principio el oxígeno se consume en el agua y los sedimentos dificultan la reaireación, sin embargo, la materia orgánica es asimilada y los niveles de oxígeno bajan, llegara un punto en el que la reducción y la reaireación estarán en equilibrio. Este punto es el más bajo o crítico que alcanzara el nivel de oxígeno. Más allá de este punto la reaireación y los niveles de oxígeno empiezan a elevarse, en esta zona de recuperación el agua comienza a aclararse porque la mayoría de la materia orgánica de la descarga se decanta. Además los nutrientes inorgánicos que se liberan durante este proceso de descomposición serán altos. Por consiguiente la zona de recuperación a menudo será

dominada por el crecimiento de plantas, así el lado izquierdo que muestra la Fig. 2.1 comienza a predominar. (Chapra S. , 2008)

Más allá de los cambios químicos, las aguas residuales también sufren efectos significativos en la biota, como el la Fig. 2.3 b y c, el moho y las bacterias dominan cerca de las descarga. Además las mismas bacterias proporcionan una fuente de alimento para la sucesión de organismos como los ciliados, rotíferos y crustáceos. La diversidad de los organismos superiores decrece drásticamente en la degradación y activación de las zonas de descomposición, en el momento en que se hacen las descargas, al mismo tiempo el número total de organismos aumenta (Figura 2.3 d y e). Cuando la recuperación se produce se observan estas tendencias. (Chapra S. , 2008)

Todas las formas de interacciones químicas de las características de la curva de oxígeno disuelto se muestran en la Fig. 2.2. La característica clave de la curva es el punto crítico o mínimo de concentración, el lugar y la magnitud de esta concentración crítica depende de numerosos factores, incluyendo el tamaño de la carga, el flujo de la corriente, las características morfométricas, la temperatura del agua, etc. El logro de la formulación de modelos permite una simulación de la curva en función de estos factores. (Chapra S. , 2008)

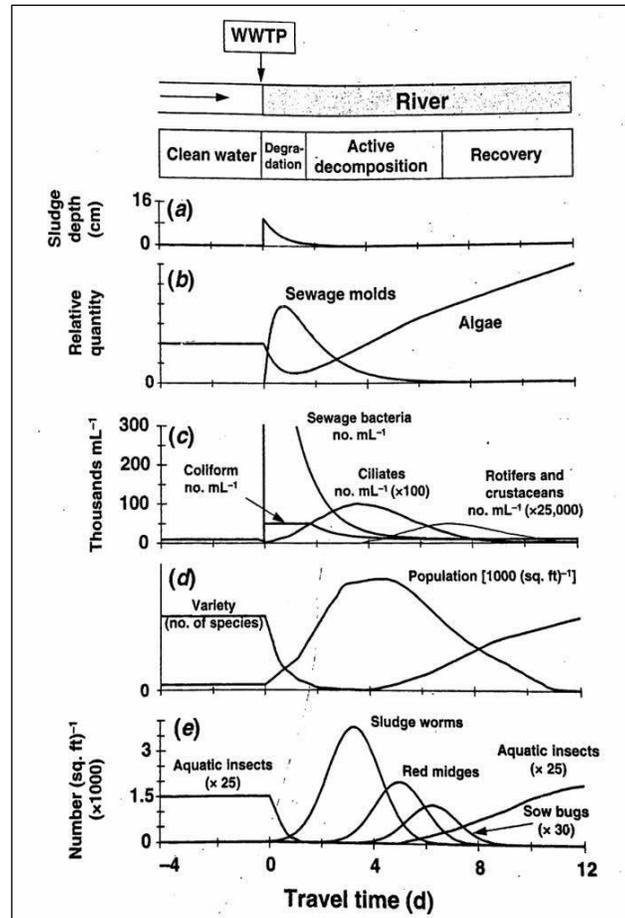
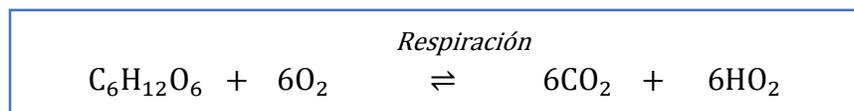


Figura 2.3 . Cambios en la biota bajo el efecto de tratamiento de planas sobre aguas residuales.  
 Fuente: Chapra, S. (2008). Surface Water-Quality Modeling . Estados Unidos de América  
 WAVELAND PREES, INC.

Experimento: El primer paso en la modelación de la curva de demanda de oxígeno será caracterizar la fuerza de las aguas residuales. Para hacer esto nos enfocaremos en la parte de respiración/descomposición del ciclo de vida/muerte. En términos generales de la representación química de la Ecuación 2.1, tenemos esto:



(2.2)

Ahora imaginemos un experimento con una muestra cerrada en una botella para investigar como esta reacción afecta un ambiente sencillo. Supongamos que se coloca una cantidad determinada de azúcar dentro de la muestra con una cantidad inicial de oxígeno ( $o_0$ ). También se le adiciona una pequeña cantidad de bacterias y se tapa la botella. Asumiendo que el proceso de descomposición ya ha comenzado en una reacción de primer orden, el balance de masa del azúcar puede describirse así:

$$V \frac{dg}{dt} = -k_1 V g \quad (2.3)$$

Donde  $g$  es igual a la concentración de glucosa ( $\text{mg} - \text{glucosa L}^{-1}$ ) y  $k_1$  es igual al rango de descomposición en la botella ( $\text{d}^{-1}$ ). Si el nivel inicial de glucosa es  $g_0$ , la ecuación queda de la siguiente manera:

$$g = g_0 e^{-k_1 t} \quad (2.4)$$

El próximo balance de masa en términos del oxígeno, será:

$$V \frac{do}{dt} = -r_{og} k_1 V g \quad (2.5)$$

Donde  $o$  es igual a la concentración de oxígeno ( $\text{mgO L}^{-1}$ ) y  $r_{og}$  es igual al rango de estequiometria del oxígeno consumido por la glucosa descompuesta ( $\text{mg} - \text{glucosa L}^{-1}$ ). La Ecuación 19.4 puede ser sustituida en la Ecuación 2.5, de manera que:

$$V \frac{do}{dt} = -r_{og} k_1 V g_0 e^{-k_1 t} \quad (2.6)$$

Si el nivel inicial de oxígeno es  $o_0$ , la ecuación queda de esta forma:

$$o = o_0 - r_{og}g_0(1 - e^{-kt}) \quad (2.7)$$

De acuerdo con esta ecuación, la muestra de la botella tendrá un nivel de oxígeno disuelto de  $o_0$ . Posteriormente el oxígeno decrecerá exponencial y asintóticamente hasta acercarse al nivel de:

$$o \rightarrow o_0 - r_{og}g_0 \quad (2.8)$$

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).** El experimento que se describe en el extremo de la sección pasada intenta mostrarnos como el proceso de la descomposición podría ser modelado por un sistema de lote sencillo. De la misma manera un enfoque similar podría ser usado para modelar el efecto de las aguas residuales en los niveles de oxígeno. Sin embargo, tal enfoque podría ser problemático, porque como ya hemos mencionado previamente, las aguas residuales no están compuestas por características simples. Por lo tanto, aplicar rigurosamente este enfoque, nos permite obtener las concentraciones de innumerables compuestos orgánicos en una muestra de agua residual. Necesitaríamos más para determinar la estequiometría de la reacción de descomposición para cada muestra. Finalmente, cada muestra nos indica diferentes niveles de descomposición, obviamente este enfoque riguroso podría ser poco práctico. (Chapra S. , 2008)

En términos de nuestro modelo simple podemos definir una nueva variable  $L$  ( $\text{mgO L}^{-1}$ ) que se refiere a la cantidad de materia orgánica oxidable en la muestra expresada en el oxígeno equivalente. Un balance de masa para  $L$  en un sistema de lotes podría ser escrito así:

$$V \frac{dL}{dt} = -k_1 VL \quad (2.9)$$

Si el nivel inicial es  $L_0$ , la ecuación puede ser de la siguiente manera:

$$L = L_0 e^{-k_1 t} \quad (2.10)$$

Observe que el oxígeno es consumido durante el proceso de la descomposición, que puede ser definida así:

$$y = L_0 - L \quad (2.11)$$

O substituyendo la Ecuación 2.10,

$$y = L_0(1 - e^{-kt}) \quad (2.12)$$

Dónde  $y = \text{DBO}$  ( $\text{mgO L}^{-1}$ ). Podemos ver ahora que el valor de  $L_0$  puede ser definido ya sea por la concentración inicial de materia orgánica (expresada en unidades de oxígeno) como también con el último DBO. Esta noción puede ser reforzada en la Figura 2.4, que muestra la igualación entre la Ec. 2.10 y la Ec. 2.12. (Chapra S. , 2008)

El próximo balance de masa puede ser escrito por el oxígeno,

$$V \frac{d_o}{dt} = -k_1 V L_0 e^{-k_1 t} \quad (2.13)$$

Si el nivel inicial de oxígeno es  $o_0$ , esta ecuación puede ser resuelta así:

$$o = o_0 - L_0(1 - e^{-k_1 t}) \quad (2.14)$$

De acuerdo con esta ecuación, la botella de muestra tendrá el nivel de oxígeno disuelto de  $o_0$ .

Posteriormente el oxígeno decrecerá exponencial y asintóticamente hasta acercarse al nivel de:

$$o \rightarrow o_0 - L_0 \quad (2.15)$$

Observe que este desarrollo es idéntico al experimento de la glucosa. En efecto el experimento de la glucosa podría ser modelado en términos de la DBO por sustitución.

$$L_0 = r_{og} g_0 \quad (2.16)$$

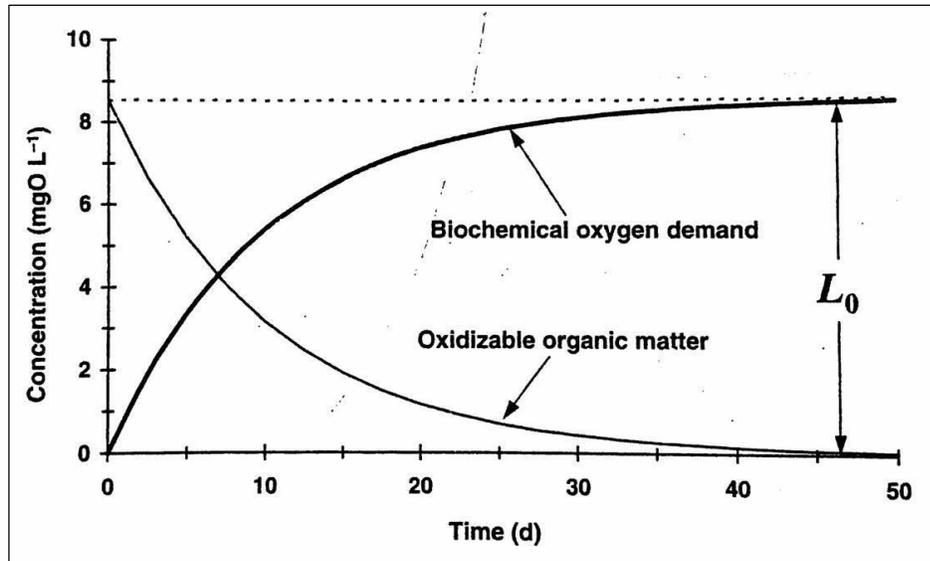


Figura 2.4 Valores de  $L_0$  definidos a partir de la concentración inicial de la materia orgánica o la última concentración de DBO.  
 Fuente: Chapra, S. (2008). Surface Water-Quality Modeling . Estados Unidos de América : WAVELAND PREES, INC.

Por lo tanto sin tener en cuenta la composición de la materia orgánica, evitamos la necesidad de caracterizar la materia orgánica y la estequiometría relativa del oxígeno.

Finalmente, cabe resaltar que aunque la composición exacta de la materia orgánica en las aguas residuales no es caracterizada, el contenido de carbono orgánico se puede medir directamente. En este caso la Ec. 2.16 puede ser formulada estimando la DBO con las características básicas del carbón orgánico, de la siguiente manera:

$$L_0 = r_{oc}C_{org} \quad (2.17)$$

Donde  $C_{org}$  es igual a la concentración de carbono orgánico de agua residual ( $mgC L^{-1}$ ) y  $r_{oc}$  es igual a la relación de la masa de oxígeno consumida por la masa de carbón asimilada ( $mgO)(mgC^{-1}$ ), de nuevo la Ecuación 2.2 provee las estimaciones básicas para la relación:

$$r_{oc} = \frac{6(32)}{6(12)} = 2.67 \text{ mgO mgC}^{-1} \quad (2.18)$$

Por último hay que señalar que a lo largo de la descomposición de la materia carbonosa, se ejerce una demanda adicional de oxígeno, debido a la oxidación de amoníaco a nitrato en el proceso llamado nitrificación. La demanda de oxígeno debido a la nitrificación, en algunos casos es llamado DBO nitrogenada o DBON, la cual difiere de DBO carbonatada o DBOC. (Chapra S. , 2008)

**Tasas de remoción de DBO.** La velocidad de descomposición del DBO en la muestra, proporciona una primera estimación de la tasa de eliminación en aguas naturales. Tal como se muestra en la Tabla 2.1, las tasas dependen del grado de tratamiento de las aguas residuales antes de su descarga. Las aguas residuales sin tratar son una mezcla de compuestos que van desde las sustancias de fácil descomposición hasta las que tardan un poco más en descomponerse. Dado que el tratamiento de residuos tiende a eliminar de forma selectiva las sustancias de fácil descomposición, las tasas en la muestra de DBO tienden a ser más bajas para las aguas residuales tratadas.

**Tabla 2.1**

*Valores típicos de descomposición de la DBO*

Treatment	$k_1(20^\circ\text{C})$	BOD <sub>5</sub> /BOD <sub>u</sub>
Untreated	0.35 (0.20–0.50)	0.83
Primary	0.20 (0.10–0.30)	0.63
Activated sludge	0.075 (0.05–0.10)	0.31

**Nota:** Los valores típicos de DBO de la muestra experimental decaen en un rango de 0,05 a 0,5  $d^{-1}$ . Fuente: Chapra, S. (2008). Surface Water-Quality Modeling . Estados Unidos de América : WAVELAND PREES, INC.

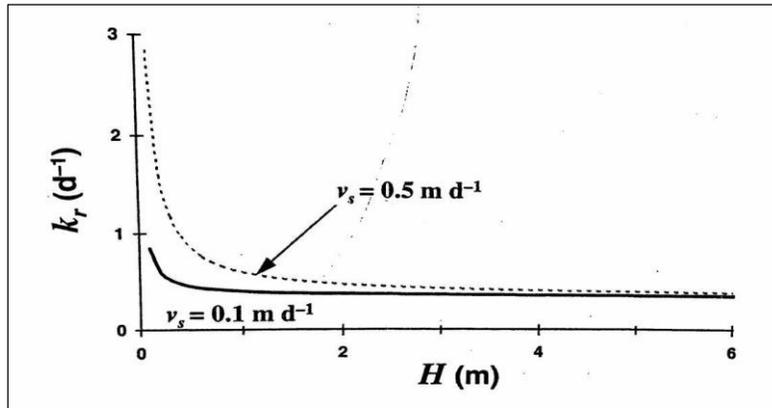


Figura 2.5 Gráfico de velocidad de eliminación total versus profundidad de la corriente para la sedimentación del 50% de la DBO. Una gama de velocidades de sedimentación se presentan. Fuente: Chapra, S. (2008). Surface Water-Quality Modeling . Estados Unidos de América : WAVELAND PREES, INC.

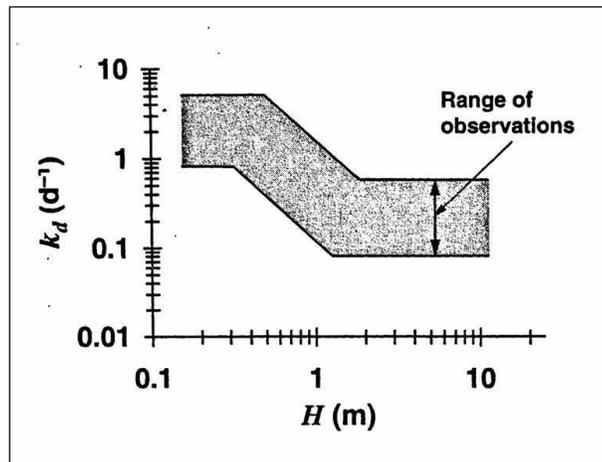


Figura 2.6 Velocidad de descomposición en corrientes versus profundidad (Bowie et al. 1985). Fuente: Chapra, S. (2008). Surface Water-Quality Modeling . Estados Unidos de América : WAVELAND PREES, INC.

Como podría esperarse, la tasa de la muestra raramente es aplicable directamente para ríos porque el entorno de la muestra no es una buena representación del río. En la mayoría de los ríos, los factores ambientales tienden a hacer depósitos más altos que los de la muestra. Las primeras causas de este incremento son los asentamientos y otros efectos negativos. (Chapra, 2008)

Sedimentación: Los efectos de sedimentación se relacionan con el hecho de que para las aguas residuales con una significativa fracción de materia orgánica, la tasa de eliminación total en las corrientes es una combinación de sedimentación y descomposición

$$k_r = k_d + \frac{V_s}{H} \quad (2.19)$$

Usando algunas velocidades comunes, podemos ver (Fig. 2.5) que los efectos del asentamiento pueden ser particularmente significantes para las aguas residuales sin tratar. (Es decir <1m).

Efectos negativos: Tiene efectos parecidos, las bacterias adheridas son generalmente más efectos de la descomposición que libera bacterias flotantes. La descomposición del fondo se puede entender como un flujo de transferencia de masa de DBO. Así, en una forma similar a la solución, descomposición del fondo se vuelve más pronunciado en los sistemas de menor profundidad, porque el efecto se hace más importante en relación con la descomposición volumétrica en el agua. (Chapra, 2008)

Esta tendencia, que se muestra en Fig. 19.7, y es ajustada en la siguiente ecuación (Hydroscience 1971)

$$\begin{aligned} K_d &= 0.3 \left( \frac{H}{2.4} \right)^{-0.434} & 0 \leq H \leq 2.4 \text{ m} & \quad (2.20) \\ K_d &= 0.3 & H > 2.4 \text{ m} & \end{aligned}$$

Por lo tanto hasta aproximadamente 2.4 m (8ft) la tasa disminuye con la profundidad. Por encima de 2.4 m la tasa se acerca a un valor constante que es típica de estos tipos de muestras. (Chapra, 2008)

Finalmente, la tasa de descomposición de DBO se puede extrapolar para otras temperaturas usando la siguiente ecuación  $K = k_{20}\theta^{T-20}$ , con  $\theta = 1.047$ .

En resumen, las tasas de eliminación de BDO tienden a incrementarse con la temperatura y tienden a ser más alta inmediatamente aguas abajo de los vertimientos puntuales. El último efecto es más pronunciado en aguas residuales no tratadas. Además el aumento de la sedimentación y los efectos negativos significa que los sistemas más superficiales suelen presentar mayor tasas de eliminación de DBO en aguas más profundas.

**Saturación de oxígeno disuelto.** La concentración de saturación de oxígeno en el agua natural es del orden  $10 \text{ mg L}^{-1}$ . En general, varios factores ambientales pueden afectar a este valor. Desde la perspectiva de modelos de calidad de agua, los más importantes de estos son:

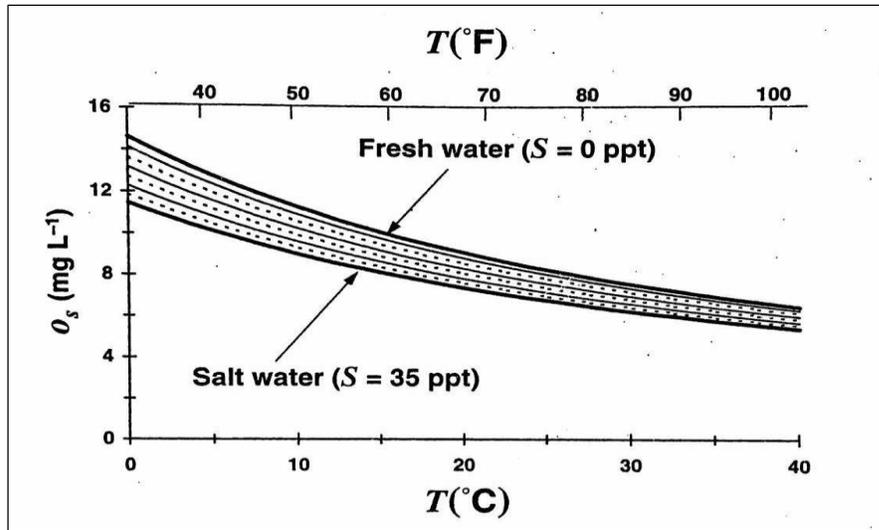


Figura 2.7 Relación del oxígeno disuelto en agua con la temperatura y la salinidad.  
Fuente: Chapra, S. (2008). Surface Water-Quality Modeling . Estados Unidos de América : WAVELAND PREES, INC.

- Temperatura
- Salinidad
- Variación de la presión parcial según la elevación

Varias ecuaciones derivadas empíricamente se han desarrollado para predecir cómo estos factores influyen en la saturación. Estos son revisados en la siguiente sección.

**Efecto de la temperatura.** La siguiente ecuación puede ser usada para establecer la dependencia de la saturación del oxígeno con la temperatura (APHA 1992):

$$\ln O_{sf} = -139.34411 + \frac{1.575701 \cdot 10^5}{T_a} - \frac{6.642308 \cdot 10^7}{T_a^2} + \frac{1.243800 \cdot 10^{10}}{T_a^3} - \frac{8.621949 \cdot 10^{11}}{T_a^4}$$

(2.21)

Donde:

$O_{sf}$  = Concentración de la saturación del oxígeno disuelto en agua dulce para 1 atm ( $\text{mgL}^{-1}$ )

$T_a$  = Temperatura absoluta ( $^{\circ}\text{K}$ ). Recordando que:

$$T_a = T + 273.15 \quad (2.22)$$

Dónde:  $T$  = temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ). De acuerdo a esta ecuación, la saturación disminuye con el incremento de la temperatura. Como se muestra en la Fig. 2.7. La concentración en agua limpia varía de aproximadamente  $14.6 \text{ mg L}^{-1}$  a  $0^{\circ}\text{C}$  hasta  $7.6 \text{ mg L}^{-1}$  a  $30^{\circ}\text{C}$ .

**Efecto de la salinidad.** La siguiente ecuación puede ser usada para establecer la dependencia de la saturación con la salinidad (APHA 1992):

$$\ln O_{ss} = \ln O_{sf} - S \left( 1.7674 * 10^{-2} - \frac{1.0754 * 10^1}{T_a} + \frac{2.1407 * 10^3}{T_a^2} \right) \quad (2.23)$$

Donde:

$O_{ss}$  = Concentración de saturación de oxígeno disuelto en agua salada a 1 atm ( $\text{mg L}^{-1}$ )

$S$  = Salinidad ( $\text{gL}^{-1}$  = partes por mil, ppt, a veces dada como  $\text{C}/\text{CO}$ ).

La salinidad puede estar relacionada con la concentración de cloruro por la siguiente aproximación:

$$S = 1.80655 * \text{Chlor}$$

Dónde: Chlor = Concentración de cloruro (ppt). Cuanto mayor es la salinidad, menor es la cantidad de oxígeno en el agua (Fig. 2.7).

**Efecto de la presión.** La siguiente ecuación puede ser usada para establecer la dependencia de la saturación con la presión (APHA 1992):

$$O_{sp} = O_{sl}P \left[ \frac{(1 - \frac{P_{wv}}{P})(1 - \theta P)}{(1 - P_{wv})(1 - \theta)} \right] \quad (2.24)$$

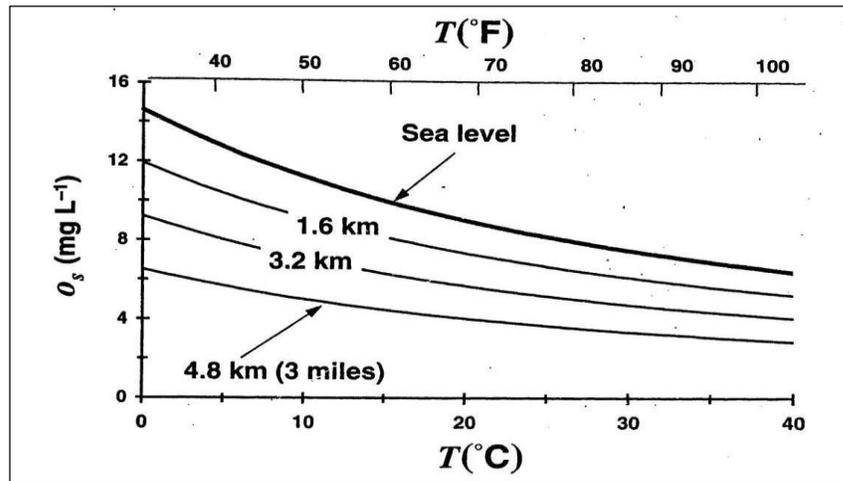


Figura 2.8 Relación de la saturación de oxígeno en el agua.

Fuente: Chapra, S. (2008). Surface Water-Quality Modeling . Estados Unidos de América : WVELAND PREES, INC.

Donde:

$P$  = presión atmosférica (atm).

$O_{sp}$  = Concentración de la saturación de oxígeno disuelto a  $P$  (mg L<sup>-1</sup>).

$O_{sl}$  = Concentración de la saturación de oxígeno disuelto a 1 atm ( $\text{mg L}^{-1}$ ).

$P_{wv}$  = Presión parcial del vapor de agua (atm).

$P_{wv}$  Puede ser calculado como:

$$\ln P_{wv} = 11.8571 - \frac{3840.70}{T_a} - \frac{216.961}{T_a^2} \quad (2.25)$$

El parámetro  $\Theta$  puede ser calculado como:

$$\theta = 0.000975 - 1.426 * 10^{-5}T + 1.436 * 10^{-8}T^2 \quad (2.26)$$

Nótese que esta fórmula es escrita en términos de la temperatura en grados Celsius y no en Kelvin.

Zison et al. (1978) ha desarrollado una aproximación basada en la elevación,

$$O_{sp} = O_{sl}[1 - 0.1148 * \text{elev}(\text{Km})] \quad (2.27)$$

O en unidades Inglesas:

$$O_{sp} = O_{sl}[1 - 0.000035 * \text{elev}(\text{ft})] \quad (2.28)$$

Dónde: elev = elevación sobre el nivel del mar. Como se muestra en la Fig. 2.8 esta relación indica que la presión disminuye a mayor elevación.

**2.3.4 Reaireación de Oxígeno.** La reaireación es el proceso de intercambio entre la atmósfera y un cuerpo de agua en contacto con la misma. Normalmente, la transferencia de oxígeno proviene de la atmósfera y del agua, ya que los niveles de oxígeno disuelto en la mayoría de las aguas naturales están por debajo de la saturación. Sin embargo, cuando la fotosíntesis produce niveles de oxígeno disuelto sobresaturados, la transferencia de oxígeno vuelve a la atmósfera. (United States EPA, 1985)

El proceso de reaireación se modela como el producto de un coeficiente de transferencia de masa multiplicada por la diferencia entre la saturación de oxígeno disuelto y la concentración real de oxígeno disuelto, es decir:

$$F_c = k_L(C_s - C) \quad (2.29)$$

Donde,

$F_c$  = Flujo de oxígeno disuelto a través de la superficie del agua, masa/área/tiempo.

$C$  = Concentración de oxígeno disuelto, masa/volumen.

$C_s$  = Saturación de concentración de oxígeno disuelto, masa/volumen.

$k_L$  = Coeficiente de transferencia de superficie, longitud/tiempo.

Para prácticamente todas las aplicaciones de modelación de ríos y para estuarios mezclados verticalmente a una profundidad promedio de flujo ( $F_c$ ), se utiliza:

$$F'_c = \frac{F_c}{H} = \frac{k_L}{H} (C_s - C) \quad (2.30)$$

Donde  $H$  es igual a la profundidad del agua, longitud.

En la ecuación 3-15 la velocidad de transferencia de la superficie y la profundidad normalmente se combinan en un solo término, llamado el coeficiente de tasa de reaeración o coeficiente de reaeración, que se denota en la literatura por  $k_2$  o  $k_a$ :

$$k_2 = \frac{k_L}{H} \quad (2.31)$$

**Reaeración en Ríos.** Los ríos han sido el foco de la mayoría de las investigaciones sobre reaeración en aguas naturales. Algunas de las ecuaciones que se han desarrollado para los ríos se han aplicado con éxito a los estuarios, y es indicativo de la falta de investigación de la reaeración en estuarios.

La Tabla 2.2 resume las expresiones de coeficiente de reaeración (valores  $k_2$ ) para los ríos. Todas las fórmulas de reaeración en la tabla 3-6 son valores de profundidad promedio y están en unidades de  $1/\text{día}$ . La tabla también muestra las unidades necesarias para los parámetros en cada fórmula, y cuando es posible el rango de condiciones utilizadas en el desarrollo de las fórmulas. Todos los valores de ( $k_2$ ) son base e, y se hace referencia a 20 °C, a menos que se indique lo contrario. Aunque los valores de base e, se utilizan directamente en la mayoría de las formulaciones de modelado, en las primeras investigaciones de reaeración, los valores ( $k_2$ ) se expresaron a menudo en base 10. La relación entre coeficientes de reaeración base e y base 10 es:

$$k_{2_{\text{base e}}} = \ln(10)k_{2_{\text{base 10}}} = 2,303k_{2_{\text{base 10}}} \quad (2.32)$$

La investigación acerca de la reaireación en corrientes comenzó en la década de 1950, y continúa en la actualidad. Las fórmulas que se muestran en la Tabla 2.2 se basan en teoría, empirismo, o una combinación de las dos. A finales de la década de 1960 el método trazador radiactivo fue introducido por Tsvoglou y Wallace (1972). El método del marcador, o una modificación del mismo, constituye la base de gran parte de la investigación en reaireación que se lleva a cabo hoy en día. (United States EPA, 1985)

**Tabla 2.2**

*Coeficientes de reaireación para ríos y corrientes*

Author(s)	$k_2$ , base e(1/day at 20°C)	Units	Applicability
O'Connor and Dobbins (1958)	$\frac{12.9U^{0.5}}{H^{1.5}}$	U-fps H-feet	Moderately deep to deep channels; 1'SHS30', 0.5'SUS1.6 fps; 0.05Sk <sub>2</sub> ≤ 12.2/day. O'Connor and Dobbins also developed a second formula for shallow streams but D'Connor (1958) showed the differences between the two formulas was insignificant, and recommended that the first formula be used.
Churchill et al. (1962)	$\frac{11.6U^{0.969}}{H^{1.673}}$	U-fps H-feet	Based on observed reeration rates below dams from which oxygen deficient water was released. 2'SHS11'; 1.8'SUS5 fps. Churchill et al. also developed other formulas, but recommended this formula.
Owens et al. (1964)	$\frac{21.7U^{0.67}}{H^{1.85}}$	U-fps H-feet	Oxygen recovery monitored for six streams in England following deoxygenation with sodium sulfite. 0.1'SUS5 fps; 0.4'SHS11'.
Owens et al. (1964)	$\frac{23.3U^{0.73}}{H^{1.75}}$	U-fps H-feet	This is a second formula developed by Owens et al., and applies for 0.1'SUS1.8 fps; 0.4'SH 11'.
Langbein and Durum (1967)	$\frac{7.6U}{H^{1.33}}$	U-fps H-feet	Based on synthesis of data from O'Connor-Dobbins (1958), Churchill et al. (1962), Krenkel and Orlob (1963), and Streeter et al. (1936).
Isaacs and Gaudy (1968)	$\frac{8.62U}{H^{1.5}}$	U-fps H-feet	Developed using regression analyses from data collected using a recirculating cylindrical tank. 0.6'SHS1.6 fps; 0.5'SHS1.5'.
Parkhurst and Pomeroy (1972)	$\frac{48.4(1+0.17F^2)(SU)^{3/8}}{H}$	U-m/s S-m/m H-meters	Developed from data collected in 12 sewers and in natural streams.
Negulescu and Rojanski (1969)	$10.9\left(\frac{U}{H}\right)^{0.85}$	U-fps H-feet	Developed from a recirculating flume with depths less than 0.5 feet.
Thackston and Krenkel (1969)	$\frac{24.9(1+F^{0.5})u_*}{H}$	u*-fps H-feet	Based on measurements made in a 2' wide flume with deoxygenated waters. 0.05' ≤ H ≤ 0.23'.
Lau (1972b)	$2515\left(\frac{u_*^3}{U}\right)\frac{U}{H}$	u*-fps U-fps H-feet	Based on reanalysis of the data of Thackston and Krenkel (1969), Krenkel (1960), and Churchill et al. (1962).

(continued)

(Continua)

Author(s)	$k_2$ , base e(1/day at 20°C)	Units	Applicability
Krenkel and Orlob (1962)	$\frac{234(U_S)^{.408}}{H^{.66}}$	U-fps S-ft/ft H-feet	Based on 1' wide flume data. $0.08' \leq H \leq 0.2'$
Krenkel and Orlob (1962)	$\frac{8.4 D_L^{1.321}}{H^{2.32}}$	$D_L$ -ft <sup>2</sup> /min H-feet	Experiments performed in a 1' wide flume by deoxygenating the water. Other similar formulas are also reported. The flume dispersion coefficient, $D_L$ , was below the range expected in natural systems.
Padden and Gloyna (1971)	$\frac{6.9U^{0.703}}{H^{1.054}}$	U-fps H-feet	Regression analysis performed on data where $9.85k_2 \leq 28.8$ /day.
Cadwallader and McDonnell (1969)	$\frac{336(U_S)^{0.5}}{H}$	U-fps S-ft/ft H-feet	Based on multivariate analysis of reaeration data.
Bansal (1973)	$\frac{4.67U^{0.6}}{H^{1.4}}$	U-fps H-feet	Based on reanalysis of reaeration data in numerous rivers.
Bennett and Rathbun (1972)	$\frac{106U^{0.413} S^{0.273}}{H^{1.408}}$ $\frac{20.2U^{0.607}}{H^{1.689}}$	U-fps S-ft/ft H-feet	These two equations are based on a reanalysis of historical data, with the second equation being at most as good a predictor as the first, but not having the slope term.
Dobbins (1964)	$\frac{117(1+F^2(U_S)^{0.375})}{(0.9+F)^{1.5} H} \coth \left[ \frac{4.10(U_S)^{0.125}}{(0.9+F)^{0.5}} \right]$	U-fps H-feet S-ft/ft	Theory combined with measurements in natural streams, and flume data of Krenkel and Orlob (1963).
Ice and Brown (1978)	$\frac{37W^{2/3} S^{1/2} U^{7/6} q^{1/2}}{q^{2/3}}$	W-feet S-ft/ft U-fps $q$ -ft <sup>3</sup> /sec	Based on data collected in several small Oregon streams.
McCutcheon and Jennings (1982)	$- \ln \left[ \frac{1 - 2 \left( \frac{a I - 24}{a(30.48H)^2} \right)^{1/2}}{1} \right]$ $I = \begin{cases} 0.0016 + 0.0005 H & H \leq 2.26 \text{ ft} \\ 0.0097 \ln(H) - 0.0052 & H > 2.26 \text{ ft} \end{cases}$	H-feet $a=1.42$ $T=0^\circ\text{C}$ $(1.1)^{T-20}$	Based on the Velz method (1970) and replaces the iterative technique. The expressions for the mix internal I are based on an accumulation of applications of the Velz technique.

(continued)

(Continua)

Author(s)	$k_2$ , base e(1/day at 20°C)	Units	Applicability
Long (1984)	$\frac{1.923U^{0.273}}{H^{0.894}}$	U-meters/sec H-meters	Known as the "Texas" equation. Based on data collected on streams in Texas.
Foree (1976)	$0.30+0.19S^{1/2}$ at 25°C	S-feet/mile	Radioactive tracer technique used on small streams in Kentucky. $0 \leq S \leq 42$ feet/mile.
Foree (1977)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>0.888 (0.63+0.4S^{1.15})q^{0.25}</math> at 25°C for <math>0.05 \leq q \leq 1</math></li> <li>• <math>0.888 (0.63+0.4S^{1.5})</math> at 25°C for <math>q &gt; 1</math></li> <li>• <math>0.42 (0.63+0.4S^{1.15})</math> at 25°C for <math>q &lt; 0.05</math></li> </ul>	S-feet/mile q-cfs/mi <sup>2</sup>	Reanalysis of Foree's (1976) data.
Tsivoglou and Wallace (1972)	$0.054 \frac{\Delta h}{t}$ at 25°C	$\Delta h$ -feet t-days	Based on summary of radioactive tracer applications to 5 rivers.
Tsivoglou and Neal (1976)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>0.11 \left( \frac{\Delta h}{t} \right)</math> for <math>1 \leq Q \leq 10</math> cfs</li> <li>• <math>0.054 \left( \frac{\Delta h}{t} \right)</math> for <math>25 &lt; Q \leq 3000</math> cfs</li> </ul>	$\Delta h$ -feet t-days	Based on data collected on 24 different streams using radioactive tracer method.
Grant (1976)	$0.09 \left( \frac{\Delta h}{t} \right)$ at 25°C	$\Delta h$ -feet t-days	Based on data from 10 small streams in Wisconsin using radioactive tracer techniques: $2.1 \leq k_2 \leq 55$ /day $1.2 \leq S \leq 70$ ft/mile $0.3 \leq Q \leq 37$ cfs
Grant (1978)	$0.06 \left( \frac{\Delta h}{t} \right)$ at 25°C	$\Delta h$ -feet t-days	Based on radioactive tracer data developed on Rock River, Wisconsin and Illinois: $0.01 \leq k_2 \leq 0.8$ /day $0.25 \leq U \leq 1.6$ fps $0.2 \leq S \leq 3.5$ ft/mile $260 \leq Q \leq 1030$ cfs

(continued)

Author(s)	$k_2$ , base e(1/day at 20°C)	Units	Applicability
Shindala and Truax (1980)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>0.06 \left( \frac{\Delta h}{t} \right)</math> at 25°C for <math>Q \leq 10</math> cfs</li> <li>• <math>0.06 \left( \frac{\Delta h}{t} \right)</math> at 25°C for <math>10 &lt; Q \leq 280</math> cfs</li> </ul>	$\Delta h$ -feet t-days	Based on statistical analysis of reaeration coefficients for rivers in 7 states, where the radioactive tracer method was used to find the reaeration rates.
Eloubaidy and Plate (1972)	Wind effects analyzed. See text for discussion.		
Mattingly (1977)	Wind effects analyzed. See text for discussion.		
Gulliver and Stefan (1981)	Wind effects analyzed.		
Frexes <u>et al.</u> (1984)	Wind effects analyzed.		

**Definitions of Symbols:**

$D_L$  = longitudinal dispersion coefficient

F = Froude number

$$= \frac{U}{(gh)^{0.5}}$$

g = acceleration due to gravity

$\Delta h$  = change in stream bed elevation between two points

q = stream discharge divided by drainage area

R = hydraulic radius

S = slope

t = travel time between two points where  $\Delta h$  measured

U = stream velocity

$u_*$  = shear velocity =  $\sqrt{gRS}$

W = width

**Ley de Fick.** La primera ley de Fick plantea que siempre que hay gradiente de concentración habrá transferencia de masa, lo cual indica, que el flujo difusivo que atraviesa una superficie es directamente proporcional al gradiente de concentración. (Safire, 2013)

$$\Delta C \rightarrow \Delta M \quad (2.33)$$

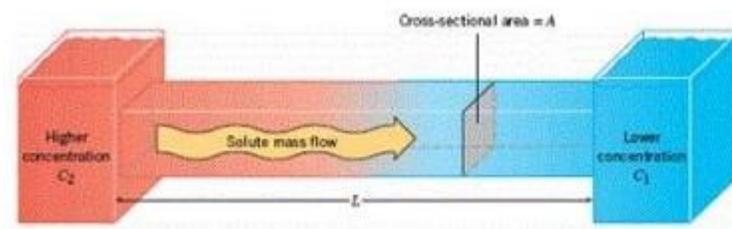


Figura 2.9 Ley de Fick.

Fuente: Safire. (03 de 09 de 2013). *Presión osmótica. Ley de fick*. Obtenido de Slideshare: <http://es.slideshare.net/safiire/ley-de-fick-presin-osmtica>

**Factores que influyen sobre la reaeración.** Además de las variables hidráulicas que por lo general aparecen en las expresiones de la Tabla 2.2, el coeficiente de reaeración puede estar influenciado por ciertos factores especiales que incluyen:

- Tensoactivos
- Partículas suspendidas
- Viento
- Estructuras hidráulicas
- Temperatura de agua

Mientras que los tensoactivos, sólidos en suspensión, y el viento pueden influir en la reaeración de los ríos, en la práctica los efectos de estos factores rara vez o nunca se incluyen

en los modelos de calidad del agua. La discusión sobre la influencia de agentes tensioactivos se da en Zison et al. (1978), Poon y Campbell (1967), y Tsivoglou y Wallace (1972). La influencia de sólidos en suspensión es discutido por Holley (1975) y Alonso et al (1875). (United States EPA, 1985)

**Efectos de la temperatura sobre la reaireación.** La influencia de la temperatura en la reaireación es simulada típicamente usando el siguiente tipo de dependencia de la temperatura,

$$k_2(T) = k_2(20^\circ\text{C})\theta^{T-20} \quad (2.34)$$

Donde:

T = temperatura del agua, °C

$\theta$  = factor de ajuste de la temperatura.

La tabla 2.3 resume los valores de  $\theta$ . Por lo general se utilizan los valores de 1.022 a 1.024 en la mayoría de las aplicaciones de modelos.

Schneiter y Grenney (1983) desarrollaron un enfoque diferente para simular correcciones de temperatura en los rangos de 4°C a 30°C. Este enfoque permite que  $\theta$  varíe en función de la temperatura. Sin embargo, el enfoque no se utiliza ampliamente.

**Tabla 2.3**

Valores de coeficientes de temperatura reportados

Temperature Coefficient, $\theta$	Reference
1.047	Streeter, <i>et al.</i> (1926)
1.0241	Elmore and West (1961)
1.0226	Elmore and West (1961)
1.020	Downing and Truesdale (1955)
1.024	Downing and Truesdale (1955)
1.016	Downing and Truesdale (1955)
1.016	Streeter (1926)
1.018	Truesdale and Van Dyke (1958)
1.015	Truesdale and Van Dyke (1958)
1.008	Truesdale and Van Dyke (1958)
1.024	Churchill <i>et al</i> (1962)
1.022	Tsivoglou (1967)
1.024	Committee on Sanitary Engineering Research (1960)

Fuente: Chapra, S. (2008). Surface Water-Quality Modeling . Estados Unidos de América : WAVELAND PREES, INC.

**2.3.5 Balance de Materia.** Un balance de materia es simplemente la aplicación de la Ley de conservación de la masa: “La materia no se crea ni se destruye”. En un proceso químico, en particular, no es más que el conteo o inventario de cuánto entra, sale y se usa de cada componente químico que interviene en cada proceso.

Los balances de materia pueden aplicarse a cualquier sistema en el cual haya sido definida una frontera, no importa si su naturaleza es física, química o abstracta. Es una herramienta básica de análisis de los sistemas, así como también lo son: el balance de energía, las relaciones físico-químicas entre algunas variables y las especificaciones o restricciones en el funcionamiento del proceso. (Gómez Quintero , 2010)

**Clasificación de los procesos.** Basándose en la dependencia o no respecto del tiempo, un proceso puede clasificarse como:

- Proceso en estado estacionario, aquel cuyo estado (i.e. las variables que intervienen en el mismo) no cambia en el tiempo o sus variaciones son despreciables durante un intervalo de tiempo suficientemente amplio.
- Proceso en régimen transitorio (estado no estacionario), aquel cuyo estado varía en el tiempo, haciendo que los valores de las variables involucradas presenten cambios significativos en su dinámica.

Basándose en la manera en que es diseñado para llevar a cabo sus operaciones, un proceso puede ser clasificado como:

- Proceso continuo, cuando las corrientes de entrada y descarga fluyen de manera continua durante todo el proceso.
- Proceso por lotes o intermitente, cuando, por ejemplo se cargan en un recipiente las corrientes de alimentación al comienzo del proceso solamente y, después de transcurrido cierto tiempo, se retira el contenido del recipiente en parte o en su totalidad.
- Proceso semicontinuo, cuando tiene características de las dos anteriores.

Por su naturaleza, los procesos por lotes y semicontinuos operan en estado no estacionario (hay instantes de tiempo donde se producen cambios “bruscos” en la dinámica de las variables), mientras que los procesos continuos pueden ser estacionarios o inclusive transitorios. (Gómez Quintero , 2010)

**Tipos de balance.** Hay dos tipos de balance que se pueden aplicar a un sistema como lo son el balance diferencial y el balance integral.

El **balance diferencial** indica lo que ocurre en un sistema en un momento determinado. Por lo general este tipo de balance se aplica a los sistemas continuos. Si el sistema está en régimen estacionario, un balance diferencial dará en cualquier instante el mismo resultado (los términos de acumulación son nulos). Si el sistema es transitorio, este balance generará un conjunto de ecuaciones diferenciales respecto del tiempo que habrá que resolver.

El **balance integral** indica lo que le ocurre a un sistema durante dos instantes determinados. Solo informa sobre el comportamiento del sistema durante el intervalo comprendido entre esos dos momentos. Generalmente, los balances integrales se aplican a procesos por lotes, los cuales tienen condiciones de inicio y finalización bien definidas. Matemáticamente, se obtendrá un conjunto de ecuaciones integrales que deberá ser resuelto para los límites de integración establecidos. (Gómez Quintero , 2010)

**La ecuación general del balance de materia.** Recuérdese que todo sistema o proceso está gobernado por la Ley de conservación de la masa. De manera general, un balance de materia se escribe como:

$$\text{Entrada} + \text{Generación} - \text{Salida} - \text{Consumo} = \text{Acumulación} \quad (2.35)$$

O en forma abreviada:

$$E + G - S - C = A$$

Para procesos reactivos en estado estacionario, la ecuación se reduce a:

$$\text{Entrada} + \text{Generación} - \text{Salida} - \text{Consumo} = 0 \quad (2.36)$$

Pues no hay acumulación de materia. La formación de productos y el consumo de reactivos dependerán de las reacciones químicas involucradas en el proceso en estudio. Esta expresión puede entenderse mejor de la siguiente manera:

$$\text{Entrada} + \text{Generación} = \text{Salida} + \text{Consumo} \quad (2.37)$$

Ahora bien, si en el proceso no se suceden transformaciones químicas de materia, es decir, no hay reacciones químicas involucradas (el proceso es no reactivo), los términos de generación de productos y consumo de reactivos son nulos. En ese caso, la ecuación anterior se simplifica hasta quedar como sigue:

$$\text{Entrada} = \text{Salida} \quad (2.38)$$

La expresión de balance de materia descrita por la ecuación anterior es válida tanto para sistemas continuos como por lotes. (Gómez Quintero , 2010)

**2.3.6 Modelo de Streeter-Phelps.** El modelo de Streeter-Phelps junta los dos mecanismos primarios de oxígeno disuelto en corrientes que reciben aguas residuales: descomposición orgánica de la materia y reaireación de oxígeno. Como tal esta provee un marco analítico para predecir el efecto que tienen las aguas residuales en un punto o en varios puntos, en una corriente o en un estuario. (Chapra S. , 2008)

Casi todos los modelos matemáticos caracterizan la DBOC con la siguiente expresión cinemática de primer orden:

$$\frac{dL}{dt} = -k_d L \quad (2.39)$$

Donde,

$L$  = Última DBOC,  $\text{mg L}^{-1}$

$k_d$  = Tasa de coeficiente de primer orden  $1 \text{ d}^{-1}$ , base e.

$t$  = Tiempo en días

Cuando esta ecuación se acopla con la cinética del oxígeno disuelto en corrientes comienza la ecuación clásica de Streeter-Phelps:

$$D = \frac{k_d L}{k_2 - k_d} [e^{-k_d t} - e^{-k_2 t}] + D_o e^{-k_2 t} \quad (2.40)$$

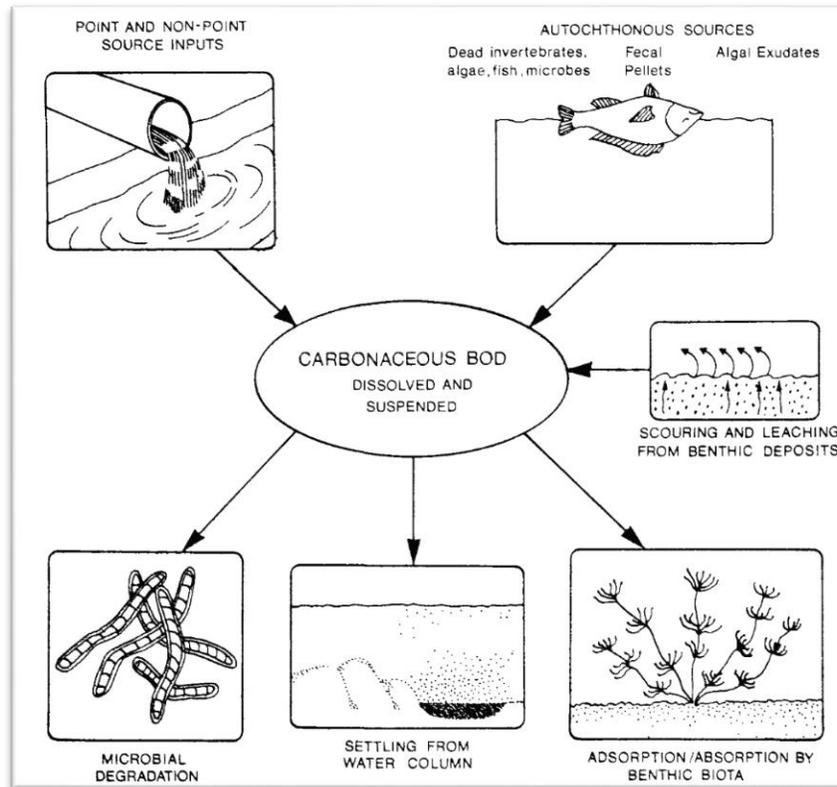


Figura 2.10 Fuentes de DBOC en ambientes acuáticos.

Fuente: Chapra, S. (2008). Surface Water-Quality Modeling . Estados Unidos de América : WAVELAND PREES, INC.

Donde:

$D$  = Déficit de oxígeno disuelto,  $\text{mg L}^{-1}$

$k_2$  = Constante de reaireación,  $\text{d}^{-1}$ , base e.

$D_0$  = Déficit inicial de la corriente,  $\text{mg L}^{-1}$

Esta ecuación es la más importante en los modelos de calidad de agua. (United States EPA, 1985).

En uso de esta representación de DBO/DO para la asignación de un modelo de cargas residuales, el analista requiere tener en cuenta tres factores, los cuales son:

- El valor de la última DBO de la fuente en el punto determinado y los resultados de la distribución espacial.
- La magnitud y la distribución espacial de la DBO con respecto al grado de remoción.
- La relación de la última DBO en una prueba de 5 días.

**Experimento:** Se coloca una botella con una cantidad de materia orgánica dentro de la misma pero a diferencia del experimento que se realiza en la reaeración, en este caso dejaremos el recipiente abierto a la atmosfera. (Chapra S. , 2008)

Los balances de masa para la DBO y el oxígeno disuelto quedarían de la siguiente manera:

$$V \frac{dL}{dt} = -k_d VL \quad (2.41)$$

Y,

$$V \frac{dL}{dt} = -k_d VL + k_a V(O_s - O) \quad (2.42)$$

Ahora antes del procedimiento con la solución realizaremos una transformación que simplifica el balance de oxígeno. Para hacer esto se introduce una nueva variable,

$$D = O_s - O \quad (2.43)$$

Donde  $D$  es llamado Déficit de oxígeno disuelto. La Ecuación 2.43 se deriva para dar,

$$\frac{dD}{dt} = -\frac{d_o}{dt} \quad (2.44)$$

Las Ecuaciones 2.43 y 2.44 pueden ser sustituidas en la Ecuación 2.42, la cual quedaría de la siguiente manera:

$$V \frac{dL}{dt} = k_a VL - k_a VD \quad (2.45)$$

De esta manera, se simplifica la ecuación diferencial.

Si  $L = L_o$  y  $D = 0$  en un  $t = 0$ , entonces la Ecuación 2.41 y la Ecuación 2.45, se resuelven de la siguiente manera:

$$L = L_o e^{-k_d t} \quad (2.46)$$

Y,

$$D = \frac{k_d L_o}{k_a - k_d} (e^{-k_d t} - e^{-k_a t}) \quad (2.47)$$

Esto está representado en la Figura 2.10, cuando se abre la tapa significa que el oxígeno decrece pero ese se recupera con la reaireación de oxígeno. (Chapra S. , 2008)

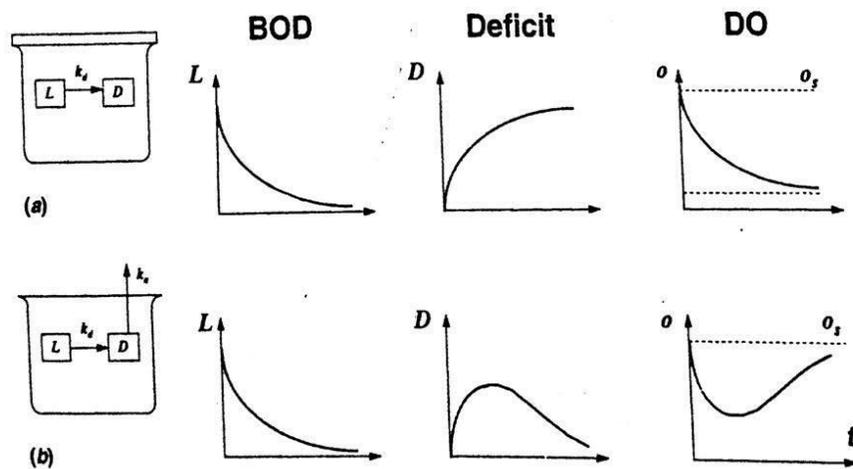


Figura 2.11 El sistema es afectado por la descomposición de DBO. (a). Muestra cerrada y (b), Muestra abierta.

Fuente: Chapra, S. (2008). Surface Water-Quality Modeling . Estados Unidos de América : WAVELAND PREES, INC.

**2.3.7 Expresiones predictivas para la desoxigenación.** El rango de desoxigenación carbonosa es determinado de dos maneras. La mayoría de los investigadores se basan en las mediciones de  $k$  en los resultados de los experimentos en campo de oxígeno disuelto del último valor de la DBO, en los modelos de corrientes este enfoque tradicional ha sido recientemente argumentado por los esfuerzos para cuantificar  $k_d$  como una función de los parámetros hidráulicos. (United States EPA, 1985)

Bansal (1975) intento predecir los rangos de desoxigenación basado en el número de Reynolds y el número de Froude. Este enfoque fue encontrado teniendo una aplicabilidad limitada (Novotny and Krenkel, 1975). Comúnmente  $k_d$  es encontrada como una función del caudal de flujo, radio hidráulico o profundidad promedio de corriente.

Wright and McDonnell (1979) utilizaron los datos de 36 corrientes en los Estados Unidos para determinar la siguiente expresión:

$$k_d = (10,3)Q^{-0,49} \quad (2.48)$$

Donde Q es igual al caudal de flujo,  $f^3/\text{seg}$

Ellos encontraron que los caudales por encima de los  $800 f^3/\text{seg}$ , no aplicaban para  $k_d$  con respecto al caudal de flujo. El límite inferior de aplicabilidad de esta expresión es de aproximadamente  $10 f^3/\text{seg}$ . Bajo este rango de flujo, los rangos de desoxigenación se observaban constantemente entre los rangos de 2.5-3.5 por día independientemente del caudal. Para este mismo caudal (entre  $10 - 800 f^3/\text{seg}$ ), la expresión basada en el perímetro mojado del canal, fue también encontrada de manera exitosa en función de  $k_d$ :

$$k_d = 39,6 P^{-0,84} \quad (2.49)$$

Donde P es igual al perímetro mojado, pies. (United States EPA, 1985)

## 2.4 Marco legal

Las leyes y decretos que se describen a continuación indican las restricciones o permisos a tener en cuenta para la realización del presente proyecto, haciendo énfasis en la ley de vertimientos, la cual fue modificada el 17 de Marzo de 2015.

**RAS 2000, sección II, título e, tratamiento de aguas residuales.** “El propósito del siguiente título es fijar los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la

supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales”

**Ley de vertimientos, resolución 0631, 17 de marzo del 2015.** “Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones” (Ver Apéndice A).

**Decreto 3930, 25 de octubre de 2010.** “Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI-Parte III-Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.”

(Ver Apéndice A).

## **Capítulo 3 : Diseño metodológico**

### **3.1 Tipo de investigación**

Partiendo del objeto de estudio la investigación que se realizará es aplicada con un enfoque cuantitativo ya que pretende estudiar el problema y plantear alternativas para el mejoramiento de este, basada en una recolección de información que a su vez permitirá calcular una serie de variables obteniendo resultados que nos lleven a formular conclusiones y posibles soluciones al problema formulado.

### **3.2 Población**

A lo largo del cauce del Río Tejo se encuentran ubicados varios vertimientos, los cuales son: Punto Cootransregional, Punto Pesca y Coma, Punto Puente la Normal, Punto Puente La Federación y finalmente Punto Las Ferias (Vertimiento Final).

### **3.3 Muestra**

En este proyecto la muestra es el vertimiento final del Río Tejo, ubicado en el barrio Las Ferias, en el nororiente (Latitud:  $8^{\circ}15'57.72''N$ , Longitud:  $73^{\circ}21'35.24''O$ ) del municipio de Ocaña, Norte de Santander.

### **3.4 Recolección de información**

La recolección de la información necesaria para la ejecución del proyecto se realiza bajo el uso de fuentes primarias, como lo es el uso del Internet, apoyados también por los estudios realizados por la empresa prestadora de servicios públicos ESPO S.A, la máxima autoridad ambiental en el departamento que es CORPONOR y la alcaldía Municipal de Ocaña.

### **3.5 Análisis de información**

En el análisis de la información recolectada se empleara el uso de hojas de cálculo Excel para realizar el modelo matemático a utilizar según las características del río y del vertimiento final, los resultados obtenidos de este estudio serán la base de las conclusiones y de las posibles soluciones que se planteen.

## Capítulo 4 : Administración del proyecto

### 4.1 Recursos humanos

#### Director del proyecto.

Giovani Orozco Arbeláez IC.Esp.MsC.

#### Investigadores del proyecto.

Anyi Paola Castro Galvis Estudiante de Ingeniería Civil

Leidy Katherine Pallares Rizo Estudiante de Ingeniería Civil

### 4.2 Recursos institucionales

Universidad Francisco Paula Santander Ocaña.

### 4.3 Recursos financieros

Tabla 4.1

*Presupuesto para desarrollo del proyecto*

<b>PRESUPUESTO DEL PROYECTO DE GRADO</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>FINANCIACIÓN</b>	<b>TOTAL</b>
Aforos.	\$2.000.000	\$2.000.000
Laboratorios de muestras.	\$15.000.000	\$15.000.000
Papelería.	\$50.000	\$50.000
Transporte.	\$600.000	\$600.000
Impresiones.	\$120.000	\$120.000
Empaste.	\$50.000	\$50.000
Salario de horas trabajadas.	\$5.245.008	\$5.245.008
<b>TOTAL</b>		<b>\$23.065.008</b>

## Capítulo 5 Aplicación

### 5.1 Descripción del área de estudio

**5.1.1 Localización geográfica del río receptor.** El Río Tejo nace en la zona suroeste del municipio de Ocaña, en los corregimientos de Buenavista, Agua de la Virgen y el Espíritu Santo, lugar desde donde el cuál atraviesa el casco urbano de la ciudad. Este cauce natural funciona como receptor de las cargas contaminantes producto de las actividades antrópicas de la región, las cuales no cuentan con un tratamiento previo antes de ser vertidas.

En la siguiente figura se muestran con color rojo los lugares con mayor elevación dentro del perímetro urbano y la degradación de este color hasta el verde que hace referencia a los lugares de menor elevación, las curvas de nivel están a una equidistancia de 20mtrs, las cuales fueron extraídas de un DEM a 30\*30mtrs. El mapa o salida grafica fue elaborado en el sistema de referencia MAGNA SIRGAS COLOMBIA BOGOTA a una escala de 1:10.000.

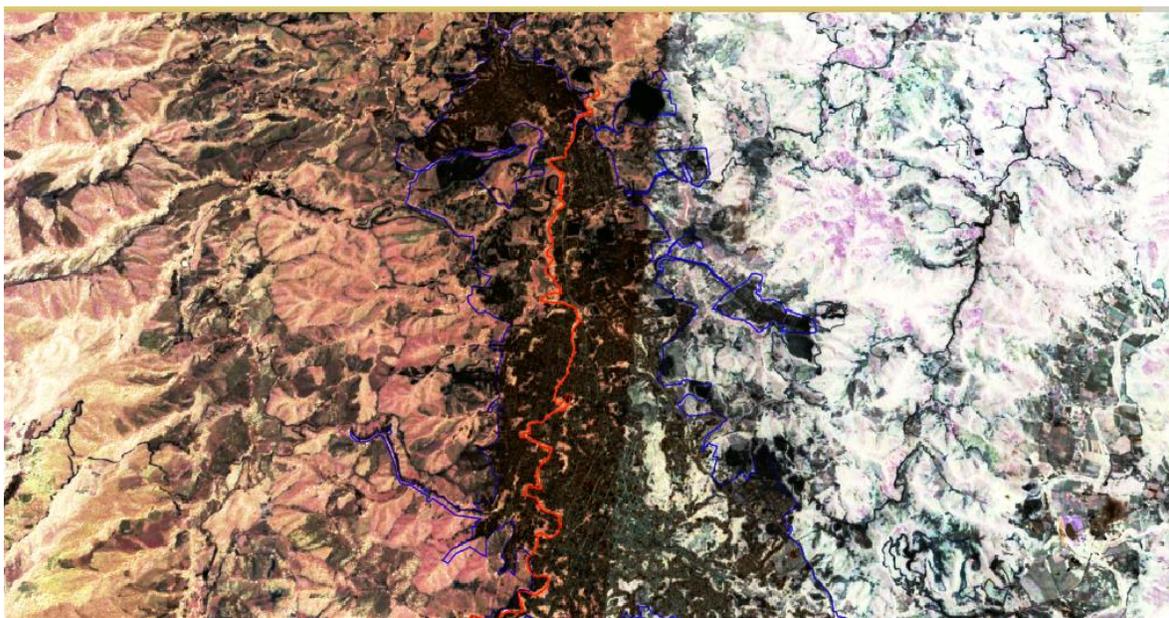


Figura 5.1 Localización geográfica del río receptor.  
Fuente: Google Earth Pro 2015.

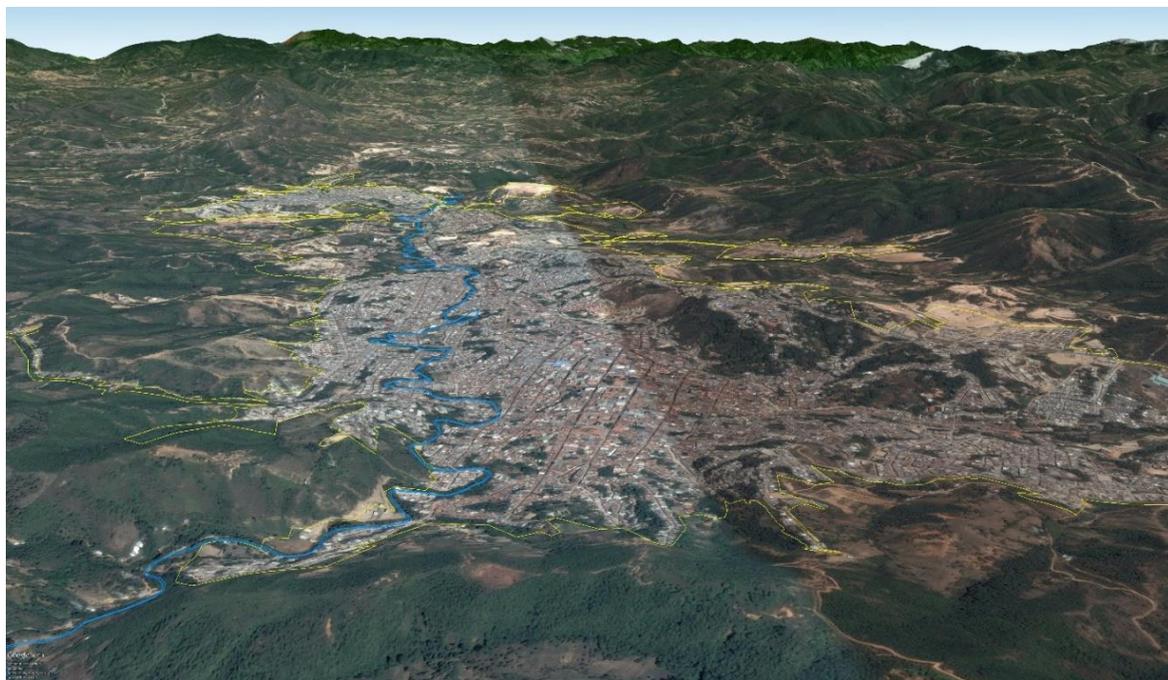


Figura 5.2 Localización del río receptor (Sentido: Sur-Norte).  
Fuente: Google Earth Pro 2015

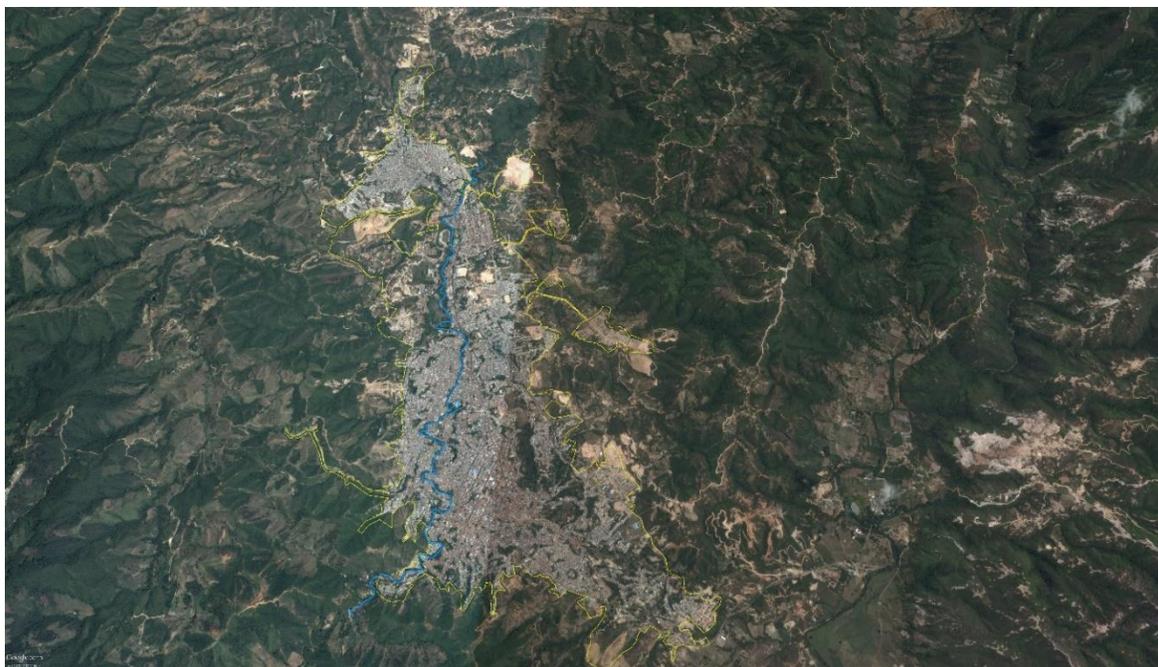


Figura 5.3 Localización del río receptor (2) (Sentido Sur-Norte).  
Fuente: Google Earth Pro 2015

### 5.1.2 Localización de los puntos de estudio sobre el río receptor.

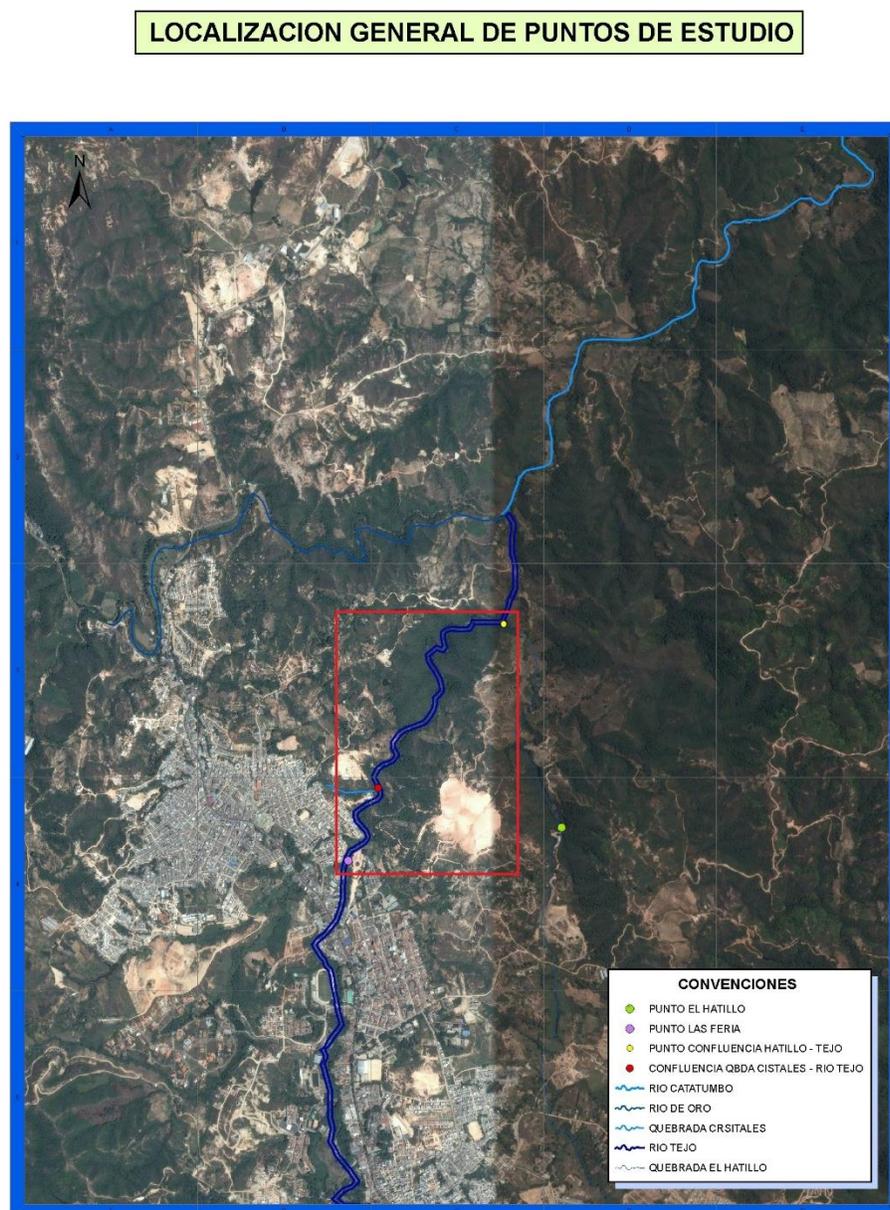


Figura 5.4 Localización general de los puntos de estudio.  
Fuente: Google Earth Pro 2015.

El desarrollo del estudio se enfocará en tres puntos a lo largo del Río Tejo, los cuales se muestran a continuación:

- Vertimiento final del alcantarillado municipal ubicado en Las Ferias, con latitud  $8^{\circ}15'57.72''\text{N}$  y longitud  $73^{\circ}21'35.24''\text{O}$ .



Figura 5.5 Localización del vertimiento final del alcantarillado.  
Fuente: Google Earth.

- Confluencia de la Quebrada Los Cristales y el Río Tejo, con latitud  $8^{\circ}16'9.57''\text{N}$  y longitud  $73^{\circ}21'30.79''\text{O}$ .



Figura 5.6 Confluencia Quebrada Los Cristales – Río Tejo.  
Fuente: Google Earth.

- Confluencia de la Quebrada El Hatillo y el Río Tejo, con latitud  $8^{\circ}16'35.60''N$  y longitud  $73^{\circ}21'9.96''O$



Figura 5.7 Confluencia Quebrada El Hatillo – Río Tejo.  
Fuente: Google Earth.

La zona de influencia del estudio tiene un total de 11193 m recorridos a través del cauce del río, desde el punto de Las Ferias hasta la confluencia del Río Tejo con el Río Algodonal. La investigación estará dividida en tres etapas, puesto que las quebradas antes descritas modifican las condiciones iniciales del estudio, por lo tanto se toman por aparte para tener una concepción clara del problema, en ese orden de ideas y para una mejor visualización, el siguiente cuadro muestra las distancias que serán tomadas en cuenta para cada etapa.

**Tabla 5.1***Distancias entre puntos de estudio*

<b>Etapas</b>	<b>Puntos de Estudio</b>	<b>Distancia (m)</b>
1	Las ferias - Q. Los Cristales	<b>498,72</b>
2	Q. Los Cristales - Q. El Hatillo	<b>1391,48</b>
3	Q. El Hatillo - Confluencia R. Tejo -R. Algodonal	<b>9302,8</b>
<b>TOTAL</b>		<b>11193</b>

## **5.2 Características fisicoquímicas de los puntos de estudio.**

**Las Ferias (Vertimiento Final).** En este punto se concentran el 90,7 % de las aguas servidas del municipio de Ocaña, en las cuales están incluidas los siguientes barrios: San Fermín, Punta Brava, Villanueva, Santa Cruz, Tejarito Bajo, Tejarito Alto, Peatonal Torito, Urbanización Marina, Las Delicias, La Torcoroma, Granandino, Juan XXIII, Santa Marta, 20 de Julio, Marabel, La Federación (confluencia Río Chuiquito y Río Tejo), Camilo Torres, IV Centenario, Primero de Mayo, Avenida Francisco Fernández de Contreras, Los Lagos, El Estadio, Parque Infantil, Defensa Civil, La Gloria, Villa Mar.

La unión de las aguas de los barrios anteriormente mencionados, dan los siguientes resultados:

**Tabla 5.2***Caracterización fisicoquímica Las Ferias (Vertimiento final)*

<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>CONCENTRACIÓN</b>
DBO5	mgO2/l	226
DQO	mgO2/l	396
SST	mg/l	56
Coliformes fecales	UFC/100 ml	1269
Coliformes totales	UFC/100 ml	3083
OD	mg/l	2
PH	Und	7,595
Conductividad	Micro S	376,75
Q. Caudal	l/s	799,912

Fuente: Empresa de servicios públicos ESPO S.A

**Quebrada Los Cristales confluencia Río Tejo.** En este punto se reúnen las aguas servidas de los barrios Villa Paraíso y Los Cristales, las cuales dan como resultado los siguientes parámetros:

**Tabla 5.3***Caracterización fisicoquímica confluencia Q. Los Cristales – Río Tejo*

<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>CONCENTRACIÓN</b>
DBO5	mgO2/l	222
DQO	mgO2/l	397
SST	mg/l	59
Coliformes fecales	UFC/100 ml	1294
Coliformes totales	UFC/100 ml	3445
OD	mg/l	1,5
PH	Und	7,72
Conductividad	Micro S	400,375
Q. Caudal	l/s	2,6732

Fuente: Empresa de servicios públicos ESPO S.A

**Quebrada El Hatillo confluencia Río Tejo.** Las aguas servidas que descargan en este punto provienen de los barrios: El Dorado, El Carmen, Las Vicentinas, Simón Bolívar, El Hatillo, parte alta de La Primavera y Buenos aires, por tanto la unión de las mismas arrojan los siguientes resultados:

**Tabla 5.4**

*Caracterización fisicoquímica confluencia Q. El Hatillo – Río Tejo*

<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>CONCENTRACIÓN</b>
DBO5	mgO2/l	221
DQO	mgO2/l	417
SST	mg/l	53
Coliformes fecales	UFC/100 ml	2140
Coliformes totales	UFC/100 ml	3765
OD	mg/l	2,6
PH	Und	7,515
Conductividad	Micro S	475,375
Q. Caudal	l/s	12,83

Fuente: Empresa de servicios públicos ESPO S.A

### **5.3 Características básicas de la geometría hidráulica**

Para efecto del desarrollo de la investigación se trabajará con las condiciones más críticas presentadas por el Río Tejo durante los aforos realizados y los cuales podrán ser detallados en los anexos de este documento. Hechas las condiciones anteriores, el caudal que se manejará será el crítico, como también la altura de la lámina de agua y el ancho del río.

En este caso asumiremos que el río se comporta como un paralelepípedo, para cumplir con los planteamientos del balance de masa.

Dejando claras estas premisas, tenemos que:

$$Q_{\text{río}} = 0,4201 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Velocidad} = 0,50 \text{ m/s}$$

$$\text{Ancho} = 3,7 \text{ m}$$

$$\text{Area} = 0,834 \text{ m}^2$$

Para hallar la  $y_{\text{critica}}$ , se despeja la siguiente ecuación:

$$\text{Area} = XY$$

$$0,834 = 3,7 Y$$

$$Y = 0,22 \text{ m}$$

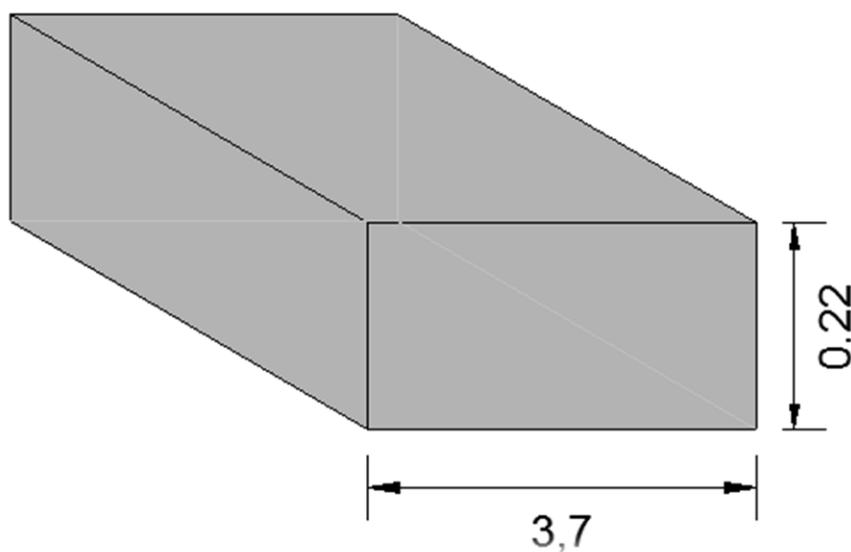


Figura 5.8 Dimensiones hidráulicas críticas del cauce.

#### **5.4 Desarrollo de simulación matemática según Streeter-Phelp**

##### **5.4.1 Longitud General Del Cauce 11192 m.**

##### **Parámetros:**

Asumiendo que el río receptor no recibe ningún tipo de descarga después del vertimiento final, tenemos las siguientes condiciones:

Desde la perspectiva de modelos de calidad de agua, los efectos aplicados a esta simulación son los siguientes:

- **Efecto de la Temperatura:**

$$T_a = 23 + 273.15 = 296.15 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$\text{Ln}_{\text{Osf}} = -139.34411 + \frac{157570.1}{T_a} - \frac{66423080}{T_a^2} + \frac{1.24380 * 10^{10}}{T_a^3} - \frac{8.621949 * 10^{11}}{T_a^4}$$

$$\text{Ln}_{\text{Osf}} = -139.34411 + \frac{157570.1}{296.15} - \frac{66423080}{(296.15)^2} + \frac{1.24380 * 10^{10}}{(296.15)^3} - \frac{8.621949 * 10^{11}}{(296.15)^4}$$

$$\text{Ln}_{\text{Osf}} = 2.1492$$

Luego:

$$\text{O}_{\text{sf}} = e^{2.149226} = 8.5782 \text{ mg L}^{-1}$$

- **Efecto de la Presión Atmosférica:**

$$\text{Ln}_{\text{Pwv}} = 11.8571 - \frac{3840.7}{T_a} - \frac{216961}{T_a^2}$$

$$\text{Ln}_{\text{Pwv}} = 11.8571 - \frac{3840.7}{296.15} - \frac{216961}{(296.15)^2}$$

$$\text{Ln}_{\text{Pwv}} = -3.5854$$

Luego:

$$P_{wv} = e^{-3.5854} = 0.0277 \text{ atm}$$

$$T_a = 23 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta = 0.000975 - (1.426 * 10^{-5} * T_a) + (6.436 * 10^{-8} * T_a^2)$$

$$\theta = 0.000975 - (1.426 * 10^{-5} * 23) + (6.436 * 10^{-8} * (23)^2)$$

$$\theta = 0.00068$$

Presión atmosférica  $\longrightarrow$   $P = 0.9816 \text{ atm}$

$$O_{sp} = O_{sf} * P * \left[ \frac{\left(1 - \frac{P_{wv}}{P}\right) (1 - (\theta P))}{(1 - P_{wv})(1 - \theta)} \right]$$

$$O_{sp} = 8.5782 * 0.9816 * \left[ \frac{\left(1 - \frac{0.0277}{0.9816}\right) (1 - (0.00068 * 0.9816))}{(1 - 0.0277)(1 - 0.00068)} \right]$$

$$O_{sp} = 8.4043 \text{ mg L}^{-1}$$

$$D_o = O_{sp} - O.D$$

$$D_o = 8.4043 \text{ mg L}^{-1} - 2 \text{ mg L}^{-1} = 6.4043 \text{ mg L}^{-1}$$

$$L_o = 226 \text{ mgO}_2/\text{l}$$

Basados en las características que presenta el Río Tejo y comparando las mismas con las condiciones requeridas por las ecuaciones de los modelos de calidad del agua desarrollados hasta ahora, la investigación que más se ajusta es la trabajada por Bansal en 1975, la cual fue desarrollada en varios ríos y presenta una facilidad de ajuste general con las características del río receptor.

**Ecuación de Bansal (1973):**

$$K_2 = \frac{4.67V^{0.6}}{H^{1.4}}$$

Donde:

V = Velocidad (fps)

H = Profundidad lámina de agua (foot)

En este caso la velocidad del Río es 1.6526 fps y la profundidad de la lámina de agua será de 0.7218 pies, entonces:

$$K_2 = \frac{4.67(1.6526)^{0.6}}{(0.7218)^{1.4}}$$

$$K_2 = 9.9646 \text{ d}^{-1}$$

Corrección de  $K_2$

$$K_2 \text{ corregido} = K_2(20^\circ\text{C}) * \theta^{T_a - 20}$$

$$K_2 \text{ corregido} = 9.9646(20^\circ\text{C}) * 1.047^{23-20}$$

$$K_2 \text{ corregido} = 11.4366 \text{ d}^{-1}$$

Ahora hallamos K:

$$K = 39.6 P^{-0.84}$$

Donde:

P = Perímetro mojado (pies)

Para este caso el perímetro mojado será de 12.9394 pies.

$$K = 39.6 (12.9394)^{-0.84}$$

$$K = 4.6099 \text{ d}^{-1}$$

Corrección de K:

$$K \text{ corregido} = K(20^\circ\text{C}) * \theta^{T_a - 20}$$

$$K_{\text{corregido}} = 4.6099(20^{\circ}\text{C}) * 1.047^{23-20}$$

$$K_{\text{corregido}} = 5.2909 \text{ d}^{-1}$$

La ecuación de Streeter-Phelps reúne dos factores muy importantes que fueron tomados en cuenta para el desarrollo de la investigación, los cuales son la descomposición de la materia orgánica y la reaireación de oxígeno, en ese orden de ideas para efecto de aplicación se presentan los siguientes cálculos:

**Streeter-Phelps:**

$$D_o = 8.4043 - 2 = 6.4043 \text{ mg L}^{-1}$$

$$L_o = 226 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$$

$$K_2 \text{ corregido} = 11.4366 \text{ d}^{-1}$$

$$K_{\text{corregido}} = 5.2909 \text{ d}^{-1}$$

$$O_{sp} = C_s = 8.4043 \text{ mg L}^{-1}$$

Luego:

$$\text{Distancia} = V * T$$

Donde:

$$T = 5 \text{ seg. (Intervalo de tiempo)}$$

$$V = 0.5037 \text{ m/s}$$

$$\text{Distancia} = 0.5037 \text{ m/s} * 5\text{s}$$

$$\text{Distancia} = 2.5186 \text{ m}$$

Entonces:

$$D = \left( \frac{K_{\text{corr}} * L_0}{K_2 \text{corr} - K_{\text{corr}}} \right) * (e^{-K_{\text{corr}} * T} - e^{-K_2 \text{corr} * T}) + (D_0 * e^{-K_2 \text{corr} * T})$$

$$D = \left( \frac{5.2909 * 226}{11.4366 - 5.2909} \right) * (e^{-5.2909 * 5.7870 * 10^{-5}} - e^{-11.4366 * 5.7870 * 10^{-5}}) \\ + (6.4043 * e^{-11.4366 * 5.7870 * 10^{-5}})$$

$$D(t) = 6.4353 \text{ mg L}^{-1}$$

$$C(t) = C_s - D(t)$$



$$C(t) = 8.4043 - 6.4353 = 1.9689 \text{ mg L}^{-1}$$

Este proceso se repite sucesivamente hasta llegar a una distancia de 11192 m, en donde obtenemos un  $D(t) = 20.5562 \text{ mg L}^{-1}$  y un  $C(t) = -12.1519 \text{ mg L}^{-1}$ , estos datos son reflejados en la siguiente gráfica. (Para mayor información remítase a la simulación del modelo matemático realizado en Microsoft Excel)

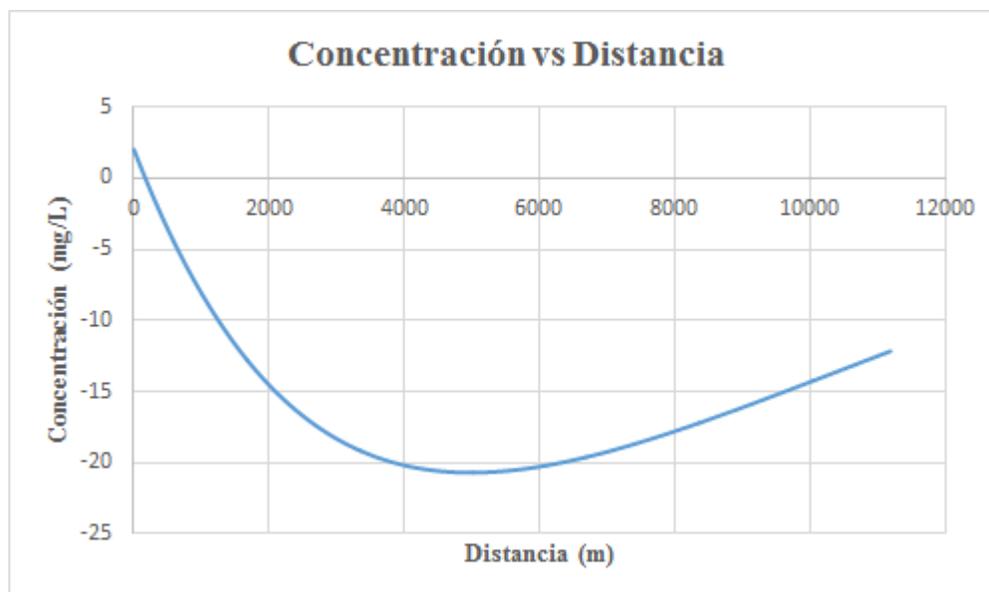


Figura 5.9 . Streeter-Phelp a los 11192 metros. (Las Ferias-confluencia Río Tejo-Algodonal)

Como se puede apreciar en la Figura 5.9 el Río Tejo pierde oxigenación a partir de una longitud recorrida de 166.23 metros después de la descarga del vertimiento final del alcantarillado municipal, por lo tanto, la capacidad de asimilación por parte del río receptor no es óptima.

Ya se analizó de manera general el comportamiento del Río Tejo en cuanto a la asimilación de cargas contaminantes asumiendo que después del vertimiento final no existe otro punto donde se viertan aguas servidas. Ahora y tomando en cuenta la información obtenida acerca de otros puntos que se encuentran ubicados después del vertimiento final, se realizarán los cálculos respectivos a los tramos comprendidos entre los puntos de Las Ferias (Vertimiento Final) - Quebrada de Los Cristales, Quebrada Los Cristales – Quebrada El Hatillo y Quebrada El Hatillo – Confluencia Río Tejo-Río Algodonal, los cuales se encuentran a las distancias de 498.72 m, 1391.48 m y 9302.8 m, respectivamente.

### 5.4.2 Longitud hasta el vertimiento Los Cristales a 500 m.

#### Parámetros:

Como se puede observar después del vertimiento final del alcantarillado municipal, el río receptor recibe la descarga del vertimiento de Los Cristales, ubicado 500m aguas debajo de este, conociendo esto tenemos las siguientes condiciones:

Desde la perspectiva de modelos de calidad de agua, los efectos aplicados a esta simulación son los siguientes:

- **Efecto de la Temperatura:**

$$T_a = 23 + 273.15 = 296.15 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$\text{Ln}_{\text{Osf}} = -139.34411 + \frac{157570.1}{T_a} - \frac{66423080}{T_a^2} + \frac{1.24380 * 10^{10}}{T_a^3} - \frac{8.621949 * 10^{11}}{T_a^4}$$

$$\text{Ln}_{\text{Osf}} = -139.34411 + \frac{157570.1}{296.15} - \frac{66423080}{(296.15)^2} + \frac{1.24380 * 10^{10}}{(296.15)^3} - \frac{8.621949 * 10^{11}}{(296.15)^4}$$

$$\text{Ln}_{\text{Osf}} = 2.1492$$

Luego:

$$O_{sf} = e^{2.149226} = 8.5782 \text{ mg L}^{-1}$$

- **Efecto de la Presión Atmosférica:**

$$\ln_{P_{wv}} = 11.8571 - \frac{3840.7}{T_a} - \frac{216961}{T_a^2}$$

$$\ln_{P_{wv}} = 11.8571 - \frac{3840.7}{296.15} - \frac{216961}{(296.15)^2}$$

$$\ln_{P_{wv}} = -3.5854$$

Luego:

$$P_{wv} = e^{-3.5854} = 0.0277 \text{ atm}$$

$$T_a = 23 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta = 0.000975 - (1.426 * 10^{-5} * T_a) + (6.436 * 10^{-8} * T_a^2)$$

$$\theta = 0.000975 - (1.426 * 10^{-5} * 23) + (6.436 * 10^{-8} * (23)^2)$$

$$\theta = 0.00068$$

Presión atmosférica  $\longrightarrow$   $P = 0.9816 \text{ atm}$

$$O_{sp} = O_{sf} * P * \left[ \frac{\left(1 - \frac{P_{wv}}{P}\right) (1 - (\theta P))}{(1 - P_{wv})(1 - \theta)} \right]$$

$$O_{sp} = 8.5782 * 0.9816 * \left[ \frac{\left(1 - \frac{0.0277}{0.9816}\right) (1 - (0.00068 * 0.9816))}{(1 - 0.0277)(1 - 0.00068)} \right]$$

$$O_{sp} = 8.4043 \text{ mg L}^{-1}$$

$$D_o = O_{sp} - O.D$$

$$D_o = 8.4043 \text{ mg L}^{-1} - 2 \text{ mg L}^{-1} = 6.4043 \text{ mg L}^{-1}$$

$$L_o = 226 \text{ mgO}_2/\text{l}$$

**Ecuación de Bansal (1973):**

$$K_2 = \frac{4.67V^{0.6}}{H^{1.4}}$$

Donde:

V = Velocidad (fps)

H = Profundidad lámina de agua (pies)

En este caso la velocidad del Río es 1.6526 fps y la profundidad de la lámina de agua será de 0.7218 pies, entonces:

$$K_2 = \frac{4.67(1.6526)^{0.6}}{(0.7218)^{1.4}}$$

$$K_2 = 9.9646 \text{ d}^{-1}$$

Corrección de  $K_2$

$$K_2 \text{ corregido} = K_2(20^\circ\text{C}) * \theta^{T_a - 20}$$

$$K_2 \text{ corregido} = 9.9646(20^\circ\text{C}) * 1.047^{23-20}$$

$$K_2 \text{ corregido} = 11.4366 \text{ d}^{-1}$$

Ahora hallamos K:

$$K = 39.6 P^{-0.84}$$

Donde:

P = Perímetro mojado (pies)

Para este caso el perímetro mojado será de 12.9394 pies

$$K = 39.6 (12.9394)^{-0.84}$$

$$K = 4.6099 \text{ d}^{-1}$$

Corrección de K:

$$K_{\text{corregido}} = K(20^{\circ}\text{C}) * \theta^{T_a - 20}$$

$$K_{\text{corregido}} = 4.6099(20^{\circ}\text{C}) * 1.047^{23 - 20}$$

$$K_{\text{corregido}} = 5.2909 \text{ d}^{-1}$$

**Streeter-Phelp:**

$$D_o = 8.4043 - 2 = 6.4043 \text{ mg L}^{-1}$$

$$L_o = 226 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$$

$$K_2 \text{ corregido} = 11.4366 \text{ d}^{-1}$$

$$K_{\text{corregido}} = 5.2909 \text{ d}^{-1}$$

$$O_{sp} = C_s = 8.4043 \text{ mg L}^{-1}$$

Luego:

$$\text{Distancia} = V * T$$

Donde:

$$T = 5 \text{ seg. (Intervalo de tiempo)}$$

$$V = 0.5037 \text{ m/s}$$

$$\text{Distancia} = 0.5037 \text{ m/s} * 5\text{s}$$

$$\text{Distancia} = 2.5186 \text{ m}$$

Entonces:

$$D = \left( \frac{K_{\text{corr}} * L_0}{K_2 \text{corr} - K_{\text{corr}}} \right) * (e^{-K_{\text{corr}} * T} - e^{-K_2 \text{corr} * T}) + (D_0 * e^{-K_2 \text{corr} * T})$$

$$D = \left( \frac{5.2909 * 226}{11.4366 - 5.2909} \right) * (e^{-5.2909 * 5.7870 * 10^{-5}} - e^{-11.4366 * 5.7870 * 10^{-5}}) \\ + (6.4043 * e^{-11.4366 * 5.7870 * 10^{-5}})$$

$$D(t) = 6.4353 \text{ mg L}^{-1}$$

$$C(t) = C_s - D(t)$$

$$C(t) = 8.4043 - 6.4353 = 1.9689 \text{ mg L}^{-1}$$

Este proceso se realiza iterativamente hasta llegar a una distancia de 500 m, en donde obtenemos un  $D(t) = 11.9956 \text{ mg L}^{-1}$  y un  $C(t) = -3.5913 \text{ mg L}^{-1}$ , estos datos son

reflejados en la siguiente tabla. ([Para mayor información remítase a la simulación del modelo matemático realizado en Microsoft Excel](#)) ([Manual de Usuario Microsoft Excel](#))

**Tabla 5.5**

*Resultados de la simulación del modelo matemático para el vertimiento Los Cristales (500 m)*

<b>TIEMPO (seg)</b>	<b>TIEMPO (días)</b>	<b>DISTANCIA (m)</b>	<b>D(t)</b>	<b>C(t)</b>
0,00	0,00	0,00	6,404317436	2
60,00	6,9444444E-04	30,2236548	6,774843367	1,62947407
120,00	1,388889E-03	60,4473096	7,140893491	1,263423946
180,00	2,083333E-03	90,6709644	7,50250888	0,901808557
240,00	2,777778E-03	120,894619	7,85973026	0,544587176
300,00	3,472222E-03	151,118274	8,212598016	0,191719421
360,00	4,166667E-03	181,341929	8,561152189	-0,156834752
420,00	4,861111E-03	211,565584	8,905432485	-0,501115049
480,00	5,555556E-03	241,789238	9,245478277	-0,84116084
540,00	6,250000E-03	272,012893	9,581328602	-1,177011166
600,00	6,944444E-03	302,236548	9,913022172	-1,508704736
660,00	7,638889E-03	332,460203	10,24059737	-1,836279934
720,00	8,333333E-03	362,683858	10,56409226	-2,15977482
780,00	9,027778E-03	392,907512	10,88354457	-2,479227133
840,00	9,722222E-03	423,131167	11,19899173	-2,794674293
900,00	1,041667E-02	453,354822	11,51047084	-3,106153405
960,00	1,111111E-02	483,578477	11,81801869	-3,413701258
995,00	1,151620E-02	501,208942	11,99562065	-3,591303216

Los resultados de la tabla anterior se pueden observar de una mejor forma en la siguiente gráfica:

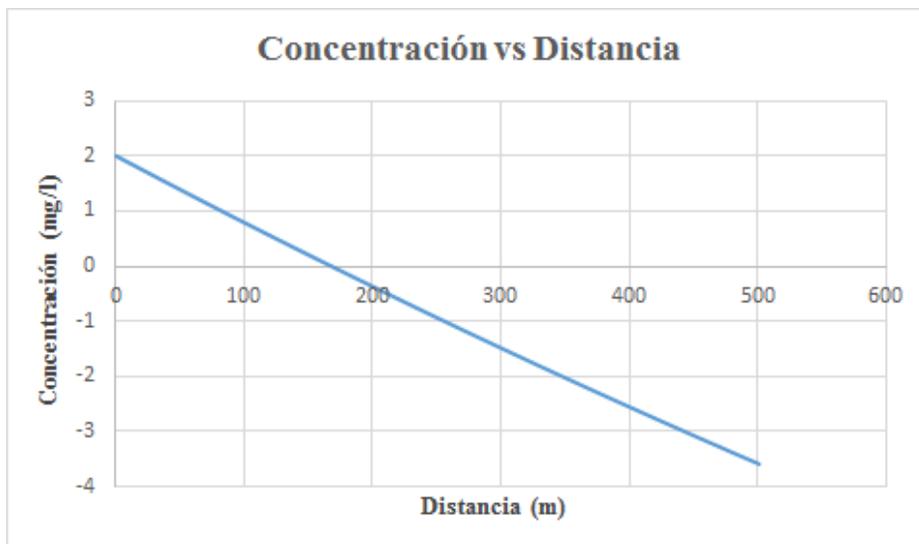


Figura 5.10 Streeter-Phelps a los 500 metros. (Las Ferias-Los Cristales).

En el tramo comprendido entre el punto de Las Ferias (Vertimiento Final) y el punto de la Quebrada de Los Cristales, se puede observar que a los 166,24 metros de longitud del cauce el río pierde total oxigenación debido a las cargas contaminantes que recibe, lo cual se convierte en un indicador del deplorable estado en que este se encuentra.

#### 5.4.3 Longitud desde el vertimiento de Los Cristales hasta el vertimiento El Hatillo a 1392m.

##### Balance De Masa:

$$Q_{\text{cristales}} = 0.001421 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{río}} = 0.4201 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{mezcla}} = Q_{\text{Cristales}} + Q_{\text{río}}$$

$$Q_{\text{mezcla}} = 0.001421 + 0.4201 = 0.4215 \text{ m}^3/\text{s}$$

Luego hallamos la concentración de material orgánica que tiene el río receptor aguas abajo del vertimiento de Los Cristales, con la siguiente ecuación:

$$L_r = L_o e^{-Kt}$$

Distancia F-C= 498.72 m.

$T = 0.01145833$  días

$K = 5.29088 \text{ d}^{-1}$

$L_o = 226 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$

$L_{\text{cristales}} = 222 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$

$$L_r = (226)e^{-5.29088(0.01145833)}$$

$$L_r = 212.7058 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$$

Después hallamos la concentración de material orgánica que tiene la mezcla del río receptor antes del vertimiento de El Hatillo, con la siguiente ecuación:

$$L_M = \frac{(Q_{\text{cristales}} * L_{\text{cristales}}) + (Q_{\text{río}} * L_r)}{Q_{\text{mezcla}}}$$

$$L_M = \frac{(0.001421 * 222) + (0.4201 * 212.7058)}{0.4215}$$

$$L_M = 212.7372 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$$

Luego hallamos el oxígeno disuelto presente en este punto:

$$C_o = \frac{(Q_{\text{cristales}} * O.D_{\text{Cris}}) + (Q_{\text{río}} * O.D_f)}{Q_{\text{mezcla}}}$$

$$C_o = \frac{(0.001421 * 1.5) + (0.4201 * 2)}{0.4215}$$

$$C_o = 1.9983 \text{ mg L}^{-1}$$

## Parámetros

- **Efecto de la Temperatura:**

$$T_a = 23 + 273.15 = 296.15 \text{ °K}$$

$$\ln_{\text{Osf}} = -139.34411 + \frac{157570.1}{T_a} - \frac{66423080}{T_a^2} + \frac{1.24380 * 10^{10}}{T_a^3} - \frac{8.621949 * 10^{11}}{T_a^4}$$

$$\text{Ln}_{\text{Osf}} = -139.34411 + \frac{157570.1}{296.15} - \frac{66423080}{(296.15)^2} + \frac{1.24380 * 10^{10}}{(296.15)^3} - \frac{8.621949 * 10^{11}}{(296.15)^4}$$

$$\text{Ln}_{\text{Osf}} = 2.1492$$

Luego:

$$\text{O}_{\text{sf}} = e^{2.149226} = 8.5782 \text{ mg L}^{-1}$$

- **Efecto de la Presión Atmosférica:**

$$\text{Ln}_{\text{P}_{\text{wv}}} = 11.8571 - \frac{3840.7}{T_a} - \frac{216961}{T_a^2}$$

$$\text{Ln}_{\text{P}_{\text{wv}}} = 11.8571 - \frac{3840.7}{296.15} - \frac{216961}{(296.15)^2}$$

$$\text{Ln}_{\text{P}_{\text{wv}}} = -3.5854$$

Luego:

$$\text{P}_{\text{wv}} = e^{-3.5854} = 0.0277 \text{ atm}$$

$$T_a = 23 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta = 0.000975 - (1.426 * 10^{-5} * T_a) + (6.436 * 10^{-8} * T_a^2)$$

$$\theta = 0.000975 - (1.426 * 10^{-5} * 23) + (6.436 * 10^{-8} * (23)^2)$$

$$\theta = 0.00068$$

Presión atmosférica  $\longrightarrow$   $P = 0.9816$  atm

$$O_{sp} = O_{sf} * P * \left[ \frac{\left(1 - \frac{P_{wv}}{P}\right) (1 - (\theta P))}{(1 - P_{wv})(1 - \theta)} \right]$$

$$O_{sp} = 8.5782 * 0.9816 * \left[ \frac{\left(1 - \frac{0.0277}{0.9816}\right) (1 - (0.00068 * 0.9816))}{(1 - 0.0277)(1 - 0.00068)} \right]$$

$$O_{sp} = 8.4043 \text{ mg L}^{-1}$$

$$D_o = O_{sp} - O.D$$

$$D_o = 8.4043 - 1.9983 = 6.4060 \text{ mg L}^{-1}$$

$$L_o = 212.7372 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$$

**Ecuación De Bansal (1973):**

$$K_2 = \frac{4.67V^{0.6}}{H^{1.4}}$$

Donde:

V = Velocidad (fps).

H = Profundidad lámina de agua (pies).

En este caso la velocidad del Río es 1.6526 fps y la profundidad de la lámina de agua será de 0.7218 pies, entonces:

$$K_2 = \frac{4.67(1.6526)^{0.6}}{(0.7218)^{1.4}}$$

$$K_2 = 9.8401 \text{ d}^{-1}$$

Corrección de  $K_2$

$$K_2 \text{ corregido} = K_2(20^\circ\text{C}) * \theta^{T_a - 20}$$

$$K_2 \text{ corregido} = 9.8401(20^\circ\text{C}) * 1.047^{23 - 20}$$

$$K_2 \text{ corregido} = 11.29379 \text{ d}^{-1}$$

Ahora hallamos K:

$$K = 39.6 P^{-0.84}$$

Donde:

$$P = \text{Perímetro Mojado (pies)}$$

Para este caso el perímetro mojado será de 12.9394 pies.

$$K = 39.6 (12.9394)^{-0.84}$$

$$K = 4.6099 \text{ d}^{-1}$$

Corrección de K:

$$K_{\text{corregido}} = K(20^{\circ}\text{C}) * \theta^{T_a - 20}$$

$$K_{\text{corregido}} = 4.6099(20^{\circ}\text{C}) * 1.047^{23 - 20}$$

$$K_{\text{corregido}} = 5.2909 \text{ d}^{-1}$$

**Streeter-Phelp:**

$$D_o = 6.4060 \text{ mg L}^{-1}$$

$$L_o = 212.7372 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$$

$$K_2 \text{ corregido} = 11.2938 \text{ d}^{-1}$$

$$K \text{ corregido} = 5.2909 \text{ d}^{-1}$$

$$O_{sp} = C_s = 8.4043 \text{ mg L}^{-1}$$

Luego:

$$\text{Distancia} = V * T$$

Donde:

$$T = 5 \text{ seg. (Intervalo de tiempo)}$$

$$V = 0.5037 \text{ m/s}$$

$$\text{Distancia} = 0.5037 \text{ m/s} * 5\text{s}$$

Distancia = 2.5186 m
----------------------

Entonces:

$$D = \left( \frac{K_{corr} * L_o}{K_2 \text{ corr} - K_{corr}} \right) * (e^{-K_{corr} * T} - e^{-K_2 \text{ corr} * T}) + (D_o * e^{-K_2 \text{ corr} * T})$$

$$D = \left( \frac{5.2909 * 212.7372}{11.2937 - 5.2909} \right) * (e^{-5.2909 * 5.7870 * 10^{-5}} - e^{-11.2937 * 5.7870 * 10^{-5}}) \\ + (6.4060 * e^{-11.2937 * 5.7870 * 10^{-5}})$$

$$D(t) = 6.4345 \text{ mg L}^{-1}$$

$$C(t) = C_s - D(t)$$

$$C(t) = 8.4043 - 6.4345 = 1.9697 \text{ mg L}^{-1}$$

Este proceso se repite sucesivamente hasta llegar a una distancia de 1392 m (distancia desde el vertimiento Los Cristales hasta el vertimiento El Hatillo), en donde obtenemos un  $D(t) = 18.3881 \text{ mg L}^{-1}$  y un  $C(t) = -9.9838 \text{ mg L}^{-1}$ , estos datos son reflejados en la siguiente gráfica. (Para mayor información remítase a la simulación del modelo matemático realizado en Microsoft Excel)

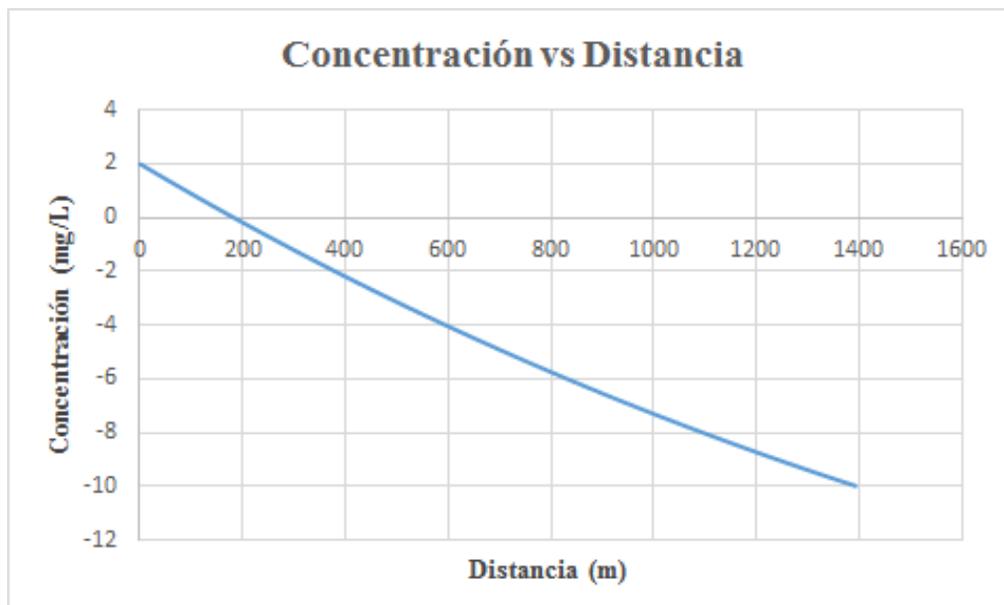


Figura 5.11 Streeter-Phelps en Los Cristales-El Hatillo.

Los resultados de la simulación del modelo que se observan en la Figura 5.11 indican que el río receptor se satura de materia orgánica eliminando las moléculas del oxígeno existentes en el cauce a una distancia de 181,34 m.

#### **5.4.4 Longitud desde el vertimiento El Hatillo hasta la confluencia Río Tejo-Río Algodonal a 9303 m.**

##### **Balance De Masa:**

$$Q_{\text{hatillo}} = 0.004276 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{río}} = 0.4215 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{mezcla}} = Q_{\text{hatillo}} + Q_{\text{río}}$$

$$Q_{\text{mezcla}} = 0.004276 + 0.4215 = 0.4258 \text{ m}^3/\text{s}$$

Luego hallamos la concentración de material orgánica que tiene el río receptor aguas abajo del vertimiento de El Hatillo, con la siguiente ecuación:

$$L_r = L_o e^{-Kt}$$

Distancia C-H= 1391.48 mts.

T = 0.03194 días

K = 5.29088 d<sup>-1</sup>

$$L_o = 212.7372 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$$

$$L_{\text{hatillo}} = 221 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$$

$$L_r = (212.7372)e^{-5.29088(0.03194)}$$

$$L_r = 179.6601 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$$

Después hallamos la concentración de material orgánica que tiene la mezcla del río receptor después del vertimiento de El Hatillo, con la siguiente ecuación:

$$L_M = \frac{(Q_{\text{hatillo}} * L_{\text{hatillo}}) + (Q_{\text{río}} * L_r)}{Q_{\text{mezcla}}}$$

$$L_M = \frac{(0.004275 * 221) + (0.4215 * 212.7372)}{0.4258}$$

$$L_M = 180.0752 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$$

Luego hallamos el oxígeno disuelto presente en este punto:

$$C_o = \frac{(Q_{\text{hatillo}} * O.D_{\text{hat}}) + (Q_{\text{río}} * O.D_c)}{Q_{\text{mezcla}}}$$

$$C_o = \frac{(0.004276 * 2.6) + (0.4215 * 1.9983)}{0.4215}$$

$$C_o = 2.0043 \text{ mg L}^{-1}$$

**Parámetros:**

- **Efecto de la Temperatura:**

$$T_a = 23 + 273.15 = 296.15 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$\text{Ln}_{\text{Osf}} = -139.34411 + \frac{157570.1}{T_a} - \frac{66423080}{T_a^2} + \frac{1.24380 * 10^{10}}{T_a^3} - \frac{8.621949 * 10^{11}}{T_a^4}$$

$$\text{Ln}_{\text{Osf}} = -139.34411 + \frac{157570.1}{296.15} - \frac{66423080}{(296.15)^2} + \frac{1.24380 * 10^{10}}{(296.15)^3} - \frac{8.621949 * 10^{11}}{(296.15)^4}$$

$$\text{Ln}_{\text{Osf}} = 2.1492$$

Luego:

$$O_{sf} = e^{2.149226} = 8.5782 \text{ mg L}^{-1}$$

- **Efecto de la Presión Atmosférica:**

$$\text{Ln}_{\text{Pwv}} = 11.8571 - \frac{3840.7}{T_a} - \frac{216961}{T_a^2}$$

$$\ln P_{wv} = 11.8571 - \frac{3840.7}{296.15} - \frac{216961}{(296.15)^2}$$

$$\ln P_{wv} = -3.5854$$

Luego:

$$P_{wv} = e^{-3.5854} = 0.0277 \text{ atm}$$

$$T_a = 23 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta = 0.000975 - (1.426 * 10^{-5} * T_a) + (6.436 * 10^{-8} * T_a^2)$$

$$\theta = 0.000975 - (1.426 * 10^{-5} * 23) + (6.436 * 10^{-8} * (23)^2)$$

$$\theta = 0.00068$$

Presión atmosférica  $\longrightarrow$   $P = 0.9816 \text{ atm}$

$$O_{sp} = O_{sf} * P * \left[ \frac{\left(1 - \frac{P_{wv}}{P}\right) (1 - (\theta P))}{(1 - P_{wv})(1 - \theta)} \right]$$

$$O_{sp} = 8.5782 * 0.9816 * \left[ \frac{\left(1 - \frac{0.0277}{0.9816}\right) (1 - (0.00068 * 0.9816))}{(1 - 0.0277)(1 - 0.00068)} \right]$$

$$O_{sp} = 8.4043 \text{ mg L}^{-1}$$

$$D_o = O_{sp} - O.D$$

$$D_o = 8.4043 - 2.0043 = 6.3999 \text{ mg L}^{-1}$$

$$L_o = 180.0752 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$$

**Ecuación De Bansal (1973):**

$$K_2 = \frac{4.67V^{0.6}}{H^{1.4}}$$

Donde:

V = Velocidad (fps).

H = Profundidad lámina de agua (pies).

En este caso la velocidad del Río es 1.6526 fps y la profundidad de la lámina de agua será de 0.7218 pies, entonces:

$$K_2 = \frac{4.67(1.6526)^{0.6}}{(0.7218)^{1.4}}$$

$$K_2 = 9.8401 \text{ d}^{-1}$$

Corrección de  $K_2$

$$K_2 \text{ corregido} = K_2(20^\circ\text{C}) * \theta^{T_a - 20}$$

$$K_2 \text{ corregido} = 9.8401(20^\circ\text{C}) * 1.047^{23-20}$$

$$K_2 \text{ corregido} = 11.29379 \text{ d}^{-1}$$

Ahora hallamos K:

$$K = 39.6 P^{-0.84}$$

Donde:

$P =$  Perímetro Mojado (pies)

Para este caso el perímetro mojado será de 12.9394 pies.

$$K = 39.6 (12.9394)^{-0.84}$$

$$K = 4.6099 \text{ d}^{-1}$$

Corrección de K:

$$K \text{ corregido} = K(20^\circ\text{C}) * \theta^{T_a - 20}$$

$$K \text{ corregido} = 4.6099(20^\circ\text{C}) * 1.047^{23-20}$$

$$K_{\text{corregido}} = 5.2909 \text{ d}^{-1}$$

**Streeter-Phelp:**

$$D_o = 6.3999 \text{ mg L}^{-1}$$

$$L_o = 180.0752 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$$

$$K_2 \text{ corregido} = 11.2938 \text{ d}^{-1}$$

$$K_{\text{corregido}} = 5.2909 \text{ d}^{-1}$$

$$O_{\text{sp}} = C_s = 8.4043 \text{ mg L}^{-1}$$

Luego:

$$\text{Distancia} = V * T$$

Donde:

$$T = 5 \text{ seg. (Intervalo de tiempo)}$$

$$V = 0.5037 \text{ m/s}$$

$$\text{Distancia} = 0.5037 \text{ m/s} * 5\text{s}$$

$$\text{Distancia} = 2.5186 \text{ m}$$

Entonces:

$$D = \left( \frac{K_{\text{corr}} * L_o}{K_2 \text{ corr} - K_{\text{corr}}} \right) * (e^{-K_{\text{corr}} * T} - e^{-K_2 \text{ corr} * T}) + (D_o * e^{-K_2 \text{ corr} * T})$$

$$D = \left( \frac{5.2909 * 180.0752}{11.2937 - 5.2909} \right) * (e^{-5.2909 * 5.7870 * 10^{-5}} - e^{-11.2937 * 5.7870 * 10^{-5}}) \\ + (6.3999 * e^{-11.2937 * 5.7870 * 10^{-5}})$$

$$D(t) = 6.4232 \text{ mg L}^{-1}$$

$$C(t) = C_s - D(t)$$

$$C(t) = 8.4043 - 6.4232 = 1.9810 \text{ mg L}^{-1}$$

Este proceso se repite sucesivamente hasta llegar a una distancia de 9303 m (distancia desde el vertimiento El Hatillo hasta la confluencia Río Tejo-Río Algodonal), en donde obtenemos un  $D(t) = 19.0167$  y un  $C(t) = -10.6123$ , estos datos son reflejados en la siguiente gráfica:

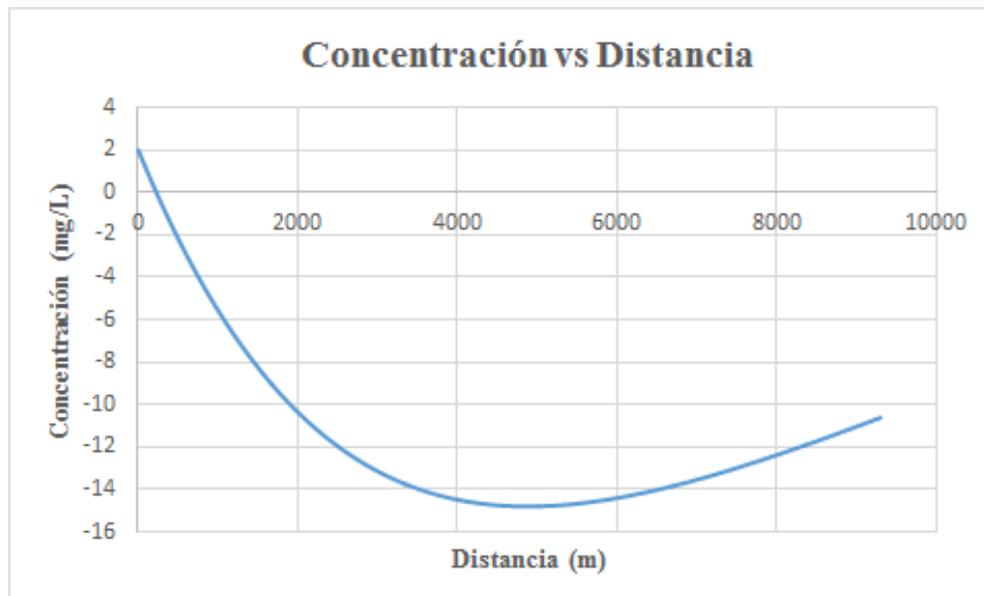


Figura 5.12 Streeter-Phelps en El Hatillo-Confluencia Río Tejo-Algodonal.

En el punto comprendido entre la Quebrada El Hatillo – Confluencia Río Tejo - Río Algodonal, según la Figura 5.12 se puede evidenciar que el Río Receptor presenta una disminución en cuanto a la concentración de oxígeno disuelto a una distancia de 226.68, como también se observa en los tramos anteriores.

Es importante tener en cuenta que el procedimiento de desarrollo de la investigación se realiza en 3 etapas, en donde cada etapa comienza donde culmina la anterior, lo cual se ve reflejado en la Figura 5.13.

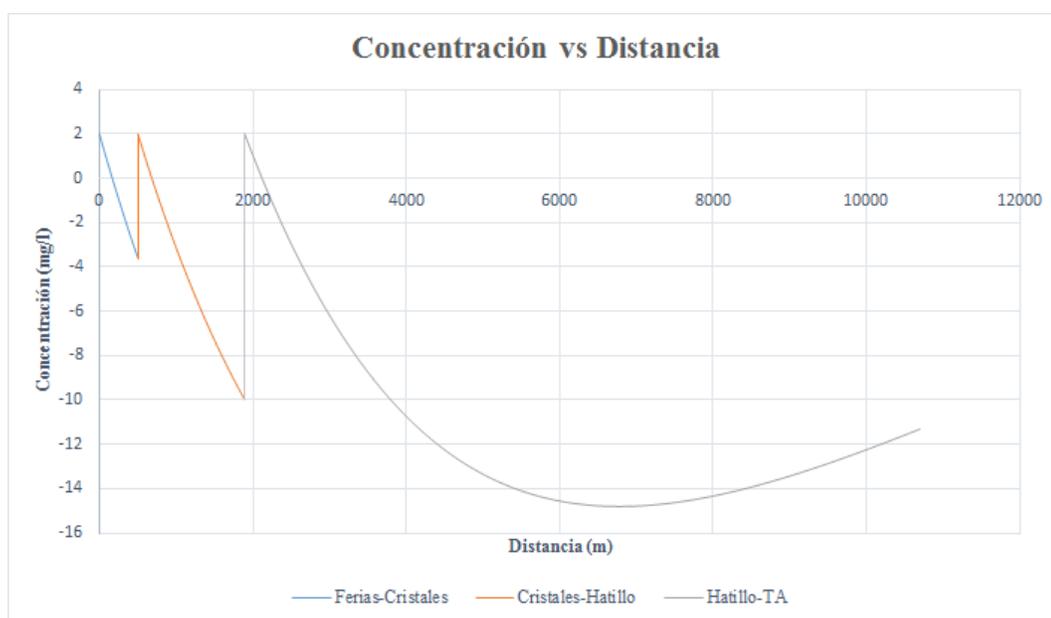


Figura 5.13 Streeter-Phelps tramo Las Ferias-Los Cristales-El Hatillo-Confluencia Río Tejo-Río Algodonal.

De acuerdo a los resultados mostrados en la figura anterior, se puede observar que el Río Tejo no se recupera en una longitud de 11.192 Km, punto en el cual se encuentra la confluencia entre dicho río y el Río Algodonal.

## Capítulo 6 : Conclusiones

La información recolectada en la empresa de servicios públicos ESPO S.A con respecto a la caracterización fisicoquímica de los vertimientos en estudio, nos permite conocer las variables que influyen en la simulación del modelo matemático, las cuales están relacionadas directamente con la capacidad de asimilación con la que cuenta el río receptor y las cuales se nombran a continuación: carga contaminante ( $DBO_5$ ), oxígeno disuelto ( $O.D$ ) y temperatura ( $T$ ). Los análisis desarrollados por dicha empresa se realizan a partir de la recolección de datos de los diferentes puntos situados a la ribera del río, con el fin de ejecutar un control detallado de las aguas servidas que son vertidas en este afluente, esto nos brinda las herramientas necesarias para llevar a cabo una investigación completa acerca del estado de una de las fuentes hídricas con la que cuenta la región ocañera.

Para el desarrollo de la **Simulación del Modelo Matemático de Calidad del Agua** se toman en cuenta las características críticas geométricas e hidráulicas del cauce, como, la velocidad ( $V$ ), el ancho ( $a$ ), la profundidad de la lámina de agua ( $Y_{critico}$ ), el perímetro mojado ( $P$ ), el área hidráulica ( $A$ ) y el caudal ( $Q_{critico}$ ), que se presentan en tiempo de verano dónde por obvias razones la temperatura aumenta y los caudales disminuyen, situación en la cual el río receptor tiene las características más desfavorables en cuanto a la calidad del agua, puesto que en esta temporada es donde la capacidad de asimilación del afluente es menor y las cargas contaminantes, debido a la materia orgánica hacen que el proceso de recuperación del río sea más lento o casi nulo.

Según los resultados obtenidos por la simulación del modelo matemático, los vertimientos de cargas contaminantes desde el punto Las Ferias (Vertimiento final) hasta la confluencia del Río Tejo con el Río Algodonal, evidencian que a una distancia corta aguas abajo de los puntos donde se realizan las descargas, el río receptor muestra una condición anóxica, es decir, que el oxígeno disuelto se encuentra agotado, afectando procesos como la fotosíntesis y la supervivencia de la biota que ocupa este medio, además de emitir olores desagradables en su recorrido afectando la salud de los habitantes aledaños a la zona de influencia. No obstante la poca sinuosidad, las bajas pendientes y la falta de caídas hidráulicas dificultan la captación de oxígeno de las moléculas de agua a través de la atmosfera, haciendo que el proceso de recuperación sea lento y no muestre resultados satisfactorios. Cabe resaltar que aunque las cargas contaminantes en los tramos estudiados disminuyen en el transcurso de estos, el Río Tejo no logra recuperarse en una distancia de 11.192 Km, punto en el cual confluye con el Río Algodonal, esto demuestra la poca capacidad de recuperación que tiene y el deterioro en el que se encuentra.

Basados en los resultados obtenidos por parte de la simulación del modelo matemático de calidad del agua se pueden determinar las siguientes alternativas para mitigar el impacto de las cargas contaminantes: **Lodos activados y Biodiscos**. El primero es un tratamiento biológico en el cual una mezcla de agua residual y lodos biológicos es agitada y aireada, de manera que las bacterias utilizan el oxígeno suministrado para desdoblar compuestos para su crecimiento, a medida que van creciendo forman lodos activados, estos más el agua residual son dirigidos a un tanque de sedimentación, donde se sedimentan los lodos, el resultado del proceso anteriormente descrito puede ser descargado a la corriente receptora; el segundo es tan eficaz como los lodos activados, requiere un espacio mucho menor, es fácil de operar y tiene un

consumo energético inferior, el contacto con el aire exterior es suficiente para aportar el oxígeno necesario para la actividad celular. Para mejorar el proceso de oxigenación antes de llegar a la PTAR (Incluso si este tratamiento no existe) se puede optar por la construcción de caídas hidráulicas a lo largo del cauce y a una distancia determinada, de manera que las burbujas de agua que se producen en estas caídas tengan contacto con el oxígeno de la atmósfera, lo cual facilita la capacidad de reaireación y recuperación.

## Capítulo 7 : Recomendaciones y trabajo a futuro

Las cargas contaminantes que recibe el Río Tejo superan la capacidad máxima, por lo cual el plan de manejo de vertimientos y mitigación debe direccionarse a la disminución de vertimientos principalmente de tipo doméstico.

Priorizar la calidad de información por parte de empresa de servicios públicos ESPO S.A, la máxima autoridad ambiental en el departamento que es CORPONOR y la Alcaldía Municipal de Ocaña, de manera que se obtenga una información histórica detallada de las características hidráulicas y fisicoquímicas. Así mismo se recomienda divulgar los resultados de manera que la población tenga conocimiento y fácil acceso a las condiciones en las cuales se encuentra el Río Tejo.

Se recomienda a la Universidad Francisco de Paula Santander que se continúen realizando los monitores de calidad del agua no solo en los puntos que abarca este estudio, sino también en los diferentes vertimientos alrededor del cauce del río, lo que permite en cualquier momento evaluar los cambios de la calidad del agua.

El desarrollo de la investigación presente permitió identificar la necesidad de hacer otros estudios con el objetivo de optimizar la simulación del modelo matemático de calidad del agua en un modelo propio y aplicable al Río Tejo, hallando las fórmulas que permiten obtener las constantes de velocidad de gasto de materia orgánica y velocidad a la que se introduce el oxígeno ( $k$  y  $k_2$ ), basados en las características específicas del cauce.

## Referencias

- Alean, L. E. (17 de Febrero de 2010). *Modelación de vertimientos de carga orgánica*. .  
Obtenido de bdigital: <http://www.bdigital.unal.edu.co/8792/1/292374.2009.pdf>
- Calderonlabs. (10 de Noviembre de 2015). *Análisis de aguas*. Obtenido de Demanda Bioquímica de Oxígeno:  
[http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis\\_De\\_Aguas/Determinacion\\_de\\_DBO5.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Determinacion_de_DBO5.htm)
- Chapra, S. (2008). *Surface Water-Quality Modeling*. Estados Unidos de América : WAVELAND PREES, INC.
- CONAGUA. (10 de Noviembre de 2015). *Comisión Nacional del Agua*. Obtenido de <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=89>
- CORPONARIÑO. (10 de Noviembre de 2015). *Sólidos suspendidos totales*. Obtenido de <http://corponarino.gov.co/modules/wordbook/entry.php?entryID=367>
- Cortés, J. (2015). *El agua en el mundo: Cooperacion y Conflicto*. Recuperado el 07 de Octubre de 2015, de El agua en el mundo: Cooperacion y Conflicto:  
<http://www.solidaritat.ub.edu/observatori/esp/itinerarios/agua/agua.htm>
- Definición . (s.f.). *definición.mx*. Obtenido de Hoja de cálculo: <http://definicion.mx/hoja-de-calculo/>
- García Quintero , H. (15 de Julio de 2008). *Modelación de calidad del agua*. Obtenido de Repositorio Institucional - Pontificia Universidad Javeriana:  
<http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/3809/1/GarciaQuinteroHermesAlfonso2008.pdf>
- Gómez Quintero , C. (11 de Marzo de 2010). *Ingeniería. Balances de materia*. . Obtenido de Universidad de los Andes Venezuela :  
<http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/claudiag/DocuIPQ/IPQ%20Balance%20de%20materia%20procesos%20no%20reactivos.pdf>
- IDEAM. (10 de Noviembre de 2015). *Atención y participación ciudadana*. . Obtenido de Hidrología: <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/hidrologia>

- Jouravlev, A. (21 de 07 de 2004). *Recursos Naturales e Infraestructura [Archivo en PDF]*. Recuperado el 07 de Octubre de 2015, de Recursos Naturales e Infraestructura [Archivo en PDF]:  
[http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6440/S047562\\_es.pdf?sequence=2](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6440/S047562_es.pdf?sequence=2)
- Lenntech. (1998). *Historia del tratamiento de agua potable*. Recuperado el 06 de Octubre de 2015, de Historia del tratamiento de agua potable:  
<http://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/historia/historia-tratamiento-agua-potable.htm>
- Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible. . (10 de Noviembre de 2015). *minambiente*. Obtenido de Ley de Vertimientos : <https://www.minambiente.gov.co/index.php>
- Ojeda, M. (03 de Diciembre de 2012). *Caracterización Físicoquímica y parámetros de calidad del agua*. . Obtenido de Repositorio Institucional. :  
<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6919/2/145296.pdf>
- Rodriguez, F. y. (marzo de 2000). *El Desarrollo De La Infraestructura En Colombia En La Decada De Los Noventa*. Obtenido de El Desarrollo De La Infraestructura En Colombia En La Decada De Los Noventa.:  
<http://www.cepal.org/publicaciones/xml/4/4574/lc11348add1.pdf>
- Safire. (03 de 09 de 2013). *Presión osmótica. Ley de fick*. Obtenido de Slideshare:  
<http://es.slideshare.net/safiire/ley-de-fick-presin-osmtica>
- United States EPA. (Junio de 1985). *EPA Surface Water Quality Modeling*. Obtenido de National Service Center for Environmental Publications (NSCEP):  
<http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/9100R3IW.PDF>
- Universidad de Salamanca . (10 de Noviembre de 2015). *Curso de agua*. . Obtenido de Centro de investigación y desarrollo tecnológico del agua. :  
[http://cidta.usal.es/cursos/agua/modulos/conceptos/uni\\_02/u2c4s1.htm#Anchor0](http://cidta.usal.es/cursos/agua/modulos/conceptos/uni_02/u2c4s1.htm#Anchor0)

## Apéndices

### Apéndice A. Sustentación legal del proyecto.

#### Ley de vertimientos, resolución 0631, 17 de marzo del 2015

“Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”

#### Resuelve:

### Capítulo I

#### Disposiciones generales

**Artículo 1. Objeto y Ámbito de Aplicación.** La presente Resolución establece los parámetros y los valores máximos permisibles que deberán cumplir quienes realizan vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

Igualmente, se establecen los parámetros objeto de análisis y reporte por parte de las actividades industriales, comerciales o servicios, de conformidad con el artículo 18 de la presente Resolución.

En el Anexo 2 se relacionan las actividades industriales, comerciales de servicios, para las cuales se definieron los parámetros y valores límites máximos permisibles específicos y de análisis y reporte.

**Parágrafo.** La presente resolución no aplica a los vertimientos puntuales que se realicen a aguas marinas o al suelo.

## Capítulo II

### Disposiciones aplicables a los vertimientos puntuales de aguas residuales

**Artículo 3. Del cumplimiento de la norma de vertimientos cuando la captación y la descarga se realicen en el mismo cuerpo de agua.** Cuando la captación de agua y la descarga de las aguas residuales se realicen en el mismo cuerpo de agua superficial, se procederá a realizarla sustracción del valor de la carga entre las mismas de las cantidades másicas (Kg) de los metales y metaloides y de los elementos, sustancias o parámetros considerados para la Tasa Retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales.

Para realizar lo anterior, se utilizan los balances de materia o de masa y las caracterizaciones del agua de la captación y la del vertimiento correspondiente, de acuerdo con la actividad industrial, comercial o de servicios específica.

Una vez efectuada la sustracción, se realiza el cálculo del valor de la concentración del parámetro en el vertimiento puntual y se hace respectivo control del cumplimiento de la

presente Resolución, de acuerdo con los límites máximos permisibles exigidos para la respectiva actividad industrial, comercial o de servicios.

**Parágrafo 1.** Los balances de materia o de masa y la realización de la caracterización del(os) vertimiento(s) puntual(es) deberían realizarse simultáneamente en el mismo periodo de tiempo calendario.

**Parágrafo 2.** El balance de materia o de masa debe satisfacer la ley de conservación de la materia o de la masa.

### **Capítulo III**

#### **Valores límites máximos permisibles microbiológicos en vertimientos puntuales de aguas residuales (ARD Y ARnD) a cuerpos de aguas superficiales**

**Artículo 6. Parámetros microbiológicos de análisis y reporte en los vertimientos puntuales de aguas residuales (ARD y ARnD) a los cuerpos de aguas superficiales.** Se realizara el análisis y reporte de los valores de la concentración en número más probable (NMP/100 ml) de los coniformes Termo tolerantes presentes en los vertimientos puntuales de aguas residuales (ARD y ARnD) mediante las cuales se gestionen excretas humanas y/o de animales a cuerpos de aguas superficiales, cuando la carga másica en las aguas residuales antes del sistema de tratamiento es mayor a 125,00 Kg/día de DBO5.

**Parágrafo.** La toma de muestra deberá realizarse de forma simultánea con la caracterización del(os) vertimiento(s) puntuales(es), en el mismo periodo de tiempo que dure la misma y en el mismo punto de la caracterización.

## **Capítulo V**

**Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas-ard y de las aguas residuales (ARD-ARnD) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales**

**Artículo 8. Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas-ARD de las actividades industriales, comerciales o de servicios; y de las aguas residuales (ARD y ARnD) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpo de aguas superficiales.**

**Parágrafo.** En los casos en que el vertimiento puntual de aguas residuales se realice en un cuerpo de agua para consumo humano y doméstico, y pecuario la concentración de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) en el vertimiento puntual de aguas residuales deberá ser menos o igual a 0.01 mg/L para aquellas actividades que lo tienen definido como de análisis y reporte.

**Decreto 3930, 25 de octubre de 2010**

“Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la ley 9<sup>a</sup> de 1979, así como el Capítulo II del Título VI-Parte III-Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.

**Decreta:****Capítulo I****Disposiciones generales**

**Artículo 1°. Objeto.** El presente decreto establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.

**Parágrafo.** Cuando quiera que en este decreto se haga referencia al suelo, se entenderá que este debe estar asociado a un acuífero.

**Artículo 2°. Ámbito de aplicación.** El presente decreto aplica a las autoridades ambientales competentes definidas en el artículo 3° del presente decreto, a los generadores de vertimientos y a los prestadores del servicio público domiciliario de alcantarillado.

**Artículo 7°. De los modelos simulación de la calidad del recurso hídrico.** Para efectos del Ordenamiento del Recurso Hídrico, previsto en el artículo anterior y para la

aplicación de modelos de simulación de la calidad del recurso, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial expedirá dentro de los ocho (8) meses, contados a partir de la fecha de publicación de este decreto, la Guía Nacional de Modelación del Recurso Hídrico, con base en los insumos que aporte el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

**Parágrafo.** Mientras el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, expide la Guía Nacional de Modelación del Recurso Hídrico, las autoridades ambientales competentes podrán seguir aplicando los modelos de simulación existentes que permitan determinar la capacidad asimilativa de sustancias biodegradables o acumulativas y la capacidad de dilución de sustancias no biodegradables, utilizando, por lo menos los siguientes parámetros:

1. DBO5: Demanda bioquímica de oxígeno a cinco (5) días.
2. DQO: Demanda química de oxígeno.
3. SS: Sólidos suspendidos.
4. pH: Potencial del ion hidronio, H<sup>+</sup>
5. T: Temperatura.
6. OD: Oxígeno disuelto.
7. Q: Caudal.
8. Datos Hidrobiológicos.
9. Coliformes Totales y Coliformes Fecales.

## Apéndice B. Solubilidad del oxígeno

## Oxygen Solubility

Temperature (°C)	Chloride concentration (g L <sup>-1</sup> )					
	0	5	10	15	20	25
0	14.621	13.726	12.885	12.096	11.356	10.660
1	14.216	13.354	12.544	11.782	11.068	10.396
2	13.830	12.999	12.217	11.482	10.792	10.143
3	13.461	12.659	11.904	11.195	10.528	9.900
4	13.108	12.334	11.605	10.920	10.275	9.668
5	12.771	12.023	11.319	10.656	10.032	9.445
6	12.448	11.726	11.045	10.404	9.800	9.231
7	12.139	11.441	10.782	10.161	9.577	9.025
8	11.843	11.167	10.530	9.929	9.362	8.828
9	11.560	10.906	10.288	9.706	9.157	8.639
10	11.288	10.654	10.056	9.492	8.959	8.456
11	11.027	10.413	9.834	9.286	8.769	8.281
12	10.777	10.182	9.620	9.089	8.587	8.113
13	10.537	9.960	9.414	8.898	8.411	7.950
14	10.306	9.746	9.216	8.715	8.242	7.794
15	10.084	9.540	9.026	8.539	8.079	7.643
16	9.870	9.342	8.843	8.370	7.922	7.498
17	9.665	9.152	8.666	8.206	7.770	7.358
18	9.467	8.968	8.496	8.048	7.624	7.223
19	9.276	8.791	8.332	7.896	7.483	7.092
20	9.092	8.621	8.173	7.749	7.347	6.966
21	8.915	8.456	8.020	7.607	7.215	6.843
22	8.744	8.297	7.872	7.470	7.088	6.725
23	8.578	8.143	7.729	7.337	6.964	6.611
24	8.418	7.994	7.591	7.208	6.845	6.499
25	8.263	7.850	7.457	7.083	6.729	6.392
26	8.114	7.710	7.327	6.962	6.616	6.287
27	7.968	7.575	7.201	6.845	6.507	6.186
28	7.828	7.444	7.079	6.731	6.401	6.087
29	7.691	7.316	6.960	6.621	6.298	5.991
30	7.559	7.193	6.845	6.513	6.198	5.898
31	7.430	7.073	6.733	6.409	6.100	5.807
32	7.305	6.956	6.623	6.307	6.005	5.718
33	7.183	6.842	6.517	6.208	5.913	5.632
34	7.065	6.731	6.414	6.111	5.822	5.548
35	6.949	6.623	6.313	6.016	5.734	5.465
36	6.837	6.518	6.214	5.924	5.648	5.385
37	6.727	6.415	6.118	5.834	5.564	5.306
38	6.620	6.315	6.024	5.746	5.481	5.229
39	6.515	6.217	5.932	5.660	5.401	5.153
40	6.413	6.121	5.842	5.576	5.322	5.079

**Apéndice C. Registro fotográfico**



**Apéndice D: Plan de saneamiento y manejo de vertimientos Ocaña, Norte de Santander  
empresa de servicios públicos de Ocaña. Área físico operativa. Diciembre 2014**

AFORO: LOS CRISTALES					
PUNTO:	Los Cristales				
FECHA:	03-dic-14				
COMPUESTA	N.1				
MUESTRA	HORA	VOLUMEN (Lts)	TIEMPO (Seg)	Q (L/S)	CAUDAL prom
		7	4,5	1,55556	
N.1	12:00 m	7,5	5,1	1,47059	1,4887146
		7,2	5	1,44000	
		7	4,9	1,42857	
N.2	01:00 a.m	7,5	4,2	1,78571	1,5393773
		7,3	5,2	1,40385	
		7,5	4,5	1,66667	
N.3	02:00 a.m	7,2	4,2	1,71429	1,6734322
		7	4,27	1,63934	
		7	4,17	1,67866	
N.4	03:00 a.m	7,8	4,5	1,73333	1,7325682
		7,5	4,2	1,78571	
		7	4,1	1,70732	
N.5	04:00 a.m	7	4,2	1,66667	1,6802168
		7,5	4,5	1,66667	
		8	2,8	2,85714	
N.6	05:00 a.m	8,5	2,5	3,40000	3,3555556
		8	2,1	3,80952	
				CAUDAL TOTAL	11,4698647
				CAUDAL Prom (L/S)	1,911644115

AFORO: LOS CRISTALES					
PUNTO:	Los Cristales				
FECHA:	03-dic-14				
COMPUESTA	N.2				
MUESTRA	HORA	VOLUMEN (Lts)	TIEMPO (Seg)	Q (L/S)	CAUDAL prom
		7	2,5	2,80000	
N.1	06:00 a.m	7,5	2,2	3,40909	3,2530303
		7,1	2	3,55000	
		7	2,1	3,33333	
N.2	07:00 a.m	7	2,3	3,04348	3,1256039
		7,5	2,5	3,00000	
		7	2,1	3,33333	
N.3	08:00 a.m	8	2,3	3,47826	3,5668277
		7	1,8	3,88889	
		8	2,9	2,75862	
N.4	09:00 a.m	8	2,5	3,20000	3,0468130
		7	2,2	3,18182	
		8	2,2	3,63636	
N.5	10:00 a.m	8,2	2,6	3,15385	3,1254722
		7,5	2,9	2,58621	
		8	2,1	3,80952	
N.6	11:00 a.m	8	2,7	2,96296	3,0574956
		6	2,5	2,40000	
				CAUDAL TOTAL	19,1752426
				CAUDAL Prom (L/S)	3,1958738

AFORO: LOS CRISTALES					
<b>PUNTO:</b>	Los Cristales				
<b>FECHA:</b>	03-dic-14				
<b>COMPUESTA</b>	N.3				
MUESTRA	HORA	VOLUMEN (Lts)	TIEMPO (Seg)	Q (L/S)	CAUDAL prom
N.1	12:00 m.d	6,5	2,1	3,09524	3,4669312
		7,5	2	3,75000	
		8	2,25	3,55556	
N.2	01:00 p.m	6,5	2,28	2,85088	2,9638726
		7	2,16	3,24074	
		7	2,5	2,80000	
N.3	02:00 p.m	7	2,2	3,18182	3,0383838
		7	2,1	3,33333	
		6,5	2,5	2,60000	
N.4	03:00 p.m	8	2,5	3,20000	2,9118012
		8	2,3	3,47826	
		7,2	3,5	2,05714	
N.5	04:00 p.m	7	2,8	2,50000	3,1698413
		8	2,5	3,20000	
		8	2,1	3,80952	
N.6	05:00 p.m	7,6	3,5	2,17143	2,5364055
		8	3,1	2,58065	
		8	2,8	2,85714	
<b>CAUDAL TOTAL</b>					18,0872357
<b>CAUDAL Prom (L/S)</b>					3,0145393

AFORO: LOS CRISTALES					
PUNTO:	Los Cristales				
FECHA:	03-dic-14				
COMPUESTA	N.4				
MUESTRA	HORA	VOLUMEN (Lts)	TIEMPO (Seg)	Q (L/S)	CAUDAL prom
		7	2,53	2,76680	
N.1	06:00 p.m	7	2,31	3,03030	3,0761580
		7	2,04	3,43137	
		7,5	1,94	3,86598	
N.2	07:00 p.m	6	2,03	2,95567	3,3572148
		6,5	2	3,25000	
		6	2,32	2,58621	
N.3	08:00 p.m	5	1,97	2,53807	2,4295934
		5	2,31	2,16450	
		5,5	2,31	2,38095	
N.4	09:00 p.m	5	2,19	2,28311	2,2899799
		6	2,72	2,20588	
		6	3,1	1,93548	
N.5	10:00 p.m	6	3,22	1,86335	1,8476747
		6	3,44	1,74419	
		7	2,85	2,45614	
N.6	11:00 p.m	7,5	4,62	1,62338	1,7677644
		7	5,72	1,22378	
			CAUDAL TOTAL		14,7683851
			CAUDAL Prom (L/S)		2,4613975

AFORO: LOS CRISTALES					
PUNTO:		Los Cristales			
FECHA:		04-dic-14			
COMPUESTA N.5					
MUESTRA	HORA	VOLUMEN (Lts)	TIEMPO (Seg)	Q (L/S)	CAUDAL prom
		8	2,9	2,75862	
N.1	12:00 m	8	3,1	2,58065	2,7130886
		7	2,5	2,80000	
		7	3,5	2,00000	
N.2	01:00 a.m	7	3,2	2,18750	2,1365741
		7	3,15	2,22222	
		7	4,3	1,62791	
N.3	02:00 a.m	6	4,5	1,33333	1,4218627
		6	4,6	1,30435	
		7	4,25	1,64706	
N.4	03:00 a.m	6	4,8	1,25000	1,4266792
		6,5	4,7	1,38298	
		8	3,1	2,58065	
N.5	04:00 a.m	8	3,2	2,50000	2,6221198
		7,8	2,8	2,78571	
		8	2,9	2,75862	
N.6	05:00 a.m	8	2,5	3,20000	3,0037508
		8,7	2,85	3,05263	
CAUDAL TOTAL					13,3240752
CAUDAL Prom (L/S)					2,220679193

## AFORO: LOS CRISTALES

PUNTO: Los Cristales

FECHA: 04-dic-14

COMPUESTA N.6

MUESTRA	HORA	VOLUMEN (Lts)	TIEMPO (Seg)	Q (L/S)	CAUDAL prom
		8	2,5	3,20000	
N.1	06:00 a.m	8,5	2,8	3,03571	3,0662257
		8	2,7	2,96296	
		7	2,1	3,33333	
N.2	07:00 a.m	7	2	3,50000	3,3383838
		7	2,2	3,18182	
		7	2,7	2,59259	
N.3	08:00 a.m	7	2,2	3,18182	2,8771845
		8	2,8	2,85714	
		7	2,3	3,04348	
N.4	09:00 a.m	7	2,1	3,33333	3,1256039
		6	2	3,00000	
		8	2,2	3,63636	
N.5	10:00 a.m	7	2,4	2,91667	3,1367244
		8	2,8	2,85714	
		7	2,9	2,41379	
N.6	11:00 a.m	8	2,3	3,47826	2,8242330
		8	3,1	2,58065	
CAUDAL TOTAL					18,3683554
CAUDAL Prom (L/S)					3,0613926

## AFORO: LOS CRISTALES

PUNTO: Los Cristales

FECHA: 04-dic-14

COMPUESTA N.7

MUESTRA	HORA	VOLUMEN (Lts)	TIEMPO (Seg)	Q (L/S)	CAUDAL prom
		7	2,16	3,24074	
N.1	12:00 m.d	6	2,38	2,52101	3,1233322
		7	1,94	3,60825	
		7	1,53	4,57516	
N.2	01:00 p.m	6,5	1,63	3,98773	4,1876312
		6	1,5	4,00000	
		6,8	1,98	3,43434	
N.3	02:00 p.m	7	3,5	2,00000	2,4304954
		6,5	3,5	1,85714	
		6,5	2,5	2,60000	
N.4	03:00 p.m	7	3,5	2,00000	2,2804598
		6,5	2,9	2,24138	
		6,5	2	3,25000	
N.5	04:00 p.m	6	1,84	3,26087	3,0746826
		7	2,58	2,71318	
		8	2,95	2,71186	
N.6	05:00 p.m	8,8	3,1	2,83871	3,0623126
		8	2,2	3,63636	
CAUDAL TOTAL					18,1589137
CAUDAL Prom (L/S)					3,0264856

AFORO: LOS CRISTALES					
PUNTO:		Los Cristales			
FECHA:		04-dic-14			
COMPUESTA N.8					
MUESTRA	HORA	VOLUMEN (Lts)	TIEMPO (Seg)	Q (L/S)	CAUDAL prom
		8	2,2	3,63636	
N.1	06:00 p.m	8	2,1	3,80952	3,7222726
		8	2,15	3,72093	
		8	2,9	2,75862	
N.2	07:00 p.m	7	2,5	2,80000	2,9381449
		7	2,15	3,25581	
		7	2,9	2,41379	
N.3	08:00 p.m	7,5	3,5	2,14286	2,0890589
		6,5	3,8	1,71053	
		8	3,58	2,23464	
N.4	09:00 p.m	8	3,2	2,50000	2,2448790
		7	3,5	2,00000	
		7	3,5	2,00000	
N.5	10:00 p.m	7	2,9	2,41379	2,2314983
		6,5	2,85	2,28070	
		6	3,5	1,71429	
N.6	11:00 p.m	8	4,1	1,95122	1,7403536
		7	4,5	1,55556	
CAUDAL TOTAL					14,9662071
CAUDAL Prom (L/S)					2,4943679

AFORO: EL HATILLO					
PUNTO:		El Hatillo			
FECHA:		03-dic-14			
COMPUESTA N.1					
MUESTRA	HORA	VOLUMEN (Lts)	TIEMPO (Seg)	Q (L/S)	CAUDAL prom
		22	4,44	4,95495	
N.1	12:00 m	24	5,1	4,70588	4,8255671
		17	3,53	4,81586	
		20	3,41	5,86510	
N.2	01:00 a.m	22	3,9	5,64103	5,5978282
		23	4,35	5,28736	
		23	5,66	4,06360	
N.3	02:00 a.m	22,5	4,5	5,00000	4,6511933
		20	4,09	4,88998	
		19,5	3,4	5,73529	
N.4	03:00 a.m	20	4,32	4,62963	4,9267327
		18,5	4,19	4,41527	
		20,5	4,5	4,55556	
N.5	04:00 a.m	20	4,66	4,29185	4,2756643
		19,5	4,9	3,97959	
		18,5	3,19	5,79937	
N.6	05:00 a.m	19,2	4,82	3,98340	4,7387577
		18	4,06	4,43350	
CAUDAL TOTAL					29,0157433
CAUDAL Prom (L/S)					4,835957216

AFORO: EL HATILLO					
PUNTO:	El Hatillo				
FECHA:	03-dic-14				
COMPUESTA N.2					
MUESTRA	HORA	VOLUMEN (Lts)	TIEMPO (Seg)	Q (L/S)	CAUDAL prom
		25	3,94	6,34518	
N.1	06:00 a.m	25,5	3,5	7,28571	7,0412291
		26	3,47	7,49280	
		33,5	2,94	11,39456	
N.2	07:00 a.m	28,7	2,41	11,90871	12,3730203
		31,5	2,28	13,81579	
		27,1	2,56	10,58594	
N.3	08:00 a.m	25	2,16	11,57407	12,2463196
		27,7	1,9	14,57895	
		31,8	2,22	14,32432	
N.4	09:00 a.m	33,9	1,83	18,52459	16,6129035
		33,3	1,96	16,98980	
		30,5	1,88	16,22340	
N.5	10:00 a.m	32,5	2,25	14,44444	17,4553206
		34,5	1,59	21,69811	
		35,6	2,06	17,28155	
N.6	11:00 a.m	35,5	2,06	17,23301	16,6600501
		38,2	2,47	15,46559	
CAUDAL TOTAL					82,3888432
CAUDAL Prom (L/S)					13,7314739

AFORO: EL HATILLO					
PUNTO:		El Hatillo			
FECHA:		03-dic-14			
COMPUESTA N.3					
MUESTRA	HORA	VOLUMEN (Lts)	TIEMPO (Seg)	Q (L/S)	CAUDAL prom
		26	1,25	20,80000	
N.1	12:00 m.d	28	1,47	19,04762	19,9939491
		30	1,49	20,13423	
		35	3,12	11,21795	
N.2	01:00 p.m	28	1,72	16,27907	14,0917812
		30	2,03	14,77833	
		17	1,03	16,50485	
N.3	02:00 p.m	18	1,01	17,82178	18,9585521
		23	1,02	22,54902	
		21	1,5	14,00000	
N.4	03:00 p.m	20	1,38	14,49275	15,9441254
		20,5	1,06	19,33962	
		14	1,31	10,68702	
N.5	04:00 p.m	15	1,33	11,27820	10,3256154
		15,5	1,72	9,01163	
		18	1,71	10,52632	
N.6	05:00 p.m	20	1,75	11,42857	10,6870901
		19	1,88	10,10638	
CAUDAL TOTAL					90,0011133
CAUDAL Prom (L/S)					15,0001855

AFORO: EL HATILLO					
PUNTO:		El Hatillo			
FECHA:		03-dic-14			
COMPUESTA N.4					
MUESTRA	HORA	VOLUMEN (Lts)	TIEMPO (Seg)	Q (L/S)	CAUDAL prom
		21	1,53	13,72549	
N.1	06:00 p.m	24	1,28	18,75000	15,0944573
		26	2,03	12,80788	
		30	1,42	21,12676	
N.2	07:00 p.m	32	1,48	21,62162	21,2262049
		27	1,29	20,93023	
		22	1,64	13,41463	
N.3	08:00 p.m	24	1,72	13,95349	13,0909615
		20	1,68	11,90476	
		22	1,99	11,05528	
N.4	09:00 p.m	21	1,38	15,21739	13,9986460
		25	1,59	15,72327	
		18	1,22	14,75410	
N.5	10:00 p.m	17	1,15	14,78261	16,8000055
		29	1,39	20,86331	
		10,5	1,05	10,00000	
N.6	11:00 p.m	11	1,28	8,59375	8,5234981
		12	1,72	6,97674	
CAUDAL TOTAL					88,7337733
CAUDAL Prom (L/S)					14,7889622

AFORO: EL HATILLO					
PUNTO:	El Hatillo				
FECHA:	04-dic-14				
COMPUESTA	N.5				
MUESTRA	HORA	VOLUMEN (Lts)	TIEMPO (Seg)	Q (L/S)	CAUDAL prom
		25	3,56	7,02247	
N.1	12:00 m	25,5	3,63	7,02479	6,9666857
		27	3,94	6,85279	
		26	4	6,50000	
N.2	01:00 a.m	27	4,19	6,44391	6,9102664
		28,5	3,66	7,78689	
		27	4,02	6,71642	
N.3	02:00 a.m	28,5	3,49	8,16619	7,7230413
		29,5	3,56	8,28652	
		29	3,84	7,55208	
N.4	03:00 a.m	30	4	7,50000	7,3819683
		31	4,37	7,09382	
		30	3,12	9,61538	
N.5	04:00 a.m	32	3,43	9,32945	9,2810453
		31,5	3,54	8,89831	
		32,5	3,66	8,87978	
N.6	05:00 a.m	33,5	4,54	7,37885	8,1504690
		34	4,15	8,19277	
				CAUDAL TOTAL	46,4134760
				CAUDAL Prom (L/S)	7,73557934

AFORO: EL HATILLO					
PUNTO:	El Hatillo				
FECHA:	04-dic-14				
COMPUESTA	N.6				
MUESTRA	HORA	VOLUMEN (Lts)	TIEMPO (Seg)	Q (L/S)	CAUDAL prom
		25	3,66	6,83060	
N.1	06:00 a.m	24,5	4,5	5,44444	6,6446684
		26,5	3,46	7,65896	
		27,5	2,5	11,00000	
N.2	07:00 a.m	27	2,53	10,67194	10,6807690
		28	2,7	10,37037	
		29	1,94	14,94845	
N.3	08:00 a.m	30	2,19	13,69863	13,6994819
		32	2,57	12,45136	
		28,5	2,16	13,19444	
N.4	09:00 a.m	31	2,1	14,76190	14,2302162
		30,5	2,07	14,73430	
		32	2,25	14,22222	
N.5	10:00 a.m	34,3	2	17,15000	16,7074074
		34,5	1,84	18,75000	
		28,5	1,5	19,00000	
N.6	11:00 a.m	36,5	2,13	17,13615	16,9195972
		31	2,12	14,62264	
			CAUDAL TOTAL		78,8821402
			CAUDAL Prom (L/S)		13,1470234

AFORO: EL HATILLO					
PUNTO:	El Hatillo				
FECHA:	04-dic-14				
COMPUESTA	N.7				
MUESTRA	HORA	VOLUMEN (Lts)	TIEMPO (Seg)	Q (L/S)	CAUDAL prom
		28,5	1,56	18,26923	
N.1	12:00 m.d	28	2,01	13,93035	16,3533480
		29	1,72	16,86047	
		29	1,44	20,13889	
N.2	01:00 p.m	29,5	1,65	17,87879	20,5892256
		28,5	1,2	23,75000	
		32	1,35	23,70370	
N.3	02:00 p.m	33	1,32	25,00000	22,6071169
		32,5	1,7	19,11765	
		31	1,6	19,37500	
N.4	03:00 p.m	30,5	1,85	16,48649	18,0490669
		32	1,75	18,28571	
		28	1,5	18,66667	
N.5	04:00 p.m	29	1,62	17,90123	17,8440623
		28,5	1,68	16,96429	
		27	1,43	18,88112	
N.6	05:00 p.m	26	1,52	17,10526	17,2096134
		28	1,79	15,64246	
			CAUDAL TOTAL		112,6524332
			CAUDAL Prom (L/S)		18,7754055

AFORO: EL HATILLO					
PUNTO:	El Hatillo				
FECHA:	04-dic-14				
COMPUESTA	N.8				
MUESTRA	HORA	VOLUMEN (Lts)	TIEMPO (Seg)	Q (L/S)	CAUDAL prom
		25	1,37	18,24818	
N.1	06:00 p.m	28	1,68	16,66667	16,1521695
		26	1,92	13,54167	
		27	1,42	19,01408	
N.2	07:00 p.m	26	1,33	19,54887	18,2002308
		25,5	1,59	16,03774	
		29	1,61	18,01242	
N.3	08:00 p.m	30	1,7	17,64706	18,0481099
		30,5	1,65	18,48485	
		26	1,7	15,29412	
N.4	09:00 p.m	25,5	1,65	15,45455	16,0828877
		24,5	1,4	17,50000	
		15	1,5	10,00000	
N.5	10:00 p.m	16	1,46	10,95890	10,3196347
		13	1,3	10,00000	
		14	1,47	9,52381	
N.6	11:00 p.m	11	1,62	6,79012	9,0524355
		18	1,66	10,84337	
				CAUDAL TOTAL	87,8554681
				CAUDAL Prom (L/S)	14,6425780

AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 03 de dic.  
**Hora:** 12:00:00 p. m.

**1. Determinación del area.**

**Sección 1**

Profundidad (m)	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,1	0,05	0,5	0,025
0,33	0,215	0,5	0,1075
0,35	0,34	0,5	0,17
0,35	0,35	0,5	0,175
0,35	0,36	0,5	0,18
0,37	0,325	0,5	0,1625
0,28	0,24	0,5	0,12
0,2	0,165	0,5	0,0825
0,13	0,1	0,2	0,02
0,07			

**Area 1 (m2)** 1,0425

**Sección 2**

Profundidad (m)	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,17	0,085	0,5	0,0425
0,44	0,305	0,5	0,1525
0,35	0,395	0,5	0,1975
0,3	0,325	0,5	0,1625
0,29	0,295	0,5	0,1475
0,24	0,265	0,5	0,1325
0,15	0,195	0,5	0,0975
0,08	0,115	0,5	0,0575

**Area 2 (m2)** 0,9900

**AT= (A1 + A2)/2 (m2)** 1,01625

**2. Determinación de la velocidad.**

Distancia (m)	Tiempo (seg)
5	5,19
5	5,19
5	4,62
5	5,12
5	5,72

**Tpromedio (s)** 5,168  
**Velocidad (m/s)** 0,96749226

**Caudal (m3/s)** 0,983214009

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 03 de dic.  
**Hora:** 01:00:00 a. m.

## 1. Determinación del area.

Sección 1 Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,08	0,04	0,5	0,02
0,31	0,195	0,5	0,0975
0,35	0,33	0,5	0,165
0,34	0,345	0,5	0,1725
0,37	0,355	0,5	0,1775
0,37	0,37	0,5	0,185
0,2	0,285	0,5	0,1425
0,11	0,155	0,5	0,0775
0,06	0,085	0,2	0,017
<b>Area 1 (m2)</b>		1,0545	

Sección 2 Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,16	0,08	0,5	0,04
0,43	0,295	0,5	0,1475
0,32	0,375	0,5	0,1875
0,27	0,295	0,5	0,1475
0,29	0,28	0,5	0,14
0,24	0,265	0,5	0,1325
0,13	0,185	0,5	0,0925
0,08	0,105	0,5	0,0525
<b>Area 2 (m2)</b>		0,9400	

## 2. Determinación de la velocidad.

Distancia (m)	Tiempo (seg)
5	5,22
5	5,56
5	5,03
5	6,34
5	5,37
<b>Tpromedio (s)</b>	5,504
<b>Velocidad (m/s)</b>	0,908430233
<b>Caudal (m3/s)</b>	0,905932049

$$AT = (A1 + A2)/2 \text{ (m2)} \quad 0,99725$$

AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 03 de dic.  
**Hora:** 02:00:00 a. m.

**1. Determinación del area.**

Sección 1 Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,07	0,035	0,5	0,0175
0,29	0,18	0,5	0,09
0,37	0,33	0,5	0,165
0,34	0,355	0,5	0,1775
0,37	0,355	0,5	0,1775
0,27	0,32	0,5	0,16
0,17	0,22	0,5	0,11
0,09	0,13	0,5	0,065
0,04	0,065	0,2	0,013

**Area 1 (m2)** 0,9755

Sección 2 Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,14	0,07	0,5	0,035
0,42	0,28	0,5	0,14
0,35	0,385	0,5	0,1925
0,3	0,325	0,5	0,1625
0,25	0,275	0,5	0,1375
0,23	0,24	0,5	0,12
0,12	0,175	0,5	0,0875
0,06	0,09	0,5	0,045

**Area 2 (m2)** 0,9200

**AT= (A1 + A2)/2 (m2)** 0,94775

**2. Determinación de la velocidad.**

Distancia (m)	Tiempo (seg)
5	6,24
5	6,12
5	5,53
5	5,97
5	5,97

**Tpromedio (s)** 5,966  
**Velocidad (m/s)** 0,838082467

**Caudal (m3/s)** 0,794292658

AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Férias.  
**Fecha:** 03 de dic.  
**Hora:** 03:00:00 a. m.

**1. Determinación del área.**

**Sección 1**

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,1	0,05	0,2	0,01
0,28	0,19	0,5	0,095
0,38	0,33	0,5	0,165
0,38	0,37	0,5	0,185
0,36	0,37	0,5	0,185
0,38	0,32	0,5	0,16
0,26	0,21	0,5	0,105
0,16	0,12	0,5	0,06
0,08	0,055	0,2	0,011
0,03			

**Area 1 (m2)** 0,976

**Sección 2**

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,12	0,06	0,5	0,03
0,38	0,25	0,5	0,125
0,3	0,34	0,5	0,17
0,25	0,275	0,5	0,1375
0,26	0,255	0,5	0,1275
0,22	0,24	0,5	0,12
0,12	0,17	0,5	0,085
0,06	0,09	0,5	0,045

**Area 2 (m2)** 0,8400

**AT= (A1 + A2)/2 (m2)** 0,908

**2. Determinación de la velocidad.**

Distancia (m)	Tiempo (seg)
5	6,63
5	7,13
5	6,25
5	6,91
5	5,65

**Tpromedio (s)** 6,514  
**Velocidad (m/s)** 0,767577525

**Caudal (m3/s)** 0,696960393

AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Férias.  
**Fecha:** 03 de dic.  
**Hora:** 04:00:00 a. m.

**1. Determinación del área.**

**Sección 1**

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,07	0,035	0,2	0,007
0,25	0,16	0,5	0,08
0,36	0,305	0,5	0,1525
0,3	0,33	0,5	0,165
0,31	0,305	0,5	0,1525
0,21	0,26	0,5	0,13
0,13	0,17	0,5	0,085
0,05	0,09	0,5	0,045
0	0,025	0,2	0,005

**Area 1 (m2)** 0,822

**Sección 2**

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,1	0,05	0,5	0,025
0,35	0,225	0,5	0,1125
0,3	0,325	0,5	0,1625
0,26	0,28	0,5	0,14
0,25	0,255	0,5	0,1275
0,19	0,22	0,5	0,11
0,09	0,14	0,5	0,07
0,03	0,06	0,5	0,03

**Area 2 (m2)** 0,7775

**AT= (A1 + A2)/2 (m2)** 0,79975

**2. Determinación de la velocidad.**

Distancia (m)	Tiempo (seg)
5	6,5
5	7,06
5	6,66
5	6,91
5	6,9

**Tpromedio (s)** 6,806  
**Velocidad (m/s)** 0,734645901

**Caudal (m3/s)** 0,587533059

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Férias.  
**Fecha:** 03 de dic.  
**Hora:** 05:00:00 a. m.

## 1. Determinación del área.

Sección 1  
Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,04	0,02	0,2	0,004
0,26	0,15	0,5	0,075
0,35	0,305	0,5	0,1525
0,32	0,335	0,5	0,1675
0,31	0,315	0,5	0,1575
0,21	0,26	0,5	0,13
0,13	0,17	0,5	0,085
0,09	0,11	0,5	0,055
0,02	0,055	0,2	0,011

Area 1 (m2)

0,8375

Sección 2  
Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,1	0,05	0,5	0,025
0,37	0,235	0,5	0,1175
0,3	0,335	0,5	0,1675
0,25	0,275	0,5	0,1375
0,23	0,24	0,5	0,12
0,19	0,21	0,5	0,105
0,09	0,14	0,5	0,07
0,03	0,06	0,5	0,03

Area 2 (m2)

0,7725

AT= (A1 + A2)/2 (m2)

0,805

## 2. Determinación de la velocidad.

## Distancia (m)

Distancia (m)	Tiempo (seg)
5	6,79
5	6,28
5	6,66
5	7
5	6,78

## Tpromedio (s)

6,702

## Velocidad (m/s)

0,746045956

## Caudal (m3/s)

0,600566995

## Q prom C1 (m3/s)

1,025276685

## Ph

7,84

## Temperatura °c

20,03

## O.D mg/l

3

## Conductividad

479

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Férias.  
**Fecha:** 03 de dic.  
**Hora:** 06:00:00 a. m.

## 1. Determinación del área.

## Sección 1

## Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,03	0,015	0,2	0,003
0,26	0,145	0,5	0,0725
0,35	0,305	0,5	0,1525
0,28	0,315	0,5	0,1575
0,3	0,29	0,5	0,145
0,22	0,26	0,5	0,13
0,12	0,17	0,5	0,085
0,07	0,095	0,5	0,0475
0,02	0,045	0,2	0,009

**Area 1 (m2)** 0,802

## Sección 2

## Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,2	0,1	0,5	0,05
0,37	0,285	0,5	0,1425
0,26	0,315	0,5	0,1575
0,24	0,25	0,5	0,125
0,24	0,24	0,5	0,12
0,2	0,22	0,5	0,11
0,09	0,145	0,5	0,0725
0,03	0,06	0,5	0,03

**Area 2 (m2)** 0,8075

**AT= (A1 + A2)/2 (m2)**

0,80475

## 2. Determinación de la velocidad.

## Distancia (m)

## Tiempo (seg)

5	6,25
5	6,56
5	5,91
5	6,34
5	6,44

**Tpromedio (s)** 6,3

**Velocidad (m/s)** 0,793650794

**Caudal (m3/s)** 0,638690476

AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Férias.  
**Fecha:** 03 de dic.  
**Hora:** 07:00:00 a. m.

**1. Determinación del área.**

**Sección 1**

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,05	0,025	0,2	0,005
0,3	0,175	0,5	0,0875
0,36	0,33	0,5	0,165
0,3	0,33	0,5	0,165
0,35	0,325	0,5	0,1625
0,21	0,28	0,5	0,14
0,14	0,175	0,5	0,0875
0,07	0,105	0,5	0,0525
0,03	0,05	0,2	0,01

**Area 1 (m2)**

0,875

**Sección 2**

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,2	0,1	0,5	0,05
0,3	0,25	0,5	0,125
0,2	0,25	0,5	0,125
0,25	0,225	0,5	0,1125
0,23	0,24	0,5	0,12
0,21	0,22	0,5	0,11
0,11	0,16	0,5	0,08
0,09	0,1	0,5	0,05

**Area 2 (m2)**

0,7725

**AT= (A1 + A2)/2 (m2)**

0,82375

**2. Determinación de la velocidad.**

Distancia (m)	Tiempo (seg)
5	5,91
5	6,56
5	5,44
5	5,91
5	6,72

**Tpromedio (s)**

6,108

**Velocidad (m/s)**

0,818598559

**Caudal (m3/s)**

0,674320563

AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 03 de dic.  
**Hora:** 08:00:00 a. m.

**1. Determinación del area.**

**Sección 1**

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0,05			
	0,06	0,2	0,012
0,07			
	0,125	0,5	0,0625
0,18			
	0,285	0,5	0,1425
0,39			
	0,365	0,5	0,1825
0,34			
	0,355	0,5	0,1775
0,37			
	0,355	0,5	0,1775
0,34			
	0,25	0,5	0,125
0,16			
	0,145	0,5	0,0725
0,13			
	0,09	0,2	0,018
0,05			

**Area 1 (m2)** 0,97

**Sección 2**

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0,04			
	0,115	0,5	0,0575
0,19			
	0,275	0,5	0,1375
0,36			
	0,33	0,5	0,165
0,3			
	0,32	0,5	0,16
0,34			
	0,28	0,5	0,14
0,22			
	0,225	0,5	0,1125
0,23			
	0,175	0,5	0,0875
0,12			
	0,09	0,5	0,045
0,06			

**Area 2 (m2)** 0,9050

$AT = (A1 + A2)/2 (m2)$  0,9375

**2. Determinación de la velocidad.**

Distancia (m)	Tiempo (seg)
5	5,78
5	5,87
5	5,44
5	6,18
5	6,25

**Tpromedio (s)** 5,904  
**Velocidad (m/s)** 0,846883469

**Caudal (m3/s)** 0,793953252

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Férias.  
**Fecha:** 03 de dic.  
**Hora:** 09:00:00 a. m.

## 1. Determinación del área.

## Sección 1

## Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0,06	0,065	0,2	0,013
0,07	0,19	0,5	0,095
0,31	0,345	0,5	0,1725
0,38	0,35	0,5	0,175
0,32	0,345	0,5	0,1725
0,37	0,315	0,5	0,1575
0,26	0,21	0,5	0,105
0,16	0,125	0,5	0,0625
0,09	0,07	0,2	0,014
0,05			

Area 1 (m2)

0,967

## Sección 2

## Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0,07	0,105	0,5	0,0525
0,14	0,275	0,5	0,1375
0,41	0,37	0,5	0,185
0,33	0,31	0,5	0,155
0,29	0,275	0,5	0,1375
0,26	0,25	0,5	0,125
0,24	0,19	0,5	0,095
0,14	0,1	0,5	0,05
0,06			

Area 2 (m2)

0,9375

AT= (A1 + A2)/2 (m2)

0,95225

## 2. Determinación de la velocidad.

## Distancia (m)

## Tiempo (seg)

5	5,81
5	5,43
5	6,72
5	6,22
5	6,12

Tpromedio (s)

6,06

Velocidad (m/s)

0,825082508

Caudal (m3/s)

0,785684818

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Férias.  
**Fecha:** 03 de dic.  
**Hora:** 09:00:00 a. m.

## 1. Determinación del área.

## Sección 1

## Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0,06	0,065	0,2	0,013
0,07	0,19	0,5	0,095
0,31	0,345	0,5	0,1725
0,38	0,35	0,5	0,175
0,32	0,345	0,5	0,1725
0,37	0,315	0,5	0,1575
0,26	0,21	0,5	0,105
0,16	0,125	0,5	0,0625
0,09	0,07	0,2	0,014
0,05			

Area 1 (m2)

0,967

## Sección 2

## Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0,07	0,105	0,5	0,0525
0,14	0,275	0,5	0,1375
0,41	0,37	0,5	0,185
0,33	0,31	0,5	0,155
0,29	0,275	0,5	0,1375
0,26	0,25	0,5	0,125
0,24	0,19	0,5	0,095
0,14	0,1	0,5	0,05
0,06			

Area 2 (m2)

0,9375

AT= (A1 + A2)/2 (m2)

0,95225

## 2. Determinación de la velocidad.

## Distancia (m)

## Tiempo (seg)

5	5,81
5	5,43
5	6,72
5	6,22
5	6,12

Tpromedio (s)

6,06

Velocidad (m/s)

0,825082508

Caudal (m3/s)

0,785684818



## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Férias.  
**Fecha:** 03 de dic.  
**Hora:** 12:00:00 m.d

## 1. Determinación del area.

Sección 1  
Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,04	0,02	0,2	0,004
0,24	0,14	0,5	0,07
0,35	0,295	0,5	0,1475
0,3	0,325	0,5	0,1625
0,33	0,315	0,5	0,1575
0,2	0,265	0,5	0,1325
0,1	0,15	0,5	0,075
0,04	0,07	0,5	0,035
0	0,02	0,2	0,004

**Area 1 (m2)** 0,788

Sección 2  
Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,17	0,085	0,5	0,0425
0,32	0,245	0,5	0,1225
0,25	0,285	0,5	0,1425
0,23	0,24	0,5	0,12
0,21	0,22	0,5	0,11
0,18	0,195	0,5	0,0975
0,07	0,125	0,5	0,0625
0	0,035	0,2	0,007

**Area 2 (m2)** 0,7045

**AT= (A1 + A2)/2 (m2)** 0,74625

## 2. Determinación de la velocidad.

Distancia (m2)	Tiempo (seg)
5	6,09
5	5,03
5	6,38
5	6,91
5	5,69

**Tpromedio (s)** 6,02  
**Velocidad (m/s)** 0,830564784

**Caudal (m3/s)** 0,61980897

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Férias.  
**Fecha:** 03 de dic.  
**Hora:** 1:00:00 p.m.

## 1. Determinación del área.

## Sección 1

## Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,1	0,05	0,3	0,015
0,3	0,2	0,5	0,1
0,4	0,35	0,5	0,175
0,34	0,37	0,5	0,185
0,4	0,37	0,5	0,185
0,26	0,33	0,5	0,165
0,15	0,205	0,5	0,1025
0,09	0,12	0,5	0,06
0,04	0,065	0,2	0,013

Area 1 (m2)

1,0005

## Sección 2

## Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,2	0,1	0,5	0,05
0,4	0,3	0,5	0,15
0,29	0,345	0,5	0,1725
0,27	0,28	0,5	0,14
0,26	0,265	0,5	0,1325
0,23	0,245	0,5	0,1225
0,12	0,175	0,5	0,0875
0	0,06	0,5	0,03

Area 2 (m2)

0,8850

 $AT = (A1 + A2)/2$  (m2)

0,94275

## 2. Determinación de la velocidad.

## Distancia (m)

## Tiempo (seg)

5	5,69
5	6,22
5	6,5
5	6,57
5	6

Tpromedio (s)

6,196

Velocidad (m/s)

0,80697224

Caudal (m3/s)

0,760773079

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Férias.  
**Fecha:** 03 de dic.  
**Hora:** 2:00:00 p.m.

## 1. Determinación del área.

## Sección 1

## Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,04	0,02	0,2	0,004
0,23	0,135	0,5	0,0675
0,3	0,265	0,5	0,1325
0,31	0,305	0,5	0,1525
0,35	0,33	0,5	0,165
0,18	0,265	0,5	0,1325
0,11	0,145	0,5	0,0725
0,05	0,08	0,5	0,04

Area 1 (m2)

0,7665

## Sección 2

## Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,12	0,06	0,5	0,03
0,36	0,24	0,5	0,12
0,26	0,31	0,5	0,155
0,24	0,25	0,5	0,125
0,21	0,225	0,5	0,1125
0,2	0,205	0,5	0,1025
0,07	0,135	0,5	0,0675
0	0,035	0,5	0,0175

Area 2 (m2)

0,7300

AT= (A1 + A2)/2 (m2)

0,74825

## 2. Determinación de la velocidad.

## Distancia (m)

## Tiempo (seg)

5	6,19
5	5,87
5	6,43
5	6,06
5	6,16

Tpromedio (s)

6,142

Velocidad (m/s)

0,814067079

Caudal (m3/s)

0,609125692

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Férias.  
**Fecha:** 03 de dic.  
**Hora:** 3:00:00 p.m.

## 1. Determinación del área.

## Sección 1

## Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,06	0,03	0,2	0,006
0,22	0,14	0,5	0,07
0,31	0,265	0,5	0,1325
0,3	0,305	0,5	0,1525
0,39	0,345	0,5	0,1725
0,2	0,295	0,5	0,1475
0,12	0,16	0,5	0,08
0,06	0,09	0,5	0,045

**Area 1 (m2)** 0,806

## Sección 2

## Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,14	0,07	0,5	0,035
0,25	0,195	0,5	0,0975
0,29	0,27	0,5	0,135
0,22	0,255	0,5	0,1275
0,21	0,215	0,5	0,1075
0,2	0,205	0,5	0,1025
0,1	0,15	0,5	0,075
0	0,05	0,5	0,025

**Area 2 (m2)** 0,7050

**AT= (A1 + A2)/2 (m2)** 0,7555

## 2. Determinación de la velocidad.

## Distancia (m)

## Tiempo (seg)

5	6,53
5	7,09
5	6,34
5	5,16
5	8

**Tpromedio (s)** 6,624

**Velocidad (m/s)** 0,754830918

**Caudal (m3/s)** 0,570274758

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Férias.  
**Fecha:** 03 de dic.  
**Hora:** 4:00:00 p.m.

## 1. Determinación del área.

## Sección 1

## Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,06	0,03	0,2	0,006
0,22	0,14	0,5	0,07
0,32	0,27	0,5	0,135
0,3	0,31	0,5	0,155
0,38	0,34	0,5	0,17
0,24	0,31	0,5	0,155
0,13	0,185	0,5	0,0925
0,04	0,085	0,5	0,0425

**Area 1 (m2)** 0,826

## Sección 2

## Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,13	0,065	0,5	0,0325
0,37	0,25	0,5	0,125
0,26	0,315	0,5	0,1575
0,2	0,23	0,5	0,115
0,22	0,21	0,5	0,105
0,2	0,21	0,5	0,105
0,09	0,145	0,5	0,0725
0	0,045	0,5	0,0225

**Area 2 (m2)** 0,7350

**AT= (A1 + A2)/2 (m2)** 0,7805

## 2. Determinación de la velocidad.

## Distancia (m)

## Tiempo (seg)

5	6,75
5	7,4
5	7,28
5	5,75
5	6,34

**Tpromedio (s)** 6,704  
**Velocidad (m/s)** 0,745823389

**Caudal (m3/s)** 0,582115155

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Férias.  
**Fecha:** 03 de dic.  
**Hora:** 05:00:00 p. m.

## 1. Determinación del área.

Sección 1  
Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,03	0,015	0,2	0,003
0,2	0,115	0,5	0,0575
0,34	0,27	0,5	0,135
0,3	0,32	0,5	0,16
0,34	0,32	0,5	0,16
0,2	0,27	0,5	0,135
0,11	0,155	0,5	0,0775
0,04	0,075	0,5	0,0375

**Area 1 (m2)** 0,7655

Sección 2  
Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,12	0,06	0,5	0,03
0,37	0,245	0,5	0,1225
0,26	0,315	0,5	0,1575
0,22	0,24	0,5	0,12
0,2	0,21	0,5	0,105
0,18	0,19	0,5	0,095
0,08	0,13	0,5	0,065
0	0,04	0,5	0,02

**Area 2 (m2)** 0,7150

**AT= (A1 + A2)/2 (m2)** 0,74025

## 2. Determinación de la velocidad.

## Distancia (m)

5	6,38
5	6,53
5	7,13
5	6,41
5	7,4

**Tpromedio (s)** 6,77

**Velocidad (m/s)** 0,738552437

**Caudal (m3/s)** 0,546713442

**Q prom C1 (m3/s)** 0,614801849

**Ph** 7,33

**Temperatura °c** 26,2

**O.D (mg/l)** 0,9

**Conductividad** 396

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Férias.  
**Fecha:** 03 de dic.  
**Hora:** 6:00:00 p.m.

## 1. Determinación del área.

## Sección 1

## Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,04	0,02	0,2	0,004
0,22	0,13	0,5	0,065
0,37	0,295	0,5	0,1475
0,34	0,355	0,5	0,1775
0,37	0,355	0,5	0,1775
0,23	0,3	0,5	0,15
0,13	0,18	0,5	0,09
0,08	0,105	0,5	0,0525

Area 1 (m2)

0,864

AT= (A1 + A2)/2 (m2)

0,852

## 2. Determinación de la velocidad.

## Distancia (m)

## Tiempo (seg)

5	4,91
5	5,87
5	6,06
5	5
5	5,59

Tpromedio (s)

5,486

Velocidad (m/s)

0,911410864

Caudal (m3/s)

0,776522056

Area 2 (m2)

0,8400

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 03 de dic.  
**Hora:** 7:00:00 p.m.

## 1. Determinación del area.

## Sección 1

## Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,06	0,03	0,3	0,009
0,24	0,15	0,5	0,075
0,39	0,315	0,5	0,1575
0,37	0,38	0,5	0,19
0,4	0,385	0,5	0,1925
0,25	0,325	0,5	0,1625
0,15	0,2	0,5	0,1
0,1	0,125	0,5	0,0625

Area 1 (m2)

0,949

## Sección 2

## Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,14	0,07	0,5	0,035
0,46	0,3	0,5	0,15
0,33	0,395	0,5	0,1975
0,28	0,305	0,5	0,1525
0,26	0,27	0,5	0,135
0,23	0,245	0,5	0,1225
0,14	0,185	0,5	0,0925
0	0,07	0,5	0,035

Area 2 (m2)

0,9200

AT= (A1 + A2)/2 (m2)

0,9345

## 2. Determinación de la velocidad.

## Distancia (m)

## Tiempo (seg)

5	4,35
5	4,25
5	4,11
5	4,5
5	4,7

Tpromedio (s)

4,382

Velocidad (m/s)

1,141031492

Caudal (m3/s)

1,06629393

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Férias.  
**Fecha:** 03 de dic.  
**Hora:** 8:00:00 p.m.

## 1. Determinación del área.

## Sección 1

## Profundidad

0

0,06

0,22

0,18

0,19

0,27

0,27

0,2

0,12

Area 1 (m2)

Distancia (X)

0,2

0,5

0,5

0,5

0,5

0,5

0,5

0,5

0,5

0,716

 $((A+B)/2)*X$ 

0,006

0,07

0,1

0,0925

0,115

0,135

0,1175

0,08

 $AT = (A1 + A2)/2 (m2)$ 

## Sección 2

## Profundidad

0

0,17

0,31

0,26

0,24

0,18

0,17

0,14

0,11

(A+B)/2

0,085

0,24

0,285

0,25

0,21

0,175

0,14

0,11

Area 2 (m2)

Distancia (X)

0,5

0,5

0,5

0,5

0,5

0,5

0,5

0,5

0,6925

0,70425

## 2. Determinación de la velocidad.

## Distancia (m)

5

5

5

5

5

Tpromedio (s)

Velocidad (m/s)

Caudal (m3/s)

## Tiempo (seg)

6,35

5,53

6,81

5,5

5,97

6,032

0,828912467

0,583761605

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Férias.  
**Fecha:** 03 de dic.  
**Hora:** 9:00:00 p.m.

## 1. Determinación del área.

## Sección 1

## Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,09	0,045	0,2	0,009
0,2	0,145	0,5	0,0725
0,18	0,19	0,5	0,095
0,2	0,19	0,5	0,095
0,25	0,225	0,5	0,1125
0,29	0,27	0,5	0,135
0,18	0,235	0,5	0,1175
0,1	0,14	0,5	0,07

Area 1 (m2)

0,7065

## Sección 2

## Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,19	0,095	0,5	0,0475
0,25	0,22	0,5	0,11
0,28	0,265	0,5	0,1325
0,21	0,245	0,5	0,1225
0,19	0,2	0,5	0,1
0,17	0,18	0,5	0,09
0,15	0,16	0,5	0,08

Area 2 (m2)

0,6825

AT= (A1 + A2)/2 (m2)

0,6945

## 2. Determinación de la velocidad.

## Distancia (m)

## Tiempo (seg)

5	6,69
5	6,81
5	6,38
5	6,28
5	5,68

Tpromedio (s)

6,368

Velocidad (m/s)

0,785175879

Caudal (m3/s)

0,545304648

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Férias.  
**Fecha:** 03 de dic.  
**Hora:** 10:00:00 p.m.

## 1. Determinación del área.

## Sección 1

## Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,03	0,015	0,2	0,003
0,18	0,105	0,5	0,0525
0,22	0,2	0,5	0,1
0,2	0,21	0,5	0,105
0,29	0,245	0,5	0,1225
0,24	0,265	0,5	0,1325
0,16	0,2	0,5	0,1
0,14	0,15	0,5	0,075

Area 1 (m2)

0,6905

## Sección 2

## Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,18	0,09	0,5	0,045
0,25	0,215	0,5	0,1075
0,23	0,24	0,5	0,12
0,19	0,21	0,5	0,105
0,16	0,175	0,5	0,0875
0,17	0,165	0,5	0,0825
0,1	0,135	0,5	0,0675

Area 2 (m2)

0,6150

AT= (A1 + A2)/2 (m2)

0,65275

## 2. Determinación de la velocidad.

## Distancia (m)

## Tiempo (seg)

5	6,75
5	7,62
5	7,31
5	6,03
5	6,72

Tpromedio (s)

6,886

Velocidad (m/s)

0,72611095

Caudal (m3/s)

0,473968922

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Férias.  
**Fecha:** 03 de dic.  
**Hora:** 11:00:00 p. m.

## 1. Determinación del área.

## Sección 1

## Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,05	0,025	0,5	0,0125
0,2	0,125	0,5	0,0625
0,24	0,22	0,5	0,11
0,22	0,23	0,5	0,115
0,31	0,265	0,5	0,1325
0,26	0,285	0,5	0,1425
0,18	0,22	0,5	0,11

**Area 1 (m2)** 0,685

## Sección 2

## Profundidad

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,2	0,1	0,5	0,05
0,27	0,235	0,5	0,1175
0,25	0,26	0,5	0,13
0,21	0,23	0,5	0,115
0,18	0,195	0,5	0,0975
0,19	0,185	0,5	0,0925
0,12	0,155	0,5	0,0775

**Area 2 (m2)** 0,6800

**AT= (A1 + A2)/2 (m2)** 0,6825

## 2. Determinación de la velocidad.

## Distancia (m)

## Tiempo (seg)

5	6,02
5	5,35
5	5,9
5	5,4
5	5,8

**Tpromedio (s)** 5,694

**Velocidad (m/s)** 0,878117316

**Caudal (m3/s)** 0,599315068

**Q prom C1 (m3/l)** 0,674194372

**Ph** 7,49

**Temperatura °c** 22,9

**O.D (mg/l)** 1,5

**Conductividad** 346

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 04 de dic.  
**Hora:** 12:00:00 m.n

**1. Determinación del area.****Sección 1****Profundidad**

0,13

0,24

0,4

0,5

0,47

0,49

0,4

0,32

0,25

0,19

 $(A+B)/2$ 

0,185

0,32

0,45

0,485

0,48

0,445

0,36

0,285

0,22

**Area 1 (m2)**

Distancia (X)

0,5

0,5

0,5

0,5

0,5

0,5

0,5

0,5

0,2

1,549

 $((A+B)/2)*X$ 

0,0925

0,16

0,225

0,2425

0,24

0,2225

0,18

0,1425

0,044

**AT= (A1 + A2)/2 (m2)****Sección 2****Profundidad**

0

0,29

0,56

0,47

0,42

0,41

0,36

0,27

0,2

**Area 2 (m2)** $(A+B)/2$ 

0,145

0,425

0,515

0,445

0,415

0,385

0,315

0,235

1,4400

Distancia (X)

0,5

0,5

0,5

0,5

0,5

0,5

0,5

0,5

1,4400

 $((A+B)/2)*X$ 

0,0725

0,2125

0,2575

0,2225

0,2075

0,1925

0,1575

0,1175

**2. Determinación de la velocidad.****Distancia (m)**

5

5

5

5

5

**Tpromedio (s)****Velocidad (m/s)****Caudal (m3/s)****Tiempo (seg)**

4,5

4,5

5,1

5,37

4,2

4,734

1,056189269

1,578474863

1,4945

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 04 de dic.  
**Hora:** 01:00:00 a. m.

## 1. Determinación del area.

## Sección 1

## Profundidad

0,08

0,2

0,4

0,47

0,44

0,46

0,37

0,29

0,22

0,16

**Area 1 (m2)**

1,428

**AT= (A1 + A2)/2 (m2)**

## Sección 2

## Profundidad

0

0,34

0,61

0,52

0,47

0,46

0,41

0,32

0,25

**Area 2 (m2)**

1,6275

1,52775

## 2. Determinación de la velocidad.

## Distancia (m)

5

5

5

5

5

**Tpromedio (s)****Velocidad (m/s)****Caudal (m3/s)**

## Tiempo (seg)

4,75

5,14

4,56

5,76

5,28

5,098

0,980776775

1,498381718

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 04 de dic.  
**Hora:** 02:00:00 a. m.

**1. Determinación del area.**

Sección 1				Sección 2			
Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	((A+B)/2)*X	Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	((A+B)/2)*X
0				0			
0,14	0,07	0,5	0,035	0,28	0,14	0,5	0,07
0,37	0,255	0,5	0,1275	0,55	0,415	0,5	0,2075
0,47	0,42	0,5	0,21	0,5	0,525	0,5	0,2625
0,51	0,49	0,5	0,245	0,47	0,485	0,5	0,2425
0,48	0,495	0,5	0,2475	0,39	0,43	0,5	0,215
0,44	0,46	0,5	0,23	0,29	0,34	0,5	0,17
0,23	0,335	0,5	0,1675	0,2	0,245	0,5	0,1225
0,17	0,2	0,5	0,1	0,14	0,17	0,5	0,085
0,09	0,13	0,2	0,026				

**Area 1 (m2)** 1,3885

**Area 2 (m2)** 1,3750

**AT= (A1 + A2)/2 (m2)** 1,38175

**2. Determinación de la velocidad.**

Distancia (m)	Tiempo (seg)
5	4,5
5	5,81
5	5,25
5	5,57
5	5,19

**Tpromedio (s)** 5,264  
**Velocidad (m/s)** 0,949848024

**Caudal (m3/s)** 1,312452508

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 04 de dic.  
**Hora:** 03:00:00 a. m.

**1. Determinación del area.**

Sección 1 Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,14	0,07	0,5	0,035
	0,23	0,5	0,115
0,32			
	0,395	0,5	0,1975
0,47			
	0,465	0,5	0,2325
0,46			
	0,465	0,5	0,2325
0,47			
	0,47	0,5	0,235
0,47			
	0,355	0,5	0,1775
0,24			
	0,2	0,5	0,1
0,16			
	0,12	0,2	0,024
0,08			

**Area 1 (m2)** 1,349

Sección 2 Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,15	0,075	0,5	0,0375
	0,36	0,5	0,18
0,57			
	0,535	0,5	0,2675
0,5			
	0,445	0,5	0,2225
0,39			
	0,375	0,5	0,1875
0,36			
	0,325	0,5	0,1625
0,29			
	0,245	0,5	0,1225
0,2			
	0,16	0,5	0,08
0,12			

**Area 2 (m2)** 1,2600

**AT= (A1 + A2)/2 (m2)** 1,3045

**2. Determinación de la velocidad.**

Distancia (m)	Tiempo (seg)
5	6,25
5	6,16
5	5,91
5	5,78
5	6,53

**Tpromedio (s)** 6,126  
**Velocidad (m/s)** 0,816193275

**Caudal (m3/s)** 1,064724127

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 04 de dic.  
**Hora:** 04:00:00 a. m.

**1. Determinación del area.**

Sección 1				Sección 2			
Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$	Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0	0,075	0,2	0,015	0	0,065	0,5	0,0325
0,15	0,225	0,5	0,1125	0,13	0,32	0,5	0,16
0,3	0,33	0,5	0,165	0,51	0,455	0,5	0,2275
0,36	0,38	0,5	0,19	0,4	0,365	0,5	0,1825
0,4	0,425	0,5	0,2125	0,33	0,325	0,5	0,1625
0,45	0,405	0,5	0,2025	0,32	0,245	0,5	0,1225
0,36	0,3	0,5	0,15	0,17	0,175	0,5	0,0875
0,24	0,21	0,5	0,105	0,18	0,135	0,5	0,0675
0,18	0,12	0,2	0,024	0,09			
0,06							
	<b>Area 1 (m2)</b>	1,1765		<b>Area 2 (m2)</b>	1,0425		

$$AT = (A1 + A2)/2 \text{ (m2)} \quad 1,1095$$

**2. Determinación de la velocidad.**

Distancia (m)	Tiempo (seg)
5	6,69
5	6,5
5	8,03
5	5,78
5	6,15
<b>Tpromedio (s)</b>	6,63
<b>Velocidad (m/s)</b>	0,754147813
<b>Caudal (m3/s)</b>	0,836726998

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 04 de dic.  
**Hora:** 05:00:00 a. m.

## 1. Determinación del area.

Sección 1				Sección 2			
Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$	Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0				0			
0,12	0,06	0,2	0,012	0,09	0,045	0,5	0,0225
0,16	0,14	0,5	0,07	0,49	0,29	0,5	0,145
0,4	0,28	0,5	0,14	0,44	0,465	0,5	0,2325
0,45	0,425	0,5	0,2125	0,35	0,395	0,5	0,1975
0,47	0,46	0,5	0,23	0,42	0,385	0,5	0,1925
0,39	0,43	0,5	0,215	0,46	0,44	0,5	0,22
0,21	0,3	0,5	0,15	0,18	0,32	0,5	0,16
0,11	0,16	0,5	0,08	0,07	0,125	0,5	0,0625
0,04	0,075	0,2	0,015				

**Area 1 (m2)** 1,1245

**Area 2 (m2)** 1,2325

**AT= (A1 + A2)/2 (m2)** 1,1785

## 2. Determinación de la velocidad.

Distancia (m)	Tiempo (seg)		
5	6,75		
5	6,85		
5	6,53		
5	6,28		
5	6,75		
<b>Tpromedio (s)</b>	6,632		
<b>Velocidad (m/s)</b>	0,753920386		
<b>Caudal (m3/s)</b>	0,888495175		
<b>Q prom C1 (m3/s)</b>	1,196542565		
<b>Ph</b>	7,6		
<b>Temperatura °C</b>	20,6		
<b>O.D (mg/l)</b>	5,3		
<b>Conductividad</b>	362		

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 04 de dic.  
**Hora:** 06:00:00 a. m.

**1. Determinación del area.**

Sección 1 Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,11	0,055	0,2	0,011
0,27	0,19	0,5	0,095
0,4	0,335	0,5	0,1675
0,42	0,41	0,5	0,205
0,4	0,41	0,5	0,205
0,36	0,38	0,5	0,19
0,21	0,285	0,5	0,1425
0,12	0,165	0,5	0,0825
0,04	0,08	0,2	0,016

**Area 1 (m2)** 1,1145

Sección 2 Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,21	0,105	0,5	0,0525
0,48	0,345	0,5	0,1725
0,46	0,47	0,5	0,235
0,33	0,395	0,5	0,1975
0,34	0,335	0,5	0,1675
0,26	0,3	0,5	0,15
0,14	0,2	0,5	0,1
0,05	0,095	0,5	0,0475

**Area 2 (m2)** 1,1225

**AT= (A1 + A2)/2 (m2)** 1,1185

**2. Determinación de la velocidad.**

Distancia (m)	Tiempo (seg)
5	6,37
5	6,6
5	6,72
5	5,34
5	6,94

**Tpromedio (s)** 6,394  
**Velocidad (m/s)** 0,781983109

**Caudal (m3/s)** 0,874648108

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 04 de dic.  
**Hora:** 07:00:00 a. m.

## 1. Determinación del area.

Sección 1				Sección 2			
Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$	Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0	0,055	0,2	0,011	0	0,13	0,5	0,065
0,11	0,19	0,5	0,095	0,26	0,375	0,5	0,1875
0,27	0,35	0,5	0,175	0,49	0,485	0,5	0,2425
0,43	0,44	0,5	0,22	0,48	0,42	0,5	0,21
0,45	0,435	0,5	0,2175	0,36	0,345	0,5	0,1725
0,42	0,41	0,5	0,205	0,33	0,295	0,5	0,1475
0,4	0,31	0,5	0,155	0,26	0,2	0,5	0,1
0,22	0,16	0,5	0,08	0,14	0,105	0,5	0,0525
0,1	0,07	0,2	0,014	0,07			
0,04							
	<b>Area 1 (m2)</b>	1,1725		<b>Area 2 (m2)</b>	1,1775		

$$AT = (A1 + A2)/2 \text{ (m2)} \quad 1,175$$

## 2. Determinación de la velocidad.

Distancia (m)	Tiempo (seg)
5	7,53
5	7,78
5	6
5	6,6
5	6,38
<b>Tpromedio (s)</b>	6,858
<b>Velocidad (m/s)</b>	0,729075532
<b>Caudal (m3/s)</b>	0,85666375

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 04 de dic.  
**Hora:** 08:00:00 a. m.

**1. Determinación del area.**

Sección 1 Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,06		0,2	0,012
0,12		0,5	0,105
0,3		0,5	0,1825
0,43		0,5	0,22
0,45		0,5	0,2225
0,44		0,5	0,215
0,42		0,5	0,1625
0,23		0,5	0,0975
0,16		0,2	0,02
0,04			

**Area 1 (m2)** 1,237

$$AT = (A1 + A2)/2 \text{ (m2)} \quad 1,19225$$

**2. Determinación de la velocidad.**

Sección 2 Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$	Distancia (m)	Tiempo (seg)
0				5	6,28
0,2		0,5	0,05	5	7,6
0,5		0,5	0,175	5	6,09
0,49		0,5	0,2475	5	7,13
0,36		0,5	0,2125	5	7,35
0,35		0,5	0,1775		
0,28		0,5	0,14		
0,21		0,5	0,09		
0,15		0,5	0,055		
0,07					

**Tpromedio (s)** 6,89  
**Velocidad (m/s)** 0,725689405

**Caudal (m3/s)** 0,865203193

**Area 2 (m2)** 1,1475



## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 04 de dic.  
**Hora:** 10:00:00 a. m.

## 1. Determinación del area.

## Sección 1

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,12	0,06	0,2	0,012
0,3	0,21	0,5	0,105
0,42	0,36	0,5	0,18
0,46	0,44	0,5	0,22
0,34	0,4	0,5	0,2
0,38	0,36	0,5	0,18
0,23	0,305	0,5	0,1525
0,14	0,185	0,5	0,0925
0,07	0,105	0,2	0,021

Area 1 (m2)

1,163

## Sección 2

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,23	0,115	0,5	0,0575
0,51	0,37	0,5	0,185
0,5	0,505	0,5	0,2525
0,39	0,445	0,5	0,2225
0,35	0,37	0,5	0,185
0,29	0,32	0,5	0,16
0,17	0,23	0,5	0,115
0,09	0,13	0,5	0,065

Area 2 (m2)

1,2425

AT= (A1 + A2)/2 (m2)

1,20275

## 2. Determinación de la velocidad.

Distancia (m)	Tiempo (seg)
5	5,43
5	5,62
5	6,63
5	6,34
5	7,15
<b>Tpromedio (s)</b> 6,234	
<b>Velocidad (m/s)</b> 0,802053256	
<b>Caudal (m3/s)</b> 0,964669554	

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 04 de dic.  
**Hora:** 11:00:00 a. m.

## 1. Determinación del area.

Sección 1				Sección 2			
Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	((A+B)/2)*X	Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	((A+B)/2)*X
0				0			
0,11	0,055	0,2	0,011	0,21	0,105	0,5	0,0525
	0,205	0,5	0,1025		0,355	0,5	0,1775
0,3	0,36	0,5	0,18	0,5	0,49	0,5	0,245
	0,42	0,5	0,22	0,48	0,42	0,5	0,21
0,46	0,455	0,5	0,2275	0,36	0,345	0,5	0,1725
	0,45	0,5	0,185	0,33	0,35	0,5	0,175
0,29	0,255	0,5	0,1275	0,37	0,26	0,5	0,13
	0,22	0,5	0,085	0,15	0,105	0,5	0,0525
0,12	0,115	0,2	0,023	0,06			

**Area 1 (m2)** 1,1615

**Area 2 (m2)** 1,2150

**AT= (A1 + A2)/2 (m2)** 1,18825

## 2. Determinación de la velocidad.

Distancia (m)	Tiempo (seg)		
5	6,44	<b>Tpromedio (s)</b>	6,744
5	6,91	<b>Velocidad (m/s)</b>	0,741399763
5	6,78		
5	7,13		
5	6,46		
		<b>Caudal (m3/s)</b>	0,880968268
		<b>Q prom C1 (m3/l)</b>	0,893455142
		<b>Ph</b>	7,57
		<b>Temperatura °C</b>	23,1
		<b>O.D (mg/l)</b>	1,6
		<b>Conductividad</b>	325

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 04 de dic.  
**Hora:** 12:00:00 m.d

## 1. Determinación del area.

Sección 1				Sección 2			
Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	((A+B)/2)*X	Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	((A+B)/2)*X
0				0			
0,1	0,05	0,2	0,01	0,11	0,055	0,5	0,0275
0,29	0,195	0,5	0,0975	0,5	0,305	0,5	0,1525
0,38	0,335	0,5	0,1675	0,43	0,465	0,5	0,2325
0,4	0,39	0,5	0,195	0,32	0,375	0,5	0,1875
0,41	0,405	0,5	0,2025	0,34	0,33	0,5	0,165
0,38	0,395	0,5	0,1975	0,24	0,29	0,5	0,145
0,26	0,32	0,5	0,16	0,13	0,185	0,5	0,0925
0,14	0,2	0,5	0,1	0,06	0,095	0,5	0,0475
0,04	0,09	0,2	0,018				

**Area 1 (m2)** 1,148

**Area 2 (m2)** 1,0500

**AT= (A1 + A2)/2 (m2)** 1,099

## 2. Determinación de la velocidad.

Distancia (m)	Tiempo (seg)
5	6,72
5	7,47
5	8,1
5	5,37
5	6,68
<b>Tpromedio (s)</b>	6,868
<b>Velocidad (m/s)</b>	0,728013978
<b>Caudal (m3/s)</b>	0,800087362

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 04 de dic.  
**Hora:** 1:00:00 p.m.

## 1. Determinación del area.

Sección 1				Sección 2			
Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$	Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0				0			
0,05	0,025	0,2	0,005	0,17	0,085	0,5	0,0425
0,27	0,16	0,5	0,08	0,46	0,315	0,5	0,1575
0,37	0,32	0,5	0,16	0,39	0,425	0,5	0,2125
0,42	0,395	0,5	0,1975	0,23	0,31	0,5	0,155
0,4	0,41	0,5	0,205	0,29	0,26	0,5	0,13
0,36	0,38	0,5	0,19	0,23	0,26	0,5	0,13
0,24	0,3	0,5	0,15	0,09	0,16	0,5	0,08
0,14	0,19	0,5	0,095	0,03	0,06	0,5	0,03
0,11	0,125	0,2	0,025				

**Area 1 (m2)** 1,1075

**Area 2 (m2)** 0,9375

**AT= (A1 + A2)/2 (m2)** 1,0225

## 2. Determinación de la velocidad.

Distancia (m)	Tiempo (seg)
5	7
5	5,88
5	7,31
5	7,97
5	7,9
<b>Tpromedio (s)</b>	7,212
<b>Velocidad (m/s)</b>	0,693288963
<b>Caudal (m3/s)</b>	0,708887965

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 04 de dic.  
**Hora:** 2:00:00 p.m.

## 1. Determinación del area.

Sección 1 Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,06	0,03	0,2	0,006
0,26	0,16	0,5	0,08
0,34	0,3	0,5	0,15
0,39	0,365	0,5	0,1825
0,39	0,39	0,5	0,195
0,4	0,395	0,5	0,1975
0,24	0,32	0,5	0,16
0,13	0,185	0,5	0,0925
0,16	0,145	0,2	0,029

**Area 1 (m2)** 1,0925

Sección 2 Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,21	0,105	0,5	0,0525
0,48	0,345	0,5	0,1725
0,38	0,43	0,5	0,215
0,35	0,365	0,5	0,1825
0,3	0,325	0,5	0,1625
0,22	0,26	0,5	0,13
0,07	0,145	0,5	0,0725
0,04	0,055	0,5	0,0275

**Area 2 (m2)** 1,0150

$$AT = (A1 + A2)/2 \text{ (m2)} \quad 1,05375$$

## 2. Determinación de la velocidad.

Distancia (m)	Tiempo (seg)
5	7,12
5	6,75
5	6,53
5	6,25
5	5,47

**Tpromedio (s)** 6,424  
**Velocidad (m/s)** 0,778331258

**Caudal (m3/s)** 0,820166563

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 04 de dic.  
**Hora:** 3:00:00 p.m.

**1. Determinación del area.**

Sección 1				Sección 2			
Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	((A+B)/2)*X	Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	((A+B)/2)*X
0				0			
0,1	0,05	0,2	0,01	0,26	0,13	0,5	0,065
0,27	0,185	0,5	0,0925	0,48	0,37	0,5	0,185
0,33	0,3	0,5	0,15	0,36	0,42	0,5	0,21
0,41	0,37	0,5	0,185	0,34	0,35	0,5	0,175
0,4	0,405	0,5	0,2025	0,3	0,32	0,5	0,16
0,37	0,385	0,5	0,1925	0,22	0,26	0,5	0,13
0,26	0,315	0,5	0,1575	0,08	0,15	0,5	0,075
0,13	0,195	0,5	0,0975	0,04	0,06	0,5	0,03
0,15	0,14	0,2	0,028				

**Area 1 (m2)** 1,1155

**Area 2 (m2)** 1,0300

**AT= (A1 + A2)/2 (m2)** 1,07275

**2. Determinación de la velocidad.**

Distancia (m)	Tiempo (seg)
5	7,32
5	7,07
5	6,91
5	7,09
5	6,32
<b>Tpromedio (s)</b>	6,942
<b>Velocidad (m/s)</b>	0,720253529
<b>Caudal (m3/s)</b>	0,772651973

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 04 de dic.  
**Hora:** 4:00:00 p.m.

## 1. Determinación del area.

Sección 1				Sección 2			
Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$	Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0				0			
0,1	0,05	0,2	0,01	0,21	0,105	0,5	0,0525
0,26	0,18	0,5	0,09	0,46	0,335	0,5	0,1675
0,36	0,31	0,5	0,155	0,33	0,395	0,5	0,1975
0,41	0,385	0,5	0,1925	0,34	0,335	0,5	0,1675
0,37	0,39	0,5	0,195	0,3	0,32	0,5	0,16
0,33	0,35	0,5	0,175	0,21	0,255	0,5	0,1275
0,24	0,285	0,5	0,1425	0,07	0,14	0,5	0,07
0,13	0,185	0,5	0,0925	0,05	0,06	0,5	0,03
0,12	0,125	0,2	0,025				

**Area 1 (m2)** 1,0775

**Area 2 (m2)** 0,9725

**AT= (A1 + A2)/2 (m2)** 1,025

## 2. Determinación de la velocidad.

Distancia (m)	Tiempo (seg)
5	7,85
5	6,87
5	8,38
5	7,21
5	8,98
<b>Tpromedio (s)</b>	7,858
<b>Velocidad (m/s)</b>	0,636294222
<b>Caudal (m3/s)</b>	0,652201578

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 04 de dic.  
**Hora:** 05:00:00 p. m.

**1. Determinación del area.**

Sección 1				Sección 2			
Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	((A+B)/2)*X	Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	((A+B)/2)*X
0				0			
0,07	0,035	0,2	0,007	0,38	0,19	0,5	0,095
0,17	0,12	0,5	0,06	0,44	0,41	0,5	0,205
0,32	0,245	0,5	0,1225	0,32	0,38	0,5	0,19
0,4	0,36	0,5	0,18	0,33	0,325	0,5	0,1625
0,39	0,395	0,5	0,1975	0,28	0,305	0,5	0,1525
0,37	0,38	0,5	0,19	0,2	0,24	0,5	0,12
0,24	0,305	0,5	0,1525	0,06	0,13	0,5	0,065
0,12	0,18	0,5	0,09	0,03	0,045	0,5	0,0225
0,15	0,135	0,5	0,0675				

**Area 1 (m2)** 1,067

**Area 2 (m2)** 1,0125

$$AT = (A1 + A2) / 2 \text{ (m2)} \quad 1,03975$$

**2. Determinación de la velocidad.**

Distancia (m)	Tiempo (seg)		
5	8,1		
5	7,37		
5	6,81		
5	9,21		
5	10		
<b>Tpromedio (s)</b>	8,298		
<b>Velocidad (m/s)</b>	0,602554832		
<b>Caudal (m3/s)</b>	0,626506387		
<b>Q prom C1 (m3/s)</b>	0,730083638		
<b>Ph</b>	7,42		
<b>Temperatura °C</b>	26,2		
<b>O.D (mg/l)</b>	0,8		
<b>Conductividad</b>	291		

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 04 de dic.  
**Hora:** 6:00:00 p.m.

**1. Determinación del area.**

Sección 1 Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	((A+B)/2)*X
0			
0,045		0,2	0,009
0,09		0,5	0,055
0,13		0,5	0,105
0,29		0,5	0,165
0,37		0,5	0,18
0,35		0,5	0,16
0,29		0,5	0,12
0,19		0,5	0,0725
0,1		0,2	0,019
0,09			

**Area 1 (m2)** 0,8855

Sección 2 Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	((A+B)/2)*X
0			
0,31		0,5	0,0775
	0,155	0,5	0,0775
0,42		0,5	0,1825
	0,365	0,5	0,1825
0,32		0,5	0,185
	0,37	0,5	0,185
0,31		0,5	0,1575
	0,315	0,5	0,1575
0,27		0,5	0,145
	0,29	0,5	0,145
0,19		0,5	0,115
	0,23	0,5	0,115
0,09		0,5	0,07
	0,14	0,5	0,07
0		0,5	0,0225
	0,045	0,5	0,0225

**Area 2 (m2)** 0,9550

$$AT = (A1 + A2) / 2 \text{ (m2)} \quad 0,92025$$

**2. Determinación de la velocidad.**

Distancia (m)	Tiempo (seg)
5	8,69
5	8,31
5	6,37
5	7,43
5	8,03

**Tpromedio (s)** 7,766  
**Velocidad (m/s)** 0,643832089

**Caudal (m3/s)** 0,59248648

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 04 de dic.  
**Hora:** 7:00:00 p.m.

**1. Determinación del area.****Sección 1****Profundidad**

0

0,05

0,21

0,31

0,35

0,34

0,29

0,19

0,1

0,12

**Area 1 (m2)**

0,907

**AT= (A1 + A2)/2 (m2)****Sección 2****Profundidad**

0

0,25

0,41

0,23

0,22

0,26

0,2

0,03

**Area 2 (m2)**

0,7925

0,84975

**2. Determinación de la velocidad.****Distancia (m)**

5

5

5

5

5

**Tpromedio (s)****Velocidad (m/s)****Caudal (m3/s)****Tiempo (seg)**

8,28

7,84

9,97

6,29

8,9

8,256

0,605620155

0,514625727

AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 04 de dic.  
**Hora:** 8:00:00 p.m.

**1. Determinación del area.**

Sección 1 Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	((A+B)/2)*X
0			
0,05	0,025	0,1	0,0025
0,13	0,09	0,5	0,045
0,3	0,215	0,5	0,1075
0,36	0,33	0,5	0,165
0,31	0,335	0,5	0,1675
0,27	0,29	0,5	0,145
0,2	0,235	0,5	0,1175
0,14	0,17	0,5	0,085
0,12	0,13	0,5	0,065

**Area 1 (m2)** 0,9

Sección 2 Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	((A+B)/2)*X
0			
0,31	0,155	0,5	0,0775
0,4	0,355	0,5	0,1775
0,31	0,355	0,5	0,1775
0,32	0,315	0,5	0,1575
0,27	0,295	0,5	0,1475
0,18	0,225	0,5	0,1125
0,05	0,115	0,5	0,0575

**Area 2 (m2)** 0,9075

$AT = (A1 + A2)/2 (m2)$  0,90375

**2. Determinación de la velocidad.**

Distancia (m)	Tiempo (seg)
5	8,88
5	9,22
5	10,18
5	8,44
5	9,16

**Tpromedio (s)** 9,176  
**Velocidad (m/s)** 0,544899738

**Caudal (m3/s)** 0,492453139

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Ferias.  
**Fecha:** 04 de dic.  
**Hora:** 9:00:00 p.m.

## 1. Determinación del area.

Sección 1				Sección 2			
Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$	Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0				0			
0,04	0,02	0,1	0,002	0,3	0,15	0,5	0,075
0,21	0,125	0,5	0,0625	0,41	0,355	0,5	0,1775
0,31	0,26	0,5	0,13	0,29	0,35	0,5	0,175
0,36	0,335	0,5	0,1675	0,31	0,3	0,5	0,15
0,31	0,335	0,5	0,1675	0,26	0,285	0,5	0,1425
0,3	0,305	0,5	0,1525	0,18	0,22	0,5	0,11
0,2	0,25	0,5	0,125	0,08	0,13	0,5	0,065
0,13	0,165	0,5	0,0825				
0,12	0,125	0,2	0,025				

**Area 1 (m2)** 0,9145

**Area 2 (m2)** 0,8950

**AT= (A1 + A2)/2 (m2)** 0,90475

## 2. Determinación de la velocidad.

Distancia (m)	Tiempo (seg)
5	7,75
5	8,41
5	8,75
5	9,07
5	8,58
<b>Tpromedio (s)</b>	8,512
<b>Velocidad (m/s)</b>	0,587406015
<b>Caudal (m3/s)</b>	0,531455592

## AFORO: LAS FERIAS

**Punto:** Las Férias.  
**Fecha:** 04 de dic.  
**Hora:** 10:00:00 p.m.

## 1. Determinación del área.

## Sección 1

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,05	0,025	0,1	0,0025
0,12	0,085	0,5	0,0425
0,3	0,21	0,5	0,105
0,35	0,325	0,5	0,1625
0,31	0,33	0,5	0,165
0,27	0,29	0,5	0,145
0,18	0,225	0,5	0,1125
0,11	0,145	0,5	0,0725
0,12	0,115	0,2	0,023

**Area 1 (m2)** 0,8305

## Sección 2

Profundidad	(A+B)/2	Distancia (X)	$((A+B)/2)*X$
0			
0,22	0,11	0,5	0,055
0,41	0,315	0,5	0,1575
0,29	0,35	0,5	0,175
0,3	0,295	0,5	0,1475
0,25	0,275	0,5	0,1375
0,18	0,215	0,5	0,1075
0,05	0,115	0,5	0,0575

**Area 2 (m2)** 0,8375

$AT = (A1 + A2)/2$  (m2) 0,834

## 2. Determinación de la velocidad.

Distancia (m)	Tiempo (seg)
5	10,7
5	9,03
5	9,7
5	10,4
5	9,8

**Tpromedio (s)** 9,926  
**Velocidad (m/s)** 0,503727584

**Caudal (m3/s)** 0,420108805

El caudal señalado por el recuadro azul pertenece al caudal en m3/s con la condición más crítica, el cual es utilizado para el desarrollo del estudio.

AFORO: LAS FERIAS									
<b>Punto:</b>	Las Ferias.								
<b>Fecha:</b>	04 de dic.								
<b>Hora:</b>	11:00:00 p. m.								
<b>1. Determinación del area.</b>					<b>2. Determinación de la velocidad.</b>				
<b>Sección 1</b>				<b>Sección 2</b>				<b>Distancia (m)</b>	<b>Tiempo (seg)</b>
<b>Profundidad</b>	(A+B)/2	Distancia (X)	((A+B)/2)*X	<b>Profundidad</b>	(A+B)/2	Distancia (X)	((A+B)/2)*X		
0				0				5	6,68
0,05	0,025	0,1	0,0025	0,29	0,145	0,5	0,0725	5	6,4
0,2	0,125	0,5	0,0625	0,41	0,35	0,5	0,175	5	7,8
0,31	0,255	0,5	0,1275	0,27	0,34	0,5	0,17	5	11,2
0,35	0,33	0,5	0,165	0,3	0,285	0,5	0,1425	5	8,29
0,23	0,29	0,5	0,145	0,24	0,27	0,5	0,135		
0,26	0,245	0,5	0,1225	0,16	0,2	0,5	0,1	<b>Tpromedio (s)</b>	8,074
0,17	0,215	0,5	0,1075	0,06	0,11	0,5	0,055	<b>Velocidad (m/s)</b>	0,619271736
0,11	0,14	0,5	0,07					<b>Caudal (m3/s)</b>	0,518794897
0,12	0,115	0,2	0,023					<b>Q prom C1 (m3/s)</b>	0,511654107
								<b>Ph</b>	7,45
								<b>Temperatura °C</b>	23,2
								<b>O.D (mg/l)</b>	1,4
								<b>Conductividad</b>	278
	<b>Area 1 (m2)</b>	0,8255		<b>Area 2 (m2)</b>	0,8500				
			<b>AT= (A1 + A2)/2 (m2)</b>		0,83775				