

**APLICACIÓN DEL MODELO DE STREETER Y PHELPS PARA EL ESTUDIO DE
LA AUTODEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE UNA PISCIFACTORÍA
DE TRUCHAS EN UN TRAMO DEL RÍO LAS PIEDRAS (POPAYÁN – CAUCA –
COLOMBIA)**

DAVID ALEJANDRO MERA BENAVIDES



UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Popayán – Cauca – Colombia
2014

**APLICACIÓN DEL MODELO DE STREETER Y PHELPS PARA EL ESTUDIO DE
LA AUTODEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE UNA PISCIFACTORÍA
DE TRUCHAS EN UN TRAMO DEL RÍO LAS PIEDRAS (POPAYÁN – CAUCA –
COLOMBIA)**

DAVID ALEJANDRO MERA BENAVIDES

Informe final de trabajo de grado en modalidad de tesis de investigación
presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director
Apolinar Figueroa Casas Ph. D

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
Popayán – Cauca – Colombia
2014

CONTENIDO

| | Página |
|--|--------|
| RESUMEN DEL DOCUMENTO..... | 9 |
| CAPITULO 1: GENERALIDADES..... | 10 |
| INTRODUCCIÓN | 10 |
| JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN | 12 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 14 |
| OBJETIVOS..... | 16 |
| Objetivo general | 16 |
| Objetivos específicos..... | 16 |
| CAPITULO 2: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 17 |
| 2.1 GENERALIDADES DE LA CUENCA DEL RIO LAS PIEDRAS | 17 |
| 2.1.1 Delimitación, ubicación geográfica y clima. | 17 |
| 2.1.2 División en corregimientos y veredas..... | 17 |
| 2.1.3 Puntos específicos de estudio..... | 19 |
| 2.2 IMPORTANCIAS DE LOS RÍOS..... | 20 |
| 2.2.1 Características abióticas | 20 |
| 2.2.2 Características bióticas | 22 |
| 2.3 CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES DE PISCIFACTORÍAS Y SUS EFECTOS EN EL AMBIENTE..... | 23 |
| 2.3.1 Alteraciones físicas | 23 |
| 2.3.2 Alteraciones químicas | 24 |
| 2.3.3 Alteraciones biológicas..... | 25 |
| 2.4 CONCEPTO DE AUTODEPURACIÓN..... | 27 |
| 2.4.1 Zonas de autodepuración..... | 29 |
| 2.5 MÉTODOS DE ESTUDIO DE LA AUTODEPURACIÓN..... | 30 |
| 2.5.1 Modelo de Streeter y Phelps. | 31 |
| 2.5.2 Modelo WASP. | 31 |
| 2.5.3 Modelo QUAL2K. | 32 |

| | |
|--|----|
| 2.6 LIMITACIONES DE APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE AUTODEPURACIÓN EN COLOMBIA..... | 33 |
| 2.7 MARCO LEGAL DE COLOMBIA..... | 34 |
| CAPITULO 3: METODOLOGÍA | 36 |
| 3.1 METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE AUTODEPURACIÓN UTILIZANDO EL MODELO DE STREETER Y PHELPS Y DIFERENTES VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS..... | 36 |
| 3.2 GEOREFERENCIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA RED DE DRENAJE..... | 37 |
| 3.3 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y CONFORMACIÓN DE LA LÍNEA BASE | 38 |
| 3.3.1 Información Hidráulica del río Las Piedras. | 38 |
| 3.3.2 Información Física, Química y Biológica del río Las Piedras. | 38 |
| 3.3.3 Información y línea base del Índice BMWP para el río Las Piedras. | 39 |
| 3.3.4 Información sobre el vertimiento de la Piscifactoría de Truchas (Piscifactoría El Diviso)..... | 41 |
| 3.3.5 Información Climatológica sobre la cuenca del río las Piedras..... | 42 |
| 3.4 CLASIFICACIÓN DE LOS MESES POR ÉPOCAS SECAS, HÚMEDAS Y/O NORMALES INFLUENCIADAS POR VARIABLES CLIMATOLÓGICAS Y FENÓMENOS MACROCLIMÁTICOS. | 42 |
| 3.5 REALIZACIÓN DE BALANCES DE MASA..... | 42 |
| 3.6 ANÁLISIS ESPACIO – TEMPORAL DE LAS VARIABLES DETERMINADAS | 43 |
| 3.7 CALIBRACIÓN DEL MODELO DE STREETER Y PHELPS | 43 |
| 3.7.1 Reacciones | 44 |
| 3.7.2 Obtención de la ecuación de Streeter y Phelps | 45 |
| 3.7.3 Determinación de las constantes de desoxigenación y reaireación ... | 47 |
| 3.7.4 Ecuaciones para balances de masa, velocidad media y concentración de saturación de OD | 49 |
| 3.8 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO DE STREETER Y PHELPS CON LOS RESULTADOS TOMADOS EN CAMPO..... | 51 |
| 3.9 SIMULACIÓN A CARGA MÁXIMA DEL MODELO DE STREETER Y PHELPS | 51 |

| | | |
|--|---|-----|
| 3.10 | CORRELACIONES Y ANÁLISIS MULTIVARIADOS..... | 52 |
| CAPITULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS | | 53 |
| 4.1 | Georeferenciación y análisis de la red de drenaje..... | 53 |
| 4.2 | Información del vertimiento de la Piscifactoría de Truchas (Piscifactoría El Diviso)..... | 53 |
| 4.3 | Índice BMWP/Col..... | 54 |
| 4.4 | Clasificación de los meses por épocas secas, húmedas y/o normales influenciadas por variables climatológicas y fenómenos macroclimáticos..... | 56 |
| 4.5 | Análisis espacio – temporal de las variables determinadas..... | 59 |
| 4.6 | Calibración del modelo de Streeter y Phelps..... | 67 |
| 4.7 | Comparación de los resultados del modelo de Streeter y Phelps con los resultados tomados en campo..... | 75 |
| 4.8 | Análisis de la calibración del modelo de Streeter y Phelps..... | 79 |
| 4.9 | Simulación a carga máxima del modelo de Streeter y Phelps..... | 82 |
| 4.10 | Correlaciones y análisis multivariados..... | 85 |
| 4.10.1 | Análisis Cluster..... | 85 |
| 4.10.2 | Análisis de Correlación por Rangos de Spearman | 87 |
| 4.10.3 | Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) | 88 |
| 4.10.4 | Análisis de Componentes Principales (ACP)..... | 92 |
| CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | | 96 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | | 100 |
| ANEXOS..... | | 105 |

LISTA DE TABLAS

| | Página. |
|--|---------|
| Tabla 2.1 División en corregimientos y veredas..... | 18 |
| Tabla 2.2 Abreviaturas para las estaciones de muestreo | 19 - 20 |
| Tabla 3.1 Equipos y técnicas utilizados y aplicados para la determinación de las variables..... | 38 - 39 |
| Tabla 3.2 Métodos para la determinación de las constante K_1 | 47 - 48 |
| Tabla 3.3 Métodos para la determinación de las constante K_2 | 48 - 49 |
| Tabla 4.1 Variables monitoreadas del vertimiento en Operación Normal de la Piscifactoría de las Truchas (Piscifactoría El Diviso)..... | 53 |
| Tabla 4.2 Variables monitoreadas del vertimiento en Mantenimiento de la Piscifactoría de las Truchas (Piscifactoría El Diviso)..... | 53 |
| Tabla 4.3 Resultados de la aplicación del Índice BMWP/Col en el estudio..... | 54 - 55 |
| Tabla 4.4 Resultados de la Prueba de Kruskall – Wallis para OD..... | 66 |
| Tabla 4.5 Resultados de la Prueba de Kruskall – Wallis para DBO_5 | 67 |
| Tabla 4.6 Resultados del cálculo tipo del modelo de Streeter y Phelps para el mes de septiembre de 2013..... | 69 - 72 |
| Tabla 4.7 Correlación por Rangos de Spearman entre Índice BMWP/Col y las variables físicas y químicas..... | 87 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página. |
|--|---------|
| Figura 2.1 Cuenca del río Las Piedras y delimitaciones. | 18 |
| Figura 2.2 Cuenca del río Las Piedras..... | 19 |
| Figura 2.3 Tramos característicos en el desarrollo de un río..... | 21 |
| Figura 2.4 Caracterización de tramos desde el punto de vista geomorfológico..... | 21 |
| Figura 2.5 Efectos del vertido de agua residual en un río..... | 29 |
| Figura 3.1 Curva de la ecuación de Streeter y Phelps..... | 46 |
| Figura 4.1 Mapa de las estaciones de estudio del río Las Piedras..... | 53 |
| Figura 4.2 Grafica comparativa de caudales y precipitaciones presentadas en el estudio..... | 57 |
| Figura 4.3 Grafica comparativa de precipitaciones y temperatura ambiente Presentadas en el estudio..... | 58 |
| Figura 4.4 Comportamiento espacio – temporal del OD durante el estudio..... | 60 |
| Figura 4.5 Comportamiento espacio – temporal de la DBO ₅ durante el estudio..... | 60 |
| Figura 4.6 Comportamiento espacio – temporal de la CE durante el estudio..... | 61 |
| Figura 4.7 Comportamiento espacio – temporal de PO ₄ ³⁻ durante el estudio..... | 61 |
| Figura 4.8 Comportamiento espacio – temporal de NO ₂ ⁻ durante el estudio..... | 62 |
| Figura 4.9 Comportamiento espacio – temporal de NO ₃ ⁻ durante el estudio..... | 62 |
| Figura 4.10 Comportamiento espacio – temporal de NH ₄ ⁺ durante el estudio..... | 63 |
| Figura 4.11 Red de drenaje a modelar | 68 |
| Figura 4.12 Comportamiento del OD modelado por meses..... | 74 |
| Figura 4.13 Comportamiento de la DBO modelada por meses..... | 74 |

| | |
|--|---------|
| Figura 4.14 Comportamiento del OD modelado por subtramos..... | 75 |
| Figura 4.15 Comparativo del OD modelado con el OD tomado en campo durante el estudio..... | 76 - 79 |
| Figura 4.16 Comportamiento del OD modelado a carga máxima por meses..... | 84 |
| Figura 4.17 Comportamiento del OD modelado a carga máxima por meses..... | 84 |
| Figura 4.18 Análisis Cluster..... | 86 |
| Figura 4.19 ACC para el primer grupo de variables físicas y químicas mostrando la distribución de las mismas y de las estaciones de muestreo..... | 89 |
| Figura 4.20 ACC para el segundo grupo de variables físicas y químicas mostrando la distribución de las mismas y de las estaciones de muestreo..... | 90 |
| Figura 4.21 ACC para el primer grupo de variables biológicas mostrando la distribución las mismas y de las estaciones de muestreo..... | 91 |
| Figura 4.22 ACC para el segundo grupo de variables biológicas mostrando la distribución de las mismas y de las estaciones de muestreo..... | 92 |
| Figura 4.23 ACP para las variables seleccionadas mostrando la distribución de las mismas y de las estaciones de muestreo en cada uno de los meses..... | 94 - 95 |

RESUMEN DEL DOCUMENTO

El contenido del documento se divide en cinco capítulos, el primer capítulo corresponde a la introducción, en el cuál se identifica el tema a desarrollar, se realiza la formulación del problema, la justificación de la realización del proyecto y se plantean los objetivos a alcanzar en el proceso investigativo. El segundo capítulo corresponde a la revisión bibliográfica en el cuál se realiza una descripción de la zona de estudio, se introduce el concepto de autodepuración, la definición de las metodologías existentes con sus respectivas limitaciones de aplicación en Colombia y se plasman algunas normas legislativas que tienen relación con el tema desarrollado. El capítulo tres corresponde a la metodología propuesta, en este capítulo se realiza la descripción paso a paso de la metodología sobre la aplicación del modelo de Streeter y Phelps, del Índice BMWP/Col y la determinación de las variables hidráulicas, físicas, químicas y biológicas, todo lo anterior fue aplicado en este trabajo investigativo, con sus respectivos procedimientos de cálculo y ajustes realizados para su aplicación en la cuenca del río Las Piedras. El capítulo cuatro corresponde a los resultados y análisis, en este capítulo se muestran los resultados obtenidos a través del desarrollo del trabajo investigativo, así como su respectiva interpretación. Finalizando, el capítulo cinco corresponde a las conclusiones y recomendaciones, en este capítulo se presentan las conclusiones acerca de la interpretación de los resultados realizada en el capítulo anterior y las respectivas recomendaciones para la aplicación de la metodología en cuencas hidrográficas y futuros desarrollos de proyectos investigativos relacionados con el tema de estudio.

CAPITULO 1: GENERALIDADES

INTRODUCCIÓN

El agua, es el recurso natural más abundante y demandado por diversas actividades en la Tierra, alrededor de este recurso se genera gran interés en establecer soluciones y/o mitigaciones para su sustentabilidad, debido a que las cifras actuales reportan que solo el 0.4% del total del agua global está disponible para los seres humanos y que más de 2 mil millones de personas se ven afectadas por escasez de agua en más de 40 países (Cap-Net, Partnership et al., 2005, OMS, 2013), adicionalmente en la actualidad los cambios climáticos llevan a la intensificación del ciclo hidrológico y posteriormente tienen graves efectos en la frecuencia e intensidad de acontecimientos extremos, (Cap-Net, PNUD et al., 2009) más aún si van acompañados con la constante contaminación hídrica, que actualmente alcanza niveles críticos en todo el mundo ya que está relacionada con la pérdida de biodiversidad de la flora y fauna, proliferación de enfermedades, requerimiento de tratamiento complejo para consumo humano, pérdida económica en su utilización, entre otros aspectos, además, generando así cambios naturales en sus composiciones físicas, químicas y biológicas, como la disminución de la concentración de oxígeno disuelto (OD), el aumento de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO), fluctuaciones en los niveles del potencial de hidrogeno (pH), la eutrofización, el crecimiento de la flora bacteriana, entre otros efectos.

Colombia es uno de los países líderes en riqueza del recurso hídrico, se está poco a poco deteriorando debido al acelerado consumo de este recurso natural de diversas maneras, tales como la agricultura, la ganadería, la minería, la explotación petrolera, la piscicultura, etc y específicamente una de las zonas donde se encuentra la estrella fluvial del Macizo Colombiano, el departamento del Cauca, esta región que tiene el privilegio de ser en cuanto a diversidad biológica y cultural, un símbolo de Colombia, pues aquí se encuentran contenidos la mayoría de pisos bioclimáticos y ecosistemas del país. Según estudios hechos para la elaboración del documento socioambiental del departamento del Cauca (CRC (Corporación Autónoma Regional del Cauca), 2009), necesita una adecuada Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH), que permitan un desarrollo social y económico sin llegar al agotamiento de la base natural.

El río Las Piedras, como uno de los ríos más cercanos a la capital del departamento del Cauca, Popayán, es de vital importancia en la utilización de su agua para el abastecimiento de agua potable a diferentes poblaciones, incluida Popayán y para actividades agrícolas, acuícolas y ganaderas.

Debido a que el río Las Piedras recibe de manera constante ininterrumpida un vertimiento de aguas residuales de una Piscifactoría de Truchas (Piscifactoría El Diviso), las consecuencias de dicho vertimiento pueden estar causando un impacto significativo a los factores bióticos y abióticos de la cuenca y alteraciones no normales en la naturaleza del recurso hídrico. Debido a lo expresado anteriormente, esta investigación plantea la determinación de la capacidad de autodepuración del río Las Piedras, el cual busca generar datos e información importante para que los tomadores de decisiones (entidades ambientales reguladoras, empresarios de las diferentes actividades, etc.), que garanticen la integridad ambiental debido a la posible contaminación de la cuenca hidrográfica en consonancia con el agua necesaria libre de contaminación para la subsistencia de los factores ecológicos y la demanda requerida para las diferentes actividades de desarrollo económico, especialmente como fuente de agua potable para la capital del departamento, además de diferentes poblaciones.

La autodepuración como el proceso de recuperación de un curso de agua después de un episodio de contaminación orgánica, donde los compuestos orgánicos son diluidos y transformados progresivamente por la descomposición bioquímica, aumentando su estabilidad (Tian, Wang et al., 2011); esta capacidad natural de los ríos ha sido evaluada en muchos ríos del mundo y estudiando diferentes sustancias líquidas contaminantes que van desde aguas residuales domésticas hasta metales cancerígenos de origen industrial. A través de un modelo matemático propuesto por Harold Streeter y Earle Phelps se estudia dicha capacidad y en el departamento del Cauca solo se tiene conocimiento (Mas no se han encontrado publicaciones de dichos estudios) que la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) efectuó en el año 2006 la modelación de cuerpos receptores de vertimientos líquidos en tramos urbanos de diferentes municipios del departamento del Cauca, con el fin de definir objetivos de calidad del agua en corrientes receptoras, además de otros trabajos relacionados con modelación han sido efectuados en la región, pero hasta el momento no se ha registrado ningún estudio de modelación al río Las Piedras lo cual hace que este estudio podría convertirse en pionero investigativo por su aplicación a dicho río.

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En Colombia la GIRH juega un papel importante, debido a las posiciones privilegiadas en biodiversidad y ecología que presenta el país en la actualidad ante el mundo, los estudios de la GIRH realizados recientemente por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) indican que en términos de contaminación, la materia orgánica generada por las actividades industriales en el 2008 fue de 639.765 Ton (1752 Ton/día), lo que equivale a 17,5 millones de habitantes, siendo las actividades de fabricación de papel, cartón y subproductos derivados, elaboración de productos alimenticios, bebidas y fabricación de sustancias y productos químicos las que mayor carga generaron. Lo anterior permite establecer que las cargas contaminantes generadas por los sectores industriales son un importante factor de deterioro de la calidad del recurso hídrico urbano; pero cabe destacar que de los 75,95 m³/s de aguas residuales municipales que se produjeron en el país en el año 2010, se trataron 18,93 m³/s, llegando aproximadamente al 25% del caudal total nacional (Mora, 2010).

La cuenca del río Las Piedras se encuentra ubicada en el municipio de Popayán y Totoró, al nororiente de la ciudad de la ciudad de Popayán, este río es importante dentro de las actividades económicas representativas de la región, donde se pueden encontrar la agricultura de subsistencia, la ganadería extensiva, la piscicultura y el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Popayán. Actualmente el río abastece a la Planta de Tratamiento de Agua Potable “El Tablazo” de la ciudad de Popayán en su 90% (Piedras, 2013), además en la zona alta, generalmente considerada la zona de producción hídrica de la cuenca, se encuentran principalmente algunas tomas rudimentarias para el abastecimiento de predios con pequeñas extensiones que oscilan entre 1 y 7 plazas y cuyas aguas se utilizan para consumo doméstico y riego artesanal de pequeñas huertas y cultivos. Contrariamente, en la zona baja, se realizan grandes derivaciones por medio de estructuras mucho más elaboradas como son la bocatoma para la Piscifactoría El Diviso, la Hidroeléctrica Florida II y de 9 acueductos interveredales (Castaño, 2006).

Es necesario actualmente la regulación de la contaminación de cualquier río, más aun cuando es una fuente de agua para potabilización, en Colombia muchos de sus ríos son contaminados de diversas maneras, como son los vertidos de aguas residuales, por tanto la autodepuración como la capacidad natural de eliminar sustancias contaminantes en los ríos, es importante en la determinación de la magnitud del daño causado por esta acción y de la capacidad de recuperación

aguas abajo de dichos vertimientos; si la capacidad de autodepuración de un río es superada por la contaminación, este sistema acuático se convertirá ecológicamente inviable para la vida biótica y abiótica de los demás sistemas biológicos que se abastecen de esta fuente hídrica (Bere, 2005).

Debido a la importancia de la cuenca del río Las Piedras, que tiene para la ciudad de Popayán y a las veredas aledañas en el municipio, como una de las fuentes abastecedoras de agua potable y al posible impacto que está generando en uno de sus tramos el vertimiento de las aguas residuales tratadas de una Piscifactoría de Truchas al río con cargas contaminantes calculadas en estudios anteriores de aproximadamente 212 Kg/Día de DBO, 487 Kg/Día de DQO, 247 Kg/Día de sólidos suspendidos totales (SST) y 56,00 UFC/100mL de coliformes y un caudal del efluente de aproximadamente 418 L/s (Cruz y Salazar, 2007), nace la necesidad de realizar un estudio de autodepuración del río Las Piedras en dicho tramo, con el fin de evaluar su capacidad de autodepuración de contaminantes y su correlación con sus cambios en sus propiedades físicas, químicas y biológicas en el tramo de estudio, como una acción de control dentro de la GIRH para su posterior uso de potabilización, equilibrio ecológico, agricultura, entre otros usos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Solo el 2.53% del agua total de toda la Tierra es agua dulce y hoy en día son arrojados a los cuerpos de aguas receptoras de todo el mundo más de 2 millones de toneladas de todo tipo de desecho a diario, esto debido al avance del desarrollo social y económico mundial; la explotación de los recursos hídricos se magnifica cada día más y se evidencia la falta de atención dirigida a la protección de los mismos, lo que está generando la contaminación constante de cuerpos de aguas superficiales (Candela, 2007).

Una de las actividades que abarca una explotación masiva de los recursos hídricos es la pesca de captura y la piscicultura, las cuales suministraron al mundo unos 148 millones de toneladas de pescado en 2010, de ellos, aproximadamente 128 millones de toneladas se destinaron al consumo humano y, según datos preliminares para 2011, la producción se incrementó hasta alcanzar los 154 millones de toneladas, de los que 131 millones se destinaron a alimentos. Por otra parte Colombia en el año 2010 aportó el suministro de pescado de 80367 toneladas, convirtiéndose así en el octavo país con mayor producción de pesca en el continente americano (FAO, 2012). Por otro lado la producción de trucha arco iris (*Onchorhynchus mykiss*) en Colombia alcanzó un porcentaje del 2.86% de la producción total del país en relación a las diferentes especies, con un peso de 5000 toneladas (FAO y INCODER 2011) mostrándose así que las producciones de pesca a nivel mundial y de Colombia alcanzan niveles considerablemente altos, por tanto los impactos ambientales debidos a la generación de aguas residuales de las pisciculturas deben ser tenidos en consideración.

En el departamento del Cauca se han calculado que de las 108 fincas de cultivo de peces, 93 pertenecen al cultivo de truchas y las densidades de siembra son altas (más de 10 peces por m²), lo que se correlaciona con la superficie del espejo de agua de las mismas fincas que existen en el Cauca, llegando a un área de 26200 m² aproximadamente (FAO y INCODER, 2011), lo anterior permite estimar los impactos significativos al ambiente que se está generando dentro de la región.

En base a lo anterior la piscicultura en la actualidad se impone como una actividad generadora de una carga importante de efluentes contaminantes a los cuerpos de aguas naturales (Buschmann, 2001), lo cual está incrementando la concentración de materia orgánica en las aguas de cultivo como en las fuentes receptoras de las mismas, estimulando así la producción bacteriana, cambiando la composición química, la estructura y funciones de los sedimentos, disminuyendo la

concentración de OD, incrementando los niveles de concentración de nutrientes (Amoniacó (NH_3), Amonio (NH_4^+), Nitritos (NO_2^-), Nitratos (NO_3^-), Fosfatos (PO_4^{3-})) (Henderson, Forrest et al., 1997, Mook, Chakrabarti et al., 2011), entre otros. Con respecto a los nutrientes, los desechos tanto orgánicos como inorgánicos de las piscifactorías, pueden causar un enriquecimiento en los mismos e incluso eutrofización en el caso de que las zonas destinadas al cultivo sean semiconfinadas. En términos de concentraciones los SST, Nitrógeno total (NT) y Fosforó total (FT) son comúnmente bajos en los efluentes piscícolas con valores aproximadamente de 14, 1,4 y 0,13 mg/L respectivamente (Cripps y Bergheim, 2000), pero debido a los grandes volúmenes de agua, dichas concentraciones se convierten en cargas contaminantes significantes. En porcentajes cerca del 85% del fósforo, un 80-88% del Carbono (C) y un 52-95% del Nitrógeno (N) introducido en las jaulas o estanques de cultivos de los peces, pueden pasar al cuerpo de agua a través de los desechos de la comida, las excreciones de los peces, la producción de heces y la respiración (Krohnert, 2006), generando así la alteración de los ciclos vitales de fitoplancton, zooplancton y de peces, por otro lado este incremento está provocando que organismos macroinvertebrados pueden estar desapareciendo en zonas de alto impacto (Beveridge y Muir, 1999).

Cuando la masa de agua receptora está contaminada, el río puede purificarse por alguna acción física, química y biológica (Tian, Wang et al., 2011), esta capacidad se llama autodepuración, la cual es un proceso controlado por el oxígeno, de tal forma que la capacidad autodepuradora de un río se mide por la concentración de OD (Rodríguez, 1983), por las altas cargas de sustancias demandantes de oxígeno que se producen con el vertido de aguas residuales (con o sin tratamiento) y afectan de forma significativa a la concentración de OD aguas abajo del punto de vertido y por su importancia para la vida acuática. Concentraciones bajas de OD, ocasionadas por vertidos de aguas residuales van asociadas a episodios de mortandad de peces, emisión de olores desagradables (por la presencia de sustancias varias en formas reducidas), y otros efectos negativos de carácter estético, además del OD hoy en día se utilizan otros parámetros para la determinación de la calidad del agua contaminada como son los nutrientes, pH microorganismos, etc (Rueda, 2005), por tanto la autodepuración está ligada a los cambios en el transcurso del proceso a cada uno de estos parámetros.

En relación a lo anterior, se evidencia la importancia de realizar una evaluación de la autodepuración de los ríos después de ser vertido un efluente contaminante, específicamente vertimientos aportados por parte de actividades acuícolas, así mismo es importante conocer los procesos y cambios en las propiedades naturales de los ríos en base a su propio proceso de descontaminación.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el proceso de autodepuración de contaminantes generados por el vertimiento de aguas residuales de una Piscifactoría de Truchas en un tramo del río Las Piedras mediante la utilización del modelo de Streeter y Phelps.

Objetivos específicos

- Conformar una línea base de información de variables hidráulicas, físicas, químicas y biológicas de un tramo del río Las Piedras.
- Estimar la concentración de materia orgánica y de nutrientes del vertimiento de aguas residuales por parte de una Piscifactoría de Truchas al río Las Piedras.
- Modelar la calidad del agua en el tramo de estudio del río Las Piedras mediante las ecuaciones del modelo de Streeter y Phelps.
- Correlacionar las variables físicas, químicas y biológicas en el tramo de estudio del río Las Piedras.

CAPITULO 2: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 GENERALIDADES DE LA CUENCA DEL RIO LAS PIEDRAS

2.1.1 Delimitación, ubicación geográfica y clima. La cuenca del río Las Piedras está ubicada en los municipios de Popayán y Totoró, al nororiente de la ciudad, sobre el flanco occidental de la cordillera Central. Se encuentra a 76° 31' 10" al Oeste de Greenwich y 2° 21' 45" de Latitud Norte, en el nacimiento del río y a 76° 23' 45" Longitud Oeste y 2° 25' 40" de Latitud Norte en la desembocadura del río Cauca.

Limita al norte con la divisoria de aguas de la cuenca del río Palacé, al sur con la divisoria de aguas del río Vinagre, al este con los cerros de Puzná y Cargachiquillo, al oeste con el río Cauca. Hace parte de la cuenca del río Cauca en el departamento del Cauca. Su extensión es de 6,626 hectáreas.

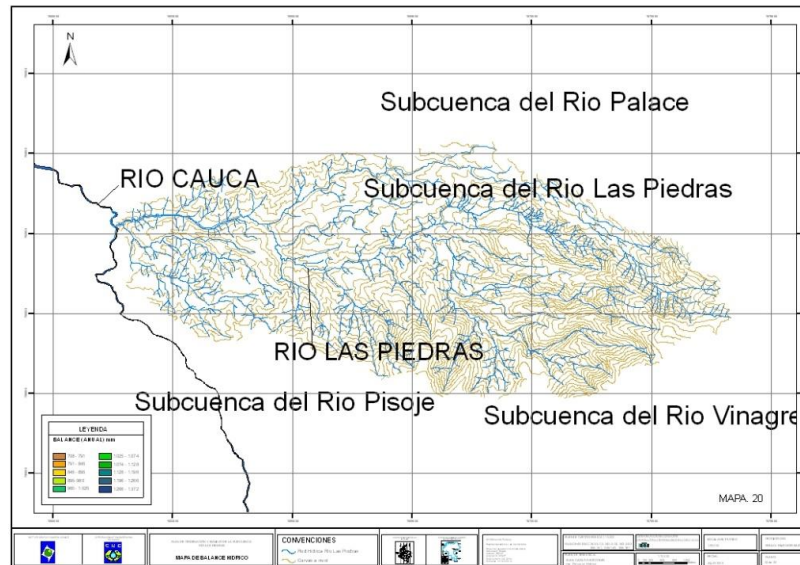
La cuenca del río Las Piedras pertenece a la Cuenca del río Cauca, por lo cual se le puede categorizar como subcuenca río Las Piedras y que está conformada por su red de drenaje por dos subcuencas Aguas Claras y Peñas Blancas la cual según la jerarquía de código pasa a denominarse río Las Piedras; a la corriente principal llegan 14 microcuencas de orden 3, quebradas Agua Colorada, Carnicería, El Vado, Pichagua, El Cedro, las Juntas, La Costa, La Chorrera, Arrayanales, El Arado, El Limonar, y Santa Teresa y 4 cuencas de cuarto orden: Robles, La Josefina, San Pedro, y Caño el Muerto.

De acuerdo a la clasificación climática de la cuenca se cuenta con "Clima Medio y Húmedo": Se presenta este clima, en la franja altitudinal entre los 2000 msnm, en una pequeña proporción de la parte baja de la cuenca, en las veredas Las Huacas y San Isidro, con temperaturas promedio similares de 19.3°C (Piedras 2013).

2.1.2 División en corregimientos y veredas. La cuenca comprende dos corregimientos: Quintana, identificado como el corregimiento 23 en el Municipio de Popayán, al que pertenecen las veredas Quintana, San Ignacio, La Laguna, Parcelación El Canelo, Laureles, parte baja de San Juan; y Las Piedras, corregimiento 22 al que pertenecen las veredas las Huacas y San Isidro.

La vereda Santa Teresa y la parte alta de San Juan pertenecen al municipio de Totoró.

Figura 2.2 Cuenca del río Las Piedras



Fuente: (CRC (Corporación Autónoma Regional del Cauca), 2009)

2.1.3 Puntos específicos de estudio. Son diez los puntos específicos de estudio en la cuenca del río Las Piedras, los cuales se establecieron en el tramo Puente Alto – Puente Carretera, en el Anexo 1 se presentan fotografías de las estaciones de estudio y los nombres de cada una de las estaciones de muestreo, en la Tabla 1.2 se establecen las abreviaturas o siglas de los nombres de las estaciones para un mejor entendimiento en las posteriores graficas de resultados.

Tabla 2.2 Abreviaturas para las estaciones de muestreo

| SITIO | NOMBRE DE LA ESTACION | COORDENADAS |
|-------|---------------------------------------|----------------------------------|
| E1 | Puente Alto | N 2° 28' 02.6" – W 76° 27' 06.3" |
| E2 | Bocatoma El Diviso | N 2° 26' 36.7" – W 76° 28' 50.7" |
| E3 | Aguas Arriba del Vertimiento | N 2° 26' 18.3" – W 76° 28' 48.1" |
| E4 | Sitio de Mezcla | N 2° 26' 18.8" – W 76° 28' 49.4" |
| E5 | 20 Metros Aguas Abajo del Vertimiento | N 2° 26' 18.9" – W 76° 28' 50.2" |
| E6 | 40 Metros Aguas Abajo del Vertimiento | N 2° 26' 19.0" – W 76° 28' 50.4" |

| | | |
|-----|--|----------------------------------|
| E7 | 60 Metros Aguas Abajo del Vertimiento | N 2° 26' 19.1" – W 76° 28' 50.5" |
| E8 | 80 Metros Aguas Abajo del Vertimiento | N 2° 26' 19.1" – W 76° 28' 50.9" |
| E9 | 100 Metros Aguas Abajo del Vertimiento | N 2° 26' 19.3" – W 76° 28' 51.0" |
| E10 | Puente Carretera | N 2° 27' 02.1" – W 76° 31' 02.1" |

Fuente: (Elaboración Propia)

2.2 IMPORTANCIAS DE LOS RÍOS

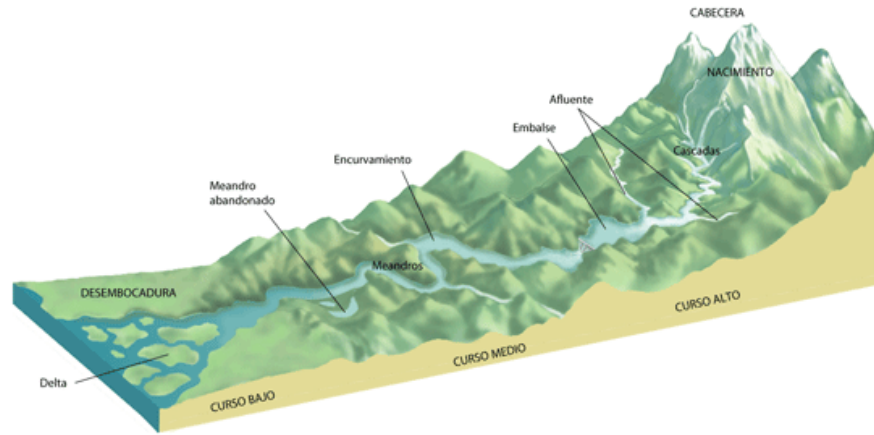
Los ríos transportan agua y sedimento desde las áreas de captación hasta el mar. El curso y la forma del fondo del río resultan de una interacción entre el agua y el sedimento. Las comunidades del río se adaptan a las condiciones locales medias y a sus variaciones estacionales, constituyendo sistemas abiertos más física que biológicamente controlados.

2.2.1 Características abióticas

En la dirección longitudinal del río se distinguen (Figura 2.3):

- **El curso alto (cabecera):** Está caracterizado por erosión e incisiones verticales. El material de fondo consiste de rocas y piedras. Se trata de pequeñas corrientes de agua con altas velocidades de flujo.
- **El curso medio:** Puede presentar brazos entrelazados y tramos meandrosos o sinuosos. La aparición de entrelazamiento o meandros depende de la pendiente del río, el material de fondo y el flujo a sección llena. Generalmente, los brazos entrelazados tienen fondos de grava, mientras que los canales meandrosos presentan fondos de arena.
- **El curso bajo:** Puede formarse un delta por sedimentación de limos. Cerca de la boca del río el flujo está alterado por las mareas provenientes del mar.

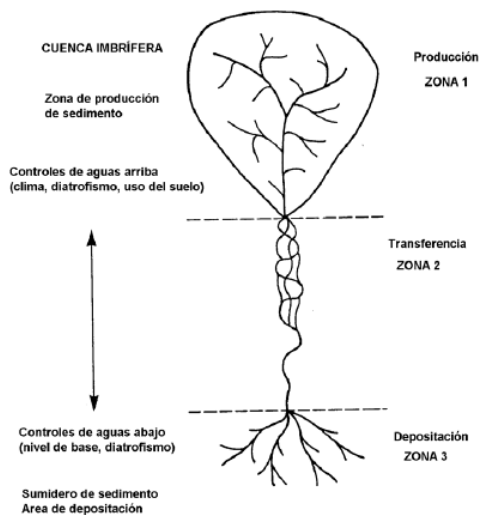
Figura 2.3. Tramos característicos en el desarrollo de un río.



Fuente: (Menéndez, 2010)

Desde el punto de vista geomorfológico (Figura 2.4), el curso alto es la cuenca imbrífera, donde se producen mayormente los sedimentos aportados al sistema fluvial, el curso medio es la zona de transferencia, donde la entrada y salida de sedimentos son similares y el curso bajo es el sumidero, es decir, el área de depositación de los sedimentos.

Figura 2.4. Caracterización de tramos desde el punto de vista geomorfológico.



Fuente: (Menéndez, 2010)

En el tramo de estudio del río Las Piedras hay que destacar que la mayoría de las estaciones de muestreo se encuentran en la parte media, donde se realiza la transferencia de sedimentos, importante característica a tener en cuenta por la presencia además del vertimiento de la Piscifactoría de Truchas (Piscifactoría El Diviso).

2.2.2 Características bióticas

Los factores abióticos determinan, en gran medida, los componentes bióticos del ecosistema:

- En el curso alto del río la vegetación ribereña afecta fuertemente a las comunidades biológicas del curso de agua. Los ríos, pequeños y de pendiente abrupta, están ensombrecidos por los bosques ribereños. En consecuencia, el aporte de energía solar es limitado, por lo que la producción de biomasa es baja, mientras que el aporte de biomasa desde los bosques, como detritos, es alta. La comunidad biótica está dominada, entonces, por detritívoros y colectores. Los herbívoros raspadores, que utilizan primariamente la producción de biomasa de las algas, son de menor importancia en el proceso de disipación de energía ecológica (Menéndez, 2010).
- En el curso medio del río se utilizan los aportes de biomasa y energía provenientes de aguas arriba, mientras que el aporte de detritos ribereños disminuye. Debido al creciente aporte de energía solar, la productividad primaria crece y supera, a menudo, la respiración de la comunidad. La comunidad biótica está ahora dominada por herbívoros raspadores y colectores que filtran las partículas de grano fino del agua. Debido al aporte de energía solar, las fluctuaciones diarias y estacionales de la temperatura del agua aumentan, lo cual se refleja en un aumento de la diversidad biológica (Menéndez, 2010).
- En el curso bajo del río hay un alto aporte de materia orgánica de grano fino y sedimentos desde aguas arriba, lo cual causa turbiedad, reduciendo el aporte de energía solar. La comunidad biológica está dominada por herbívoros raspadores. Debido a la disminución de las variaciones de temperatura, se establece una comunidad bien adaptada, con menor diversidad. (Menéndez, 2010).

2.3 CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES DE PISCIFACTORÍAS Y SUS EFECTOS EN EL AMBIENTE

El agua que ha sido retirada, utilizada para algún propósito o uso y retornada, estará contaminada de un modo u otro (Masters y Ela 2008), en el caso de las aguas residuales procedentes de los vertidos de las piscifactorías continentales pueden contener los siguientes tipos de contaminantes: bacterias patógenas, virus y parásitos, producidos especialmente por productos farmacéuticos, desinfectantes, residuos de comida, heces y otros compuestos derivados del metabolismo (amoníaco principalmente). Este último tipo es con diferencia el más importante, sobre todo cuando para la alimentación de los peces se usan alimentos compuestos secos. Como resultado de la contaminación producida por las piscifactorías continentales, una serie de alteraciones fisicoquímicas y biológicas pueden producirse río abajo de sus vertidos, dependiendo de cada contaminante (Camargo, Gonzalo et al., 2011):

2.3.1 Alteraciones físicas

- **Conductividad eléctrica:** la conductividad eléctrica (CE) es una medida de la resistencia que opone el agua al paso de la corriente eléctrica (Marin, 2009), el agua de las fuentes de agua tanto superficiales como subterráneas presentan concentraciones de electrólitos que, en función de sus características, incrementan o disminuyen la conductividad. De hecho, la conductividad es un parámetro de medición indirecto de las concentraciones de sales disueltas en el agua (Chemweno, Cernohlavek et al., 2012).
- **Temperatura:** la temperatura afecta a parámetros o características tales como la solubilidad de gases y sales, la cinética de reacciones químicas y bioquímicas, desplazamiento de los equilibrios químicos, tensión superficial, desarrollo de organismos presentes en el agua, disminución del OD al aumentar la temperatura y la aceleración de los procesos de putrefacción (Marin, 2009).
- **Turbiedad:** la turbiedad es provocada por la materia insoluble, en suspensión o dispersión coloidal. La presencia de partículas causante de la turbidez provoca un fenómeno óptico que consiste esencialmente en una

absorción de luz combinado con un proceso de difusión. Las partículas responsables pueden ser aportadas por arrastre, remoción de tierras o vertidos. (Marin, 2009).

2.3.2 Alteraciones químicas

- **Aniones y cationes:** en el agua pueden encontrarse de forma natural una gran cantidad de iones, los cuales pueden ser positivos o negativos y encontrarse en concentraciones grandes o, en ciertos casos, trazas. Algunos de los aniones son: NO_3^- , Cloruros (Cl^-), Sulfatos (SO_4^{2-}), NO_2^- , PO_4^{3-} , Cianuros (CN^-), Fluoruros (F^-). Los cationes corresponden a: Sodio (Na), NH_4^+ , Calcio (Ca), Magnesio (Mg), metales pesados. Al superar ciertas concentraciones, algunos de estos iones pueden generar problemas, dando lugar a fenómenos de eutrofización, generar procesos anóxicos, hacer tóxico el medio para ciertos organismos, entre otros aspectos (Netto, Sauer et al., 2013).
- **Demanda Biológica de Oxígeno:** La DBO es la cantidad de OD consumido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Esta variable depende fuertemente de la temperatura y débilmente de la presión. Para el control de los procesos de depuración o autodepuración suele adoptarse como índice la DBO a 5 días (DBO_5), cuyo valor se aproxima suficientemente al valor asintótico de la DBO correspondiente al ciclo del C (Menéndez, 2010).
- **Fósforo total:** es un nutriente esencial para el desarrollo de la vida tanto en los cuerpos de agua como en el suelo. El exceso de este da lugar al proceso de eutrofización. Este puede encontrarse en forma de PO_4^{3-} , polifosfatos y Fósforo orgánico (Netto, Sauer et al., 2013).
- **Nitrógeno total:** La presencia de N en exceso en un cuerpo de agua genera un proceso conocido como eutrofización, que disminuye la disponibilidad de OD en el agua, impulsa el crecimiento de algas y da lugar a condiciones de anoxia en las que ciertos microorganismos generan malas condiciones estéticas y organolépticas de las aguas; además, dicho descenso en la cantidad de OD puede generar mortandad de peces y otras especies acuáticas (Netto, Sauer et al., 2013).

- **Oxígeno Disuelto:** La cantidad de OD en el agua puede ser incrementada por captación a través de la superficie de interfase agua – aire o por acción fotosintética debida, principalmente, a las algas verdes. La cantidad de OD puede disminuir por la respiración de los microorganismos, por la elevación de la temperatura, por reacciones químicas y por el metabolismo de microorganismos regidos por la acción enzimática (Menéndez, 2010).
- **Salinidad:** Dependiendo de las características del sistema acuático, la salinidad puede ser una variante relevante, como sucede en los ecosistemas estuarinos, en que los cambios de este parámetro pueden condicionar la evolución de los recursos naturales asociados al agua. La salinidad de los distintos cuerpos de agua es diferente, incluso hay variaciones en una misma zona debido a factores climáticos, topográficos, aportes fluviales, etc (Marin, 2009).
- **Sólidos Disueltos Totales:** Los sólidos disueltos totales (SDT) comprenden las sales inorgánicas (principalmente de Ca, Mg, Potasio (K) y Na, Bicarbonatos (HCO_3^-), Cl^- , SO_4^{2-} y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua, los cuales son difíciles de metabolizar por ciertos microorganismos y además pueden endurecer el agua. (Marin, 2009)
- **Potencial de Hidrogeno:** el potencial de hidrogeno (pH) de un cuerpo de agua, que indica la reacción acida y básica de la misma, es una propiedad de carácter químico de vital importancia para el desarrollo de la vida acuática (tiene influencia sobre determinados procesos químicos y biológicos), la naturaleza de las especies iónicas que se encuentran en su seno, el potencial redox del agua, el poder desinfectante del Cloro (Cl), etc (Marin, 2009).

2.3.3 Alteraciones biológicas

- **Coliformes Totales:** El grupo coliforme es un grupo bacterias que abarca a todos los bacilos Gram – negativos aerobios y anaerobios facultativos no esporulados que utilizan la lactosa para producir ácido y gas; los siguientes géneros conforman los coliformes totales: *Klebsiella*, *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* y *Serratia*. Los coliformes totales se reproducen en el ambiente, proporcionan información sobre el proceso de tratamiento y acerca de la calidad sanitaria del agua que ingresa al sistema y de la que

circula en el sistema de distribución. No constituyen un indicador de contaminación fecal (Zumaeta, 2002).

- **Coliformes Termotolerantes (Fecales):** Se denomina coliformes termotolerantes o fecales a ciertos miembros del grupo de bacterias coliformes totales que están más estrechamente relacionados con la contaminación fecal. Los coliformes termotolerantes generalmente no se multiplican en los ambientes acuáticos. También se los conoce como bacterias coliformes fecales. *Escherichia coli* es el principal indicador bacteriano en el agua. Estudios efectuados han demostrado que la *E. coli* está presente en las heces de humanos y animales de sangre caliente entre 10^8 y 10^9 por gramo de heces (Zumaeta, 2002).
- **Organismos Macroinvertebrados:** Los macroinvertebrados son organismos que no tienen espina dorsal y que son visible sin usar un microscopio; son todos aquellos organismos que tengan tamaños superiores a 0.5 mm de longitud o que por su tamaño relativamente grande, son retenidos por redes de luz de malla de entre 250 – 300 μm . la gran mayoría de los mismos (alrededor del 80%) corresponden a grupos de artrópodos y dentro de estos los insectos y en especial sus formas larvarias son las más abundantes (Alba, 1996; Calderon, 2004).

Los macroinvertebrados acuáticos son usados en monitoreos de contaminación en los cursos fluviales, ya que constituyen un valioso método para determinar los impactos causados y son preferidos ya que por ser sedentarios y con ciclos de vida relativamente largos, pueden ser empleados para evaluar la calidad del agua en un lugar, a lo largo de un período de tiempo, además, como suelen permanecer en el fondo, son testigos de los cambios que están ocurriendo en el sistema fluvial (Abarca, 2007).

- **Vegetación Riparia:** Un área riparia es un área que se encuentra junto o directamente influenciada por un cuerpo de agua, riparios significa “perteneciente al banco de un río” por lo tanto, se refiere a comunidades bióticas que viven a ambos lados de los ríos; las áreas ribereñas usualmente mantienen una biodiversidad alta de plantas y animales en comparación con las áreas no riparias y en muchos casos, es el refugio de especies vulnerables tanto de plantas, como de animales. Estas áreas proveen de hábitat a gran cantidad de especies silvestres, a la vez que

actúan como corredores para el movimiento entre parches de vegetación en el paisaje fragmentado. Otra de las características importantes de las zonas riparias es la influencia marcada sobre la organización de la diversidad y la dinámica de las comunidades asociadas con ecosistemas acuáticos y terrestres (Arcos, 2005).

La flora o vegetación ribereña es en sí mismo única y diversa con vegetación que generalmente es más alta y más densa y estructuralmente más compleja que la vegetación circundante. Su microclima, en la mayoría de los casos, es más húmedo. Todos estos elementos están ampliamente influenciados por el ancho de franja del bosque ripario. La sombra que produce la vegetación riparia es determinante en las fluctuaciones de temperatura de las aguas y la cantidad de luz, la cual afecta el crecimiento de las plantas junto a los cauces y consecuentemente, a los peces de agua dulce y vertebrados que se alimentan de animales y frutas provenientes de la zona ribereña (Arcos, 2005).

Los ríos pueden asimilar cierta cantidad de residuos antes de que los efectos negativos de la contaminación sean apreciables. En líneas generales, cuanto más caudalosos, rápidos y más aislados estén los cursos de agua y no hayan sido utilizados, más capaces son de tolerar una cantidad mayor de aguas residuales; pero una cantidad excesiva de cualquier tipo de contaminante produce daños a todo el sistema (Suarez, 2008).

2.4 CONCEPTO DE AUTODEPURACIÓN

Cuando un agua residual es vertida a un curso de agua, se provoca la perturbación general del ecosistema, tanto en el plano fisicoquímico como en el biológico. La naturaleza trata de limitar del desequilibrio producido, llevando a cabo una serie de reacciones espontáneas de los factores bióticos y abióticos que intentan que el curso de agua vuelva al equilibrio ecológico inicial (Félez y Pujol, 2009).

Todo ambiente tiene una capacidad de autodepuración o biodegradación de los contaminantes que se vuelcan en él. Esta capacidad de autodepuración es diversa y característica de cada tipo y condición del medio ambiente. No es lo mismo la capacidad de autodepuración de un arroyo que el de un río, ni tampoco puede

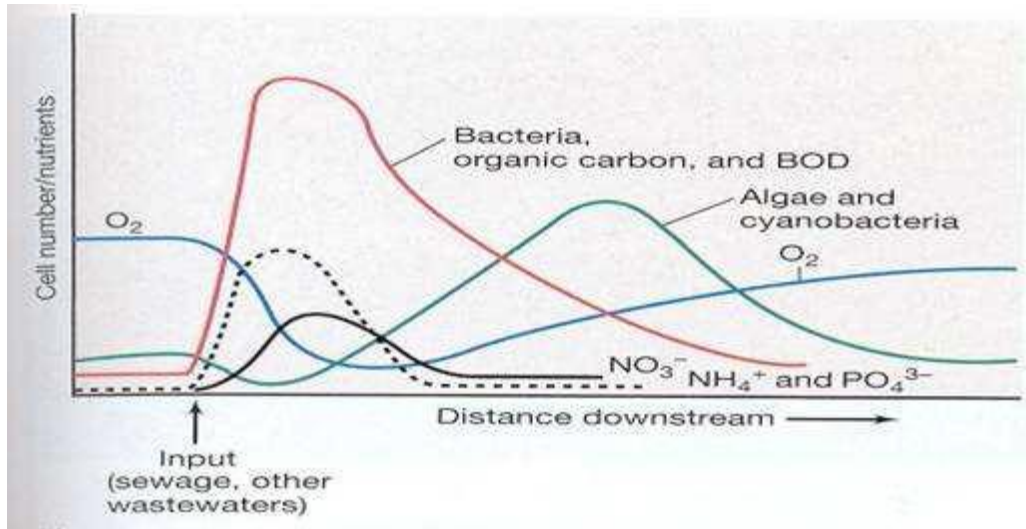
considerarse similar a la de un lago o laguna ya que sus mecánicas biológicas son distintas (Orellana, 2005).

En conjunto, la autodepuración se lleva a cabo por una serie de procesos de tipo físico, químico y biológico que se encuentran estrechamente relacionados entre sí y en mutua dependencia. Los procesos físicos más característicos en la autodepuración son la sedimentación, la radiación solar y la reaeración (Fernandez, Mercader et al., 1980).

En el río, si el agua permanece lo suficientemente aireada no habrá problemas en volver a las condiciones ambientales previas al vertido, pero si el aporte de OD no es suficiente, las degradaciones pasan a ser anaerobias, provocando contaminación, eutrofización y todo tipo de putrefacciones con todos sus daños y patógenos (Félez y Pujol, 2009).

Como se dijo anteriormente la evolución de los ríos ante la presencia de vertidos contaminantes se realiza con fuerzas físicas, químicas y biológicas, es así como los procesos de autodepuración son tan variados y complejos, que mientras la autodepuración se desarrolla los iones presentes, complejos o no complejos, sufren cierta evolución a lo largo del río; el OD sufre una disminución inmediata, hasta que va recuperándose por las causas citadas anteriormente; la DBO será máxima al principio, hasta que disminuya lentamente hasta valores normales; las sales y las materias en suspensión están también en concentraciones máximas al inicio, disminuyendo después rápidamente; el PO_4^{3-} y el NH_4^+ , iniciales van aumentando hasta que su concentración se hace máxima poco antes de ser mínima la concentración de OD; los NO_3^- disminuyen inicialmente hasta casi desaparecer, va aumentando su concentración hasta que se hace máxima la concentración de OD y por último disminuye lentamente hasta alcanzar valores normales; vertidos industriales pueden contener compuestos metálicos u otros de naturaleza no totalmente orgánica y que afectan gravemente a la autodepuración, los cuales producen interferencias e inhibiciones que impiden o dificultan el proceso de autodepuración (Félez y Pujol, 2009).

Figura 2.5. Efectos del vertido de agua residual en un río.



Fuente: (Félez y Pujol, 2009)

2.4.1 Zonas de autodepuración

Un río en condiciones normales, es un ecosistema hídrico que transporta OD y soporta una flora y fauna acuática que incluye desde las bacterias y el plancton (vida animal y vegetal pequeña que nada o flota libremente en el agua), hasta las larvas de moscas y las diferentes especies de peces. El río tiene tramos lentos y rápidos sujetos a mayor o menor reaeración y, en general, no transporta un caudal tan excesivamente grande como para que por simple dilución sea capaz de absorber la carga contaminadora a que, por desgracia, está sometido.

En forma descriptiva se puede pensar que cuando a un río, en condiciones normales, se le aplica una descarga de aguas residuales domésticas y/o industriales, sin ningún tratamiento, se presenta una división arbitraria en cuatro zonas (Romero, 2004):

- **Zona de degradación o Polisaprobia:** esta zona se encuentra normalmente alrededor del punto de descarga. En esta zona, las cualidades físicas y químicas del agua son deterioradas rápidamente, y las formas de vida microbianas reemplazan a las otras formas de vida más complejas. El límite de esta zona corresponde aproximadamente cuando la cantidad de OD cae hasta llegar al 45% con respecto a la saturación. En esta zona de degradación aumenta la flora bacteriana, se producen depósitos de lodo de

alto contenido de materia orgánica, decrece muy rápidamente el OD y se incrementa el anhídrido carbónico (CO_2). En cuanto a la descomposición, los hongos acuáticos reemplazan a las plantas verdes y microorganismos superiores.

- **Zona de activa descomposición o α – Mesosaprobia:** esta zona se caracteriza por la ausencia de OD y condiciones sépticas, marcado color gris oscuro, con olor característico a descomposición, depósito de lodo negro viscoso y desprendimiento de burbuja de gas. Al establecerse la descomposición anaeróbica, se incrementa el CO_2 , el NH_3 y las bacterias anaeróbicas reemplazan a las aerobias, descomposición que permanecen hasta que la DBO es menor que la tasa de aeración.
- **Zona de recuperación o β - Mesosaprobia:** en esta zona, las características son opuestas a la zona de degradación. Hay una gradual clarificación del agua, el OD se incrementa hasta el punto de saturación, disminuye el CO_2 mientras que los NO_2^- y los NO_3^- aumentan. No hay burbujas. El recuento bacteriano disminuye a medida que baja el alimento del agua y se desarrollan los protozoarios rotíferos y crustáceos.
- **Zona de aguas claras, aguas limpias u Oligosaprobia:** esta zona se caracteriza por una similitud con las aguas naturales. Es atractiva en apariencia y tiene vida animal y vegetal, hay bacterias aerobias junto con otros microorganismos y comienzan a estar presentes los peces. En general las aguas de los desagües cloacales también llamadas aguas negras, son una mezcla muy compleja que contiene una gran cantidad de agua, en general un 99 %, mezclada con los contaminantes orgánicos e inorgánicos, tanto en suspensión como disueltos, además de microorganismos (Orellana, 2005).

2.5 MÉTODOS DE ESTUDIO DE LA AUTODEPURACIÓN

Para realizar la depuración de los efluentes de aguas residuales se pueden llegar a estudiar Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) que abarcan desde métodos convencionales hasta métodos naturales y novedosos, conocidos como no convencionales, pero en el caso de la autodepuración en cuerpos lenticos y loticos, esta capacidad se determina a través de la modelación del OD,

DBO y entre otras variables físicas, químicas e hidráulicas aguas abajo de los efluentes depositados en los cauces naturales, por tal razón a través de la matemáticas y de la ingeniería de sistemas se han podido diseñar y descubrir modelos que simulen la calidad del agua, que ayuda a predecir de manera aproximada el comportamiento de los cuerpos de agua naturales en el pasado, presente y futuro.

Los modelos empleados como soporte en la planificación de estrategias de saneamiento han evolucionado para dar respuestas a diferentes condiciones y exigencias de calidad de las aguas. Tomando como punto de partida el modelo de Streeter y Phelps, han surgido modelos complejos de eutrofización, variables en el tiempo y tridimensionales, que incluyen cinéticas completas de algas, N y fósforo (P). Es evidente que la selección del modelo matemático lleva implícito un análisis costo – beneficio que define en última instancia el alcance del ejercicio predictivo (Catasús, Borroto.Portela et al. 2005).

Los modelos matemáticos y computacionales más utilizados en la actualidad para estudiar la autodepuración en cuerpos de agua naturales son los siguientes:

2.5.1 Modelo de Streeter y Phelps. El modelo expandido de OD y DBO de Streeter y Phelps, es un modelo unidimensional relativamente sencillo, que soluciona por métodos analíticos la ecuación de balance de masa, considerando el estado estacionario (Catasús, Borroto.Portela et al., 2005). Este modelo, propuesto en 1925, es aplicable a ríos con condiciones aerobias, flujo con superficie libre, flujo permanente, unidimensional, supone que la tasa de cambio del déficit de OD es igual a la diferencia entre la desoxigenación del agua, debida a la remoción de la DBO y materia orgánica carbonácea por oxidación biológica, y la reaeración o suministro de OD proveniente de la atmosfera y causada por el déficit de OD y por la turbulencia (Romero, 2004).

2.5.2 Modelo WASP. The Water Quality Analysis Simulation Program es un Programa de Simulación de Análisis de la Calidad del Agua (WASP7). Este modelo ayuda a los usuarios a interpretar y predecir las respuestas de la calidad del agua a los fenómenos naturales y la contaminación provocados por el hombre para diversas decisiones de gestión de la contaminación. WASP es un programa dinámico de compartimiento de modelado de sistemas acuáticos, incluyendo tanto la columna de agua y los bentos subyacentes. WASP permite al usuario investigar en 1, 2 y 3 sistemas dimensionales, y una variedad de tipos de contaminantes. La variable del tiempo en los procesos de advección, dispersión, punto y difusión de carga masiva y el intercambio límites están representados en el modelo. WASP,

también puede estar relacionado con los modelos de transporte hidrodinámico de sedimentos que pueden proporcionar caudales, velocidades profundidades, la temperatura, la salinidad y flujos de sedimentos. WASP contiene la inclusión del modelo de diagénesis de sedimentos ligados al modelo de eutrofización sub avanzada, que predijo la demanda de oxígeno de sedimentos y flujos de nutrientes de los sedimentos subyacentes.

WASP es uno de los modelos de calidad del agua más utilizado en los Estados Unidos y en todo el mundo, debido a los modelos de capacidad de manejar múltiples tipos de contaminantes que se ha aplicado ampliamente en el desarrollo de Cargas Diarias Máximas Totales (CDMT). WASP tiene capacidades de vinculación con modelos hidrodinámicos y de las cuencas hidrográficas que permite un análisis de varios años en diversas condiciones meteorológicas y ambientales. WASP se ha aplicado a todos los principales estuarios de la Florida, donde se vinculó con un modelo hidrodinámico y de cuencas simulando 12 años continuos para ayudar a la Environmental Protection Agency (EPA) de Estados Unidos en el desarrollo de criterios de nutrientes numéricos. Otros ejemplos de su uso son: la eutrofización de Tampa Bay, FL; fósforo (P) carga al Lago Okeechobee, FL; eutrofización del río Neuse Estuario, NC; eutrofización del río Coosa y Embalses, AL; la contaminación por bifenilos policlorados (PCB) de los Grandes Lagos, la eutrofización del estuario del Potomac, la contaminación por kepone del estuario del río James, la contaminación orgánica volátil del Estuario de Delaware, y la contaminación por metales pesados de la Deep River, Carolina del Norte y del mercurio en el río Savannah, GA (EPA, 2014).

2.5.3 Modelo QUAL2K. Se supone que los mecanismos principales de transporte: advección (por movimiento de agua) y dispersión (por difusión molecular y turbulencia), son importantes solamente a lo largo de la dirección del flujo. El modelo puede simular descargas múltiples de agua residuales, extracciones de agua, caudales tributarios y afluentes o efluentes incrementales. Además, puede calcular caudales de difusión requeridos para satisfacer una concentración específica de OD.

Desde el punto vista hidráulico, es un modelo de flujo permanente que simula periodos de caudal y cargas constantes, sin embargo, tiene la opción de trabajo en la modalidad de un modelo dinámico. En operación como modelo de flujo permanente se puede usar para calcular el impacto de cargas contaminantes sobre la calidad del agua del río, y en conjunto con un programa de muestreo de campo sirve para identificar la magnitud y la calidad de las cargas no puntuales.

En modo de operación dinámica se pueden analizar los efectos de las variaciones diurnas de los estándares meteorológicos sobre la calidad del agua, especialmente sobre OD y temperatura, así como estudiar variaciones diurnas de OD debidas a crecimiento de algas y a respiración.

Este modelo puede simular varios estándares de calidad del agua, a saber cómo son: OD, DBO, temperatura, algas como clorofila, N orgánico, NH_3 , NO_2^- , NO_3^- , P, P disuelto, coliformes, un compuesto no conservativo, tres compuestos conservativos, entre otros (Romero, 2004).

2.6 LIMITACIONES DE APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE AUTODEPURACIÓN EN COLOMBIA

En los anteriores numerales se han mostrado algunos de los modelos más utilizados para realizar estudios de calidad del agua y en este caso en estudios de autodepuración de la misma, pero cabe destacar que estos modelos poseen ciertas limitaciones en Colombia, primero que todos los modelos parten del primer modelo esencial, el cual se basa en las ecuaciones descubiertas por Streeter y Phelps que fueron planteadas en base a estudios que se realizaron en ríos de Estados Unidos, esto es muy importante debido a que algunas ecuaciones, como se verán en el próximo capítulo, que estiman las tasas de reaeración y desoxigenación son basadas de datos que se tomaron en ríos de dicho país, por lo que las condiciones morfométricas, hidráulicas, fisicoquímicas y biológicas del cauce de los ríos colombianos en comparación con los ríos estadounidenses difieren en diversos aspectos.

Otras limitaciones que poseen los modelos como WASP o QUAL2K que son computacionales consisten en la cantidad de tramos, números de tributarios, elementos nudo, afluentes y efluentes que se deben incluir, tienen límites máximos (Romero, 2004) a lo cual Colombia se encuentra sesgado, debido a la diversidad hidrológica que poseen ríos de gran envergadura y al incalculable número de efluentes contaminantes que se vierten en los mismos.

Pero lo que resulta importante, es que en muchas partes del mundo dichos modelos han arrojado excelentes resultados al ser calibrados con los datos obtenidos en campo, lo que hace que se postulen como una buena herramienta de aproximación de estimación de eventualidades presentes y futuras en los ríos.

Debido a que Colombia es un país biodiverso en recursos hídricos, se pueden encontrar diferentes tipos de ríos, que están en valles y montañas, además de

poseer ríos rectilíneos, sinuosos, meándricos, entre otros, a lo cual la calibración de cualquiera de los modelos planteados anteriormente debe realizarse de manera cuidadosa y además depende de la información que se tenga correctamente en campo, ya teniendo en cuenta estas importancias, los resultados que arroje la modelación serán coherentes, así como se han encontrado en otros ríos del mundo al ser modelados.

2.7 MARCO LEGAL DE COLOMBIA

La Constitución Política de Colombia del año 1991, en el capítulo III y en sus artículos 78, 79, 80, 81 y 82 plantean la necesidad de preservar las condiciones estéticas y de calidad de los recursos naturales para el disfrute y aprovechamiento racional de los mismos por parte de los ciudadanos.

La Ley 99 de 1993 crea el Ministerio de Medio Ambiente y el Sistema Nacional Ambiental y se fortalecen las Corporaciones Autónomas Regionales de los departamentos, además se expide la Ley 388 de 1997 “Ordenamiento Territorial” y el Decreto 1729 de 2004 “Ordenamiento de Cuencas Hidrográficas”.

El artículo 312 del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente dictado por el Decreto 2811 de 1974, define el concepto de cuenca u hoya hidrográfica como un área físicogeográfica debidamente delimitada, en donde las aguas superficiales y subterráneas vierten a una red natural mediante uno o varios cauces de caudal continuo o intermitente que confluyen a su vez en un curso mayor que desemboca o puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar. A través de la Resolución 0751 del 09 de Noviembre de 2006 se aprueba el plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Las Piedras (Popayán – Cauca – Colombia).

En Colombia, existen normativas para el control, protección y manejo de las fuentes de agua continentales y marítimas tales como el Decreto 1594 de 1984. En este se reglamentan disposiciones generales, se abordan temas de explotación y ocupación de las fuentes de agua tanto superficiales como subterráneas. Además, se plantean importantes criterios y consideraciones necesarias para los usos especiales del agua por actividades varias y se enfatiza sobre la conservación y preservación de los recursos hídricos en la Nación.

Los vertimientos de todo tipo de aguas residuales son regulados legalmente en Colombia por el Decreto 3930 de 2010, en el cual el Artículo 24, establece la prohibición de no permitir vertimientos no tratados provenientes de embarcaciones, buques, naves u otros medios de transporte marítimo, fluvial o lacustre, en las cabeceras de las fuentes de agua, cuerpos de aguas continentales o aguas marítimas, acuíferos y sectores aguas arriba de las bocatomas para agua potable, con el fin de que no ocasionen altos riesgos para la salud y/o para los recursos hidrobiológicos, además de que no alteren las características existentes en un cuerpo de agua que lo hacen apto para todos los usos posibles, además este mismo documento establece la necesidad de aplicar modelos de simulación de calidad del agua para evaluar el impacto ambiental de un vertimiento sobre el cuerpo receptor.

CAPITULO 3: METODOLOGÍA

3.1 METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE AUTODEPURACIÓN UTILIZANDO EL MODELO DE STREETER Y PHELPS Y DIFERENTES VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS.

La metodología para el estudio de la autodepuración mediante el modelo de Streeter y Phelps y la utilización de diversos factores ambientales, la cual ha sido basada como una unión de diversos trabajos investigativos alrededor del mundo, posee diferentes criterios que deben tenerse en cuenta al momento de la aplicación, debido a que un río, al ser un cuerpo de agua dinámico y diverso en todo su cauce, es sensible a cambios drásticos de calidad de su agua y de su diversidad biológica por la contaminación que se presenta, además, sus características morfométricas e hidráulicas cambian por el terreno y por su caudal que aguas abajo de la cabecera se irá incrementando.

En esta investigación se utiliza para la determinación de la capacidad de autodepuración del río Las Piedras el modelo de Streeter y Phelps y la evaluación de otras variables ambientales; en el caso del modelo de Streeter y Phelps se destaca que no es un modelo computacional del todo, está basado en ecuaciones diferenciales en base a razones de cambio y balances de masa que pueden ser utilizadas manualmente o en una herramienta más eficaz como el software Microsoft Excel 2013. Este modelo tradicional solicita tres variables fisicoquímicas, OD, DBO y temperatura hídrica, las cuales son obtenidas mediante sistemas electrónicos en campo y métodos de laboratorio. Así mismo, solicita cuatro variables hidráulicas, caudal, ancho, profundidad y velocidad media del río, las cuales son determinadas en campo y por ecuaciones de continuidad.

En cuanto al estudio de autodepuración por la identificación del comportamiento de las variables físicas, químicas y biológicas, queda a criterio del investigador las técnicas a utilizar de las que se conocen en la literatura y que se han aplicado en otros ríos, es así como en este caso además de obtener resultados del OD, DBO₅ y de la temperatura hídrica, se hizo una evaluación de la CE, turbiedad, pH, salinidad, SDT, nutrientes (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- y PO_4^{3-}), demanda química de oxígeno (DQO₅), organismos macroinvertebrados, coliformes totales y coliformes fecales. El modelo por otra parte solicita las condiciones específicas del río en dos tramos (Sitio de Mezcla y Aguas Arriba del Vertimiento) y además las características de los mismos vertimiento o efluentes, en este caso, se tendrán en

cuenta dichas condiciones, pero se tendrán ocho estaciones o puntos de muestreo más, para poder definir un perfil detallado de calidad del agua y corroborar los resultados que arroja el modelo con los medidos en campo en las diez estaciones y poder utilizarlos en la calibración. Con respecto al estudio con las variables físicas, químicas y biológicas, los resultados en los diez puntos serán correlacionados entre sí y se realizara un comparativo con los resultados del modelo de Streeter y Phelps. Los organismos macroinvertebrados como índice biótico importante en la determinación de la calidad del agua del río Las Piedras, tendrá un enfoque especial, se le aplicara The Biological Monitoring Working Party o más comúnmente conocido como BMWP para el caso colombiano, propuesto por Gabriel Roldan Pérez en el año 2003 (Roldán 2003). Por último serán tenidas en cuenta dos variables climatológicas, precipitación y temperatura ambiente, como objetivo de corroborar sus resultados con los caudales registrados y poseer un indicio con respecto a la presencia Fenómeno del Niño y del Fenómeno de la Niña en la zona de estudio, además que el tiempo de estudio fue de siete meses, con la intención de poseer dos periodos o épocas diferentes y a la vez importantes en la región, época seca y época húmeda, con el fin de garantizar el estudio de variabilidad espacio – temporal de la autodepuración en la fuente superficial.

Este trabajo posee una gran gama de datos y resultados obtenidos en campo y modelados en tiempo real, lo que hace que se haga relativamente completo en diferentes aspectos, pero aun así, es una estimación para conocer la capacidad autodepuración del río Las Piedras, ya que el estudio riguroso plantea métodos y técnicas mucho más modernas, precisas y/o fuera de las tradicionales, las cuales no fueron posible aplicarlas en este estudio, debido la disponibilidad de software muy poco comerciales, poco tiempo constante de muestreo y dificultades de acceso a otras zonas del río, por lo cual el desarrollo de este trabajo tiene el fin que su metodología sea aplicada en cuencas y subcuencas donde se cuente con toda o parte de la información como la que su utilizo en esta investigación.

3.2 GEOREFERENCIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA RED DE DRENAJE

Mediante un mapa cartográfico de balance hídrico de la cuenca del río Las Piedras proporcionado por la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) y la Fundación ProCuenca Río Las Piedras, se identificaron las diez estaciones de muestreo y los cuerpos de agua tributarios (Quebradas, vertimientos, etc) que se adhieran a la longitud principal del río. Si no se posee conocimiento de los mismos solo se tienen en cuenta todos los tributarios que superen el 10% del caudal total del río, de lo contrario es pertinente considerar todos los existentes.

3.3 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y CONFORMACIÓN DE LA LÍNEA BASE

3.3.1 Información Hidráulica del río Las Piedras. La información hidráulica se utiliza para caracterizar el régimen hidrológico natural de la corriente, en la metodología planteada es esencial conocer tres características importantes del tramo del río: caudal, velocidad media y profundidad media, los caudales fueron medidos en campo por medio del método del flotador y el uso del molinete (en algunos meses) en nueve de las diez estaciones de muestreo que se plantearon para el estudio, la única estación donde la medición del caudal fue a través de una curva de calibración fue en la estación Puente Carretera (Anexo 2), ya que posee una mira que determina la altura del nivel del agua y con la cual se puede obtener el valor preciso de caudal que atraviesa el cauce en dicho tramo, la velocidad media fue obtenida a través de la Ecuación de Manning (con un $n = 0,035$ para un suelo accidentado por piedras) cuando el caudal del río fue medido por flotador, cuando se realizó por molinete se obtuvo por las mismas ecuaciones del mismo. La profundidad media fue medida por medio de un medidor de profundidades artesanal.

3.3.2 Información Física, Química y Biológica del río Las Piedras. Para la conformación de la línea base de esta información, se realizaron mediciones de diferentes variables físicas, químicas, y biológicas, para conocer las técnicas y periodicidad de medición de cada variable se puede observar la Tabla 3.1 a continuación:

Tabla 3.1. Equipos y técnicas utilizados y aplicados para la determinación de las variables.

| Variable | Método | Periodicidad |
|---------------------|------------------|--------------|
| OD | Sonda HACH HQ40d | 1 Vez/Mes |
| OD% | Sonda HACH HQ40d | 1 Vez/Mes |
| CE | Sonda HACH HQ40d | 1 Vez/Mes |
| SDT | Sonda HACH HQ40d | 1 Vez/Mes |
| Salinidad | Sonda HACH HQ40d | 1 Vez/Mes |
| Temperatura Hídrica | Sonda HACH HQ40d | 1 Vez/Mes |

| | | |
|-------------------------------|---------------------------------------|----------------|
| Turbiedad | Sonda YSI 6920 | 1 Vez/Mes |
| pH | pHmetro MA 235 | 1 Vez/Mes |
| NH ₄ ⁺ | Kit de MERK | 1 Vez/Mes |
| NO ₂ ⁻ | Kit de MERK | 1 Vez/Mes |
| NO ₃ ⁻ | Kit de MERK | 1 Vez/Mes |
| PO ₄ ³⁻ | Kit de MERK | 1 Vez/Mes |
| DBO ₅ | Método Winkler | 1 Vez/Mes |
| DQO ₅ | Método Winkler | 1 Vez/Mes |
| Coliformes Totales | Standard Methods | 1 Vez/Mes |
| Coliformes Fecales | Standard Methods | 1 Vez/Mes |
| Organismos Macroinvertebrados | Red SURBER y Estereoscopio Carl Zeiss | 2 Veces/7Meses |

Fuente: (Elaboración Propia)

A través del Laboratorio del Grupo de Estudios Ambientales (GEA) de la Universidad del Cauca y de la disponibilidad de sus equipos se determinaron la mayoría de las variables anteriormente presentadas, a excepción que el Laboratorio del Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A E.S.P apoyo en la realización de las pruebas de DBO₅ y DQO₅ basada en la metodología del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, hay que destacar también que el mismo laboratorio suministró la información de coliformes totales y coliformes fecales de todos los meses pero de tan solo cuatro estaciones de las diez del estudio, las cuales fueron: E1, E2, E8 y E10, debido a que esta información hace parte del muestreo mensual que hace la empresa en el control de la calidad del agua del río Las Piedras para su posterior potabilización; por dificultades temporales y económicas los demás puntos de muestreo no fueron analizados en dichos parámetros.

3.3.3 Información y línea base del Índice BMWP para el río Las Piedras. La inclusión de la línea base del Índice BMWP en este trabajo muestra un enfoque diferente con respecto al concepto de la autodepuración, pero se hace importante su aplicabilidad para conocer su coherencia con los resultados obtenidos en

campo y su comparativo con los datos modelados, todo lo anterior con el objetivo de identificar como la comunidad biótica de los organismos macroinvertebrados son susceptibles o tolerantes a la contaminación que se presenta en la zona de estudio.

Debido a que el Laboratorio del Grupo de Estudios Ambientales (GEA) de la Universidad del Cauca posee en sus bases de datos la clasificación y categorización por el índice BMWP durante varios años (2011 – 2013) en tres de las diez estaciones planteadas en este estudio, las cuales son E1, E2 y E10. Se obtiene la información ya clasificada y será la base en la comparación con otras zonas de estudio donde no han sido muestreadas, por tanto se realiza un monitoreo en dos meses, para abarcar dos épocas diferentes en las estaciones E4 y E8 (Las cuales no han sido muestreadas), teniendo así, cinco estaciones de muestreo de organismos macroinvertebrados durante el estudio. En las demás zonas no se logró realizar la recolección debido a cuestiones de tiempo y ya que ciertos sitios poseen características poco idóneas que permitan su captura, como por ejemplo: exceso de turbulencia, poca vegetación riparia, suelos no rocosos, entre otros. Cabe destacar que solo se hizo el muestreo en dos meses, ya que hay que garantizar el número de individuos de la comunidad biótica durante un determinado tiempo, de lo contrario si se realiza frecuentemente sería nula su captura.

El Índice BMWP brinda una caracterización adecuada del estado de la calidad del agua, ya que estos son considerados como los mejores indicadores de la calidad del agua porque constituyen el componente de mayor diversidad en ecosistemas terrestres y dulceacuícolas y responden a los cambios ambientales más rápidamente que los vertebrados utilizados como bioindicadores (Roldán, 2003).

A partir de las variables disponibles para la comunidad de macroinvertebrados, se establece el cálculo del Índice BMWP de la siguiente forma:

3.2.3.1 Índice de calidad de agua BMWP/Col para el río Las Piedras. En la metodología se ha propuesto aplicar el Índice BMWP, pero este Índice solo tiene su respectivo puntaje hasta la categoría taxonómica de familia, este método fue establecido en Inglaterra pero se ha modificado para diferentes países del mundo, debido a las diferentes comunidades de macroinvertebrados que se pueden encontrar de un país a otro dependiendo de su posición geográfica, altura sobre el nivel del mar, factores físicos, químicos, biológicos, geológicos, entre otros.

En el año 2003, Gabriel Roldan Pérez adaptó o modificó el Índice BMWP para Colombia, cambia el puntaje de algunas familias de acuerdo a lo que encontró en

sus estudios en diferentes ríos, especialmente ríos del departamento de Antioquia. Al igual que el BMWP tradicional, el BMWP/Col como lo nombro Roldan, los datos son cualitativos (Ausencia o presencia) (Roldán, 2003).

El puntaje para cada familia va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica, las familias más sensibles reciben un puntaje de 10, en cambio, las más tolerantes a la contaminación reciben puntuaciones más bajas hasta llegar a 1. El Índice BMWP es la suma de los puntajes de cada familia en cada estación o punto de muestreo del río, en una época específica. Solo se tiene en cuenta la riqueza (Familias encontradas) de macroinvertebrados sin importar la abundancia (Número de individuos encontrados). El índice total fluctúa entre 15 – 150.

En el Anexo 3 se muestran los puntajes del Índice BMWP por cada familia postulado por Roldan para Colombia, en el Anexo 4 se describe la interpretación del Índice BMWP/Col de acuerdo a los rangos de valores que se pueden encontrar.

El Índice BMWP para la comunidad de macroinvertebrados de Colombia queda definido de la siguiente forma:

$$\text{Índice BMWP/Col} = [PuntajeFamilia\#1 + PuntajeFamilia\#2 + PuntajeFamilia\#3 + \dots + PuntajeFamilia\#n] \quad [1]$$

3.3.4 Información sobre el vertimiento de la Piscifactoría de Truchas (Piscifactoría El Diviso). La línea base sobre el vertimiento se basa en datos de un estudio previo (Cruz y Salazar 2007), enfocado en el estudio de tratabilidad de efluentes de estaciones piscícolas. Este trabajo ha aportado diversidad de resultados en diferentes variables, como son: Caudal, temperatura hídrica, DBO, DQO, pH, turbiedad, nutrientes, solidos, coliformes, entre otros.

Cabe destacar que el vertimiento como un efluente piscícola tiene dos condiciones, debido a sus dos operaciones en las cuales se puede encontrar: La primera condición es la de el barrido de los lodos depositados en el fondo de los estanques (conocidos también con el nombre raceways) generados por el exceso de alimento y la producción de heces fecales de los peces, a dicho proceso se le denomina Mantenimiento, el cual se realiza una o dos veces por semana, el otro es la etapa de levantamiento y engorde, la que se denominará “Operación Normal” (Cruz y Salazar, 2007) la cual está presente en el resto del tiempo de la semana y será la condición del vertimiento presente durante todo el estudio.

Cuando el modelo este calibrado para la condición de Operación Normal, será pertinente simular una carga pico para la condición de Mantenimiento con el fin de encontrar posibles concentraciones mucho más críticas de OD.

3.3.5 Información Climatológica sobre la cuenca del rio las Piedras. A través de la Fundación ProCuenca Rio Las Piedras la cual está adscrita a la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A E.S.P, se obtuvieron los datos de los respectivos meses de estudio sobre dos variables climatológicas: precipitación y temperatura ambiente, determinados a través de dos estaciones meteorológicas (El Lago y El Diviso), con el fin de identificar el comportamiento pluvial de la zona durante el estudio, además de correlacionarlos con los caudales aforados en el rio Las Piedras.

3.4 CLASIFICACIÓN DE LOS MESES POR ÉPOCAS SECAS, HÚMEDAS Y/O NORMALES INFLUENCIADAS POR VARIABLES CLIMATOLÓGICAS Y FENÓMENOS MACROCLIMÁTICOS.

De acuerdo a que la cuenca del rio Las Piedras se encuentra en la zona tórrida, puede ser vulnerable a diversos fenómenos climáticos y/o poseer variabilidad de condiciones de tiempo como puede deberse a la influencia de dos fenómenos que afectan constantemente el país, los cuales son el Fenómeno del Niño y el Fenómeno de la Niña, en otras palabras puede haber influencia de lluvias y sol, por lo tanto como se nombró en el numeral 3.3.5 a través de las variables de precipitación y temperatura ambiente se podrán correlacionar con los índices presentados en la tabla de Consenso Internacional de Años y Meses Niño y Niña realizada por el Grupo de Investigación de Estados Unidos Climate Prediction Center y poder clasificar los meses de estudio en secos, húmedos y/o normales.

3.5 REALIZACIÓN DE BALANCES DE MASA

De acuerdo al número de tributarios que se encuentren en el transcurso del rio Las Piedras, se realizarán balances de masa, con respecto a caudal, temperatura hídrica y concentraciones de OD, DBO y DQO, en el caso de que se conozcan los valores de dichas variables, en el caso contrario que se carezca de información no se podrán tener en cuenta dichos efluentes. Dependiendo de qué tan relevantes sean los tributarios que se adhieran al rio como se especificó en el anterior numeral 3.2, se hará la calibración del modelo de Streeter y Phelps a partir de cada de dichos tributarios.

3.6 ANÁLISIS ESPACIO – TEMPORAL DE LAS VARIABLES DETERMINADAS

Se realizará un análisis espacio – temporal de cada una de las variables medidas en campo y en los laboratorios con el fin de conocer su comportamiento durante todo el estudio y determinar cuáles fueron las estaciones y meses más influyentes en la fluctuación de las variables físicas, químicas y biológicas.

3.7 CALIBRACIÓN DEL MODELO DE STREETER Y PHELPS

El modelo de Streeter y Phelps se plantea a partir de que en Estados Unidos el mayor esfuerzo en la evaluación de la calidad de las aguas comenzó en 1912, cuando al Servicio de Salud Pública se le encomendó, por parte del Congreso, la dirección de los trabajos y estudios sobre "el saneamiento y aguas residuales, incluyendo la contaminación, directa o indirecta, en los ríos navegables y lagos de los Estados Unidos"(Suarez, 2008), los primeros estudios sobre calidad del agua en ríos tienen lugar en el río Ohio, entre 1914 y 1916 y fueron la base sobre la que se apoyó el trabajo pionero de Harold Streeter y Earle Phelps el cual se convierte en un modelo clásico desde que ejecuto en 1925 sobre modelación matemática del OD. En este trabajo, además, se incluían aplicaciones y formulaciones matemáticas de los procesos implicados en el balance de OD en el agua y se convirtió en el pionero en la estimación de las tasas de reaireación (Ka) y desoxigenación (Kd) en los ríos. Ellos hallaron dichas tasas indirectamente usando un valor dado de OD y los valores de laboratorio de las tasas de desoxigenación(Rueda, 2005; CVC, UNIVALLE et al., 2007).

Streeter y Phelps obtienen una expresión analítica para determinar el contenido de oxígeno a lo largo de un río sometido a una descarga continua de materia orgánica biodegradable, a continuación se plantea la hipótesis de partida que consistió en un balance general de materia y además los cálculos que se realizaran en este trabajo:

$$\frac{dL}{dt} = U_x \frac{dL}{dx} + \frac{d}{dx} \left[E_x \frac{dL}{dx} \right] \pm R_i \quad [2]$$

Donde:

- $L = \text{DBO}$.

- t = Tiempo.
- U_x = Velocidad.
- E_x = Dispersión.
- R_i = Respiración (Algas y vida acuática).

Además se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- $U_x \frac{dL}{dx} \gg \frac{d}{dx} \left[E_x \frac{dL}{dx} \right]$ significa que el transporte dispersivo es despreciable con respecto al advectivo o en otras palabras se considera un flujo a pistón perfecto ($E = 0$).
- Caudal y composición del vertido constantes con el tiempo.
- La velocidad constante del río.
- La concentración solo varía con la distancia a lo largo del río.
- La degradación de la materia orgánica (DBO o en la ecuación se representa como L) sigue una cinética química de primer orden.
- Se produce transferencia de oxígeno superficial con la atmósfera.
- Estado estacionario $\frac{dL}{dt} = 0$.

Teniendo en cuenta lo anterior la expresión queda de la siguiente manera:

$$U_x \frac{dL}{dx} = -KL \quad [3]$$

Donde:

- K = Constante de Desoxigenación por la DBO.

(Monerri y Doménech, 2000)

3.7.1 Reacciones

- **Desoxigenación:** La oxidación biológica es un proceso lento y teóricamente tarda un tiempo infinito en completarse. Al cabo de un período de 20 días la oxidación se ha completado en un 95%-99%. En el plazo de cinco días la oxidación se ha completado en un 60-70%.

Si se representa la DBO remanente en el tiempo, se tiene:

$$\frac{dL_t}{dt} = -K_1 L_t \quad [4]$$

Por tanto la ecuación 4 se convierte en:

$$L_t = L_o * e^{-K_1 t} \quad [5]$$

Si se representa la DBO ejercida en el tiempo, se tiene:

$$OD_{Consumido} = L_o - L_t = L_o * (1 - e^{-K_1 t}) \quad [6]$$

- **Reaireación:** Una de las principales formas de aporte de OD a una masa de agua es a través de su superficie, tomando oxígeno del aire. La velocidad de transferencia de oxígeno del aire al agua depende de muchos factores, siendo los más importantes los siguientes: temperatura, presión, déficit inicial, salinidad del agua, agitación, superficie de contacto y presencia de tensoactivos. La agitación consigue un contacto más estrecho entre el aire y el agua, además aumenta extraordinariamente la superficie de contacto entre ambos, incrementándose la velocidad a la que el oxígeno se disuelve. Así, se pueden destacar como puntos de mayor agitación en los ríos los rápidos y pequeñas cascadas.

El fenómeno de entrada de OD a la masa de agua, se puede representar mediante una ley de cinética de primer orden. El aporte de OD por unidad de tiempo es proporcional al déficit de OD respecto al valor de saturación:

Si se representa el OD (OD) suministrado en el tiempo, se tiene:

$$\frac{dOD}{dt} = K_2 D_o \quad [7]$$

Por tanto la ecuación 6 se convierte en:

$$D_t = D_o * e^{-K_2 t} \quad [8]$$

(Suarez, 2008)

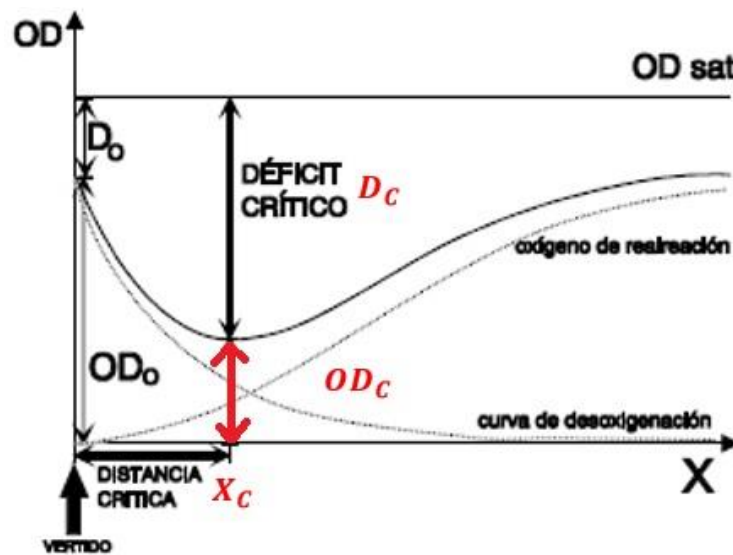
3.7.2 Obtención de la ecuación de Streeter y Phelps

Tasa de incremento del deficit = Tasa de desoxigenación – Tasa de aireacion

$$\frac{dD}{dt} = K_1 * L_o * e^{-K_1 t} - K_2 * D_o * e^{-K_2 t} \quad [9]$$

La curva que se obtiene representando la ecuación de Streeter y Phelps proporciona la disminución y posterior recuperación del OD en el río. La degradación bioquímica comienza inmediatamente después del vertido. Puesto que la reaireación es proporcional al déficit de OD, su velocidad de aporte de OD va aumentando conforme el déficit va creciendo. Por último se alcanza un punto en el cual la tasa de consumo de OD se iguala a la tasa de reaireación atmosférica; la curva alcanza su mínimo. A la distancia comprendida entre el punto de vertido y este mínimo se la conoce como distancia crítica.

Figura 3.1 Curva de la ecuación de Streeter y Phelps.



Fuente: (Suarez, 2008)

Si la DBO última (DBO_u) y el déficit de OD en el punto inicial son L_o y D_o , respectivamente, la integración de la ecuación 9 permite obtener los valores del déficit de OD para cualquier punto:

$$D_t = \frac{K_1 * L_o}{K_2 - K_1} (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t}) + D_o * e^{-K_2 t} \quad [10]$$

Cuando ocurra que $K_2 = K_1$, la ecuación 10 se convierte:

$$D_t = (K_1 * t * L_o + D_o)(e^{-K_1 t}) \quad [11]$$

Puesto que el déficit D es la diferencia entre el valor de saturación del OD ($OD_{saturación}$) y el valor real OD, podemos escribir la ecuación para el OD como:

$$OD = OD_{Saturación} - \left[\frac{K_1 * L_o}{K_2 - K_1} (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t}) + D_o * e^{-K_2 t} \right] \quad [12]$$

La ecuación 12 es la clásica ecuación de Streeter y Phelps del OD o curva en comba del OD (Masters y Ela, 2008).

El punto más bajo en la curva con mínimo de OD, se llama punto crítico y es el de mayor interés porque indica las peores condiciones que tendrá el río con respecto al OD. El tiempo para que llegue el punto crítico (t_c) se puede determinar diferenciando la ecuación 12:

$$t_c = \frac{1}{K_2 - K_1} \text{Ln} \left[\frac{K_2}{K_1} \left(1 - D_o \frac{K_2 - K_1}{K_1 * L_o} \right) \right] \quad [13]$$

O bien, cuando $K_2 = K_1$:

$$t_c = \frac{1}{K_1} \left(1 - \frac{D_o}{L_o} \right) \quad [14]$$

La distancia crítica será:

$$X_c = U * t_c \quad [15]$$

Donde:

- U = Velocidad Media de la corriente.

Y el déficit crítico (D_c) se calcula con la ecuación 16:

$$D_c = \frac{K_1}{K_2} * L_o * (e^{-K_1 t_c}) \quad [16]$$

3.7.3 Determinación de las constantes de desoxigenación y reaeración

Algunos de los diferentes métodos para la determinación de las constantes se encuentran en las siguientes tablas:

Tabla 3.2. Métodos para la determinación de las constante K_1 .

| Método | K_1 en base e (dia^{-1} a 20 °C) | Unidades | Aplicabilidad |
|-------------------------------------|--|--|--|
| Bosko (1966) | $K_1 = K_{1L} + n \left(\frac{V}{H} \right)$ | $V = \text{m/s}$ $H = \text{m}$ $K_{1L} = \text{dia}^{-1}$ | No tiene límites de aplicabilidad |
| Wright y McDonnell (1979) | $K_1 = 10.3 * Q^{-0.49}$ $K_1 = 39.6 * P^{-0.84}$ | $Q = \text{Pies}^3/\text{s}$ $P = \text{Pies}$ | $10 \text{ Pies}^3/\text{s} \leq Q \leq 800 \text{ Pies}^3/\text{s}$ |

Donde:

- K_{1L} = Tasa de desoxigenación debida al ejercicio de la DBO y determinada en el laboratorio.
- n = Coeficiente de actividad del lecho de la corriente.
- V = Velocidad de la corriente.
- H = Profundidad de la corriente.
- Q = Caudal.
- P = Perímetro mojado.

Fuente: (Suarez, 2008; MinAmbiente, 2013)

Tabla 3.3. Métodos para la determinación de las constante K_2 .

| Método | K_2 en base e (dia^{-1} a 20 °C) | Unidades | Aplicabilidad |
|---|--|------------------------------------|--|
| O'Connor y Dobbins (1958) | $K_2 = 3.93 \left(\frac{V^{0.5}}{H^{1.5}} \right)$ | $V = \text{m/s}$ $H = \text{m}$ | $0.305 \text{ m} \leq H \leq 9.14 \text{ m}$ $0.15 \text{ m/s} \leq U \leq 0.49 \text{ m/s}$ $0.05 \text{ d}^{-1} \leq K_2 \leq 12.2 \text{ d}^{-1}$ |
| Churchill, Elmore y Buchingam (1962) | $K_2 = 5.026 \left(\frac{V^{0.969}}{H^{1.673}} \right)$ | $V = \text{m/s}$ $H = \text{m}$ | $0.61 \text{ m} \leq H \leq 3.35 \text{ m}$ $0.55 \text{ m/s} \leq U \leq 1.5 \text{ m/s}$ $0.000126 \text{ m/m} \leq S \leq 0.002351 \text{ m/m}$ $0.225 \text{ d}^{-1} \leq K_2 \leq 5.56 \text{ d}^{-1}$ |

| | | | |
|---|---|------------------------------------|--|
| Owens, Edwards y Gibbs (1964) | $K_2 = 5.34 \left(\frac{V^{0.67}}{H^{1.85}} \right)$ | $V = \text{m/s}$ $H = \text{m}$ | $0.122 \text{ m} \leq H \leq 3.35 \text{ m}$ $0.0305 \text{ m/s} \leq U \leq 1.52 \text{ m/s}$ $0.000156 \text{ m/m} \leq S \leq 0.0106 \text{ m/m}$ $0.31 \text{ d}^{-1} \leq K_2 \leq 49.17 \text{ d}^{-1}$ |
| Negulescu y Rojanski (1969) | $K_2 = 10.9 \left(\frac{V}{H^{1.33}} \right)^{0.85}$ | $V = \text{m/s}$ $H = \text{m}$ | $H < 0.5 \text{ m}$ $U < 1.2 \text{ m/s}$ |

Donde:

- V = Velocidad de la corriente.
- H = Profundidad de la corriente.

Fuente: (CVC, UNIVALLE et al., 2007; Suarez, 2008)

La temperatura va a afectar a los coeficientes K_1 y K_2 . Se puede aproximar la variación de las constantes con la temperatura mediante la siguiente ecuación derivada de la ecuación original de Van Hoff-Arrhenius:

$$K_{T^{\circ}C} = K_{20^{\circ}C} \theta^{(T-20^{\circ}C)} \quad [17]$$

En donde para el coeficiente θ se recomienda un valor igual a 1,047 para K_1 y de 1,024 para K_2 (CVC, UNIVALLE et al., 2007; Suarez, 2008).

Fair (1939) introdujo el concepto de factor de autodepuración, expresado como:

$$f = \frac{K_2}{K_1} \quad [18]$$

3.7.4 Ecuaciones para balances de masa, velocidad media y concentración de saturación de OD

Los balances de masa para conocer variables desconocidas de los diferentes tributarios se realizarán a partir de la Ecuación de Continuidad:

$$Q_1 * C_1 + Q_2 * C_2 = Q_3 * C_3 \quad [19]$$

Donde:

- Q_1 = Caudal uno.
- C_1 = Concentración uno.
- Q_2 = Caudal dos.
- C_2 = Concentración dos.
- Q_3 = Caudal final.
- C_3 = Concentración final.

Con la Ecuación de Manning se podrá calcular la velocidad media del lecho del río:

$$V = \frac{1}{n} * R_h^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad [20]$$

Donde:

- V = Velocidad media. (m/s)
- n = Coeficiente de rugosidad.
- R_h = Radio hidráulico. (m)
- S = Pendiente del lecho del río. (m/m)

Para este estudio el n será igual a 0,035 para un suelo accidentado por rocas, tal como es el del río Las Piedras; la pendiente del río se calculó en los diferentes tramos y su valor promedio fue de 0,005 m/m (0,5%).

La concentración de saturación de OD, en agua expuesta a presión normal de 760 mm Hg, se puede calcular mediante la ecuación de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE), ignorando el efecto de la salinidad.

$$OD_{Saturación} = 14,632 - 0,41022T + 0,007991T^2 - 0,000077774T^3 \quad [21]$$

Donde:

- $OD_{Saturación}$ = Concentración de saturación de OD.
- T = Temperatura. (°C)

Para corregir el valor de $OD_{Saturación}$ a diferentes altitudes, se puede usar la fórmula de Halley:

$$P = 760e^{-E/8,005} \quad [22]$$

Donde:

- P = Presión atmosférica a la elevación E (mmHg)
- E = Elevación (msnm)

El valor de saturación de OD corregido será:

$$OD_{Saturación\ Corregido} = OD_{Saturación} \left(\frac{P}{760} \right) \quad [23]$$

(Romero, 2004)

En base a lo anterior el modelo será manejado a partir del software Microsoft Excel 2013, sus resultados serán obtenidos a partir de las ecuaciones desarrolladas de Streeter y Phelps en 1925 que se introducirán en el software, se realizará la calibración las veces que sean necesarias, es decir de acuerdo al número de tributarios que sean tenidos en cuenta en el cauce del río, que se hayan determinado de acuerdo a los pasos que se han establecido en los numerales anteriores.

3.8 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MODELO DE STREETER Y PHELPS CON LOS RESULTADOS TOMADOS EN CAMPO

La calibración de las constantes de desoxigenación (K_1) y reaeración (K_2) para el modelo se efectuara de forma iterativa tomando valores iniciales y cuando se haya corrido el modelo, se analizará si la curva de OD (Curva SAG) corresponde a la misma que se haya construido con los perfiles de OD medidos en campo, de no ser así, el modelo se calibrara nuevamente modificando las constantes de desoxigenación y reaeración hasta obtener una curva igual o similar a la que se obtiene en el terreno.

3.9 SIMULACIÓN A CARGA MÁXIMA DEL MODELO DE STREETER Y PHELPS

Con el modelo ya calibrado a la condición de Operación Normal del vertimiento de la Piscifactoría de Truchas (Piscifactoría El Diviso), se reemplaza la carga promedio por la carga máxima ($Q_{Maximo} * C_{Maxima}$) de la condición de Mantenimiento (Lavado de estanques), con el fin de determinar la respuesta del río Las Piedras en términos de calidad de sus aguas para todos los meses de estudio.

3.10 CORRELACIONES Y ANÁLISIS MULTIVARIADOS

Con las diferentes variables determinadas en campo se correlacionará la interdependencia entre ellas mismas y con los resultados modelados, con el fin de conocer la influencia del vertimiento en el tramo del río Las Piedras estudiado y su relación entre ellas. Para ello se utilizará el paquete estadístico Past: Paleontological Statistics Software Package For Education And Data Analysis, las Pruebas de Normalidad, la Prueba de Kruskal – Wallis, Correlación por Rangos de Spearman, el Análisis Cluster, el Análisis Canónico de Correspondencia (ACC) y el Análisis de Componentes Principales (ACP), cabe destacar que en el caso del análisis de organismos macroinvertebrados por el Índice BMWP/Col, al igual que los coliformes totales y coliformes fecales la aplicación estadística solo se realizará para las estaciones de muestreo en las cuales se determinaron dichas variables (Que fueron menores a las diez estaciones establecidas desde el principio) y obteniéndose así menor número de datos para analizar en comparación a las demás variables.

CAPITULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Georeferenciación y análisis de la red de drenaje

Figura 4.1 Mapa de las estaciones de estudio del rio Las Piedras.



Fuente: (Piedras, 2013)

4.2 Información del vertimiento de la Piscifactoría de Truchas (Piscifactoría El Diviso)

Tabla 4.1 Variables monitoreadas del vertimiento en Operación Normal de la Piscifactoría de las Truchas (Piscifactoría El Diviso)

| | CAUDAL | TEMP | DBO | DQO | Ph | TURBIEDAD | FOSFATOS | NITRATOS | SÓLIDOS SUSPENDIDOS | COLIFORMES |
|-----------------|--------|------|--------|--------|-------|-----------|----------|----------|---------------------|------------|
| | (L/S) | (°C) | (mg/L) | (mg/L) | (Und) | (NTU) | (mg/L) | (mg/L) | (mg/L) | UFC/100ml |
| Promedio | 418,13 | 14,5 | 5,836 | 13,423 | | 4,000 | 0,095 | 0,092 | 6,818 | 56,182 |

Fuente: (Cruz y Salazar 2007)

Tabla 4.2. Variables monitoreadas del vertimiento en Mantenimiento de la Piscifactoría de las Truchas (Piscifactoría El Diviso)

| | CAUDAL | TEMP | DBO | DQO | Ph | TURBIEDAD | FOSFATOS | NITRATOS | SOLIDOS SUSPENDIDOS | COLIFORMES |
|-----------------|--------|------|--------|---------|------|-----------|----------|----------|---------------------|------------|
| | (L/S) | (°C) | (mg/L) | (mg/L) | | (NTU) | (mg/L) | (mg/L) | (mg/L) | UFC/100ml |
| Promedio | 21,96 | 15 | 793,8 | 1060,36 | 6,21 | 598 | 0,366 | 0,356 | 2050 | >1E4 |

Fuente: (Cruz y Salazar 2007)

4.3 Índice BMWP/Col

Con respecto a la información de los comunidad de macroinvertebrados esta fue obtenida en dos formas: Primero durante los siete meses (Septiembre de 2013 – Marzo de 2014) de estudio, se escogió los meses de Noviembre y Febrero a criterio de la literatura (Cada uno en diferente época) para la recolección de macroinvertebrados en dos estaciones de muestreo, E4 y E8; segundo en las estaciones, E1, E2 y E10 se tiene una clasificación de macroinvertebrados ya determinada por el Grupo de Estudios Ambientales de la Universidad del Cauca. En el Anexo 5 se presenta la identificación de las categorías taxonómicas de organismos macroinvertebrados y en el Anexo 6 se determina cuantitativamente su abundancia, riqueza y puntaje por familia del Índice BMWP/Col para las cinco estaciones en los respectivos meses; a continuación se presenta los resultados generales obtenidos del valor total del Índice BMWP/Col para el tramo del río Las Piedras en el tiempo de estudio:

Tabla 4.3 Resultados de la aplicación del Índice BMWP/Col en el estudio.

| MES DE MUESTREO | ESTACIONES | NÚMERO DE FAMILIAS | ÍNDICE BMWP/COL | CLASE | CALIDAD DEL AGUA | SIGNIFICADO | COLOR |
|-----------------|------------|--------------------|-----------------|-------|------------------|----------------------------------|-------|
| NOVIEMBRE | E1 | 17 | 119 | I | Buena | Aguas muy limpias a limpias | |
| | E2 | 18 | 136 | I | Buena | Aguas muy limpias a limpias | |
| | E4 | 9 | 50 | III | Dudosa | Aguas moderadamente contaminadas | |
| | E8 | 9 | 48 | III | Dudosa | Aguas moderadamente contaminadas | |
| | E10 | 14 | 93 | II | Aceptable | Aguas ligeramente contaminadas | |
| | E1 | 20 | 137 | I | Buena | Aguas muy limpias a limpias | |

| | | | | | | | |
|----------------|-----|----|-----|-----|--------|----------------------------------|--|
| FEBRERO | E2 | 17 | 121 | I | Buena | Aguas muy limpias a limpias | |
| | E4 | 9 | 49 | III | Dudosa | Aguas moderadamente contaminadas | |
| | E8 | 6 | 37 | III | Dudosa | Aguas moderadamente contaminadas | |
| | E10 | 18 | 129 | I | Buena | Aguas muy limpias a limpias | |

Fuente: (Elaboración Propia)

Los organismos macroinvertebrados como bioindicadores son de gran utilidad para caracterizar la calidad de los cuerpos de agua, ya que constituyen una alta diversidad los ecosistemas, y responden más rápidamente a los cambios presentados en el habitat que los vertebrados utilizados como bioindicadores. Teniendo en cuenta estudios realizados sobre los organismos macroinvertebrados, se tiene que en aguas limpias es común encontrar poblaciones dominantes de Ephemeropteros, Plecópteros y Tricópteros, a diferencia de aguas contaminadas donde prevalecen poblaciones de Haplotaxidos y Dípteros (Roldán, 2003).

Como se muestra en el anterior tabla, era de esperarse que las estaciones E1 y E2 presentan valores por encima de 100 del Índice, ya que son las estaciones más lejanas en el tramo de estudio, las cuales están en gran parte libres de efluentes contaminantes que alteren su calidad del agua, por otro lado dos de las cinco estaciones presentan un valor del Índice BMWP/Col bajo con respecto a las demás, las cuales están cercanas al vertimiento de la Piscifactoría de Truchas (Piscifactoría El Diviso), indicando que sus aguas están moderadamente contaminadas, las zonas mencionadas albergan un número de familias indicadoras de buena calidad de agua menor en comparación a las demás zonas lo que produce un valor del Índice menor, esto puede deberse a que el vertimiento posee una concentración baja de OD con respecto a la encontrada en el río de 5.80 mg/L y una concentración de una DBO de 5,80 mg/L con una carga de 212 Kg/Día de DBO, indicando que la contaminación por el efluente nombrado sea moderada.

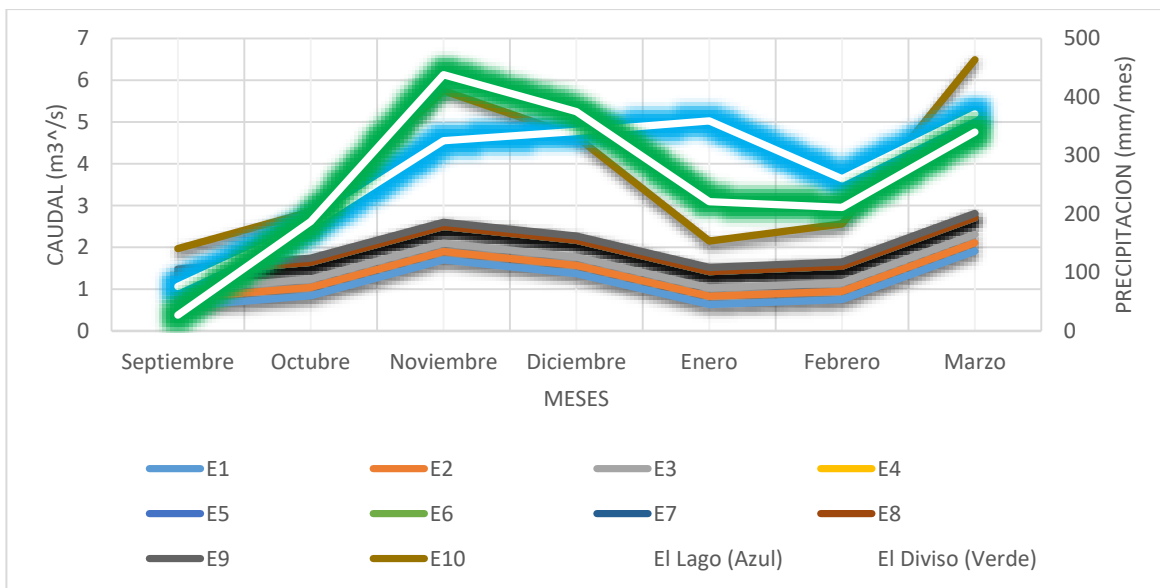
Con respecto a la estación E10, la cual obtuvo un valor del Índice menor en comparación con las estaciones E1 y E2 y de ella misma para el mes de febrero, esto puede deberse a contaminaciones difusas que no se han identificado aun como una de las zonas donde el impacto humano está mucho más presente que en las partes más altas del río.

Cabe destacar que los órdenes Ephemeroptera, Coleoptera, Plecóptera y Tricóptera fueron los más abundantes en riqueza en las estaciones E1, E2 y E10 recolectados durante los muestreos y que indican aguas muy limpias como se nombró anteriormente, sus familias más sobresalientes fueron: Oligoneuriidae, Hydrobiosidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Leptophlebiidae, Baetidae, Perlidae y Ptilodactylidae, quienes poseen puntajes para el Índice BMWP/Col entre 7 y 10, mientras que en las estaciones E4 y E8 la riqueza sobresalió en los órdenes Haplotoxida, Bassomathopora, Díptera y Triclarida, con sus familias: Lumbricidae, Chironomidae, Physidae y Dugesiiidae, con puntajes entre 1 y 6, valores bajos que indican calidad de agua con presencia de contaminación. La familia Lumbricidae fue la más predominante en riqueza en las estaciones E4 y E8, esto podría deberse sobre todo a la presencia de materia fecal arrojada por el vertimiento.

4.4 Clasificación de los meses por épocas secas, húmedas y/o normales influenciadas por variables climatológicas y fenómenos macroclimáticos

Debido que el estudio se realizó en siete meses, es importante diferenciar y clasificar los meses por periodos secos, húmedos o normales, para ello primero se realizó una comparación que se muestra en la siguiente grafica entre los caudales aforados en las diez estaciones y las precipitaciones medidas en las dos estaciones climatológicas (El Lago y El Diviso):

Figura 4.2 Grafica comparativa de caudales y precipitaciones presentadas en el estudio.



Fuente: (Elaboración Propia)

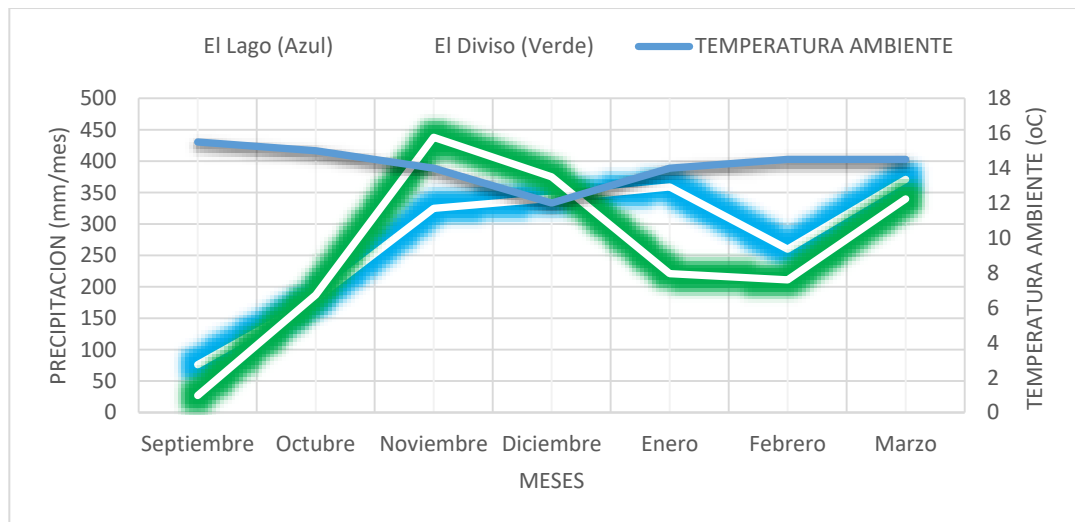
A nivel intermensual se pudo observar, que hay un comportamiento simétrico de relación directa entre los caudales y las precipitaciones de las dos estaciones climatológicas, ya que dichas estaciones se encuentran en inmediaciones cercanas a los diez puntos de muestreo establecidos, lo que brinda una muy buena aproximación real de la correlación de estas dos variables, en esta grafica se denota como el incremento o decremento de la precipitación es directamente proporcional al descenso o aumento de los caudales, además se puede observar que la gráfica de la precipitación El Lago (iluminada por el color azul) difiere un poco en relación a las demás, esto puede deberse que la estación se encuentra en una zona mucho más alejada en comparación que a la estación El Diviso.

Se puede observar que la gráfica de caudal de la estación E10 presenta los caudales más elevados que superan en promedio los 2000 L/s llegando hasta valores entre los 4000 L/s y 6000 L/s, esto se debe a que la estación se encuentra en la parte baja de la cuenca y por estar en dicha zona, la medición del caudal tiene en cuenta todos los aportes que le llegan por diferentes factores naturales y/o antrópicos, reportando así los caudales más altos durante todo el tiempo del tramo de estudio, tal como se muestra también los caudales más bajos se

presentaron en la cuenca alta que van desde los 600 L/s hasta los 1700 L/s, la parte intermedia reporta caudales medios que llegan hasta 3000 L/s.

Para analizar un enfoque diferente, se realizó una gráfica de temperatura ambiente contra la precipitación de las dos estaciones, el Anexo 7 presenta los resultados de las variables climatológicas:

Figura 4.3 Grafica comparativa de precipitaciones y temperatura ambiente presentadas en el estudio



Fuente: (Elaboración Propia)

Tal como lo muestra la gráfica en los meses de noviembre y diciembre en los que la precipitación es más alta, el decremento de la temperatura de casi 16 grados a 12 grados refleja la presencia de incremento de lluvias en comparación a los demás meses que de enero en adelante, donde la temperatura va aumentando poco a poco.

Ya teniendo una tendencia del comportamiento climático en la cuenca con respecto a la variación de los caudales, no se puede definir con solo este comportamiento que periodo o periodos se hicieron presentes en la cuenca, por tanto se optó hacer una clasificación de la serie de los caudales aforados en meses secos, normales y húmedos, a través de la influencia de fenómenos macroclimáticos como son El Niño y La Niña, ya que esta clasificación permite la toma de decisiones sobre la GIRH en la cuenca ante los momentos críticos de los fenómenos.

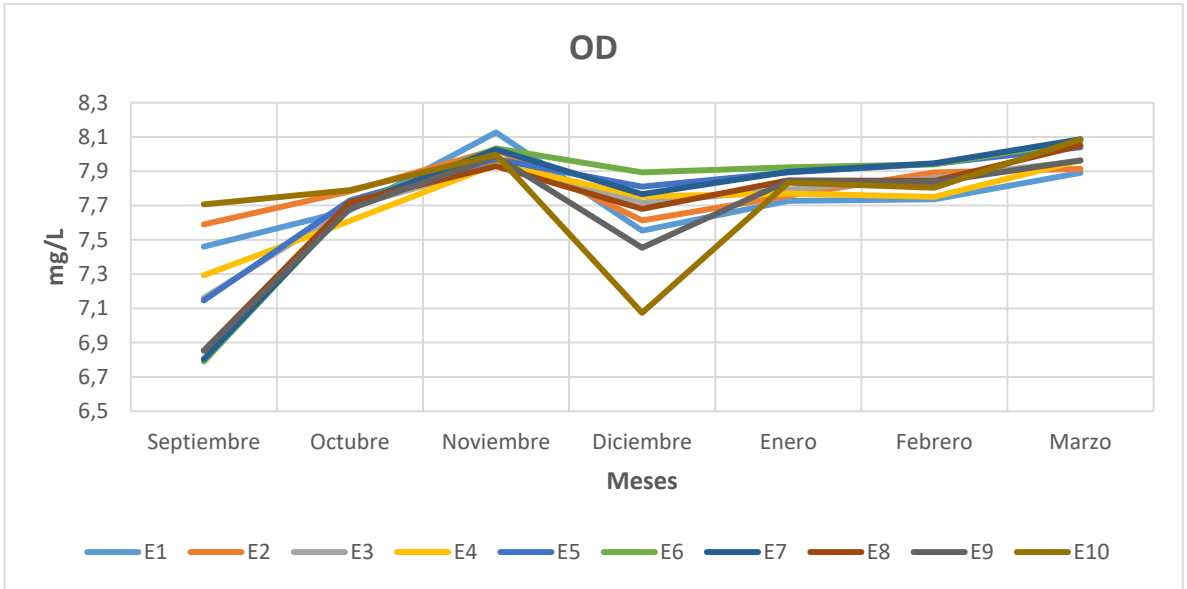
Para dicha clasificación se utilizaron los reportes de un grupo de investigación de Estados Unidos, el Climate Prediction Center (Anexo 8). Se observó la clasificación que brindaba el grupo de investigación para dichos fenómenos y se definieron los meses como Niño (seco), Niña (húmedo) y normal.

La tabla presentada indica que a valores menores de -0,5 en adelante se clasifica como fenómeno de la Niña, periodo en el cual se estima que los caudales aumenten y a valores mayores de 0.5 en adelante se clasifica como fenómeno del Niño, periodo en el cual los caudales disminuyen. En la clasificación para este estudio, se encontró que de los siete meses, cuatro meses (Septiembre de 2013 a Diciembre de 2013) estuvieron influenciados por Época Normal ya que están con los valores -0.3, -0.2, -0.3 y -0.4 respectivamente y 3 meses (Enero de 2014 a Marzo de 2014) por el Fenómeno de la Niña con valores de -0.6, -0.6 y -0.5, lo que indica que el periodo del estudio estuvo prácticamente sin condiciones secas y si influenciadas sobre todo por condiciones húmedas, de alta pluviosidad y temperatura baja.

4.5 Análisis espacio – temporal de las variables determinadas

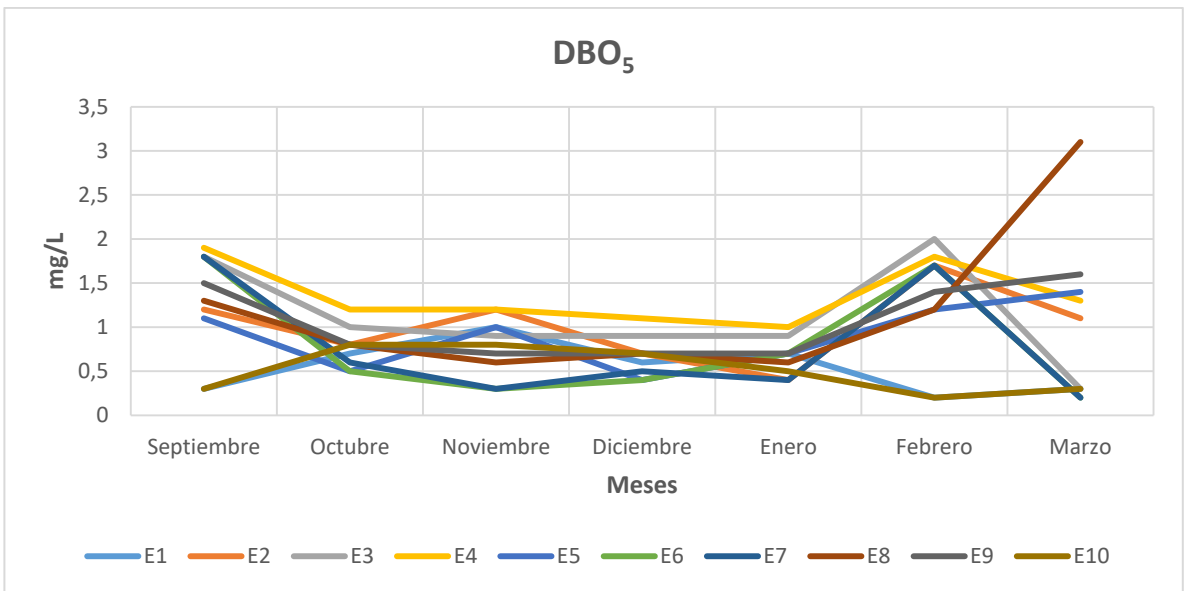
Catorce fueron las variables entre físicas y químicas que se estudiaron en todo el tramo de estudio y dos variables biológicas, pero las cuales solo fueron determinadas en cuatro estaciones, a continuación solo se presentan las gráficas de las variables más representativas en este análisis, las demás tablas y gráficas espacio – temporal de los resultados de todas las variables se encuentran en los Anexos del 9 al 15 y del 16 al 22 respectivamente:

Figura 4.4 Comportamiento espacio – temporal del OD durante el estudio.



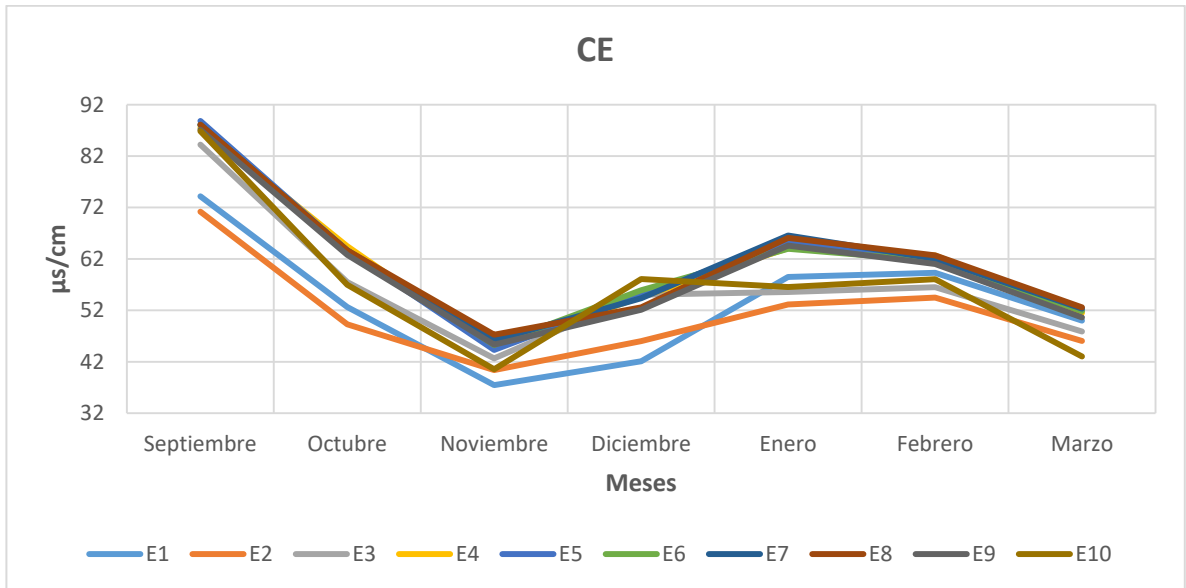
Fuente: (Elaboración Propia)

Figura 4.5. Comportamiento espacio – temporal de la DBO₅ durante el estudio.



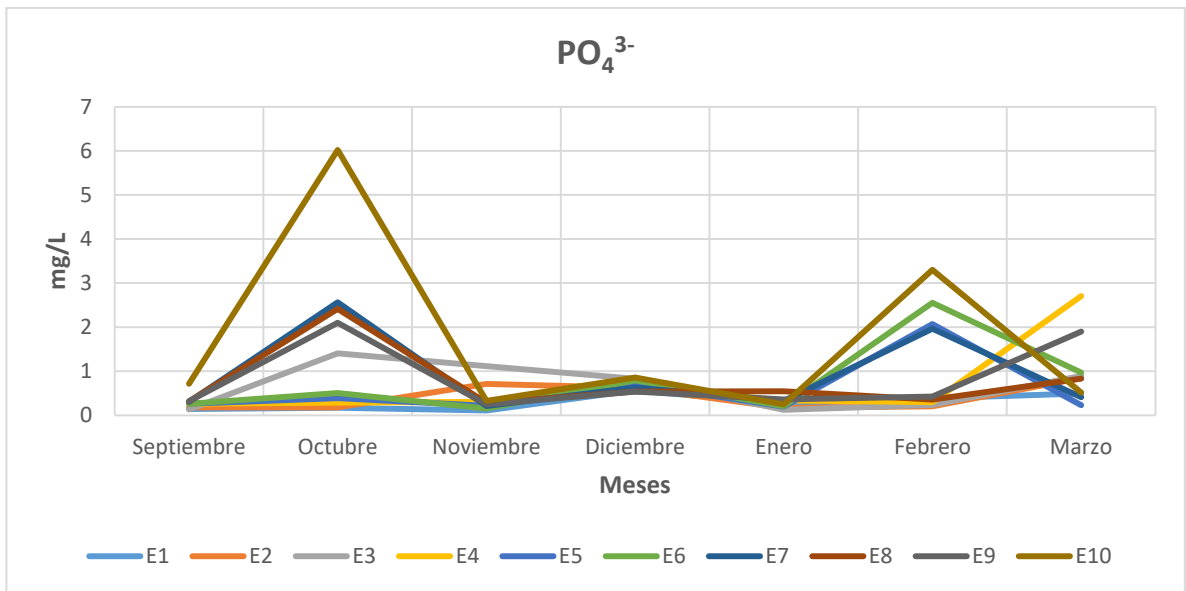
Fuente: (Elaboración Propia)

Figura 4.6. Comportamiento espacio – temporal de la CE durante el estudio.



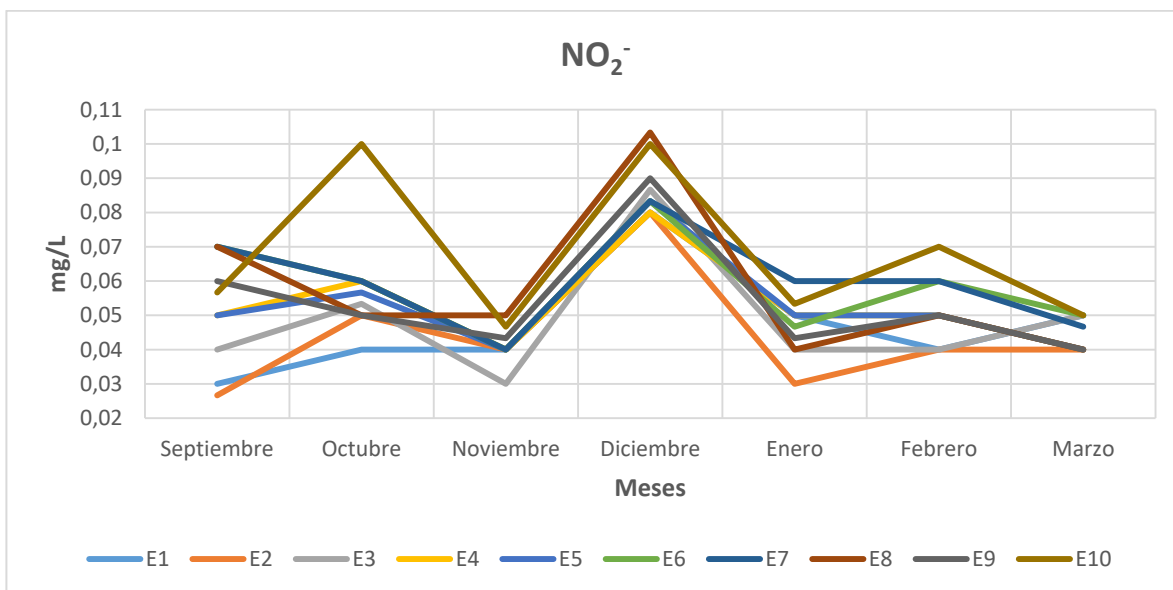
Fuente: (Elaboración Propia)

Figura 4.7. Comportamiento espacio – temporal de PO_4^{3-} durante el estudio.



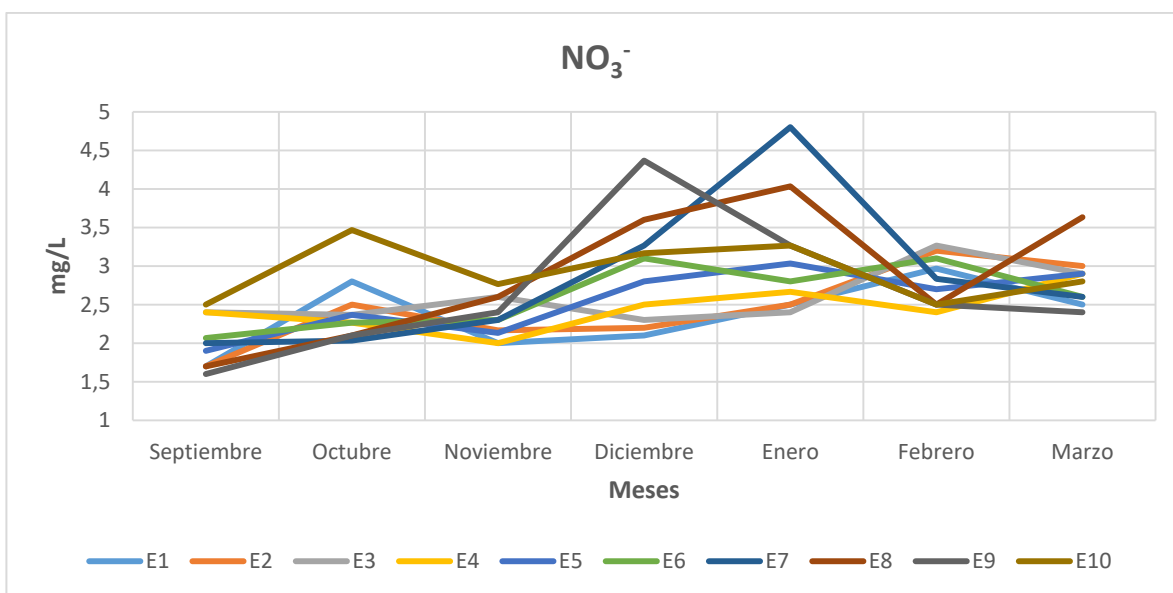
Fuente: (Elaboración Propia)

Figura 4.8. Comportamiento espacio – temporal de NO_2^- durante el estudio.



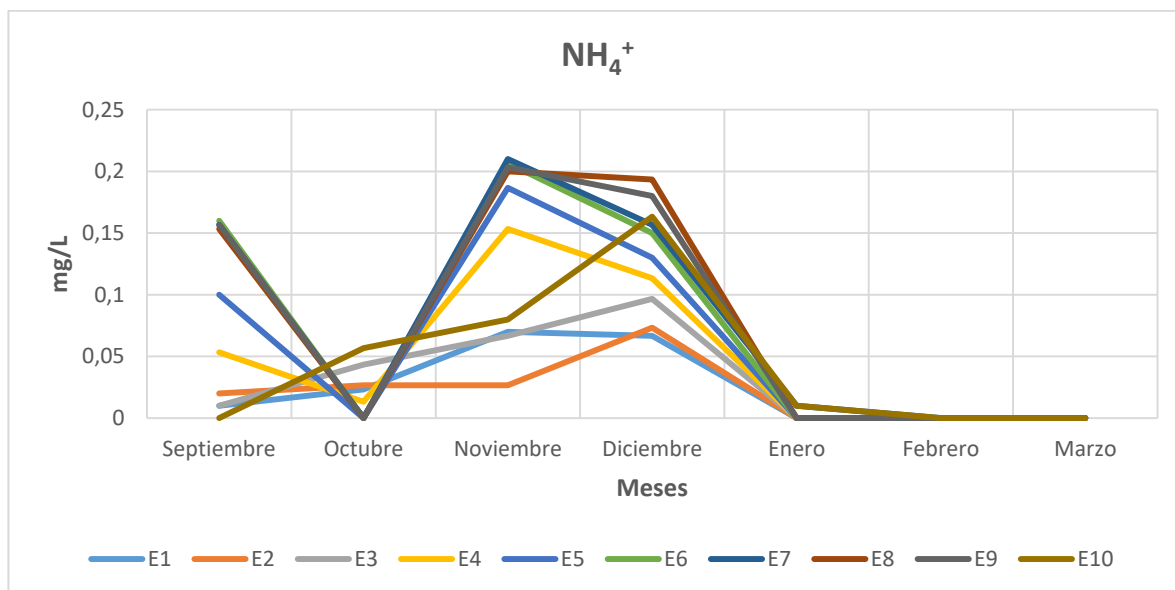
Fuente: (Elaboración Propia)

Figura 4.9. Comportamiento espacio – temporal de NO_3^- durante el estudio.



Fuente: (Elaboración Propia)

Figura 4.10. Comportamiento espacio – temporal de NH_4^+ durante el estudio.



Fuente: (Elaboración Propia)

La CE presento valores admisibles dentro del Decreto 1594 de 1984 para el consumo de agua potable, los valores encontrados estuvieron para el mes de septiembre como los más altos entre 70 y 90 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y valores bajos en los meses de noviembre y marzo de 40 a 50 $\mu\text{s}/\text{cm}$, debido a que la CE se debe en parte al suministro de sales disueltas y que pueden ser aportadas por la geología del cauce del río o por efluentes vertidos, por tal razón se evidencia la diferencia de las estaciones de la cuenca alta de las demás y como la aportación de OD en los meses más lluviosos produjeron una menor CE (Carvacho, 2012). La temperatura hídrica no se vio afectada significativamente en todo el estudio, prácticamente se mantuvo constante a pesar de que hubieron diferencias de lluvias de un mes a otro, si se puede notar un leve descenso de esta variable en el mes de noviembre por ser el más frío del estudio, además se puede evidenciar como en la cuenca alta se registran temperaturas menores a las de la cuenca baja. La turbiedad como medida de la materia suspendida que interfiere el paso de la luz en el agua, como era de esperarse, se incrementó en los meses donde se registraron las mayores precipitaciones, además las estaciones cercanas al vertimiento estudiado presentaron entre 20 y 40 NTU, superando ampliamente lo admisible por la norma, lo que se hace necesario la filtración de sus aguas para consumo humano, cabe destacar que al ser la E10 la estación más lejana de la cuenca baja no presento

mayores NTU que en comparación a las demás, debido a que la amplitud del ancho de su cauce, ocasiona que la turbiedad se disperse más que en las estaciones donde se hace más angosto el ancho (Rivera, Pinilla et al., 2013).

En las variables OD y saturación de OD se evidenció una baja concentración en el mes más seco (septiembre) y en diciembre se registró también un descenso en la concentración, esto puede deberse al incremento de la temperatura como a otras variables físicas y químicas que alteran la solubilidad del oxígeno en el agua (Carvacho, 2012), tal como se nota las mayores concentraciones se evidencian en la cuenca alta, aunque las demás estaciones presentan concentraciones cercanas, ya que la contaminación por el vertimiento no es tan crítica como es de esperarse, E4 presenta concentraciones de OD cercanas, pero es importante notar la pequeña diferencia de las demás, aunque las unidades varían en decimales, el efecto que hace el vertido es leve pero considerable al momento de sobrevivir las comunidades bióticas que se encuentran en el entorno, el descenso es bajo con respecto a las concentraciones de la cuenca alta. La DBO₅ y la DQO₅ fueron fluctuantes en todo el estudio, se encontraron concentraciones, tal como se esperaba, la E4 presentó la curva más alta en ambas variables, las concentraciones de DBO del vertimiento están dentro de los valores permisibles por la normatividad colombiana en acuicultura de agua dulce, por lo que los impactos drásticos en el río no se presencian, tal como lo demuestra el comportamiento del OD; la relación entre DBO/DQO y DQO/DBO en todo el tramo de estudio presentaron índices de biodegradabilidad entre valores de 0,6 y 1,6 respectivamente (Ver Anexos del 23 al 29), indicando que la materia orgánica es fácilmente biodegradable. De acuerdo a lo que se ha reportado en el marco teórico, los vertimientos por piscicultura contienen excrementos y alimentos disueltos de los peces en grandes volúmenes de agua (Camargo, Gonzalo et al., 2011), por lo que la afectación no es considerable en el río y es así como se corrobora con los altos índices de biodegradación encontrados en esta investigación.

Los nutrientes (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- y PO_4^{3-}), se encontraron fluctuantes debido a que son iones. Los PO_4^{3-} evidenciaron concentraciones mayores en las zonas aguas abajo del vertimiento, el NH_4^+ , NO_2^- y los NO_3^- estuvieron por debajo de las concentraciones permisibles, indicando leve contaminación por estos iones y además evitando procesos de eutrofización y crecimiento de plantas en el río, además por la presencia de la reaireación y de las buenas concentraciones de OD, los NO_3^- fueron la especie iónica con mayores concentraciones, dejando atrás a el NH_4^+ y los NO_2^- que presentaron concentraciones mucho menores, favoreciendo la desnitrificación del río (Rivera, Pinilla et al., 2013) los meses más

húmedos, presentaron concentraciones mayores de estos nutrientes, donde el aporte de OD es mayor para este proceso debido a los procesos de oxidación, lo anterior es importante considerarlo debido a que estos nutrientes en concentraciones considerables pueden aumentar los procesos de eutrofización, afectando la calidad del agua y la complejidad en el uso de la misma por parte de las comunidades.

Debido a que los SDT y la CE se relacionan entre si y el comportamiento espacio – temporal de ambas es el mismo, se puede rescatar que estos podrían haberse presentado en sustancias neutrales que no afectaron el pH, por procesos como meteorización de rocas, deslizamientos, aporte de SDT por escorrentía, entre otros, sin alterar significativamente las condiciones del cauce, tal como se evidencio en el pH que permaneció constante; la salinidad es prácticamente nula en este cuerpo de agua dulce con porcentajes entre el 0,02 al 0,04% en todo el estudio.

Las variables biológicas representativas en este estudio fueron los coliformes totales y coliformes fecales, sus resultados y grafica se encuentran en los Anexos 30 al 36 y 37 respectivamente. Los coliformes totales presentaron valores por encima de los 2420 NMP, no se conocen con exactitud los valores durante todos los meses debido a que dicho valor es el limitante registrado en el Laboratorio del Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A E.S.P, solo existió una caída de esta variable en el mes de diciembre, esto podría deberse a que por ser uno de los meses con mayores lluvias, la dispersión de estos organismos se hace mayor en el cauce del rio. Los coliformes fecales indicaron una variabilidad más notable en el estudio, debido a que este índice se basa en una bacteria específica la presencia de la *Escherichia coli*, tal como se ve en el Anexo 37. La estación E8 presento, en la mayoría de los meses, las mayores concentraciones de estos microorganismos, debido a la cercanía al vertimiento de estudio. Los meses de febrero y marzo presentaron mayores fluctuaciones en la curva, esto puede deberse a que el ciclo metabólico y de digestión de las truchas arco iris en estos meses pudo ser mayor (Camargo, Gonzalo et al., 2011), por lo tanto la producción de heces por cultivo se incrementara proporcionalmente a los coliformes fecales con valores que sobrepasan los 300 NMP. Por su parte los sitios de muestreo E1 y E10 arrojaron valores más bajos debido a que se encuentran en la zona alta y baja respectivamente, justificando así el impacto relativamente significativo que se realiza por el vertimiento. Cabe destacar que en un tramo de 10 Km es complejo conocer todas las aportaciones de efluentes contaminantes al rio Las Piedras, que pueden estar ocasionando incrementos de esta variable además de la zona del vertimiento, pero se pudo analizar que la materia orgánica arrojada por el aumenta

esta variable y corroborando la abundancia encontrada con la familia Lumbricidae en el numeral 4.3.

Por último se hizo un análisis especialmente para las dos variables que influyen en el comportamiento del modelo de Streeter y Phelps, al OD y a la DBO₅. Se les aplico la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis (Debido a que los datos del estudio no tienen una distribución normal) a través de una matrices de correlación, para conocer si hay diferencia significativa de estas variables entre las mismas estaciones, tal como se muestra en el Anexo 38, en el OD no existió diferencia significativa ($P < 0,05$) entre las estaciones, indicando que entre todas las estaciones la variación del OD es mínima. La DBO₅ arrojó diferencias significativas entre las estaciones, corroborando que el aporte de materia orgánica en el río Las Piedras puede ser leve, pero suficiente para registrar diferencias significativas entre los puntos de muestreo definidos.

Tabla 4.4 Resultados de la Prueba de Kruskal – Wallis para OD.

| <p>H (chi²): 10,19 Hc (tie corrected): 10,2 p(same): 0,3347</p> <p>Mann-Whitney pairwise comparisons, Bonferroni corrected \ uncorrected:</p> | | | | | | | | | | |
|---|-------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|
| | OD E1 | OD E2 | OD E3 | OD E4 | OD E5 | OD E6 | OD E7 | OD E8 | OD E9 | OD E10 |
| OD E1 | | 0,1949 | 0,1949 | 0,5538 | 0,0739 | 0,05413 | 0,11 | 0,3712 | 0,8798 | 0,1905 |
| OD E2 | 1 | | 0,9899 | 0,3847 | 0,2904 | 0,1098 | 0,308 | 0,9498 | 0,5712 | 0,6145 |
| OD E3 | 1 | 1 | | 0,3847 | 0,2904 | 0,1098 | 0,308 | 0,9498 | 0,5712 | 0,6145 |
| OD E4 | 1 | 1 | 1 | | 0,1212 | 0,104 | 0,1618 | 0,6054 | 0,6962 | 0,144 |
| OD E5 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 0,6867 | 1 | 0,2315 | 0,2174 | 0,4965 |
| OD E6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 0,7913 | 0,1307 | 0,08014 | 0,3646 |
| OD E7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 0,3261 | 0,1906 | 0,7625 |
| OD E8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 0,5964 | 0,8011 |
| OD E9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 0,5126 |
| OD E10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |

Fuente: (Elaboración Propia)

Tabla 4.5 Resultados de la Prueba de Kruskal – Wallis para DBO₅.

| H (chi ²): | | 59,56 | | | | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| Hc (tie corrected): | | 59,93 | | | | | | | | |
| p(same): | | 1,381E-09 | | | | | | | | |
| Mann-Whitney pairwise comparisons, Bonferroni corrected \ uncorrected: | | | | | | | | | | |
| | DBO E1 | DBO E2 | DBO E3 | DBO E4 | DBO E5 | DBO E6 | DBO E7 | DBO E8 | DBO E9 | DBO E10 |
| DBO E1 | | 6,754E-05 | 0,0002537 | 4,83E-08 | 0,001446 | 0,4998 | 0,7412 | 0,000931 | 5,055E-05 | 0,9898 |
| DBO E2 | 0,003039 | | 0,7417 | 0,006074 | 0,367 | 0,07019 | 0,05454 | 0,919 | 0,9186 | 0,0001067 |
| DBO E3 | 0,01142 | 1 | | 0,008867 | 0,6573 | 0,01704 | 0,01704 | 0,4319 | 0,2126 | 8,328E-06 |
| DBO E4 | 2,174E-06 | 0,2733 | 0,399 | | 0,0009685 | 0,001518 | 0,001518 | 0,02311 | 0,03116 | 2,618E-08 |
| DBO E5 | 0,06507 | 1 | 1 | 0,04358 | | 0,1759 | 0,1428 | 0,4329 | 0,1388 | 0,0009941 |
| DBO E6 | 1 | 1 | 0,7669 | 0,06831 | 1 | | 0,9191 | 0,02373 | 0,04014 | 0,5002 |
| DBO E7 | 1 | 1 | 0,7669 | 0,06831 | 1 | 1 | | 0,009096 | 0,01729 | 0,5762 |
| DBO E8 | 0,04189 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,4093 | | 0,3067 | 0,0006319 |
| DBO E9 | 0,002275 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,778 | 1 | | 0,0002339 |
| DBO E10 | 1 | 0,0048 | 0,0003748 | 1,178E-06 | 0,04473 | 1 | 1 | 0,02844 | 0,01053 | |

Fuente: (Elaboración Propia)

4.6 Calibración del modelo de Streeter y Phelps

El modelo de Streeter y Phelps tuvo su calibración para un tramo de 10 Km del río Las Piedras durante siete meses, el número de veces que se utilizó fue de acuerdo a el número de tributarios asumidos por las diferencias de los caudales aforados en las estaciones del río, debido a que no se pudo establecer el número exacto de efluentes que se adherían al río por mapas ni tampoco en campo, a continuación se presenta la red de drenaje a modelar:

Figura 4.11 Red de drenaje a modelar



Fuente: (Elaboración Propia)

Debido a como lo muestra la figura el modelo debió ser calibrado por cada tramo, es decir seis veces para cada mes, ya que se encontraron cuatro tributarios (Algunos superaron el 10% del caudal del río y otros no) y un vertimiento en el río, subdividiendo el tramo del río Las Piedras en seis subtramos, por tanto a continuación se desarrolla un cálculo tipo para el mes de septiembre de 2013 considerando que fue uno de los meses en donde se presentaron caudales bajos en la estaciones, menores precipitaciones y mayor temperatura ambiente, este mismo procedimiento se desarrolló para todos los demás meses, los resultados de las variables utilizadas en la calibración del modelo se encuentran en los Anexos del 9 al 15 y del 39 al 45 y los resultados completos y detallados de la ecuaciones pertenecientes al modelo para todos los siete meses en todo el tramo del río Las Piedras se encuentran en los Anexos del 46 al 52.

Para el cálculo tipo se tendrá en cuenta toda la red de drenaje modelada, es decir se tendrá en cuenta todo el tramo del río Las Piedras de 10 Km.

A continuación se presenta una tabla general en la cual se presentan los resultados de las variables más importantes solicitadas por el modelo de Streeter y Phelps por cada tributario y de los resultados antes y después a la mezcla en el cálculo tipo del mes de septiembre, obtenidos a partir de las ecuaciones planteadas en la metodología:

Tabla 4.6. Resultados del cálculo tipo del modelo de Streeter y Phelps para el mes de septiembre de 2013.

| TRAMO 1 (Km 0,0 – Km 1,70) | | | |
|---|--------------|-------------------|-------------------------|
| VARIABLE | ANTES | TRIBUTARIO | DESPUES (MEZCLA) |
| Q (m ³ /s) | 0,580 | - | 0,580 |
| Velocidad Media (m/s) | 1,09 | - | 1,09 |
| Profundidad Media (m) | 0,45 | - | 0,45 |
| Temperatura Hídrica (°C) | 15,57 | - | 15,57 |
| OD (mg/L) | 7,45 | - | 7,45 |
| OD de Saturación (mg/L) | 7,53 | - | 7,53 |
| DBO _U (mg/L) | 0,3 | - | 0,3 |
| Constante de Desoxigenación (K ₁) | 1,50 | - | 1,50 |
| Constante de Reaireación (K ₂) | 22,44 | - | 22,44 |
| Tiempo de Viaje (Minutos) | - | - | 29 |
| DBO _U Final (mg/L) | - | - | 0,3 |
| OD Final (mg/L) | - | - | 7,45 |
| OD Mínimo (mg/L) | - | - | 7,45 |
| TRAMO 2 (Km 1,70 – Km 3,90) | | | |
| VARIABLE | ANTES | TRIBUTARIO | DESPUES (MEZCLA) |
| Q (m ³ /s) | 0,580 | 0,200 | 0,780 |
| Velocidad Media (m/s) | 1,09 | - | 0,96 |
| Profundidad Media (m) | 0,45 | - | 0,35 |
| Temperatura Hídrica (°C) | 15,57 | 18,14 | 16,23 |

| | | | |
|--|--------------|-------------------|-----------------------------|
| OD (mg/L) | 7,45 | 8,00 | 7,59 |
| OD de Saturación (mg/L) | 7,53 | 7,08 | 7,42 |
| DBO _U (mg/L) | 0,3 | 3,8 | 1,2 |
| Constante de Desoxigenación (K ₁) | 1,50 | - | 1,70 |
| Constante de Reaireación (K ₂) | 22,44 | - | 33,01 |
| Tiempo de Viaje (Minutos) | - | - | 58 |
| DBO _U Final (mg/L) | - | - | 1,2 |
| OD Final (mg/L) | - | - | 7,53 |
| OD Mínimo (mg/L) | - | - | 7,53 |
| TRAMO 3 (Km 3,90 – Km 4,42) | | | |
| VARIABLE | ANTES | TRIBUTARIO | DESPUES (MEZCLA) |
| Q (m ³ /s) | 0,780 | 0,200 | 0,980 |
| Velocidad Media (m/s) | 0,96 | - | 1,15 |
| Profundidad Media (m) | 0,35 | - | 0,47 |
| Temperatura Hídrica (°C) | 16,23 | 16,57 | 16,30 |
| OD (mg/L) | 7,51 | 5,40 | 7,10 |
| OD de Saturación (mg/L) | 7,42 | 7,37 | 7,41 |
| DBO _U (mg/L) | 1,2 | 4,1 | 1,8 |
| Constante de Desoxigenación (K ₁) (d ⁻¹) | 1,70 | - | 1,53 |
| Constante de Reaireación (K ₂) (d ⁻¹) | 33,01 | - | 21,41 |
| Tiempo de Viaje (Minutos) | - | - | 15 |
| DBO _U Final (mg/L) | - | - | 1,7 |
| OD Final (mg/L) | - | - | 7,14 |
| OD Mínimo (mg/L) | - | - | 7,10 |

| TRAMO 4 (Km 4,42 – Km 4,52) | | | |
|--|--------------|--------------------|-------------------------|
| VARIABLE | ANTES | VERTIMIENTO | DESPUES (MEZCLA) |
| Q (m ³ /s) | 0,980 | 0,400 | 1,380 |
| Velocidad Media (m/s) | 1,15 | - | 0,99 |
| Profundidad Media (m) | 0,47 | - | 0,40 |
| Temperatura Hídrica (°C) | 16,30 | 16,30 | 16,30 |
| OD (mg/L) | 7,10 | 5,80 | 6,75 |
| OD de Saturación (mg/L) | 7,41 | 7,41 | 7,41 |
| DBO _U (mg/L) | 1,8 | 5,8 | 2,9 |
| Constante de Desoxigenación (K ₁) (d ⁻¹) | 1,53 | - | 1,29 |
| Constante de Reaireación (K ₂) (d ⁻¹) | 21,41 | - | 29,33 |
| Tiempo de Viaje (Minutos) | - | - | 1,5 |
| DBO _U Final (mg/L) | - | - | 2,9 |
| OD Final (mg/L) | - | - | 6,76 |
| OD Mínimo (mg/L) | - | - | 6,75 |
| TRAMO 5 (Km 4,52– Km 6,30) | | | |
| VARIABLE | ANTES | TRIBUTARIO | DESPUES (MEZCLA) |
| Q (m ³ /s) | 1,380 | 0,100 | 1,480 |
| Velocidad Media (m/s) | 0,99 | - | 1,03 |
| Profundidad Media (m) | 0,40 | - | 0,43 |
| Temperatura Hídrica (°C) | 16,30 | 16,30 | 16,30 |
| OD (mg/L) | 6,75 | 6,77 | 6,66 |
| OD de Saturación (mg/L) | 7,41 | 7,41 | 7,41 |

| | | | |
|--|--------------|-------------------|-----------------------------|
| DBO _U (mg/L) | 2,9 | 0,4 | 2,7 |
| Constante de Desoxigenación (K ₁) (d ⁻¹) | 1,29 | - | 1,25 |
| Constante de Reaireación (K ₂) (d ⁻¹) | 29,33 | - | 27,09 |
| Tiempo de Viaje (Minutos) | - | - | 29 |
| DBO _U Final (mg/L) | - | - | 2,7 |
| OD Final (mg/L) | - | - | 6,95 |
| OD Mínimo (mg/L) | - | - | 6,65 |
| TRAMO 6 (Km 6,30 – Km 10,00) | | | |
| VARIABLE | ANTES | TRIBUTARIO | DESPUES (MEZCLA) |
| Q (m ³ /s) | 1,480 | 0,490 | 1,970 |
| Velocidad Media (m/s) | 1,03 | - | 1,03 |
| Profundidad Media (m) | 0,43 | - | 0,43 |
| Temperatura Hídrica (°C) | 16,30 | 21,81 | 17,67 |
| OD (mg/L) | 6,66 | 10,30 | 7,78 |
| OD de Saturación (mg/L) | 7,41 | 6,61 | 7,19 |
| DBO _U (mg/L) | 2,7 | 3,3 | 2,8 |
| Constante de Desoxigenación (K ₁) (d ⁻¹) | 1,25 | - | 1,25 |
| Constante de Reaireación (K ₂) (d ⁻¹) | 27,09 | - | 27,09 |
| Tiempo de Viaje (Minutos) | - | - | 58 |
| DBO _U Final (mg/L) | - | - | 2,7 |
| OD Final (mg/L) | - | - | 7,44 |
| OD Mínimo (mg/L) | - | - | 7,44 |

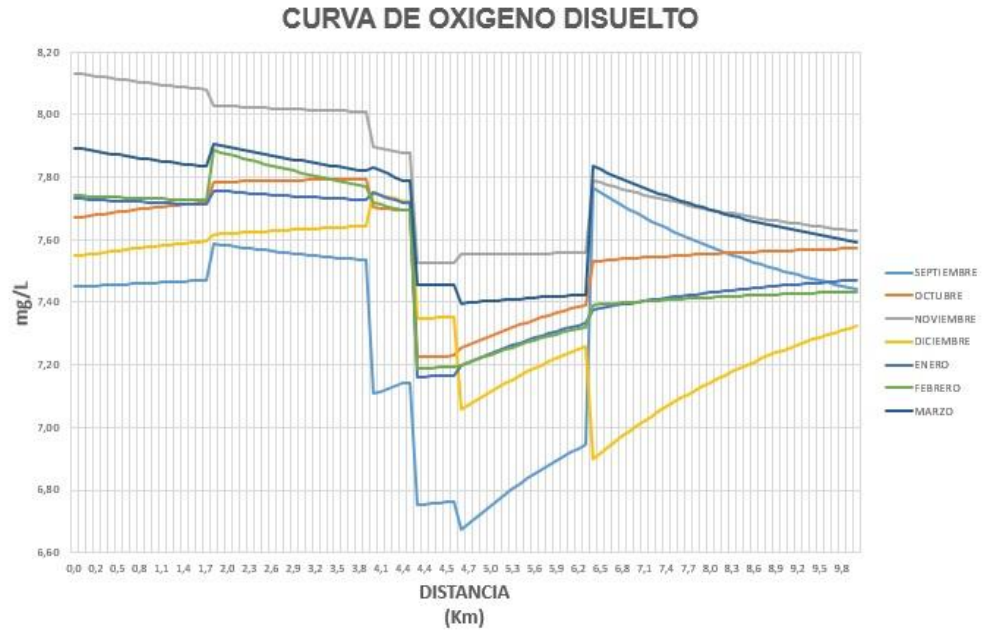
Fuente: (Elaboración Propia)

Las constantes de desoxigenación (K_1) y reaeración (K_2), se calcularon a través de las ecuaciones de Wrigth y McDonnell y Owens, Edwards y Gibbs respectivamente que están reportadas en las Tablas 3.2 y 3.3, ya que los resultados de caudal, velocidad media y profundidad media encontrados en el río Las Piedras estuvieron dentro de las condiciones que exigen estas ecuaciones, cabe destacar que estas ecuaciones fueron las mismas utilizadas en todo el estudio, ya que fueron las que mejor se acoplaron a los datos encontrados en la investigación.

Solo para el subtramo donde hace presencia el vertimiento se calibraran las ecuaciones para conocer las condiciones críticas del tiempo, distancia y déficit, ya que es el vertimiento más importante de esta investigación y conocer en qué momento sus condiciones se encuentran mínimas, los demás tributarios al ser cuerpos de agua natural no poseen importancia relevante al calibrar dichas ecuaciones en este trabajo.

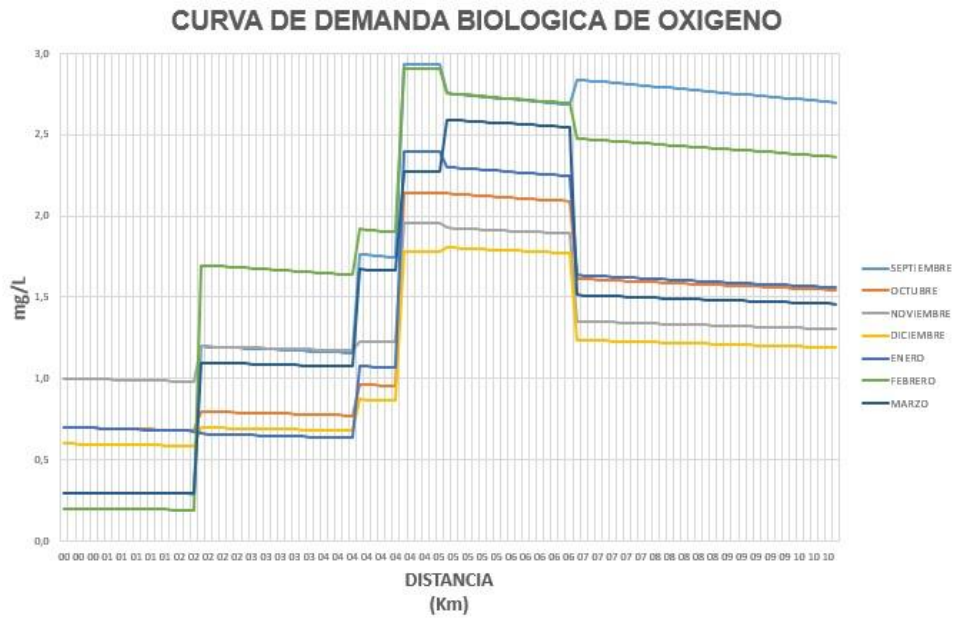
Después de modelar todo el cauce del río en 10 Km, con sus múltiples contribuciones y siendo el tramo de estudio a partir de los tributarios subdividido en seis subtramos, se obtuvo la curva de OD y de DBO por mes que arroja el modelo de Streeter y Phelps, cabe destacar que hay tramos en los cuales la curva se vuelve demasiado corta, esto es por la longitud de los mismos que algunos pueden estar entre 0,1 y 0,5 Km en comparación a tramos largos que están entre los 2 y 3,5 Km.

Figura 4.12 Comportamiento del OD modelado por meses



Fuente: (Elaboración Propia)

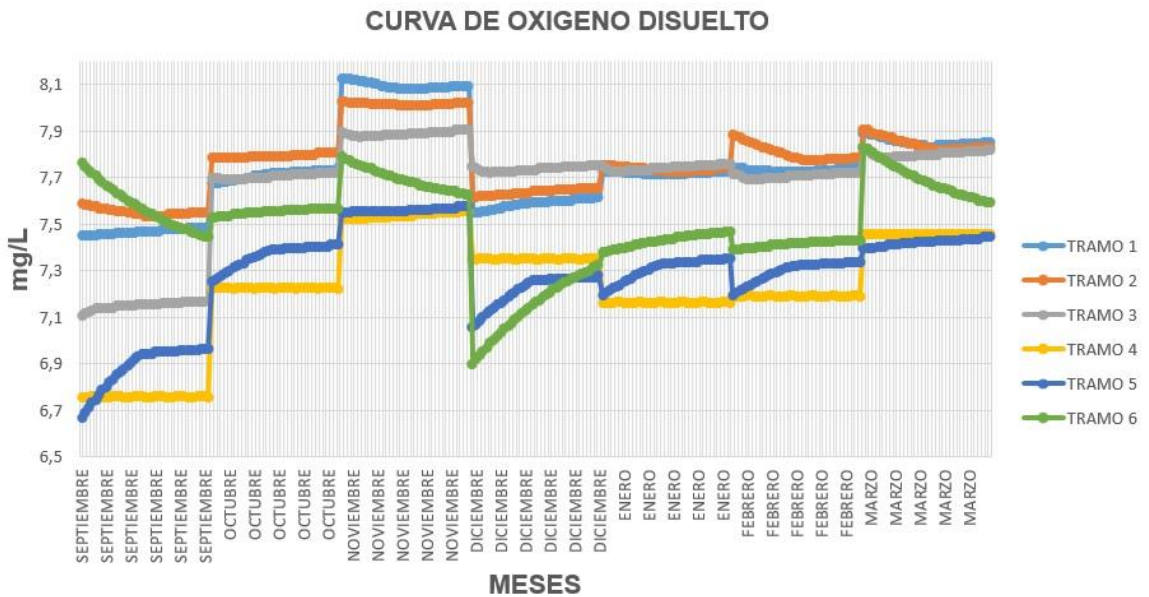
Figura 4.13 Comportamiento de la DBO modelada por meses



Fuente: (Elaboración Propia)

El análisis temporal contribuye a conocer el comportamiento de cada una de ellas al ser modeladas en el paso del tiempo del estudio con respecto a la concentración del OD y de cómo fluctúa esta variable a medida que las condiciones climatológicas varían de un mes a otro.

Figura 4.14 Comportamiento del OD modelado por subtramos



Fuente: (Elaboración Propia)

4.7 Comparación de los resultados del modelo de Streeter y Phelps con los resultados tomados en campo

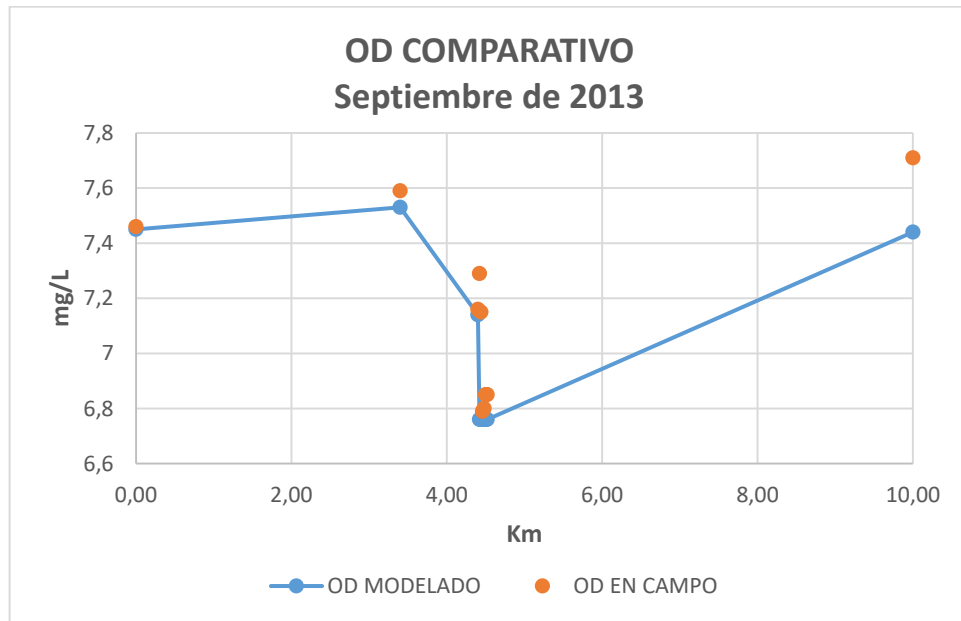
Esta comparación de los resultados modelados con los resultados reales, depende esencialmente de la elección de coeficientes K_1 y K_2 , aquellos coeficientes se estiman a menudo por fórmulas empíricas, y, a veces, requerir ajustes por el especialista que estudia el fenómeno. De hecho, es la parte más difícil en la modelación debido a la existencia gran cantidad de combinaciones posibles, que aumenta a medida la precisión requerida (Oliveira, Ribeiro et al., 2008).

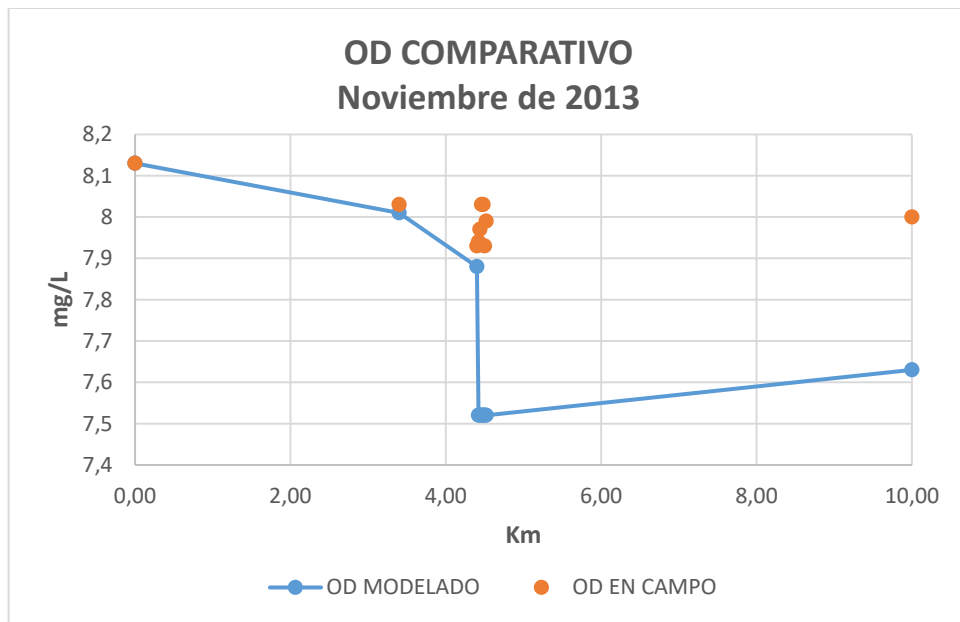
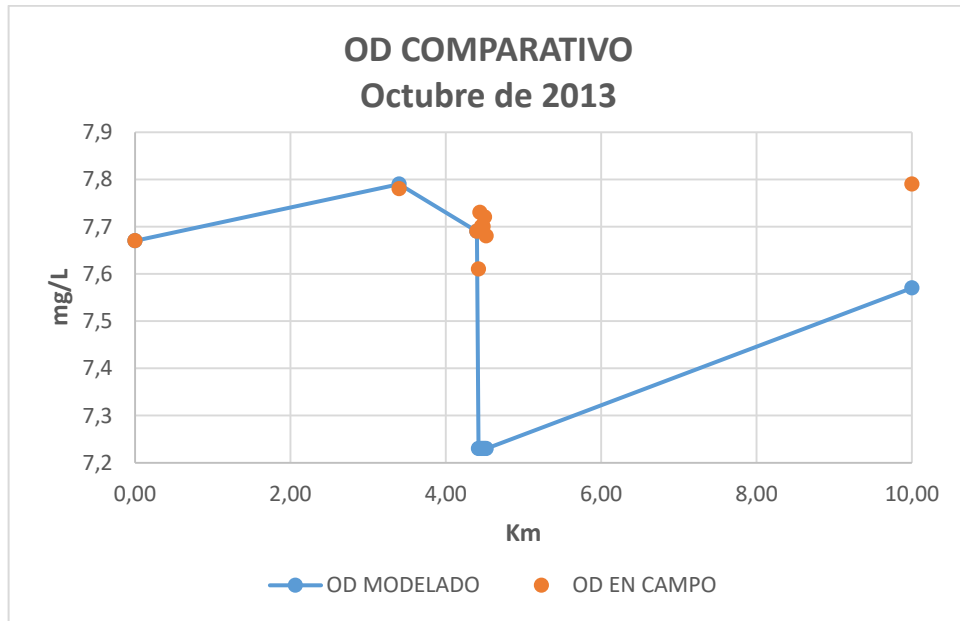
Se desarrolló un gráfico por mes en donde se superpusieran las gráficas de los diez datos modelados y los diez de campo para comparar la diferencia, debido a que no se pudo superponer las gráficas modeladas con todos sus datos en todo el tramo del río con los tomados de campo al mismo tiempo, ya que la diferencia de datos que existen entre los dos es grande, mientras que por mes los datos modelados estuvieron cerca de los 100 (El delta de distancia fue de 100 metros en

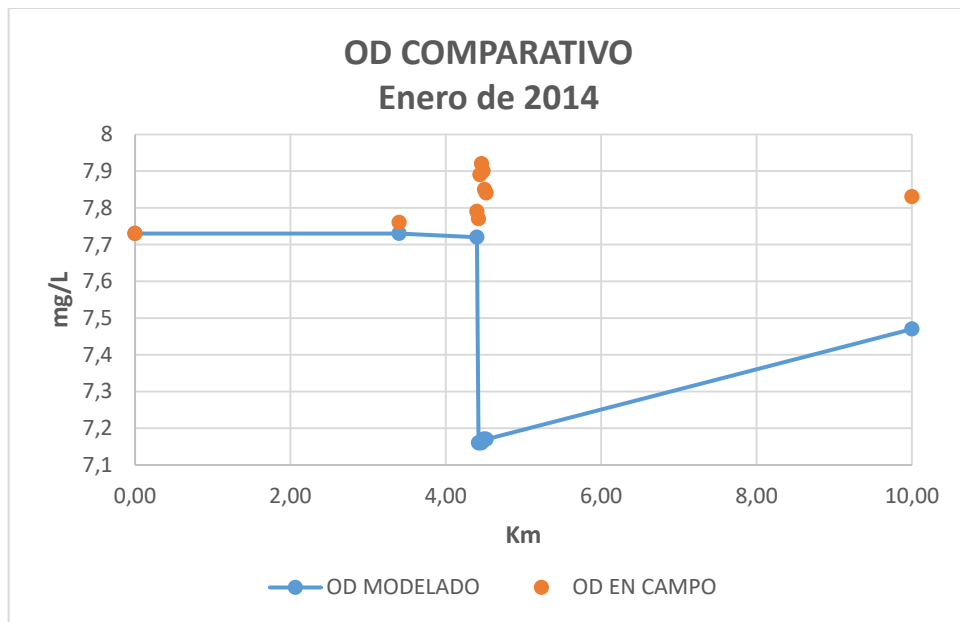
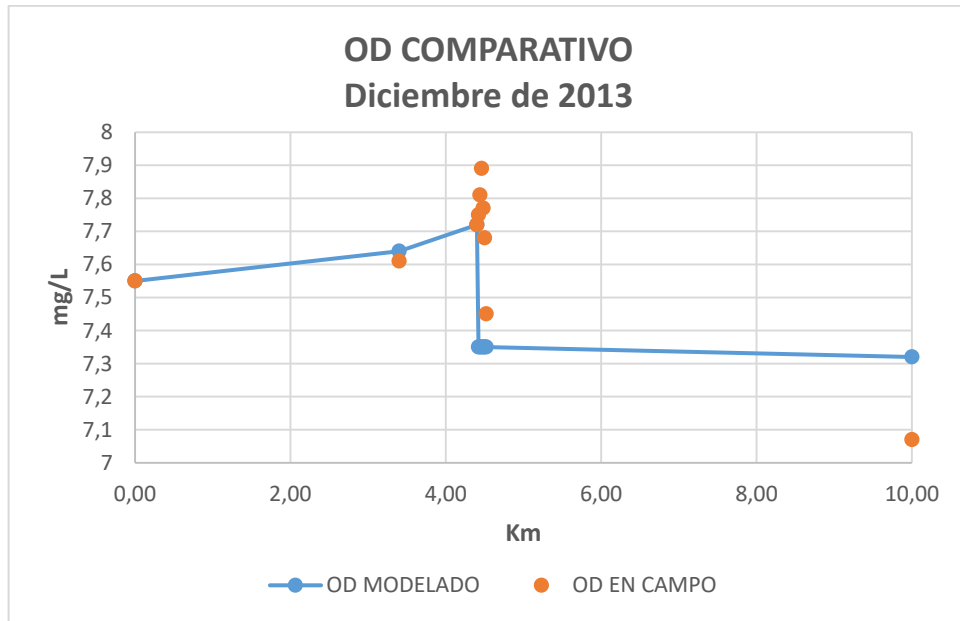
10 Km), tan solo en campo se tomaron 10 (10 estaciones), por tanto al momento de la comparación para realizar los posibles cambios de las constantes, se comparaban los datos tomados en campo con los modelados en cada uno de los seis subtramos y modificando las constantes hasta encontrar valores cercanos entre ellos, pero al modificar las constantes no se encontraron diferencias significativas, por tanto se dejaron las iniciales.

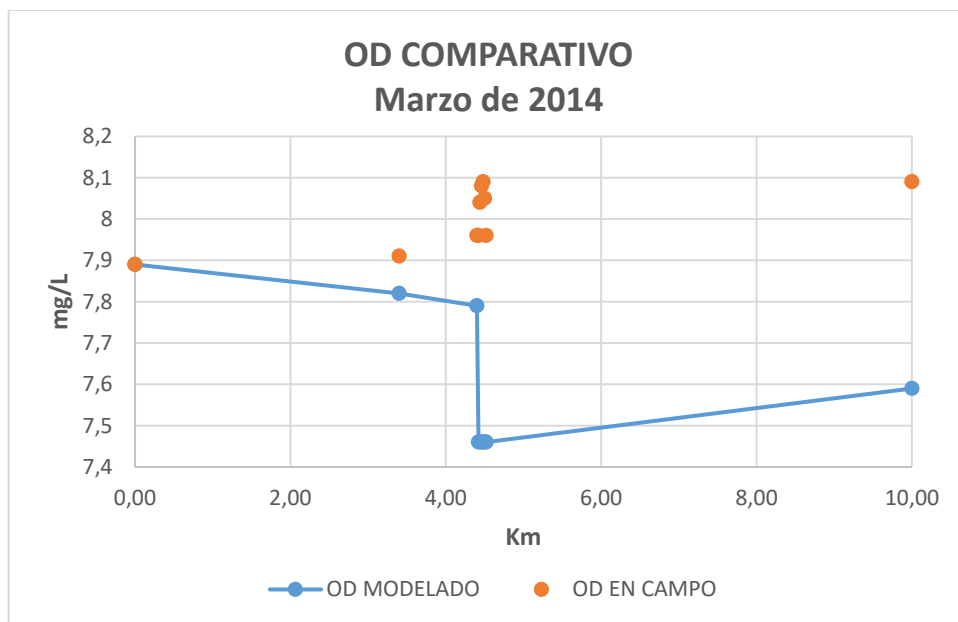
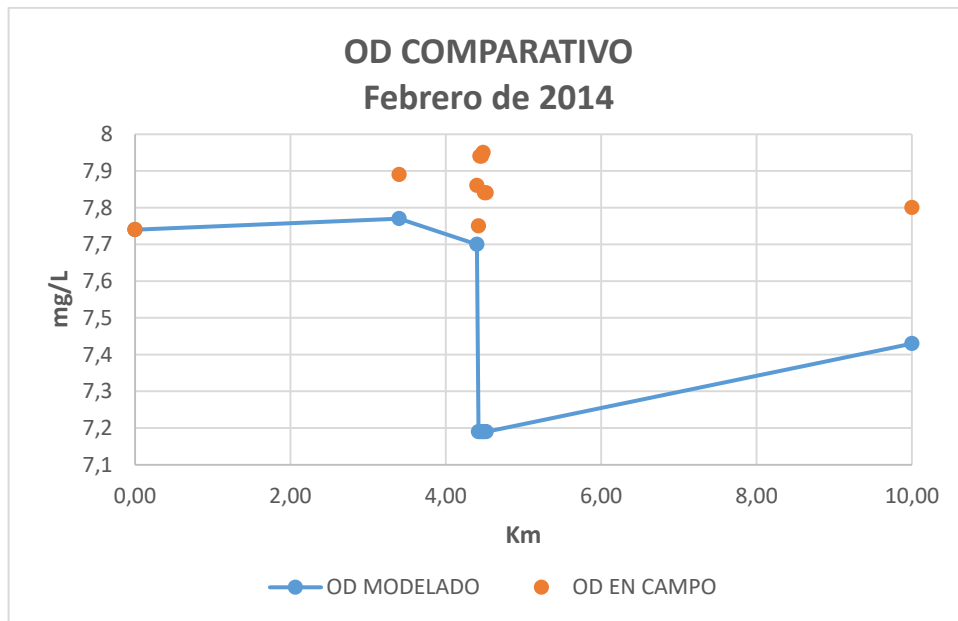
Las tablas comparativas entre los datos tomados en campo con los modelados se encuentran en los Anexos 53 al 59, las gráficas se presentan a continuación:

Figura 4.15 Comparativo del OD modelado con el OD tomado en campo durante el estudio









Fuente: (Elaboración Propia)

4.8 Análisis de la calibración del modelo de Streeter y Phelps

En la comparación de los datos de OD arrojados al correr el modelo de Streeter y Phelps con los datos tomados en campo, la variación de concentraciones de un

mes a otro entre estaciones son cercanas entre si y las diferencias no son tan grandes, salvo en los meses de septiembre (el mes considerado como el más seco) y diciembre, los dos meses que más fluctuaron en sus concentraciones, siendo así, se encontró que al modelar el río Las Piedras y comparando dichos resultados con los arrojados por la sonda HACH HQ40d los resultados fueron casi similares, en varios casos fueron iguales, en otros casos algunas concentraciones de OD en ciertas estaciones se diferenciaban de 0,40 a 0,50 mg/L, aunque no se puede considerar una pequeña concentración ni mucho menos despreciar, ya que puede ser significativa para la vida acuática del río, si se puede considerar que el modelo arroja concentraciones casi reales del río y que aunque no se tienen en cuenta fenómenos que alteran el incremento o decremento de la concentración de esta variable como es en el caso de la fotosíntesis, de las tasas de N y P, entre otros (Romero, 2004) el modelo tomando la desoxigenación y la reaeración del río, posee una fuente confiable del comportamiento del OD del río Las Piedras. En este trabajo no se hizo cambios en las constantes K_1 ni K_2 debido a que las concentraciones modeladas y las encontradas en campo eran exactamente iguales o similares, por lo tanto se dejaron como originalmente estaban al calibrarse el modelo.

En el análisis de variación espacial de las curvas de OD calibradas que realiza el modelo de Streeter y Phelps, se observan detalles esperados, como es de notarse, los meses entre ellos septiembre, octubre y diciembre considerados en el numeral 4.4 dentro de la época normal presentaron concentraciones de OD menores a una diferencia en promedio de 0,2 a 0,4 mg/L en comparación a los meses de la época húmeda, aunque el mes de febrero tuvo concentraciones menores que octubre pero como se puede observar estas diferencias radican en intervalos pequeños de decimales, aproximadamente entre 0,30 a 0,60 mg/L, la variación o diferencia no puede ser grande, pero si considerable al analizar que en los meses en la época húmeda, las aguas del río Las Piedras presentan un valor más alto en esta variable química. Septiembre por su parte tuvo una disminución unos kilómetros antes de llegar al vertimiento, posiblemente se haya presentado un aumento de la DBO por algún efluente en dicho mes lo que hizo disminuir el OD a diferencia de los demás meses. En algunos meses al recuperarse las concentraciones de OD estas se seguían incrementando, lo cual es lo esperado como es en el mes de diciembre por las precipitaciones que aporta OD al cauce del río.

Por otro parte, cabe destacar que de los cinco tributarios, cuatro son cuerpos de agua, pero sin saber con certeza si poseen algún tipo de contaminación y solo uno es un vertimiento industrial, como es de notar en el perfil modelado de OD se

observa que entre el 4,4 Km a 4,5 Km en todos los meses el río Las Piedras tuvo una reducción instantánea de OD debido a la descarga del vertimiento, sin embargo es claro también que se recupera rápidamente tendiendo a sus niveles de OD iniciales indicando gran capacidad de autodepuración (Longe y Omole, 2008). Caso similar se presentó con las curvas calibradas de DBO, donde concentraciones entre 2,0 mg/L y 3,0 mg/L se encontraron en el tramo de influencia del vertimiento.

Como se indicó anteriormente en la Figura 4.14 se representan en curvas de OD que arrojó el modelo de Streeter y Phelps, este análisis temporal indica resultados que concuerdan con el análisis espacial, los subtramos de la parte alta de la cuenca que corresponden a las estaciones entre tramos 1, 2 y 3 poseen concentraciones de OD a lo largo de los meses mayores a una diferencia de 0,5 a 0,6 mg/L en comparaciones a los otros tres tramos, indicando además que los tramos 4 y 5 son los que presentan las menores concentraciones por debajo de 7,3 mg/L y llegando hasta cerca de los 6,6 mg/L, es decir que se refleja la influencia significativa del vertimiento en el tramo del río Las Piedras y mostrando que para todas las estaciones que las peores condiciones se produjeron en el mes de septiembre, el mes que ha presentado la menor precipitación y que lo caracteriza como el mes más seco (Longe y Omole, 2008; Haider y Ali, 2010) pero aun así la fluctuación del OD en el tramo de estudio se evidenciara siempre de manera diferente entre todos los tramos establecidos de muestreo, aunque las estaciones de la cuenca baja llegan a concentraciones muy cercanas a las de la cuenca alta, la diferencia por la influencia de cargas contaminantes se hace notoria, a pesar de que el río Las Piedras posee una capacidad autodepuradora alta por sus cuerpos de roca que ayudan a la aireación en el choque con las aguas, tal como se ven en los altos coeficientes o factores de autodepuración que se encuentran en los Anexos del 39 al 45.

Las constantes de desoxigenación y reaireación arrojaron valores coherentes a los esperados a la calidad del agua y al tipo del río (Holguin y A.Camacho, 2005), K_1 , la cual fue determinada en base al caudal, tuvo valores que estuvieron en un rango entre los 0,60 y 1,9 días⁻¹, entre una temperatura que variaba 13 y 18 °C tal como lo muestra el Anexo 16, estas tasas de desoxigenación fueron menores a medida que el caudal aumentaba, la curva de E10, indica que la rapidez en la cual se ejerce la DBO a medida que el río se encuentra en la cuenca baja o aguas abajo de los distintos tributarios, donde los caudales van a ser mayores y que la cuenca alta, donde la DBO puede ser menor en comparación a la cuenca baja (En concentraciones por debajo de los 0,3 a 0,5 mg/L), es mayor K_1 . La K_2 no tuvo un comportamiento simétrico como la anterior, en un rango entre 12,80 y 36,74 días⁻¹

evidencio que el comportamiento de la tasa de reaireación no se debe al aumento del caudal o no, por el contrario está influenciado por la pendiente del lecho del río, de esta manera cuando la pendiente del río es cada vez mayor, la turbulencia se incrementa y caen las aguas con mayor fuerza, pero si su pendiente es baja no habrá estos choques para generar la reaireación (Holguin y A.Camacho, 2005), es así como la estación E10 arroja valores altos aunque su ancho es el más grande encontrado en todo el estudio (11 m), esto queda evidenciado además con los altos factores de autodepuración, indicando fuertemente esta capacidad que posee el río Las Piedras. Los datos de profundidades medias, anchos, velocidades medias y pendientes del río Las Piedras que calculan el comportamiento de estas constantes se encuentran en los Anexos 39 al 45.

Cabe destacar una situación muy inusual en esta investigación, tal como se planteó en la metodología se contaba con toda la información necesaria para poder calcular los parámetros críticos del modelo de Streeter y Phelps en distancia, tiempo y déficit de OD con las ecuaciones 13, 15 y 16 respectivamente, dichas variables en el software Microsoft Excel 2013 al ser calibradas presentaron errores matemáticos, al chequear se evidencio que al calcular el tiempo crítico y lo mismo para la distancia crítica, el resultado para obtener el logaritmo natural estaba como un número real negativo, ya que el logaritmo natural de un número negativo no está definido, era imposible calcular dichas variables en el subtramo influenciado por el vertimiento y al ser K_2 aproximadamente en muchos casos veinte veces más grande que K_1 ocasionaba dicho valor negativo, esto puede indicar que el río Las Piedras, al tener una capacidad de reaireación considerablemente grande y que sus aguas están influenciadas por una DBO relativamente pequeña, no existen condiciones críticas en este subtramo que puedan indicar que el OD este en niveles bajos, tal como se ha demostrado en anteriores numerales. En la bibliografía se ha encontrado estudios y ejercicios (Oliveira, Ribeiro et al., 2008; Omole y Longe, 2012) donde ha sido posible calcular las condiciones críticas, pero esto ha sido posible cuando ambas constantes poseen valores bajos (menores a uno) y una diferencia pequeña entre ellas.

Los Anexos Digitales del 1 al 7 presentan las ecuaciones y resultados en el software Microsoft Excel 2013 de la calibración del modelo de Streeter y Phelps.

4.9 Simulación a carga máxima del modelo de Streeter y Phelps

Ya teniendo calibrado el modelo de Streeter y Phelps en el tramo de 10 Km para la condición de Operación Normal del vertimiento de la Piscifactoría de Truchas

(Piscifactoría El Diviso), se hace pertinente hacer la aplicación del modelo para la condición de Mantenimiento del vertimiento, con caudales de estiaje y cargas de lavados de estanques, aunque esta etapa tan solo dura 10 segundos, es importante conocer las posibles condiciones de calidad del agua del río ante la presencia de un agua residual considerada de tipo industrial que posee concentraciones de 794 mg/L de DBO, 1060 mg/L de DQO y 2050 mg/L de SST, además de un caudal de 22 L/s, es importante aclarar que hay que realizar balances de masas para conocer las concentraciones de OD, DBO y Temperatura Hídrica con el efluente constante en Operación Normal, para conocer las condiciones finales del vertimiento cuando llega al cuerpo de agua receptor, para realizar lo anterior se utiliza la siguiente ecuación de balance de masa:

$$Q_{ON} * C_{OP} + Q_M * C_M = (Q_{ON} + Q_M) * C_{Final} \quad [24]$$

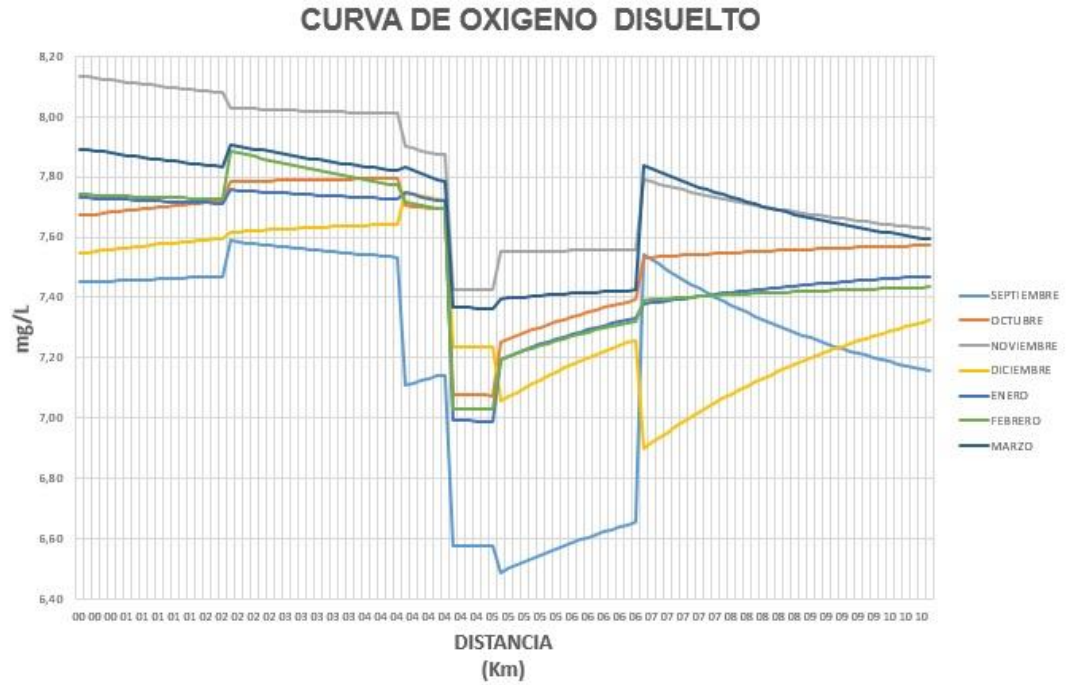
Donde:

- Q_{ON} = Caudal de Operación Normal.
- C_{ON} = Concentración de Operación Normal.
- Q_M = Caudal de Mantenimiento.
- C_M = Concentración de Mantenimiento.
- C_{Final} = Concentración Final.

Considerando que el Q_{ON} será de 378 L/s debido a que se le restan a los 400 L/s los 22 L/s del lavado de estanques.

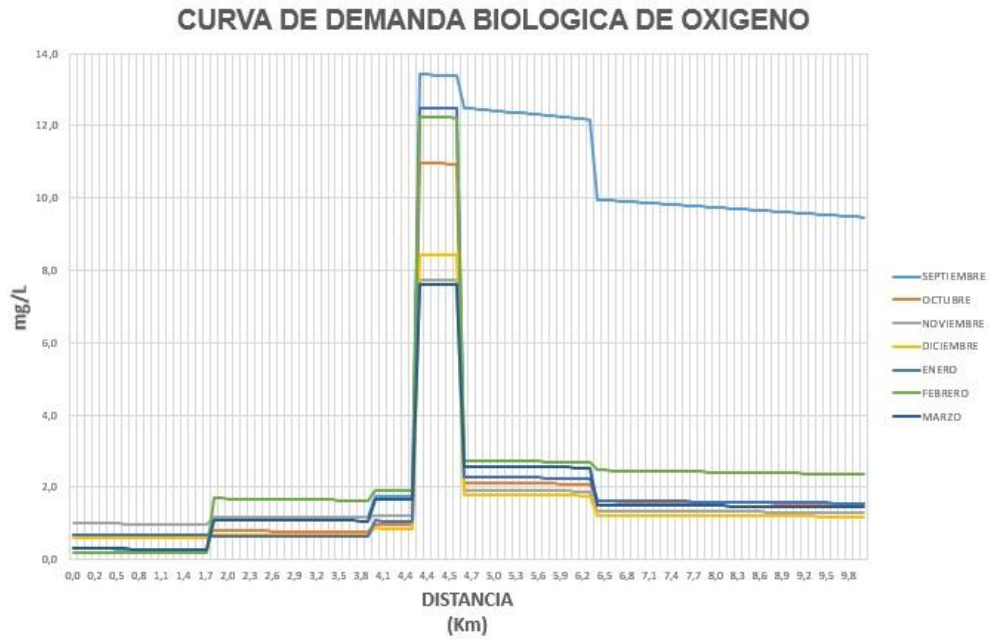
Con la anterior información tomada del mismo estudio que se tomaron los datos para la Operación Normal (Cruz y Salazar 2007), se procedió a aplicar el modelo para dichas condiciones, tal como se ven en las siguientes graficas:

Figura 4.16 Comportamiento del OD modelado a carga máxima por meses.



Fuente: (Elaboración Propia)

Figura 4.17 Comportamiento de la DBO modelada a carga máxima por meses



Fuente: (Elaboración Propia)

Como se puede apreciar a ambas gráficas de OD y DBO tuvieron un compartimiento simétrico al presentado a la etapa de Operación Normal; con respecto al OD las concentraciones no fluctúan significativamente, aunque bajan algunos decimales en todos los meses, en comparación a las presentadas en Operación Normal debido a que el OD del efluente es de 5,20 mg/L cercano al 5,80 mg/L presentado en Operación Normal, lo que hace que el río pueda soportar sin ningún problema este efluente sin afectar significativamente al OD de este cuerpo receptor, además por el corto tiempo de la purga. También se puede destacar que aguas arriba del vertimiento, las condiciones de calidad de las mismas son óptimas para mitigar el impacto del vertimiento.

Por otra parte la gráfica de DBO presenta un compartimiento más notorio en comparación a la modelada en condiciones de Operación Normal, en el tramo donde hace presencia el vertimiento, las concentraciones de DBO alcanzan valores entre los 10 mg/L y los 15 mg/L sobrepasando en casi 3 a 5 veces las encontradas en la calibración a la condición de Operación Normal, esto debido a la alta concentración de DBO que se presenta al inicio de la purga de los estanques, pero poco a poco aguas abajo del vertimiento su concentración alcanza valores bajos en algunos meses, se destaca además las concentraciones de DBO de cerca de los 10 mg/L que se presentó en el mes de septiembre, esto puede deberse a los análisis anteriormente presentados, debido a los caudales bajos que se presentaron en este mes a comparación de los demás, donde la DBO pudo permanecer más tiempo sin ser removida rápidamente por el mismo río; hay que destacar también que el Índice de Biodegradabilidad DBO/DQO del agua residual del lavado de estanques es de 0,75 lo que significa que es de fácil mantenimiento y de fácil remoción de materia orgánica, lo que no generaría altos costos para implementar tecnologías para tratamiento de este efluente (Cruz y Salazar, 2007).

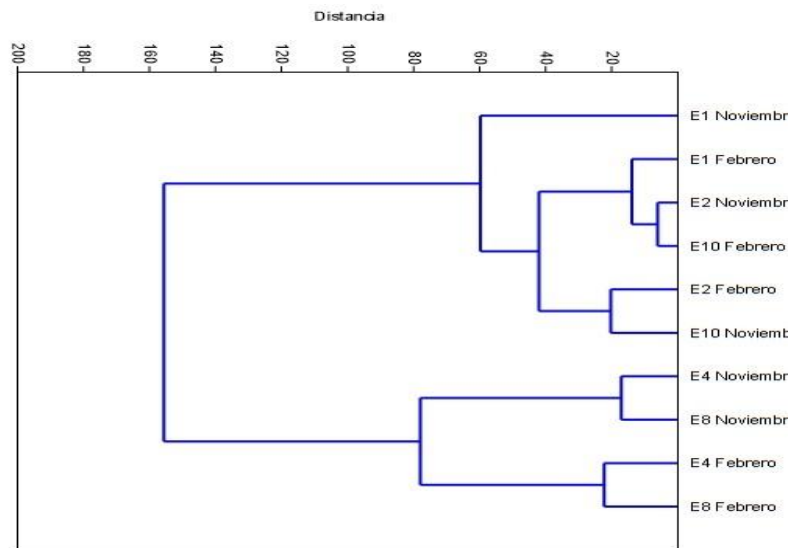
4.10 Correlaciones y análisis multivariados

4.10.1 Análisis Cluster

Como se quiso conocer la diferencia o la similitud entre las estaciones de muestreo, se realizó un Análisis de Agrupamiento Jerárquico a través del Método de Ward. Su regla refiere a la liga individual “Método de los Vecinos Más Cercanos”, el cual es un enfoque de análisis de varianza para evaluar las distancias entre las agrupaciones, en este caso se usó el Índice BMWP/Col, la abundancia de los organismos macroinvertebrados en su totalidad por individuos y

la riqueza por el número de familias. En la Figura 4.18 se puede observar la similitud o cercanía entre las subdivisiones de las estaciones E1, E2 y E10 donde existen familias bioindicadoras de buena calidad del agua y el Índice BMWP/Col es alto y que la presencia de vertimientos de aguas residuales, contaminaciones difusas y otros factores que alteren la calidad del agua no existen o son mínimos, mientras que las estaciones E4 y E8 que están influenciadas por el vertimiento de la Piscifactoría de Truchas (Piscifactoría El Diviso) se separaron de las demás, estos resultados son coherentes con la Tabla 3.3 obtenido del Índice BMWP/Col:

Figura 4.18 Análisis Cluster



Fuente: (Elaboración Propia)

La similitud en las estaciones E1, E2 y E10 se debe en gran parte a las familias en común encontradas y no al tipo de suelo o profundidad del lecho del río (Zelada, 2012) ya que durante todo el curso del tramo del río se puede encontrar una profundidad uniforme y un tipo de suelo rocoso, respecto a la cobertura de vegetación, no se puede concluir que altere a las comunidades de organismos macroinvertebrados entre estaciones, debido a que aún no se cuenta con una clasificación de vegetación riparia de la cuenca.

4.10.2 Análisis de Correlación por Rangos de Spearman

Para conocer si los organismos macroinvertebrados están influenciados por las diferentes variables físicas y químicas en las cinco estaciones, se hace necesario realizar un análisis de correlación por Rangos de Spearman, entre los parámetros físicos, químicos y el Índice BMWP/Col.

Cuando el valor resultante es cercano a +1 se dice que ambas variables se asocian directamente de manera muy estrecha, cuando el valor resultante es cercano a -1 se dice que las variables se asocian inversamente de manera muy estrecha y cuando el valor resultante del coeficiente tiene un valor cercano a cero, se dice que las variables no presentan asociación.

Tabla 4.7 Correlación por Rangos de Spearman entre Índice BMWP/Col y las variables físicas y químicas.

| | CONDUCTIVIDAD | TEMPERATURA | TURBIEDAD | OD | OD% | DQO | DBO | PO4 | NO2 | NO3 | NH4 | SDT | pH | SALINIDAD | BMWP/Col |
|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|----------|----------|--------------|--------|--------|-----------|-----------|-------|-----------|----------|
| CONDUCTIVIDAD | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| TEMPERATURA | 0,600 | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| TURBIEDAD | 0,800 | 0,900 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| OD | -0,900 | -0,200 | -0,500 | 1 | | | | | | | | | | | |
| OD% | -0,900 | -0,200 | -0,500 | 1,000 | 1 | | | | | | | | | | |
| DQO | 0,500 | -0,100 | 0,200 | -0,600 | -0,600 | 1 | | | | | | | | | |
| DBO | 0,500 | -0,100 | 0,200 | -0,600 | -0,600 | 1 | 1 | | | | | | | | |
| PO4 | 0,600 | 1 | 0,900 | -0,200 | -0,200 | -0,100 | -0,100 | 1 | | | | | | | |
| NO2 | 0,700 | 0,900 | 0,800 | -0,400 | -0,400 | -0,200 | -0,200 | 0,900 | 1 | | | | | | |
| NO3 | 0,300 | 0,900 | 0,800 | 0,100 | 0,100 | -0,300 | -0,300 | 0,900 | 0,700 | 1 | | | | | |
| NH4 | 1 | 0,600 | 0,800 | -0,900 | -0,900 | 0,500 | 0,500 | 0,600 | 0,700 | 0,300 | 1 | | | | |
| SDT | 1 | 0,600 | 0,800 | -0,900 | -0,900 | 0,500 | 0,500 | 0,600 | 0,700 | 0,300 | 1 | 1 | | | |
| pH | -0,200 | 0,600 | 0,300 | 0,600 | 0,600 | -0,300 | -0,300 | 0,600 | 0,300 | 0,700 | -0,200 | -0,200 | 1 | | |
| SALINIDAD | 0,632 | 0,949 | 0,791 | -0,264 | -0,264 | -0,105 | -0,105 | 0,949 | 0,949 | 0,738 | 0,632 | 0,632 | 0,527 | 1 | |
| BMWP/Col | -1 | -0,600 | -0,800 | 0,900 | 0,900 | -0,500 | -0,500 | -0,600 | -0,700 | -0,300 | -1 | -1 | 0,200 | -0,632 | 1 |

Fuente: (Elaboración Propia)

Destacando las correlaciones más sobresalientes que se presentan en la Tabla 4.7 se muestra como el Índice BMWP/Col correlacionó negativamente ($n = 14$; $P < 0,05$) con tres de las catorce variables, las cuales fueron: CE, NH_4^+ y SDT con un valor de $r^2 = -1$, es decir, a medida que el Índice disminuye (lo que indica un aumento de la contaminación) estas tres variables aumentan. Vale destacar la importancia de este resultado, ya que permite tener una aproximación de una medida indirecta de estos parámetros con solo medir el Índice lo que constituye un ahorro de tiempo y costos de muestreos. Por otra parte, se evidenció una correlación significativa positiva con las variables OD y saturación de OD, esto significa que la riqueza de los organismos macroinvertebrados se debe al aumento de la concentración de estas variables. No existió una correlación entre OD y DBO_5 , esto puede deberse a las bajas concentraciones de esta última encontradas en el río, pero coherentemente si existió una fuerte correlación

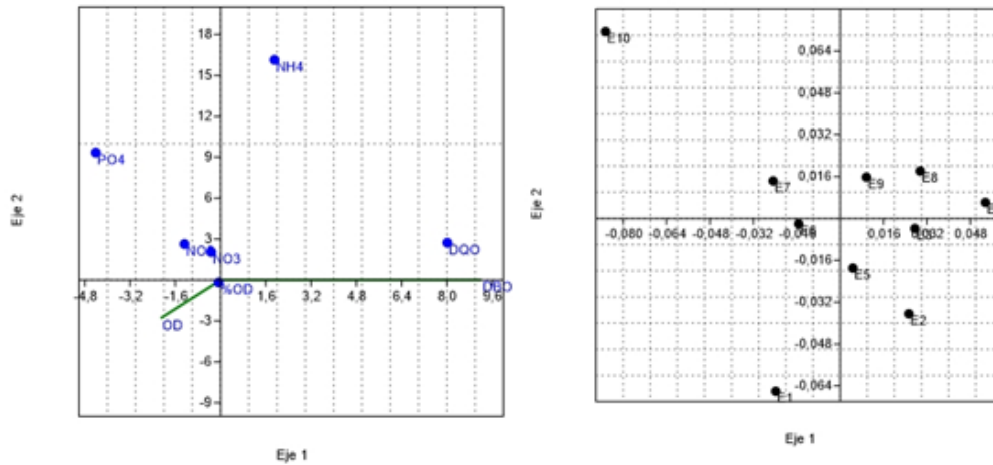
negativa con el NH_4^+ y los SDT. Los PO_4^{3-} están fuertemente relacionados con los NO_2^- y NO_3^- , indicando que el aumento de ellos pueden estar ligados a sales que contengan estos dos tipos de nutrientes (Pérez, Marañón et al., 2012).

4.10.3 Análisis de Correspondencia Canónica (ACC)

Para la realización de este análisis se utilizó el software PAST, el análisis se realizó con el fin de correlacionar las dos variables químicas que son base del modelo de Streeter y Phelps con las demás, las cuales son el OD y la DBO_5 y que serían las variables dependientes de las demás en este análisis. En un principio se planifico correlacionar las otras doce variables independientes que fueron determinadas in situ y ex situ, pero para comprender con más claridad las gráficas, se formaron dos grupos de variables estrechamente relacionadas, el primer grupo se conformó con las variables: Saturación de OD, DQO, PO_4^{3-} , NO_2^- , NO_3^- y NH_4^+ , el segundo grupo a las restantes: CE, SDT, turbiedad, salinidad, pH y temperatura hídrica.

Cabe destacar que también se analizó la distribución de las estaciones y la correspondencia de las mismas de acuerdo al comportamiento de las variables de unas a otras, es decir del OD y la DBO_5 con las demás, pero no se hizo este análisis para cada uno de los siete meses, debido a que el objetivo de este análisis es de conocer la correlación de estas dos variables con respecto a las demás en la espacialidad del tramo de estudio, mas no la relación de las mismas en los meses de estudio.

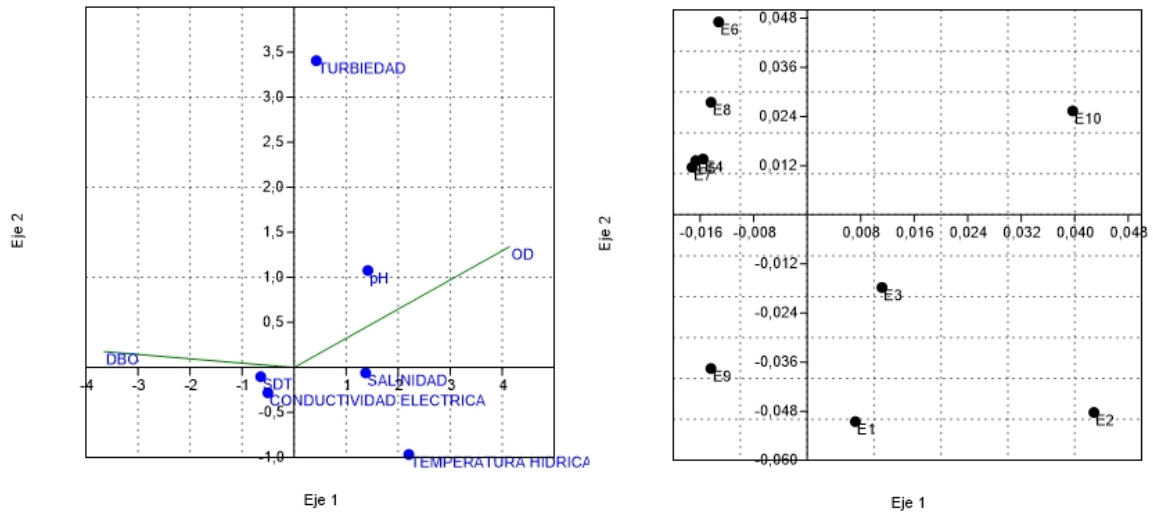
Figura 4.19 ACC para el primer grupo de variables físicas y químicas mostrando la distribución de las mismas y de las estaciones de muestreo



Fuente: (Elaboración Propia)

Según en la Figura 4.19 la mayor presencia del OD se hace en la estación de E1 la cual es la estación de muestreo más alta del tramo de estudio en la cuenca, donde las alteraciones de la calidad del agua por actividades antrópicas son las más bajas y como era de esperarse su relación al porcentaje de OD de saturación. Así mismo se destaca como los NO_2^- y los NO_3^- están cerca al OD, esto indica que al decremento o incremento de esta variable, la presencia de estas especies iónicas se ven también afectadas proporcionalmente. Igualmente también se puede ver como la DBO_5 y la DQO_5 , se aleja en el otro eje del OD y su presencia significativa se hace en estaciones influenciadas por el vertimiento de la Piscifactoría de Truchas (Piscifactoría El Diviso). Se evidencio además que los PO_4^{3-} fueron presentes especialmente en la estación E10, la zona de muestreo en la cuenca baja, esto puede deberse a que se estén recibiendo tributarios con calidad de agua alterada por uso doméstico.

Figura 4.20 ACC para el segundo grupo de variables físicas y químicas mostrando la distribución de las mismas y de las estaciones de muestreo

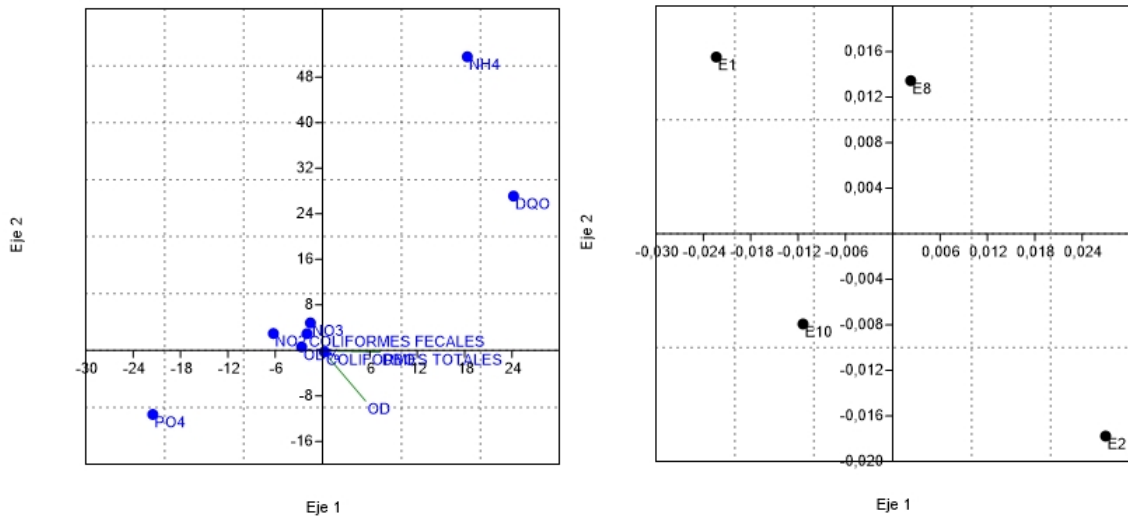


Fuente: (Elaboración Propia)

Como era de esperarse en este grupo, las estaciones más cercanas y más influenciadas (E4, E5, E6, E7 y E8) por el vertimiento de la Piscifactoría de Truchas (Piscifactoría El Diviso), es decir, las variables determinantes de condiciones de contaminación como son la CE y los SDT, estuvieron ligados a la DBO₅ y alejados del OD. El pH al igual que la temperatura hídrica y la salinidad, son variables que se vieron prácticamente constantes ya que durante todos los meses de estudio tienen un comportamiento independientemente de las demás, igualmente estas variables se relacionan con las zonas más altas en la cuenca, lo que indica que las alteraciones de estas variables en estas zonas son mínimas o que no se encuentran actividades fuera de lo normal (Carvacho, 2012).

En los anteriores ACC se tuvieron en cuenta todas las variables en dos grupos, considerando las diez estaciones de muestreo, a continuación se presenta el ACC que se realizó para conocer la influencia del OD y la DBO₅ sobre la concentración de coliformes totales y coliformes fecales, es preciso mencionar que solo se puede realizar para las cuatro estaciones donde se registraron muestreos de estas variables, igualmente se hace por dos grupos por separado para mejor comprensión de las gráficas:

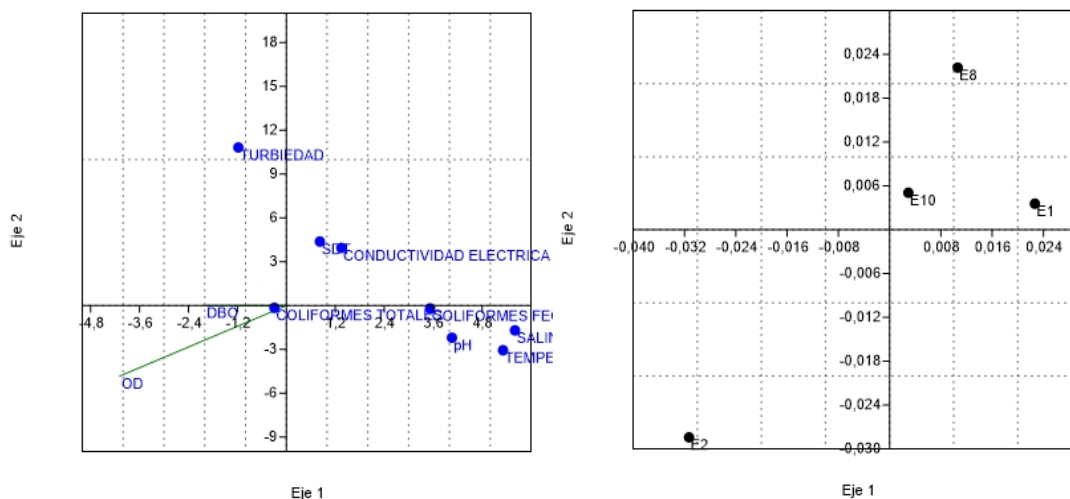
Figura 4.21 ACC para el primer grupo de variables biológicas mostrando la distribución de las mismas y de las estaciones de muestreo



Fuente: (Elaboración Propia)

En la Figura 4.21 en el grupo 1, especialmente se evidencia como los coliformes totales y los coliformes fecales correlacionan con la DBO₅ hacia el eje derecho positivo lo que indican como a mayor cantidad de materia orgánica, este índice microbiológico puede aumentar, las estaciones se vieron separadas unas a otras, no hay una similitud de ellas cuando se mide estos parámetros, esto se puede deber a que se reciban o no cargas de efluentes, ya que el incremento de ellas puede deberse a diferentes vectores que no se pueden determinar con exactitud, como es la contaminación difusa generada por son las actividades ganaderas y agrícolas de la zona de estudio y la presencia de aguas domesticas vertidas, ya que muchas de las residencias son caseríos y fincas. En el mismo sentido se puede resaltar a la estación E8 que tiene una correlación positiva, indicando la superioridad en este análisis de las variables microbiológicas con respecto a las demás zonas de estudio.

Figura 4.22 ACC para el segundo grupo de variables biológicas mostrando la distribución de las mismas y de las estaciones de muestreo



Fuente: (Elaboración Propia)

Algo similar a lo esperado en el grupo 1 de variables fue encontrado en el segundo, los coliformes totales y los coliformes fecales se asociaron a parámetros indicadores de contaminación como la CE y SDT y muy cercanos también a la DBO₅ e inversos a el OD, esto se puede deber al comportamiento simétrico en las mediciones entre dichas variables, se destaca la importancia del pH que se relacionó a estas variables microbiológicas, ya que estas especies de bacterias viven a un pH de entre 7,0 y 7,5 unidades, así que ante la presencia de una alteración de esta variable el índice de las bacterias cambiará. Las estaciones tuvieron una distribución similar para E2 y E8, pero E1 y E10 cambiaron de posición, puede deberse a los valores de turbiedad que fluctuaron en algunos meses, especialmente en el mes de diciembre en estas zonas, debido a ser las zonas extremas del tramo de estudio, provocado por el arrastre de sedimentos de la parte alta y de los tributarios para la parte baja.

4.10.4 Análisis de Componentes Principales (ACP)

Este análisis difiere del ACC, ya que en el anterior se relacionaba las variables dependientes con las independientes entre estaciones, este mostrará las variables más importantes y más influyentes también por estaciones pero analizando cada uno de los meses por separado, es decir que variables están siendo más

afectadas por los cambios climáticos presentados en la temporalidad del estudio en las diferentes zonas de la cuenca.

Cabe destacar que en este análisis solo se tuvo en cuenta nueve de las quince variables, ya que el software PAST puede considerar a la vez máximo nueve componentes, por tanto se excluyeron factores que estaban relacionados unos a otros como la salinidad con la CE, la DQO₅ con la DBO₅, saturación de OD con el OD. Así mismo fueron excluidos otros que permanecieron constantes como el pH y la temperatura hídrica y por el último el caudal que no se relaciona con ninguna de ellas. En total fueron seis variables las que quedaron por fuera de esta aplicación estadística multivariada.

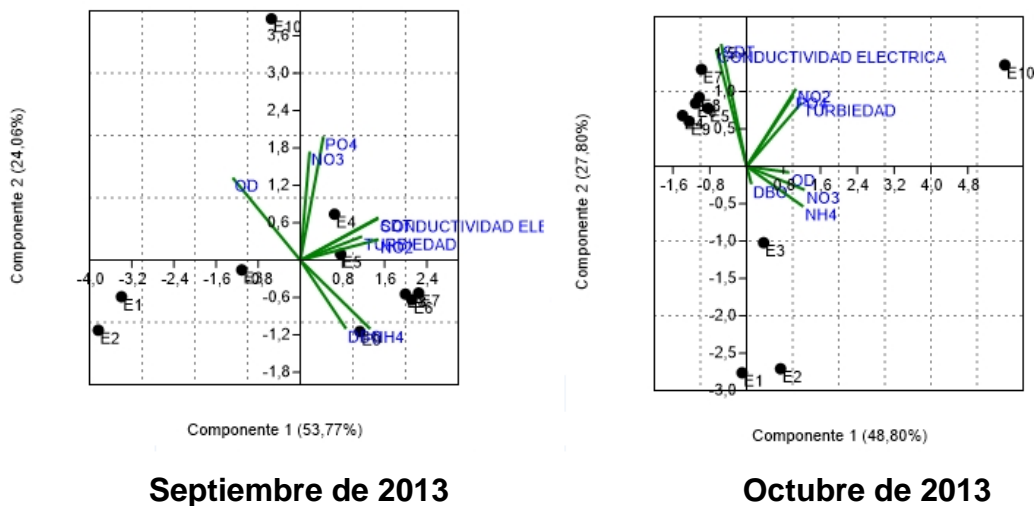
En las gráficas correspondientes al ACP, se pudo encontrar que tan solo con los dos primeros componentes principales se obtenía en varios meses más del 70% de la varianza, además se evidenciaron diferentes fluctuaciones, igualmente en varios meses se pudo también destacar la homogeneidad de las estaciones con algunas variables. Los meses de septiembre y octubre son los meses con menos lluvias, el OD estuvo alejado en el mes de septiembre, aunque en octubre aumento un poco alejando a la DBO₅ en dicho mes, por otro lado la CE, la turbiedad y los NO₂⁻ se relacionaron con estaciones cercanas al vertimiento, demostrando que ante la ausencia de lluvias estas variables crecen por contener en sus aguas menor OD, estaciones que tienden a relacionarse con mayor CE, eutrofia y saprobiedad poseen menor OD.

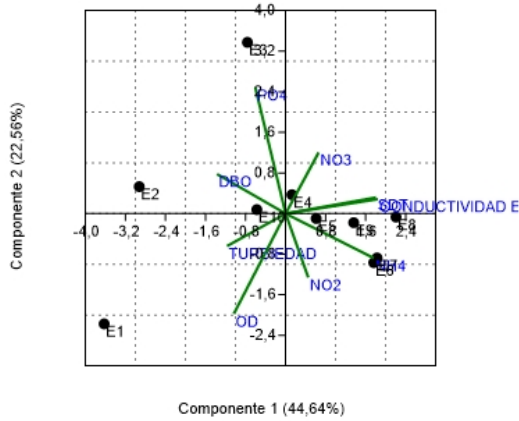
Noviembre en sus parámetros que se relacionan entre si una correlación con las estaciones de la parte media de la cuenca, la CE, NO₂⁻, NO₃⁻ y NH₄⁺, el OD aumento debido a las lluvias en la cuenca alta, pero la DBO₅ se relacionó fuertemente con la estación E10 indicando una posible alteración del agua en la parte baja, esto se puede evidenciar en la Figura 4.4, donde en esta estación dicha variable es más alta en noviembre que en los demás meses.

Diciembre como uno de los meses más lluviosos, la turbiedad se vio reflejada en las estaciones más cercanas al vertimiento, el OD por el aporte de aguas debido a la precipitación en varias de las estaciones de la parte media relaciono esta variable a algunas estaciones en dicho tramo, además la turbulencia genera además el ingreso de aire al igual que el choque contra las rocas (reaireación) (Omole y Longe 2012) pero no genero significativamente ningún crecimiento, la DBO₅ por su parte no se encontró relacionada en dichas estaciones, esto puede ser debido a lo que se explicó anteriormente, la CE y los SDT estuvieron relacionados igualmente a aquellas estaciones, debido al arrastre de sedimentos desde la cuenca alta por la misma turbulencia (Rivera, Pinilla et al., 2013).

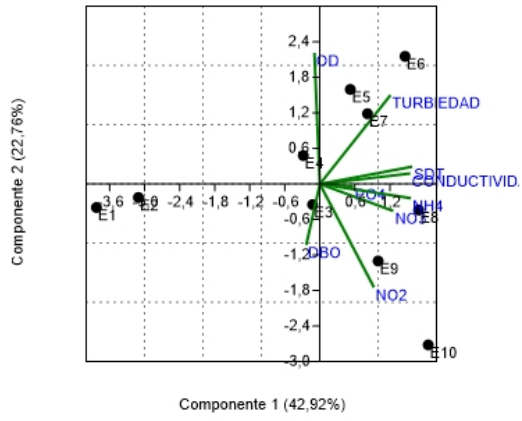
Enero, febrero y marzo, como meses de época húmeda, correlacionaron variables y con estaciones tal como en la teoría se espera, el OD estuvo relacionado a varias estaciones, aunque la E4 estuvo relacionada con variables indicadoras de contaminación como lo son la DBO₅, PO₄³⁻, NO₃⁻ y NH₄⁺, la CE siguió fuertemente pronunciada en estaciones cercanas al vertimiento al igual que la turbiedad en la parte media de la cuenca. La E10 posee concentraciones de PO₄³⁻ mayores en comparación a las demás estaciones, lo que se está evidenciando una posible contaminación por efluentes agrícolas (Rivera, Pinilla et al. 2013). El ACP resalta la importancia del OD, la DBO₅ y la CE y hace pensar que estos parámetros tienen una considerable influencia en los procesos que se llevan a cabo en el río Las Piedras, tales como la degradación de materia orgánica y el reciclaje de nutrientes. Los Anexos del 60 al 66 presentan los resultados de valores propios y porcentajes de varianzas del ACP.

Figura 4.23 ACP para las variables seleccionadas mostrando la distribución de las mismas y de las estaciones de muestreo en cada uno de los meses.

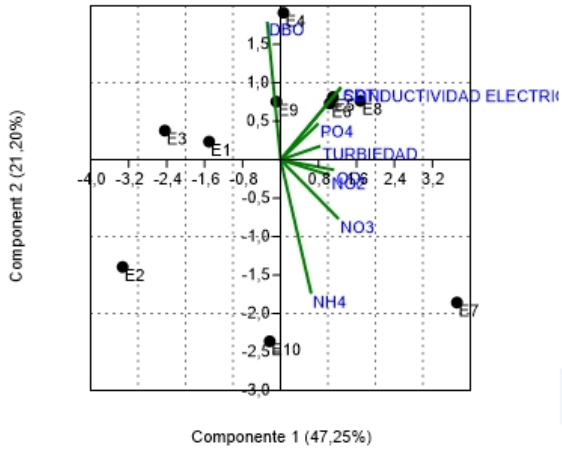




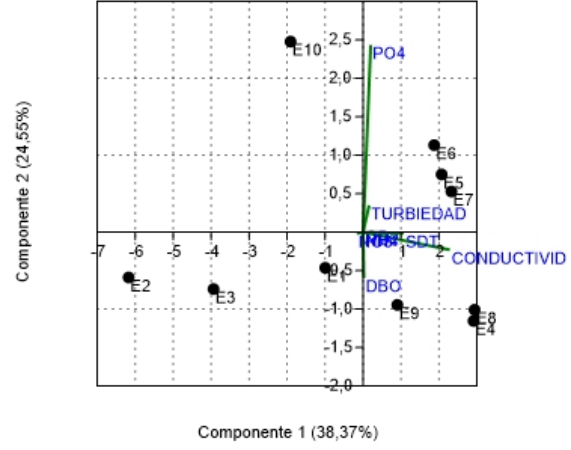
Noviembre de 2013



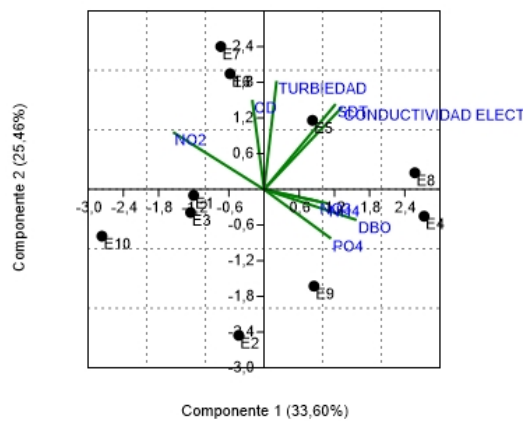
Diciembre de 2013



Enero de 2014



Febrero de 2014



Marzo de 2014

Fuente: (Elaboración Propia)

CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a lo encontrado en el presente estudio de investigación, las correlaciones realizadas entre las precipitaciones mensuales y los caudales, como se evidencio tuvieron un comportamiento casi simétrico, no se encontraron anomalías o incoherencias, se demostró además que Climate Prediction Center concordaba con la separación de épocas normales y épocas húmedas, sin encontrar condiciones secas, pero aun así se identificaron los meses de septiembre de 2013 y octubre de 2013 como los meses con menores condiciones de precipitación y caudales y mayor temperatura ambiente.

La calibración del modelo de Streeter y Phelps fue optima debido a que al encontrar concentraciones de OD en los subtramos influenciados por el vertimiento de la Piscifactoría de Truchas (Piscifactoría El Diviso) en Operación Normal, un poco más bajas comparadas con las demás subtramos, pero su diferencia no fue significativamente alta para denotar una fuerte contaminación y que este alterando críticamente el componente biótico del rio Las Piedras, esto se puede evidenciar por las bajas concentraciones de DBO encontradas en el tramo y en dicho vertimiento. Caso contrario sucedió en la condición de Mantenimiento, el OD se mantuvo igual, pero la DBO si alcanzo valores entre los 8 mg/L y los 14 mg/L, considerados altos para este cuerpo de agua, pero la dilución y el aporte de nuevos tributarios aguas abajo del vertimiento generan una DBO cercana a la que se presenta aguas arriba del vertimiento.

El modelo presenta una aproximación precisa del comportamiento real del rio Las Piedras durante los diferentes siete meses, ya que al comparar las concentraciones de OD tomadas en campo con los resultados modelados, varios de ellos eran prácticamente iguales, aunque algunos diferían de otros con una diferencia promedio entre ellos de 0,3 a 0,6 mg/L, diferencias que en este estudio no tiene una transcendencia importante para llegar a modificarlo a través del cambio de las constantes.

En este estudio no se determinaron zonas de autodepuración por la razón de que no se encontraron diferencias significativas y/o criticas de OD en todo el tramo de estudio.

Las constantes de desoxigenación y reaireación determinaron factores de autodepuración considerablemente altos, pero por ser un rio de montaña estas constantes en especial la de reaireación debieron ser más altas, esto se debe a que las ecuaciones son predictivas y tienen ciertos márgenes de errores porque se desarrollaron en Estados Unidos, pero aun así demostraron que se producen

cero condiciones críticas de distancia, tiempo y déficit de OD en todos los tributarios encontrados (Incluyendo el vertimiento), además las bajas concentraciones de materia orgánica, DBO y otras variables más que evidencian índices de contaminación y la fuerte capacidad de reaireación en todo el tramo arrojando valores coherentes para un río de montaña.

A pesar de que el río Las Piedras tiene unas condiciones favorables para la recuperación de las condiciones iniciales, no lo hace. Lo que puede indicar que en ríos que presenten una reducción en los valores de ciertas variables como el OD, pueden presentar condiciones críticas para concentraciones similares de contaminantes arrojadas por el vertimiento de la Piscifactoría de Truchas (Piscifactoría El Diviso), tanto en las condiciones o etapas de Operación Normal como de Mantenimiento.

La CE mostro valores altos en la cuenca alta debido al aporte de sales disueltas que pueden ser arrastradas por el mismo cauce del río y que pueden producir posteriores alteraciones en la cuenca media y alta; el OD tuvo un comportamiento similar en todo el estudio, no presento diferencias significativas entre las diez estaciones, tal como se corrobora con lo encontrado en el modelo de Streeter y Phelps, mientras que la DBO₅ si presento diferencias significativas de las estaciones de la cuenca alta con la cuenca media y baja y viceversa.

Los PO₄³⁻ evidenciaron concentraciones mayores en las zonas aguas abajo del vertimiento, el NH₄⁺, NO₂⁻ y los NO₃⁻ estuvieron por debajo de las concentraciones permisibles, indicando leve contaminación por estos iones y ausencia de procesos de eutrofización y crecimiento de plantas en el río, además por la presencia de la reaireación y de las buenas concentraciones de OD, los NO₃⁻ fueron la especie iónica con mayores concentraciones, dejando atrás a el NH₄⁺ y los NO₂⁻ que presentaron valores mucho menores, los meses más húmedos, presentaron concentraciones mayores de estos nutrientes, donde el aporte de OD es mayor para este proceso.

Los coliformes fecales indicaron mayor contaminación por estas bacterias en las estaciones cercanas al vertimiento, lo que indica que restos de la materia fecal y de los alimentos de las truchas arco iris están quedando temporalmente suspendidas en las aguas del río, sin afectar significativamente el OD, pero si alterando la comunidad biótica, tal fue en el caso que se evidencio la alta presencia de las familia Lumbricidae y Dugessidae de organismos macroinvertebrados, por tal razón estas aguas en esta zona según el Índice BMWP/Col son consideradas moderadamente contaminadas correlacionando a lo que se obtuvo del modelo de Streeter y Phelps, las Pruebas de Kruskal – Wallis y el comportamiento en campo de OD, DBO₅ y de los coliformes fecales en campo.

El ACC y el ACP demostraron coherencias con los análisis espacio – temporal de las variables, además de la fuerte correlación con el modelo de Streeter y Phelps donde dichos resultados se interpretaron de como el OD fluctúa de estaciones cercanas al vertimiento en comparación a las que están por fuera de su campo, además que se concluyó que las variables OD y CE fueron las más influyentes durante todo el estudio, es decir que más que la DBO₅ y nutrientes, es la CE la que indica mayores términos de contaminación, interpretándose así que son posibles sales disueltas que por la geología del río Las Piedras, la turbulencia y la caída de las aguas desde la cuenca alta provoca en la cuenca baja concentraciones de CE mayores.

Para la calibración del modelo de Streeter y Phelps se sugiere realizarlo por épocas, mas no por meses, pero en este caso se hizo por meses, ya que no se contaba con ninguna información histórica de por lo menos 3 años (Donde se puedan abarcar todas las épocas climáticas existentes) en términos de DBO₅ y de OD, solo se contaba con información de cuatro de las diez estaciones, por lo tanto se sugiere que se realicen monitoreos intensos no solo en cuatro estaciones si no en más puntos, para poseer una información mucho más completa y así para realizar la implementación de modelos de calidad del agua por épocas y obtener un comportamiento histórico que pueda ayudar en la predicción de futuros fenómenos macroclimáticos en la cuenca del río Las Piedras.

Se plantea que para encontrar de forma más precisa las constantes de desoxigenación y reaeración en estaciones que no estén influenciadas directamente con el vertimiento, se realice un estudio por trazadores, debido a que las ecuaciones predictivas no determinan un valor cercano al esperado realmente de dichas constantes.

Se sugiere que para futuros proyectos industriales en la cuenca del río Las Piedras, los vertimientos de aguas residuales (Estén dentro de las normas del marco legal o no) sean analizados a través de modelos de calidad del agua, teniendo un monitoreo constante de por lo menos 3 años (Donde se puedan abarcar todas las épocas climáticas existentes) y en diferentes estaciones y subtramos mucho más amplio que el presentado en este estudio, además de crear fáciles vías de acceso al río para poder referenciar más estaciones de muestreos en diferentes distancias del cuerpo de agua.

El estudio de modelación de la calidad del agua en el río Las Piedras se vio limitado por factores como en el tiempo de ejecución, disponibilidad de más estaciones o puntos de muestreo y en la determinación de variables fisicoquímicas y biológicas como el N total y el P total que demuestran un comportamiento más completo del vertimiento, pero aun así su metodología utilizada y sus resultados

obtenidos se convierten en una base fundamental para estudios posteriores que posean información igual o similar a la presentada en este trabajo, debido que aunque existieron dichas limitantes, los resultados de modelación fueron precisos e indicaron de forma cercana el comportamiento real del río.

La presente investigación puede viabilizar los tratamientos que serían necesarios plantear para tipos de efluentes como el que arroja la Piscifactoría de Truchas (Piscifactoría El Diviso), con el fin de reducir costos de estudios a realizar para determinarlos.

La creación de nuevas estaciones piscícolas en la cuenca del río Las Piedras y que posean en sus vertimientos características físicas, químicas y biológicas similares a las del vertimiento de la Piscifactoría de Truchas (Piscifactoría El Diviso), no presentaran amenazas críticas para la estabilidad de la fauna y flora del río, debido a la capacidad autodepuradora del mismo, además lo que generara mayores ofertas laborales para la población aledaña.

Este trabajo de investigación se podría convertir en una herramienta de información de base multivariada espacio – temporal para diferentes instituciones tomadoras de decisión en torno a la GIRH de la cuenca del río Las Piedras y pionero en la región para estudiar la autodepuración de ríos de montaña desde diferentes enfoques y correlacionándolos unos a otros, pero más no como un estudio para predecir comportamientos futuros del río Las Piedras por el corto tiempo en el que se desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, H. (2007). "El uso de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua." Biocenosis **20**: 95-104.
- Alba, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA). Almería. **2**: 203-213.
- Arcos, I. (2005). Efecto del ancho los ecosistemas riparios en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras Investigativo, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Bere, T. (2005). The impact of sewage effluent and natural self-purification in the upper Chintika river below hatcliffe sewage works, harare Investigativo, University of Zimbabwe.
- Beveridge, M. C. M. and J. F. Muir (1999). "Environmental impacts and sustainability of cage culture in Southeast Asian lakes and reservoirs." Westbury Academic and Scientific Publishing **15**: 383-396.
- Buschmann, A. H. (2001). Impacto ambiental de la acuicultura - El estado de la investigación en Chile y el mundo. Osorno, Terram Publicaciones.
- Calderon, J. C. (2004). Evaluación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y la calidad fisicoquímica del agua en la parte alta de la quebrada El Carraca del municipio de Los Santos departamento Santander Investigativo, Universidad Industrial de Santander.
- Camargo, J. A., C. Gonzalo and A. Alonso (2011). Eutrofización causada por piscifactorías continentales: Un caso de estudio en el río Tajuña (Guadalajara, España). VII Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua "Ríos Ibéricos +10. Mirando al futuro tras 10 años de DMA". Talavera de la Reina, Fundación Nueva Cultura del Agua. **1**: 5.
- Candela, R. V. (2007). Evolución de la toxicidad y la biodegradabilidad de contaminantes persistentes en medios acuosos durante un procesos de fotocatalisis solar empleando diferentes técnicas analíticas Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia.
- Cap-Net, G. W. Partnership and PNUD (2005). Planes de gestión integrada del recurso hídrico - Manual de capacitación y guía operacional, Cap-Net.
- Cap-Net, PNUD, UNESCO-IHE, REDICA, RAMA and ONU (2009). La GIRH como herramienta para la adaptación a los cambios climáticos, Cap-Net.

Carvacho, C. A. (2012). Estudio de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y desarrollo de un índice multimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca del Limari en Chile Master, Universitat de Barcelona.

Castaño, N. (2006). Plan de ordenación y manejo de la subcuenca hidrográfica del río Las Piedras. Popayán, Corporación Regional del Cauca (CRC).

Catasús, J. D., J. I. Borroto, Portela and A. H. Garcés (2005). "Empleo del Modelo de Streeter y Phelps modificado para la planificación de estrategias de saneamiento del Río Almendares." CENIC **36**.

CRC (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA) . (2009). Documento de análisis socioambiental del departamento del Cauca: como elemento para identificación de lineamientos para ajuste de instrumentos de planificación de la CRC. C. A. R. d. Cauca. Popayán.

Cripps, S. J. and A. Bergheim (2000). "Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems." Aquacultural Engineering **22**: 33-56.

Cruz, C. A. D. L. and A. F. Salazar (2007). Caracterización y estudio de tratabilidad del efluente de estaciones piscícolas Investigativo, Universidad del Cauca.

CVC, UNIVALLE and EIDENAR (2007). Estudio del Proceso de Reaireación en el Río Cauca Santiago de Cali, Universidad del Valle.

Chemweno, M. K., L. G. Cernohlavek and W. A. Jacoby (2012). "Deactivation of Titanium Dioxide Photocatalyst by Oxidation of Polydimethylsiloxane and Silicon Sealant Off-Gas in a Recirculating Batch Reactor." Air & Waste Management Association **58**: 12-18.

EPA. (2014). "Programa de Calidad del Agua Análisis Simulación (WASP)." Retrieved 20-05-2014, 2014, from <http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/wasp.html>.

FAO (2012). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2012. Roma, Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO: 251.

FAO and INCODER (2011). Diagnóstico del estado de la acuicultura en Colombia. Bogotá, Plan Nacional de Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia: 131.

Félez, M. and R. O. Pujol (2009). Situación actual del estado de la depuración biológica. Explicación de los métodos y sus fundamentos. 1 Expositiva, Universitat Politècnica de Catalunya.

- Fernandez, J. M., J. S. Mercader and A. S. Andres (1980). La autodepuración en las corrientes del agua, Anaya. **1**: 8.
- Haider, H. and W. Ali (2010). "Development of Dissolved Oxygen Model for a Highly Variable Flow River: A Case Study of Ravi River in Pakistan." Environ Model Assess **15**: 583-599.
- Henderson, R. J., D. A. M. Forrest, K. D. Negro and M. T. Parque (1997). "The lipid composition of sealoach sediments underlying salmon cages." Aquaculture **158**: 69-83.
- Holguin, J. and A. Camacho (2005). "Determinación de la tasa de reaeración en un río de montaña colombiano mediante el uso de trazadores." Revista de Ingeniería de la Universidad de los Andes: 8.
- Krohnert, M. R. (2006). "Los impactos ambientales de la acuicultura, causas y efectos " Vector Plus **28**: 89-98.
- Longe, E. O. and E. D. O. Omole (2008). "Analysis of pollution status of River Illo, Ota, Nigeria." Environmentalist **10**: 7.
- Marin, B. (2009). Manual de química del agua teoría y práctica. Santa Marta, Editorial de la Universidad del Magdalena.
- Masters, G. M. and W. P. Ela (2008). Introducción a la ingeniería medioambiental. Madrid, PEARSON PRENTICE HALL.
- Menéndez, A. N. (2010). Transporte de contaminantes en el medio acuático. Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional.
- MinAmbiente (2013). Metodología para la definición de la longitud de influencia de vertimientos sobre corrientes de agua superficial. Bogotá, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.
- Monerri, M. M. and P. M. Doménech (2000). Modelación de la calidad del agua. Valencia, Universidad Politécnica de Valencia.
- Mook, W. T., M. H. Chakrabarti, M. K. Aroua, G. M. A. Khan, B. S. Ali, M. S. Islam and M. A. A. Hassan (2011). "Removal of total ammonia nitrogen (TAN), nitrate and total organic carbon (TOC) from aquaculture wastewater using electrochemical technology: A review." Desalination **285**: 1-13.
- Mora, C. (2010). Política Nacional para la gestión integral del recurso hídrico. Bogotá, Nuevas Ediciones Ltda.

Netto, G. C., T. Sauer, H. J. José, R. d. F. P. M. Moreira and E. Humeres (2013). "Evaluation of Relative Photonic Efficiency in Heterogeneous Photocatalytic Reactors." Air & Waste Management Association **54**: 77-82.

Oliveira, I. S. d., L. A. Ribeiro and H. Frischkorn (2008). "Autodepuração de cursos d'água: um programa de modelagem Streeter Phelps com calibração automática e correção de anaerobiose." Revista Escola de Minas **61**: 249-255.

Omole, D. O. and E. O. Longe (2012). "Re-aeration Coefficient Modeling: A Case Study of River Atuwara in Nigeria." Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology **4**: 1237-1243.

OMS. (2013). "Escasez de agua." Retrieved Junio 2013, 2013, from http://www.who.int/features/factfiles/water/water_facts/es/index.html.

Orellana, J. A. (2005). Contaminación. Rosario, Ingeniería Sanitaria - UNT - FRRO: 27.

Pérez, N. E., A. M. Marañón, A. González, Y. Rodríguez and C. Naranjo (2012). "Estudio de la correlación entre el índice biótico BMWP/Cub y parámetros físicoquímico en el río Gascón de Santiago de Cuba." Revista Cubana de Química **24**: 231-242.

Piedras, F. P. R. L. (2013). "Cuenca Río Las Piedras." Retrieved Julio, 2013, from <http://www.funpiedras.org.co/gestion-ambiental/fuentes-de-abastecimiento/cuenca-piedras/>.

Rivera, J. J., G. A. Pinilla and J. O. Rangel (2013). "Ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos y su relación con las variables físicas y químicas en el humedal de Jaboque-Colombia." Caldasia **35**: 389-408.

Rodriguez, M. E. (1983). Estudio de un modelo de autodepuración del río Ebro Investigación, Universidad Politécnica de Madrid.

Roldán, G. A. (2003). Bioindicación de la Calidad del Agua en Colombia. Uso del Metodo del BMWP/Col.

Romero, J. A. (2004). Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño.

Rueda, F. J. (2005). Autodepuración y vertidos en cursos fluviales. Granada, Universidad de Granada: 1-18.

Suarez, J. (2008). Calidad de aguas en ríos - Autodepuración. Coruña, Universidade da Coruña.

Tian, S., Z. Wang and H. Shang (2011). "Study on the Self-purification of Juma River." Procedia Environmental Sciences **11**: 1328-1333.

Zelada, J. A. (2012). Analisis de la riqueza, composicion y abundancia de macroinvertebrados acuaticos en los rios Pampumay y Pansalic - Panchiguaia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Zumaeta, M. A. d. (2002). Aspectos Biologicos de la Calidad del Agua.

ANEXOS

ANEXO 1. Fotografías de las estaciones de muestreo en el río Las Piedras

E1



E2



E3



E4



E5



E6



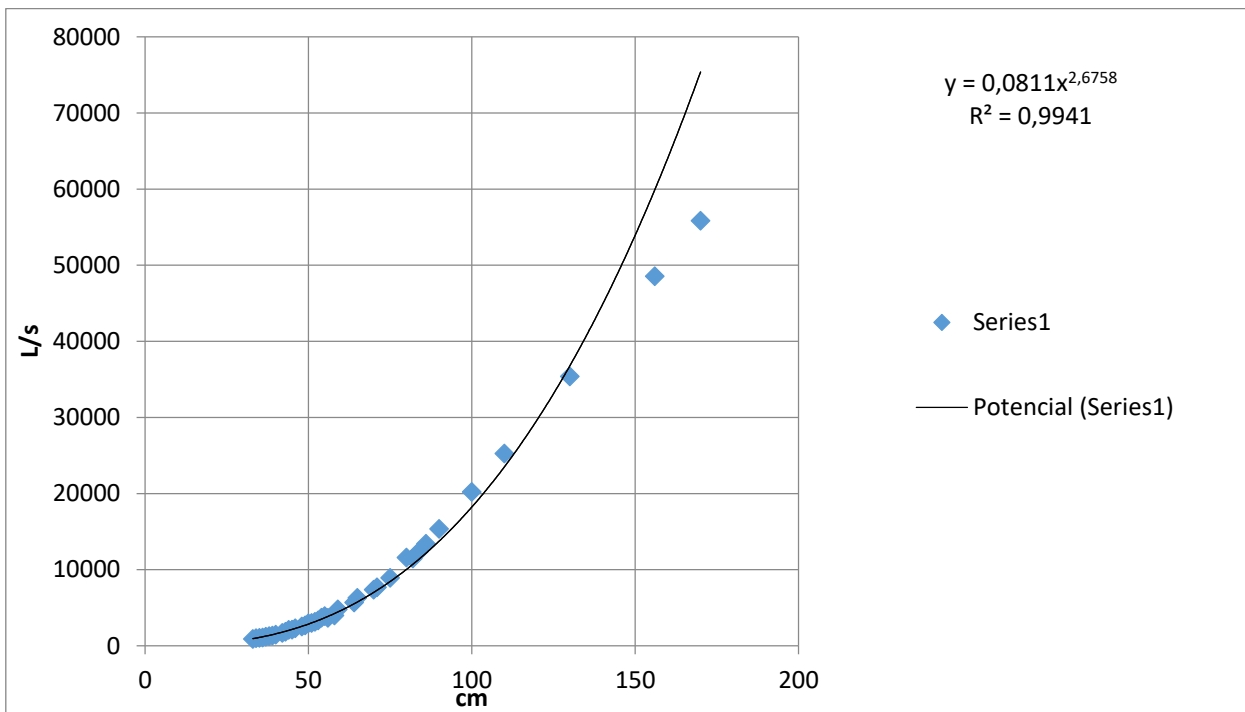
E7





Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 2. Curva de calibración de caudal vs nivel de la Estación Puente Carretera (E10)



Fuente: (CRC (Corporación Autónoma Regional Del Cauca), 2009; Piedras, 2013)

ANEXO 3. Puntos asignados a las diferentes familias de organismos macroinvertebrados acuáticos para la obtención del BMWP/Col.

| Familias | | | | Puntos |
|---|--|---|--|--------|
| Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blephariceridae, | Ptilodactylidae, Chordodidae, Gripopterygidae | Lampyridae, Odontoceridae, Perlidae | Polymitarcyidae, Polythoridae, Psephenidae | 10 |
| Coryphoridae, Ephemeridae, Euthyplociidae, | Gomphidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae | Limnephilidae, Oligoneuriidae, Philopotamidae | Platystictidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae | 9 |
| Atyidae, Calamoceratidae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydraenidae, | Hydroptilidae, Leptoceridae, Limnephilidae, Lymnaeidae, Naucoridae | Palaemonidae, Planorbidae (cuando es dominante Biomphalaria) | Pseudothelphusidae, Saldidae, Sialidae, Sphaeriidae | 8 |
| Ancylidae, Baetidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, | Dicteriadidae, Dixidae, Glossosomatidae, Hyalellidae | Hydrobiidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Lestidae | Pyralidae, Simuliidae, Veliidae | 7 |
| Aeshnidae, Ampullariidae, Caenidae, Corydalidae, | Dryopidae, Dugesiidae, Elmidae, Hyriidae | Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae | Mycetopodidae, Pleidae, Staphylinidae | 6 |
| Ceratopogonidae, Corixidae, Gelastocoridae, | Glossiphoniidae, Gyrinidae, Libellulidae | Mesoveliidae, Nepidae, Notonectidae | Tabanidae, Thiaridae | 5 |
| Belostomatidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Ephydriidae, | Haliplidae, Hydriidae, Muscidae | Scirtidae, Empididae, Dolichopodidae | Hydrometridae, Noteridae, Sciomyzidae | 4 |
| Chaoboridae, Cyclobdellidae, | Hydrophilidae (larvas) | Physidae, Stratiomyidae | Tipulidae | 3 |
| Chironomidae (cuando no es la familia dominante, si domina es 1) | | Culicidae, Psychodidae | Syrphidae | 2 |
| Tubificidae | | | | 1 |

Fuente: (Roldán, 2003)

ANEXO 4. Clases de calidad, significación de los valores del BMWP/Col y colores a utilizar para la representación cartográfica en ríos de Colombia.

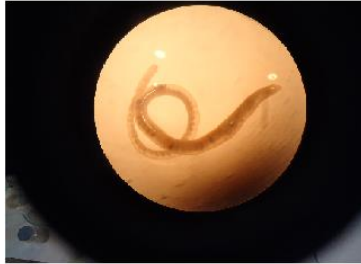
| Clase | calidad | BMWP / Col. | Significado | color |
|-------|-------------|-----------------|----------------------------------|----------|
| I | Buena | > 150, 101- 120 | Aguas muy limpias a limpias | Azul |
| II | Aceptable | 61-100 | Aguas ligeramente contaminadas | verde |
| III | Dudosa | 36 – 60 | Aguas moderadamente contaminadas | Amarillo |
| IV | Crítica | 16 – 35 | Aguas muy contaminadas | Naranja |
| V | Muy crítica | < 15 | Aguas fuertemente contaminadas | Rojo |

Fuente: (Roldán, 2003)

ANEXO 5. Identificación de las categorías taxonómicas de organismos macroinvertebrados.

HAPLOTAXIDA

LUMBRICIDAE



NAIDIDAE



ACARI

HYGROBATIDAE



COLEOPTERA

DRYOPIDAE



ELMIDAE



GYRINIDAE



PTILODACTYLIDAE



DIPTERA

BLEPHARICERIDAE



CERATOPOGONIDAE



CHIRONOMIDAE



EMPIDIDAE



MUSCIDAE



SIMULIDAE



TABANIDAE



TIPULIDAE

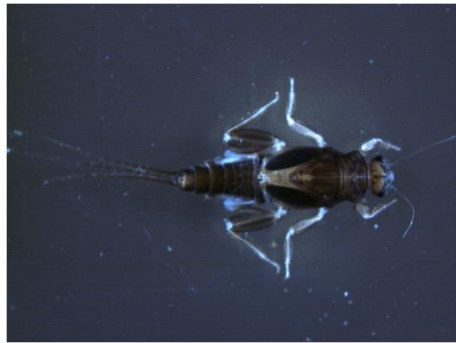


EPHEMEROPTERA

BAETIDAE



LEPTOHYPHIDAE



LEPTOPHLEBIIDAE



OLIGONEURIIDAE



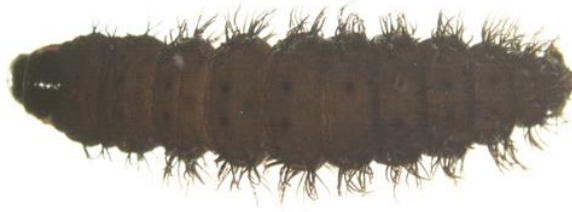
HEMIPTERA

VELLIDAE



PLECOPTERA

PYRALIDAE



MEGALOPTERA

CORYDALIDAE



ODONATA

CALOPTERYGIDAE



PLECOPTERA

PERLIDAE



CALAMOCERATIDAE



HYDROBIOSIDAE



LEPTOCERIDAE



THRICOPTERA

GLOSSOSOMATIDAE



HYDROPSYCHIDAE



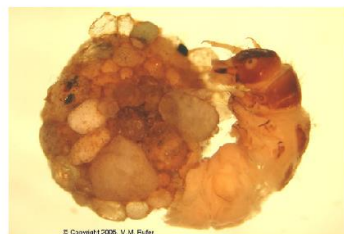
ODONTOCERIDAE



POLYCENTROPODIDAE



HELICOPSYCHIDAE



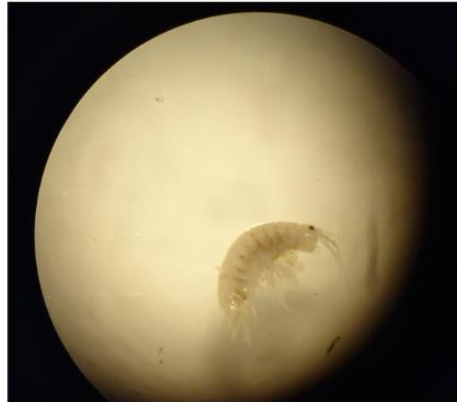
HYDROPTILIDAE



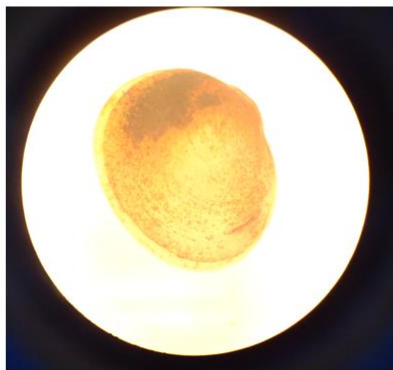
PHILOPOTAMIDAE



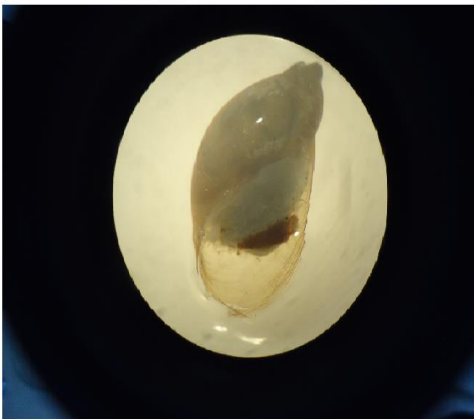
AMPHIPODA
HYALELLIDAE



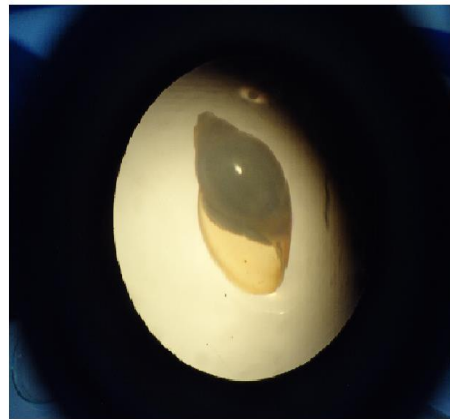
UNIONOIDA
UNIONIDAE



LYMNAEIDAE



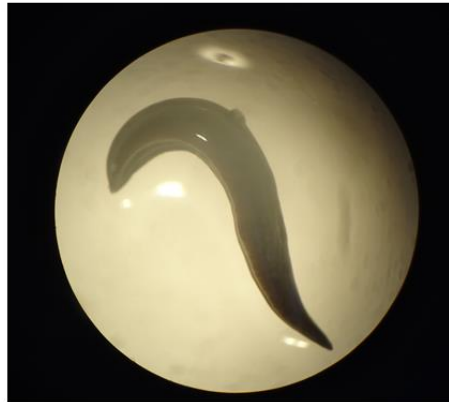
BASSOMATOPHORA
PHYSIDAE



PLANORBIDAE



TRICLARIDA
DUGESSIDAE



Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 6. Determinación cuantitativa de la abundancia, riqueza y puntaje por familia del Índice BMWP/Col para todas las cinco estaciones en los respectivos meses

| REINO | FILO | CLASE | ORDEN | FAMILIA | Puntaje BMWP/Col | Rio Las Piedras | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------------|-----------------|-----------------|-------------|---------------------|-----------------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|--|---|
| | | | | | | E1 | | E2 | | E4 | | E8 | | E10 | | | | |
| | | | | | | Nov | Feb | Nov | Feb | Nov | Feb | Nov | Feb | Nov | Feb | | | |
| Animalia | Annelida | Oligochaeta | Haplotaxida | Lumbricidae | 1 | | | | | 20 | 80 | 39 | 60 | | | | | |
| | | | | Naididae | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | |
| | Arthropoda | Arachnida | Acari | | Hygrobatidae | 4 | | 6 | | 1 | | | | | | 2 | | |
| | | | | | Insecta | Coleoptera | Dryopidae | 6 | | 3 | | | | | | | | |
| | | Elmidae | 6 | 3 | | | 8 | | 1 | | 2 | | 1 | 2 | 8 | | | |
| | | Gyrinidae | 5 | 3 | | | | | | | | | | | | 4 | | |
| | | Ptilodactylidae | 10 | 9 | | | 19 | 8 | 6 | | | | | | 16 | 5 | | |
| | | Diptera | Blephariceridae | 10 | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| | | | Ceratopogonidae | 5 | | | | | | | | | | | | | | 3 |
| | | | Chironomidae | 2 | | 39 | 2 | | 1 | 27 | 22 | 10 | 20 | 11 | 4 | | | |
| | | | Empididae | 4 | | | 1 | | | | | | | | | | | |
| | | | Muscidae | 4 | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | |
| | | | Simuliidae | 7 | | 2 | | 3 | 12 | | 3 | | | | 8 | | | |
| | | Ephemeroptera | Tabanidae | 5 | 1 | 2 | 1 | | 1 | | | | | | | | | |
| | | | Tipulidae | 3 | 1 | 2 | 2 | | | | | | | | | | | |
| | | | Baetidae | 7 | | 8 | 3 | 28 | | 1 | | | 2 | 59 | | | | |
| Leptohyphidae | 7 | | 1 | 39 | 16 | 39 | | | | | 1 | 2 | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|---------------------|-----------------------|--------------------------|----|----|----|----|----|----|---|----|---|----|----|
| | | | | <i>Leptophlebiidae</i> | 9 | 2 | 4 | 42 | 3 | | | | | 16 | 1 |
| | | | | <i>Oligoneuriidae</i> | 9 | 60 | 10 | 4 | 5 | | | | | | 3 |
| | | <i>Hemiptera</i> | | <i>Veliidae</i> | 7 | | | | 1 | | | | | | |
| | | <i>Lepidoptera</i> | | <i>Pyralidae</i> | 7 | | | | | | | | | | 1 |
| | | <i>Megaloptera</i> | | <i>Corydalidae</i> | 6 | | | | | | | | | 1 | |
| | | <i>Odonata</i> | | <i>Calopterygidae</i> | 7 | | | 3 | 1 | | | | | | |
| | | <i>Plecoptera</i> | | <i>Perlidae</i> | 10 | 7 | 8 | 18 | | | | | | | 5 |
| | | <i>Thricoptera</i> | | <i>Calamoceratidae</i> | 8 | 1 | 3 | 1 | 14 | | | | | | |
| | | | | <i>Glossosomatidae</i> | 7 | 1 | 7 | | | | | | | 2 | 27 |
| | | | | <i>Helicopsychidae</i> | 8 | 3 | 7 | 1 | | | | | | 1 | |
| | | | | <i>Hydrobiosidae</i> | 9 | 25 | | 4 | | | | | | 1 | 2 |
| | | | | <i>Hydropsychidae</i> | 7 | 31 | 10 | 29 | 15 | | 1 | 1 | 1 | 73 | 21 |
| | | | | <i>Hydroptilidae</i> | 8 | | 1 | | | 1 | | | | | 3 |
| | | | | <i>Leptoceridae</i> | 8 | | | | 5 | | | | | | |
| | | | | <i>Odontoceridae</i> | 10 | | | | | | | | | | 2 |
| | | | | <i>Philopotamidae</i> | 9 | | | | 9 | | | | | | |
| | | | | <i>Polycentropodidae</i> | 9 | | | 6 | | | | | | | |
| | | <i>Malacostraca</i> | <i>Amphipoda</i> | <i>Hyalellidae</i> | 7 | | | 1 | 1 | | 1 | | | | |
| | <i>Mollusca</i> | <i>Bivalvia</i> | <i>Unionoida</i> | <i>Unionidae</i> | 10 | | | | | 6 | 1 | 6 | | | |
| | | <i>Gastropoda</i> | <i>Bassomatophora</i> | <i>Lymnaeidae</i> | 8 | 2 | | | | 2 | | 1 | | 1 | |
| | | | | <i>Physidae</i> | 3 | | | 14 | | 54 | 3 | 86 | 2 | 7 | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|
| | | | | <i>Planorbidae</i> | 8 | | | 1 | | | | | | 6 | |
| | <i>Platyhelminthes</i> | <i>Turbellaria</i> | <i>Triclarida</i> | <i>Dugesiidae</i> | 6 | 4 | | | 1 | 68 | 9 | 20 | 7 | | |
| 1 Reino | 4 Filos | 7 Clases | 15 Ordenes | 40 Familias | Riqueza | 17 | 20 | 18 | 18 | 9 | 9 | 9 | 7 | 14 | 18 |
| | | | | | Abundancia por muestreo | 193 | 143 | 155 | 135 | 191 | 121 | 167 | 92 | 140 | 160 |
| | | | | | Abundancia total | 336 | | 290 | | 312 | | 259 | | 300 | |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 7. Resultados de las variables climatológicas durante el estudio.

| VARIABLES CLIMATOLÓGICAS | Estación El Lago | Estación El Diviso | | | |
|--------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------|
| | Precipitación (mm/mes) | Precipitación (mm/mes) | Tmínima (°C) promedio/mes | Tmáxima (°C) promedio/mes | Tpromedio(°C) |
| SEPTIEMBRE DE 2013 | 76 | 27 | 10 | 21 | 15,5 |
| OCTUBRE DE 2013 | 181 | 187 | 9 | 21 | 15 |
| NOVIEMBRE DE 2013 | 325 | 438 | 8 | 20 | 14 |
| DICIEMBRE DE 2013 | 341 | 375 | 4 | 20 | 12 |
| ENERO DE 2014 | 359 | 221 | 8 | 20 | 14 |
| FEBRERO DE 2014 | 260 | 211 | 9 | 20 | 14,5 |
| MARZO DE 2014 | 371 | 340 | 9 | 20 | 14,5 |

Fuente: (Elaboración Fundación ProCuenca Río Las Piedras)

ANEXO 8. Tabla sobre el ENSO del Climate Prediction Center

Warm (red) and cold (blue) episodes based on a threshold of +/- 0.5°C for the Oceanic Niño Index (ONI) [3 month running mean of ERSST.v3b SST anomalies in the Niño 3.4 region (5°N-5°S, 120°-170°W)], based on centered 30-year base periods updated every 5 years. For historical purposes cold and warm episodes (blue and red colored numbers) are defined when the threshold is met for a minimum of 5 consecutive over-lapping seasons.

| Year | DJF | JFM | FMA | MAM | AMJ | MJJ | JJA | JAS | ASO | SON | OND | NDJ |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1990 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 0.4 | 0.4 |
| 1991 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 1.2 | 1.4 |
| 1992 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.2 | 1.0 | 0.7 | 0.3 | 0.0 | -0.2 | -0.3 | -0.2 | 0.0 |
| 1993 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 |
| 1994 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.7 | 1.0 | 1.2 |
| 1995 | 1.0 | 0.8 | 0.6 | 0.3 | 0.2 | 0.0 | -0.2 | -0.4 | -0.7 | -0.8 | -0.9 | -0.9 |
| 1996 | -0.9 | -0.8 | -0.6 | -0.4 | -0.3 | -0.2 | -0.2 | -0.3 | -0.3 | -0.3 | -0.4 | -0.5 |
| 1997 | -0.5 | -0.4 | -0.1 | 0.2 | 0.7 | 1.2 | 1.5 | 1.8 | 2.1 | 2.3 | 2.4 | 2.3 |
| 1998 | 2.2 | 1.8 | 1.4 | 0.9 | 0.4 | -0.2 | -0.7 | -1.0 | -1.2 | -1.3 | -1.4 | -1.5 |
| 1999 | -1.5 | -1.3 | -1.0 | -0.9 | -0.9 | -1.0 | -1.0 | -1.1 | -1.1 | -1.3 | -1.5 | -1.7 |
| 2000 | -1.7 | -1.5 | -1.2 | -0.9 | -0.8 | -0.7 | -0.6 | -0.5 | -0.6 | -0.6 | -0.8 | -0.8 |
| 2001 | -0.7 | -0.6 | -0.5 | -0.4 | -0.2 | -0.1 | 0.0 | 0.0 | -0.1 | -0.2 | -0.3 | -0.3 |
| 2002 | -0.2 | 0.0 | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 1.2 | 1.3 | 1.3 |
| 2003 | 1.1 | 0.8 | 0.4 | 0.0 | -0.2 | -0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.3 |
| 2004 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| 2005 | 0.6 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | -0.2 | -0.5 | -0.8 |
| 2006 | -0.9 | -0.7 | -0.5 | -0.3 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 1.0 | 1.0 |
| 2007 | 0.7 | 0.3 | -0.1 | -0.2 | -0.3 | -0.3 | -0.4 | -0.6 | -0.8 | -1.1 | -1.2 | -1.4 |
| 2008 | -1.5 | -1.5 | -1.2 | -0.9 | -0.7 | -0.5 | -0.3 | -0.2 | -0.1 | -0.2 | -0.5 | -0.7 |
| 2009 | -0.8 | -0.7 | -0.5 | -0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.8 | 1.1 | 1.4 | 1.6 |
| 2010 | 1.6 | 1.3 | 1.0 | 0.6 | 0.1 | -0.4 | -0.9 | -1.2 | -1.4 | -1.5 | -1.5 | -1.5 |
| 2011 | -1.4 | -1.2 | -0.9 | -0.6 | -0.3 | -0.2 | -0.2 | -0.4 | -0.6 | -0.8 | -1.0 | -1.0 |
| 2012 | -0.9 | -0.6 | -0.5 | -0.3 | -0.2 | 0.0 | 0.1 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.2 | -0.3 |
| 2013 | -0.6 | -0.6 | -0.4 | -0.2 | -0.2 | -0.3 | -0.3 | -0.3 | -0.3 | -0.2 | -0.3 | -0.4 |
| 2014 | -0.6 | -0.6 | -0.5 | -0.1 | 0.1 | 0.1 | | | | | | |

Fuente: (Elaboración Climate Prediction Center)

ANEXO 9. Resultados de las variables físicas y químicas para el mes de septiembre de 2013.

| VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS | Periodo de muestreo y estaciones | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | SEPTIEMBRE DE 2013 | | | | | | | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 |
| CE (µs/cm) | 74,17 | 71,20 | 84,23 | 87,50 | 88,83 | 88,07 | 88,10 | 88,13 | 87,13 | 86,83 |
| Temperatura Hídrica (°C) | 15,57 | 16,23 | 16,30 | 16,30 | 16,30 | 16,30 | 16,30 | 16,30 | 16,30 | 17,67 |
| Turbiedad (NTU) | 1,43 | 1,20 | 1,23 | 1,73 | 1,70 | 1,60 | 1,70 | 1,77 | 1,37 | 1,50 |
| OD (mg/L) | 7,46 | 7,59 | 7,16 | 7,29 | 7,15 | 6,79 | 6,80 | 6,85 | 6,85 | 7,71 |
| OD (%) | 100,30 | 101,43 | 97,10 | 101,00 | 97,40 | 94,70 | 94,33 | 94,10 | 94,20 | 102,10 |
| DQO ₅ (mg/L) | 0,50 | 2,20 | 2,80 | 2,90 | 1,60 | 2,60 | 2,60 | 1,90 | 2,10 | 0,40 |
| DBO ₅ (mg/L) | 0,30 | 1,20 | 1,80 | 1,90 | 1,10 | 1,80 | 1,80 | 1,30 | 1,50 | 0,30 |
| PO ₄ ³⁻ (mg/L) | 0,14 | 0,18 | 0,13 | 0,26 | 0,26 | 0,26 | 0,31 | 0,32 | 0,32 | 0,72 |
| NO ₂ ⁻ (mg/L) | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,06 |
| NO ₃ ⁻ (mg/L) | 1,70 | 1,70 | 2,40 | 2,40 | 1,90 | 2,07 | 2,00 | 1,70 | 1,60 | 2,50 |
| NH ₄ ⁺ (mg/L) | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,05 | 0,10 | 0,16 | 0,16 | 0,15 | 0,16 | 0,00 |
| SDT (mg/L) | 34,90 | 33,53 | 39,30 | 41,17 | 41,63 | 41,63 | 41,30 | 41,20 | 41,10 | 40,90 |
| pH | 7,83 | 7,83 | 7,40 | 7,32 | 7,22 | 7,33 | 7,38 | 7,29 | 7,28 | 7,77 |
| Salinidad (%) | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 10. Resultados de las variables físicas y químicas para el mes de octubre de 2013.

| VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS | Periodo de muestreo y estaciones | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | OCTUBRE DE 2013 | | | | | | | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 |
| CE (µs/cm) | 52,63 | 49,27 | 57,50 | 64,47 | 63,60 | 63,63 | 63,67 | 63,67 | 62,80 | 56,97 |
| Temperatura Hídrica (°C) | 13,60 | 14,70 | 14,80 | 14,70 | 14,80 | 14,80 | 14,80 | 14,80 | 14,80 | 15,70 |
| Turbiedad (NTU) | 2,50 | 2,20 | 6,40 | 5,73 | 5,20 | 5,10 | 4,90 | 4,67 | 4,50 | 19,73 |
| OD (mg/L) | 7,67 | 7,78 | 7,69 | 7,61 | 7,73 | 7,70 | 7,70 | 7,72 | 7,68 | 7,79 |
| OD (%) | 99,07 | 100,00 | 99,33 | 98,07 | 99,63 | 99,17 | 99,07 | 99,07 | 99,07 | 99,43 |
| DQO ₅ (mg/L) | 1,00 | 1,10 | 1,50 | 1,80 | 0,70 | 0,70 | 0,80 | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| DBO ₅ (mg/L) | 0,70 | 0,80 | 1,00 | 1,20 | 0,50 | 0,50 | 0,60 | 0,80 | 0,80 | 0,80 |
| PO ₄ ³⁻ (mg/L) | 0,17 | 0,18 | 1,41 | 0,29 | 0,39 | 0,51 | 2,56 | 2,41 | 2,10 | 6,02 |
| NO ₂ (mg/L) | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,10 |
| NO ₃ (mg/L) | 2,80 | 2,50 | 2,37 | 2,27 | 2,37 | 2,27 | 2,03 | 2,10 | 2,10 | 3,47 |
| NH ₄ ⁺ (mg/L) | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,06 |
| SDT (mg/L) | 23,57 | 24,97 | 27,23 | 30,90 | 30,57 | 30,60 | 30,93 | 30,90 | 30,00 | 27,80 |
| pH | 7,46 | 7,52 | 7,60 | 7,37 | 7,42 | 7,42 | 7,42 | 7,42 | 7,40 | 7,57 |
| Salinidad (%) | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 11. Resultados de las variables físicas y químicas para el mes de noviembre de 2013.

| VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS | Periodo de muestreo y estaciones | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | NOVIEMBRE DE 2013 | | | | | | | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 |
| CE (µs/cm) | 37,47 | 40,37 | 42,67 | 44,63 | 44,30 | 45,27 | 46,17 | 47,27 | 45,33 | 40,53 |
| Temperatura Hídrica (°C) | 12,70 | 14,13 | 15,13 | 14,80 | 14,87 | 14,73 | 15,03 | 15,23 | 15,20 | 16,13 |
| Turbiedad (NTU) | 3,47 | 3,37 | 2,63 | 2,63 | 2,33 | 2,40 | 2,57 | 3,13 | 2,87 | 2,50 |
| OD (mg/L) | 8,13 | 8,03 | 7,93 | 7,94 | 7,97 | 8,03 | 8,03 | 7,93 | 7,99 | 8,00 |
| OD (%) | 102,17 | 102,33 | 102,67 | 102,10 | 103,0 | 103,2 | 102,9 | 102,9 | 103,0 | 102,07 |
| DQO ₅ (mg/L) | 1,50 | 1,60 | 1,40 | 1,80 | 1,60 | 0,50 | 0,50 | 0,90 | 1,00 | 1,20 |
| DBO ₅ (mg/L) | 1,00 | 1,20 | 0,90 | 1,20 | 1,00 | 0,30 | 0,30 | 0,60 | 0,70 | 0,80 |
| PO ₄ ³⁻ (mg/L) | 0,11 | 0,71 | 1,11 | 0,31 | 0,21 | 0,15 | 0,21 | 0,28 | 0,25 | 0,33 |
| NO ₂ ⁻ (mg/L) | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,05 |
| NO ₃ ⁻ (mg/L) | 2,00 | 2,17 | 2,60 | 2,00 | 2,13 | 2,30 | 2,30 | 2,60 | 2,40 | 2,77 |
| NH ₄ ⁺ (mg/L) | 0,07 | 0,03 | 0,07 | 0,15 | 0,19 | 0,21 | 0,21 | 0,20 | 0,20 | 0,08 |
| SDT (mg/L) | 17,62 | 18,94 | 20,13 | 20,83 | 20,30 | 21,23 | 21,50 | 22,20 | 22,03 | 18,97 |
| pH | 6,62 | 7,14 | 7,55 | 7,50 | 7,51 | 7,31 | 7,44 | 7,44 | 7,40 | 7,48 |
| Salinidad (%) | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 12. Resultados de las variables físicas y químicas para el mes de diciembre de 2013.

| VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS | Periodo de muestreo y estaciones | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | DICIEMBRE DE 2013 | | | | | | | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 |
| CE (µs/cm) | 42,10 | 46,00 | 55,03 | 54,60 | 55,10 | 55,90 | 54,37 | 52,57 | 52,10 | 58,10 |
| Temperatura Hídrica (°C) | 14,43 | 15,10 | 15,13 | 15,10 | 15,10 | 15,10 | 15,10 | 15,20 | 15,20 | 16,30 |
| Turbiedad (NTU) | 24,03 | 25,83 | 31,27 | 40,67 | 41,83 | 50,27 | 41,50 | 46,70 | 32,93 | 30,37 |
| OD (mg/L) | 7,55 | 7,61 | 7,72 | 7,75 | 7,81 | 7,89 | 7,77 | 7,68 | 7,45 | 7,07 |
| OD (%) | 99,37 | 99,57 | 100,40 | 100,67 | 100,9 | 102,3 | 100,5 | 99,83 | 99,37 | 96,13 |
| DQO ₅ (mg/L) | 0,90 | 1,00 | 1,40 | 1,70 | 0,60 | 0,60 | 0,70 | 1,10 | 1,10 | 1,10 |
| DBO ₅ (mg/L) | 0,60 | 0,70 | 0,90 | 1,10 | 0,40 | 0,40 | 0,50 | 0,70 | 0,70 | 0,70 |
| PO ₄ ³⁻ (mg/L) | 0,57 | 0,62 | 0,83 | 0,65 | 0,71 | 0,79 | 0,63 | 0,54 | 0,54 | 0,86 |
| NO ₂ ⁻ (mg/L) | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,10 | 0,09 | 0,10 |
| NO ₃ ⁻ (mg/L) | 2,10 | 2,20 | 2,30 | 2,50 | 2,80 | 3,10 | 3,27 | 3,60 | 4,37 | 3,17 |
| NH ₄ ⁺ (mg/L) | 0,07 | 0,07 | 0,10 | 0,11 | 0,13 | 0,15 | 0,16 | 0,19 | 0,18 | 0,16 |
| SDT (mg/L) | 20,30 | 21,31 | 26,40 | 26,10 | 26,33 | 26,60 | 26,10 | 25,50 | 25,00 | 27,10 |
| pH | 5,67 | 7,12 | 7,15 | 7,24 | 7,20 | 7,16 | 7,19 | 7,11 | 7,12 | 7,20 |
| Salinidad (%) | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 13. Resultados de las variables físicas y químicas para el mes de enero de 2014.

| VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS | Periodo de muestreo y estaciones | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | ENERO DE 2014 | | | | | | | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 |
| CE (µs/cm) | 58,50 | 53,13 | 55,57 | 64,10 | 65,27 | 63,97 | 66,57 | 66,10 | 64,60 | 56,53 |
| Temperatura Hídrica (°C) | 14,40 | 15,13 | 15,17 | 14,97 | 15,03 | 14,97 | 15,13 | 15,20 | 15,20 | 16,40 |
| Turbiedad (NTU) | 2,07 | 1,80 | 2,23 | 2,53 | 2,57 | 2,70 | 2,70 | 2,23 | 1,43 | 2,17 |
| OD (mg/L) | 7,73 | 7,76 | 7,79 | 7,77 | 7,89 | 7,92 | 7,90 | 7,85 | 7,84 | 7,83 |
| OD (%) | 100,97 | 101,20 | 101,00 | 100,13 | 102,0 | 102,2 | 102,1 | 101,7 | 101,5 | 101,50 |
| DQO ₅ (mg/L) | 1,10 | 0,60 | 1,40 | 1,50 | 1,10 | 1,10 | 0,60 | 0,90 | 1,10 | 0,80 |
| DBO ₅ (mg/L) | 0,70 | 0,40 | 0,90 | 1,00 | 0,70 | 0,70 | 0,40 | 0,60 | 0,70 | 0,50 |
| PO ₄ ³⁻ (mg/L) | 0,27 | 0,17 | 0,12 | 0,34 | 0,20 | 0,21 | 0,33 | 0,55 | 0,36 | 0,25 |
| NO ₂ ⁻ (mg/L) | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,05 |
| NO ₃ ⁻ (mg/L) | 2,50 | 2,50 | 2,40 | 2,67 | 3,03 | 2,80 | 4,80 | 4,03 | 3,27 | 3,27 |
| NH ₄ ⁺ (mg/L) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |
| SDT (mg/L) | 27,50 | 25,00 | 26,10 | 29,90 | 30,87 | 30,20 | 31,17 | 31,10 | 30,20 | 26,47 |
| pH | 7,15 | 7,27 | 7,37 | 7,26 | 7,26 | 7,16 | 7,31 | 7,37 | 7,47 | 7,59 |
| Salinidad (%) | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 14. Resultados de las variables físicas y químicas para el mes de febrero de 2014.

| VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS | Periodo de muestreo y estaciones | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | FEBRERO DE 2014 | | | | | | | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 |
| CE (µs/cm) | 59,30 | 54,47 | 56,50 | 62,67 | 61,80 | 61,60 | 62,03 | 62,70 | 61,00 | 58,07 |
| Temperatura Hídrica (°C) | 14,50 | 14,87 | 15,13 | 15,00 | 15,00 | 15,03 | 15,27 | 15,40 | 15,40 | 16,87 |
| Turbiedad (NTU) | 2,10 | 1,83 | 2,33 | 2,67 | 2,57 | 2,73 | 2,73 | 2,30 | 1,53 | 2,37 |
| OD (mg/L) | 7,74 | 7,89 | 7,86 | 7,75 | 7,94 | 7,94 | 7,95 | 7,84 | 7,84 | 7,80 |
| OD (%) | 100,53 | 101,67 | 101,43 | 99,70 | 102,2 | 102,3 | 102,2 | 102,0 | 101,4 | 101,83 |
| DQO ₅ (mg/L) | 0,30 | 2,60 | 3,00 | 2,70 | 1,80 | 2,60 | 2,60 | 1,80 | 2,00 | 0,30 |
| DBO ₅ (mg/L) | 0,20 | 1,70 | 2,00 | 1,80 | 1,20 | 1,70 | 1,70 | 1,20 | 1,40 | 0,20 |
| PO ₄ ³⁻ (mg/L) | 0,39 | 0,20 | 0,24 | 0,30 | 2,07 | 2,55 | 1,96 | 0,36 | 0,42 | 3,30 |
| NO ₂ ⁻ (mg/L) | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,07 |
| NO ₃ ⁻ (mg/L) | 2,97 | 3,20 | 3,27 | 2,40 | 2,70 | 3,10 | 2,83 | 2,50 | 2,50 | 2,50 |
| NH ₄ ⁺ (mg/L) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SDT (mg/L) | 27,50 | 25,60 | 26,50 | 29,40 | 29,00 | 28,90 | 29,13 | 29,47 | 28,37 | 27,30 |
| pH | 7,36 | 7,49 | 7,48 | 7,33 | 7,34 | 7,30 | 7,35 | 7,33 | 7,33 | 7,43 |
| Salinidad (%) | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |

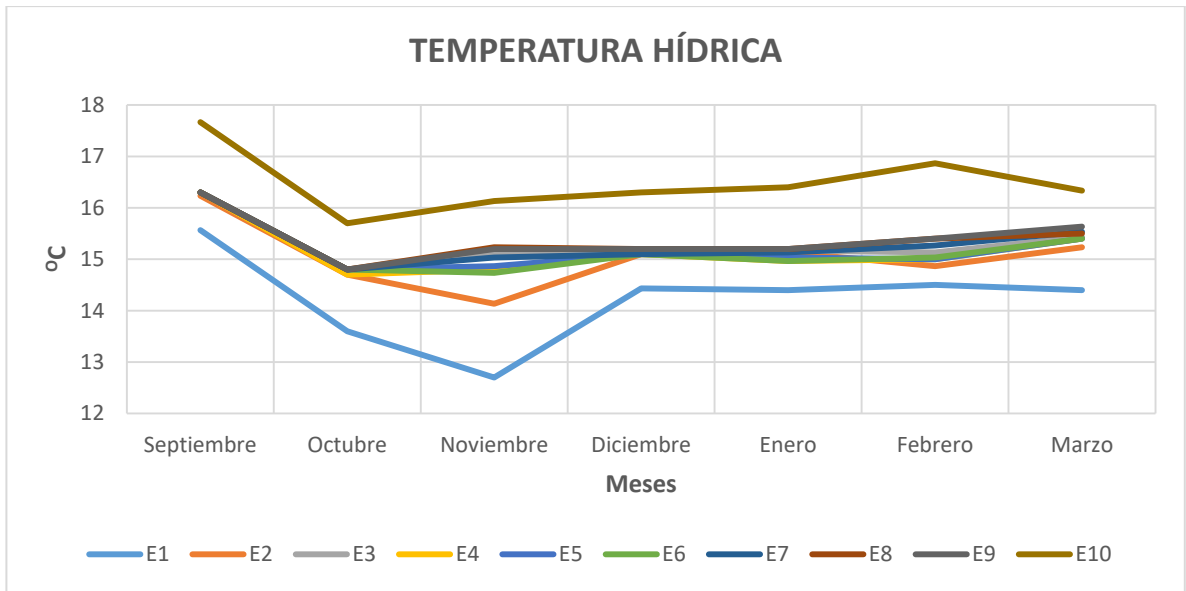
Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 15. Resultados de las variables físicas y químicas para el mes de marzo de 2014.

| VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS | Periodo de muestreo y estaciones | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | MARZO DE 2014 | | | | | | | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 |
| CE (µs/cm) | 50,00 | 46,03 | 47,87 | 51,50 | 52,07 | 51,87 | 52,33 | 52,57 | 50,63 | 43,03 |
| Temperatura Hídrica (°C) | 14,40 | 15,23 | 15,43 | 15,40 | 15,40 | 15,40 | 15,53 | 15,50 | 15,63 | 16,33 |
| Turbiedad (NTU) | 2,17 | 1,77 | 2,20 | 2,67 | 2,60 | 2,60 | 2,70 | 2,23 | 1,47 | 2,20 |
| OD (mg/L) | 7,89 | 7,91 | 7,96 | 7,96 | 8,04 | 8,08 | 8,09 | 8,05 | 7,96 | 8,09 |
| OD (%) | 103,17 | 103,40 | 103,73 | 103,60 | 104,6 | 105,1 | 105,3 | 104,9 | 104,0 | 104,07 |
| DQO ₅ (mg/L) | 0,50 | 1,70 | 0,50 | 2,00 | 2,10 | 0,30 | 0,30 | 4,70 | 2,40 | 0,50 |
| DBO ₅ (mg/L) | 0,30 | 1,10 | 0,30 | 1,30 | 1,40 | 0,20 | 0,20 | 3,10 | 1,60 | 0,30 |
| PO ₄ ³⁻ (mg/L) | 0,49 | 0,85 | 0,89 | 2,71 | 0,23 | 0,97 | 0,41 | 0,83 | 1,90 | 0,52 |
| NO ₂ ⁻ (mg/L) | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,05 |
| NO ₃ ⁻ (mg/L) | 2,50 | 3,00 | 2,90 | 2,90 | 2,90 | 2,60 | 2,60 | 3,63 | 2,40 | 2,80 |
| NH ₄ ⁺ (mg/L) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SDT (mg/L) | 23,47 | 21,50 | 22,53 | 23,73 | 24,33 | 24,43 | 24,53 | 24,60 | 23,80 | 20,18 |
| pH | 7,27 | 7,46 | 7,46 | 7,55 | 7,52 | 7,45 | 7,49 | 7,33 | 7,21 | 7,39 |
| Salinidad (%) | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |

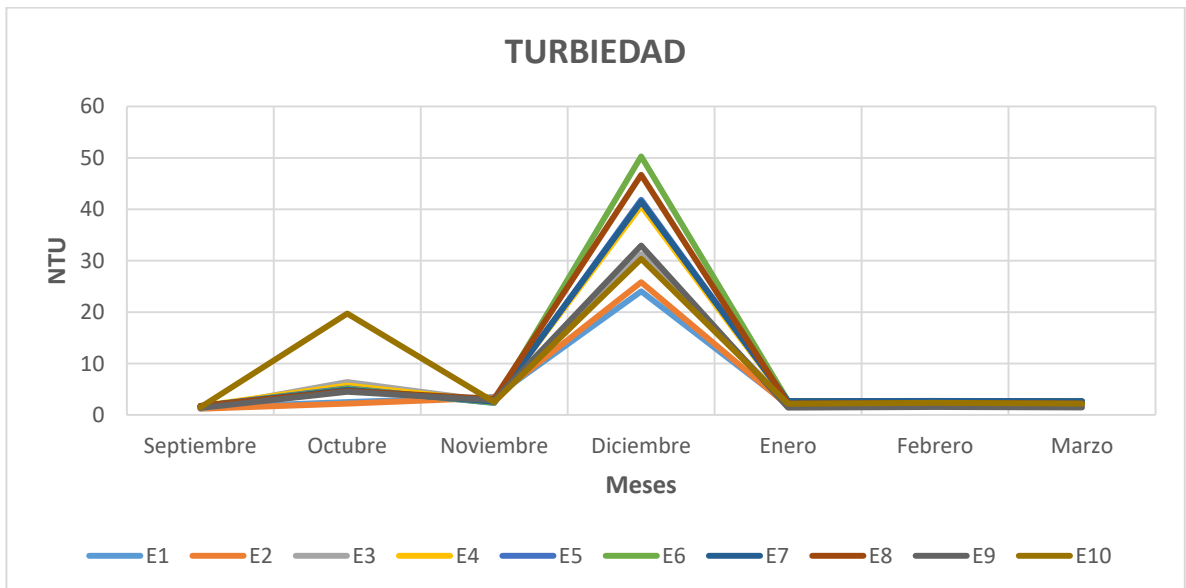
Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 16. Comportamiento espacio – temporal de la Temperatura Hídrica durante el estudio.



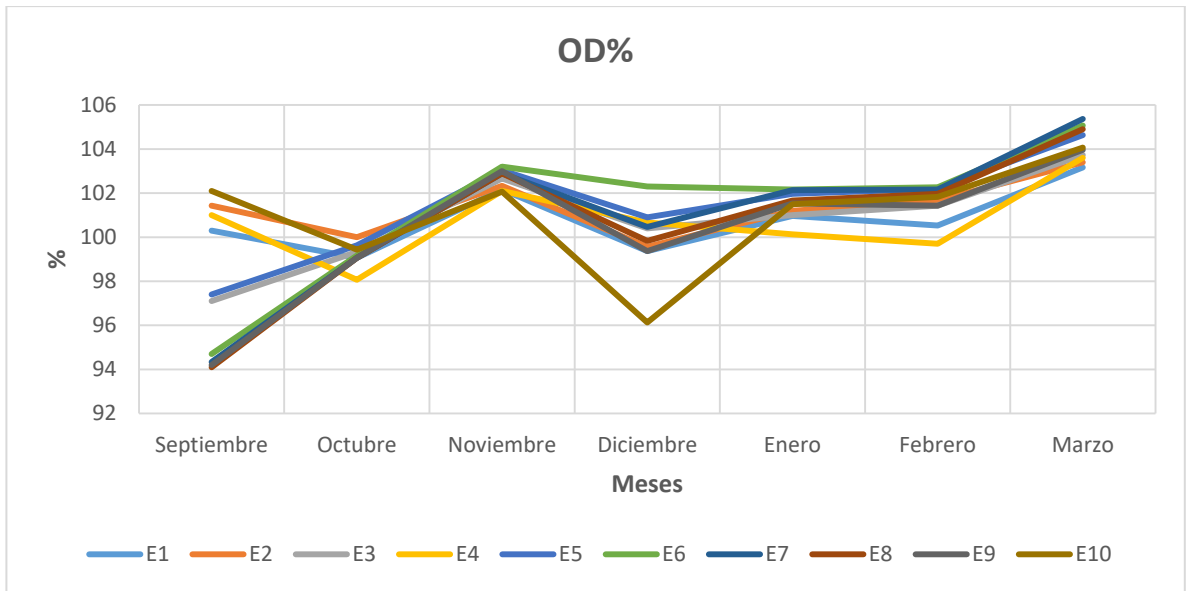
Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 17. Comportamiento espacio – temporal de la Turbiedad durante el estudio.



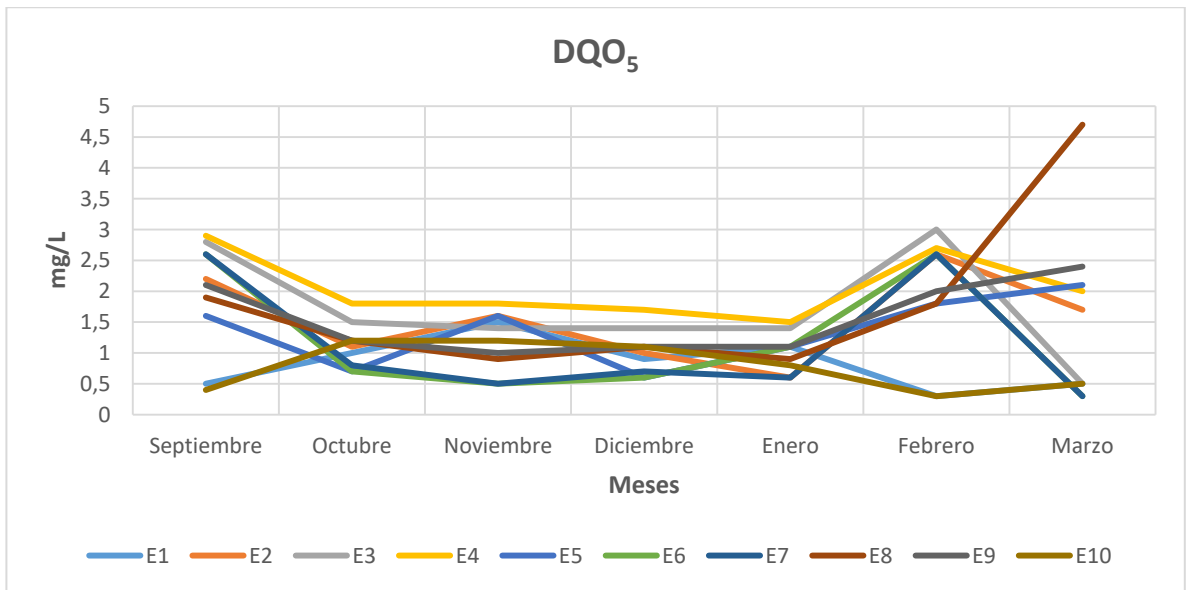
Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 18. Comportamiento espacio – temporal del porcentaje de saturación de OD durante el estudio.



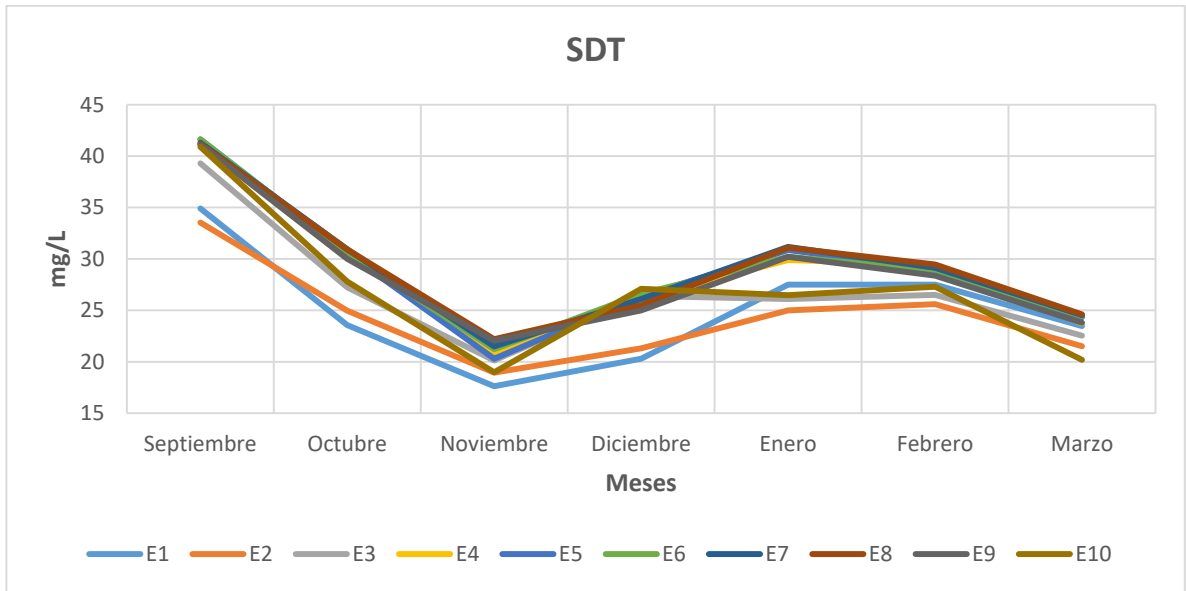
Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 19. Comportamiento espacio – temporal de la DQO₅ durante el estudio.



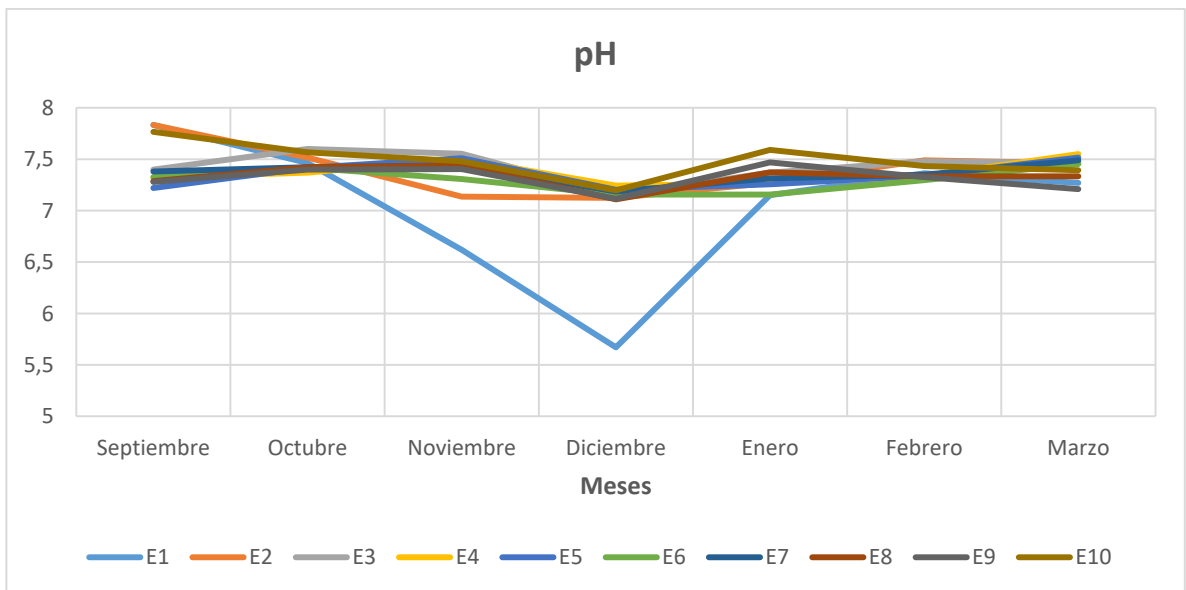
Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 20. Comportamiento espacio – temporal de los SDT durante el estudio.



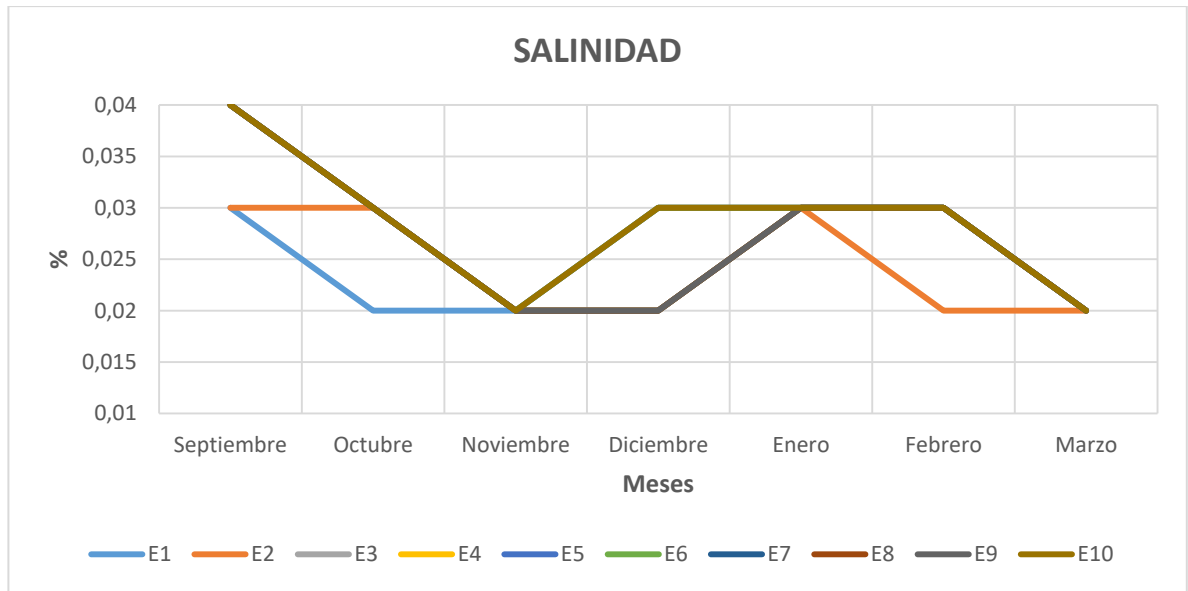
Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 21. Comportamiento espacio – temporal del pH durante el estudio.



Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 22. Comportamiento espacio – temporal de la Salinidad durante el estudio.



Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 23. Índices de Biodegradabilidad para el mes de septiembre de 2013

| ÍNDICES DE BIODEGRADABILIDAD | Periodo de muestreo y estaciones | | | | | | | | | |
|------------------------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | SEPTIEMBRE DE 2013 | | | | | | | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 |
| DQO/DBO | 1,67 | 1,83 | 1,56 | 1,53 | 1,45 | 1,44 | 1,44 | 1,46 | 1,40 | 1,33 |
| DBO/DQO | 0,60 | 0,55 | 0,64 | 0,66 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,68 | 0,71 | 0,75 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 24. Índices de Biodegradabilidad para el mes de octubre de 2013.

| ÍNDICES DE BIODEGRADABILIDAD | Periodo de muestreo y estaciones | | | | | | | | | |
|------------------------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | OCTUBRE DE 2013 | | | | | | | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 |
| DQO/DBO | 1,43 | 1,38 | 1,50 | 1,50 | 1,40 | 1,40 | 1,33 | 1,50 | 1,50 | 1,50 |
| DBO/DQO | 0,70 | 0,73 | 0,67 | 0,67 | 0,71 | 0,71 | 0,75 | 0,67 | 0,67 | 0,67 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 25. Índices de Biodegradabilidad para el mes de noviembre de 2013

| ÍNDICES DE BIODEGRADABILIDAD | Periodo de muestreo y estaciones | | | | | | | | | |
|------------------------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | NOVIEMBRE DE 2013 | | | | | | | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 |
| DQO/DBO | 1,50 | 1,33 | 1,56 | 1,50 | 1,60 | 1,67 | 1,67 | 1,50 | 1,43 | 1,50 |
| DBO/DQO | 0,67 | 0,75 | 0,64 | 0,67 | 0,63 | 0,60 | 0,60 | 0,67 | 0,70 | 0,67 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 26. Índices de Biodegradabilidad para el mes de diciembre de 2013

| ÍNDICES DE BIODEGRADABILIDAD | Periodo de muestreo y estaciones | | | | | | | | | |
|------------------------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | DICIEMBRE DE 2013 | | | | | | | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 |
| DQO/DBO | 1,50 | 1,43 | 1,56 | 1,55 | 1,50 | 1,50 | 1,40 | 1,57 | 1,57 | 1,57 |
| DBO/DQO | 0,67 | 0,70 | 0,64 | 0,65 | 0,67 | 0,67 | 0,71 | 0,64 | 0,64 | 0,64 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 27. Índices de Biodegradabilidad para el mes de enero de 2014.

| ÍNDICES DE BIODEGRADABILIDAD | Periodo de muestreo y estaciones | | | | | | | | | |
|------------------------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | ENERO DE 2014 | | | | | | | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 |
| DQO/DBO | 1,57 | 1,50 | 1,56 | 1,50 | 1,57 | 1,57 | 1,50 | 1,50 | 1,57 | 1,60 |
| DBO/DQO | 0,64 | 0,67 | 0,64 | 0,67 | 0,64 | 0,64 | 0,67 | 0,67 | 0,64 | 0,63 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 28. Índices de Biodegradabilidad para el mes de febrero de 2014.

| ÍNDICES DE BIODEGRADABILIDAD | Periodo de muestreo y estaciones | | | | | | | | | |
|------------------------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | FEBRERO DE 2014 | | | | | | | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 |
| DQO/DBO | 1,50 | 1,53 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,53 | 1,53 | 1,50 | 1,43 | 1,50 |
| DBO/DQO | 0,67 | 0,65 | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,65 | 0,65 | 0,67 | 0,70 | 0,67 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 29. Índices de Biodegradabilidad para el mes de marzo de 2014.

| ÍNDICES DE BIODEGRADABILIDAD | Periodo de muestreo y estaciones | | | | | | | | | |
|------------------------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | MARZO DE 2014 | | | | | | | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 |
| DQO/DBO | 1,67 | 1,55 | 1,67 | 1,54 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,52 | 1,50 | 1,67 |
| DBO/DQO | 0,60 | 0,65 | 0,60 | 0,65 | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 0,66 | 0,67 | 0,60 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 30. Resultados de las variables biológicas para el mes de septiembre de 2013.

| VARIABLES BIOLÓGICAS | Periodo de muestreo y estaciones | | | |
|---------------------------------|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | SEPTIEMBRE DE 2013 | | | |
| | E1 | E2 | E8 | E10 |
| Coliformes Totales (NMP) | > 2419,6 | > 2419,6 | > 2419,6 | > 2419,6 |
| Coliformes Fecales (NMP) | 88,4 | 101,7 | 150 | 73,3 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 31. Resultados de las variables biológicas para el mes de octubre de 2013.

| VARIABLES BIOLÓGICAS | Periodo de muestreo y estaciones | | | |
|---------------------------------|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | OCTUBRE DE 2013 | | | |
| | E1 | E2 | E8 | E10 |
| Coliformes Totales (NMP) | > 2419,6 | > 2419,6 | > 2419,6 | > 2419,6 |
| Coliformes Fecales (NMP) | 92 | 88,6 | 88 | 98,5 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 32. Resultados de las variables biológicas para el mes de noviembre de 2013.

| VARIABLES BIOLÓGICAS | Periodo de muestreo y estaciones | | | |
|---------------------------------|----------------------------------|----------|----------|----------|
| | NOVIEMBRE DE 2013 | | | |
| | E1 | E2 | E8 | E10 |
| Coliformes Totales (NMP) | > 2419,6 | > 2419,6 | > 2419,6 | > 2419,6 |
| Coliformes Fecales (NMP) | 143,9 | 222,4 | 115,3 | 158,5 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 33. Resultados de las variables biológicas para el mes de diciembre de 2013.

| VARIABLES BIOLÓGICAS | Periodo de muestreo y estaciones | | | |
|---------------------------------|----------------------------------|--------|--------|--------|
| | DICIEMBRE DE 2013 | | | |
| | E1 | E2 | E8 | E10 |
| Coliformes Totales (NMP) | 1011,2 | 2419,6 | 1011,2 | 1011,2 |
| Coliformes Fecales (NMP) | 77,6 | 73,3 | 78,7 | 48,7 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 34. Resultados de las variables biológicas para el mes de enero de 2014.

| VARIABLES BIOLÓGICAS | Periodo de muestreo y estaciones | | | |
|---------------------------------|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | ENERO DE 2014 | | | |
| | E1 | E2 | E8 | E10 |
| Coliformes Totales (NMP) | > 2419,6 | > 2419,6 | > 2419,6 | > 2419,6 |
| Coliformes Fecales (NMP) | 116 | 93,4 | 110,6 | 133,4 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 35. Resultados de las variables biológicas para el mes de febrero de 2014.

| VARIABLES BIOLÓGICAS | Periodo de muestreo y estaciones | | | |
|---------------------------------|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | FEBRERO DE 2014 | | | |
| | E1 | E2 | E8 | E10 |
| Coliformes Totales (NMP) | > 2419,6 | > 2419,6 | > 2419,6 | > 2419,6 |
| Coliformes Fecales (NMP) | 214,3 | 75,9 | 365,4 | 78 |

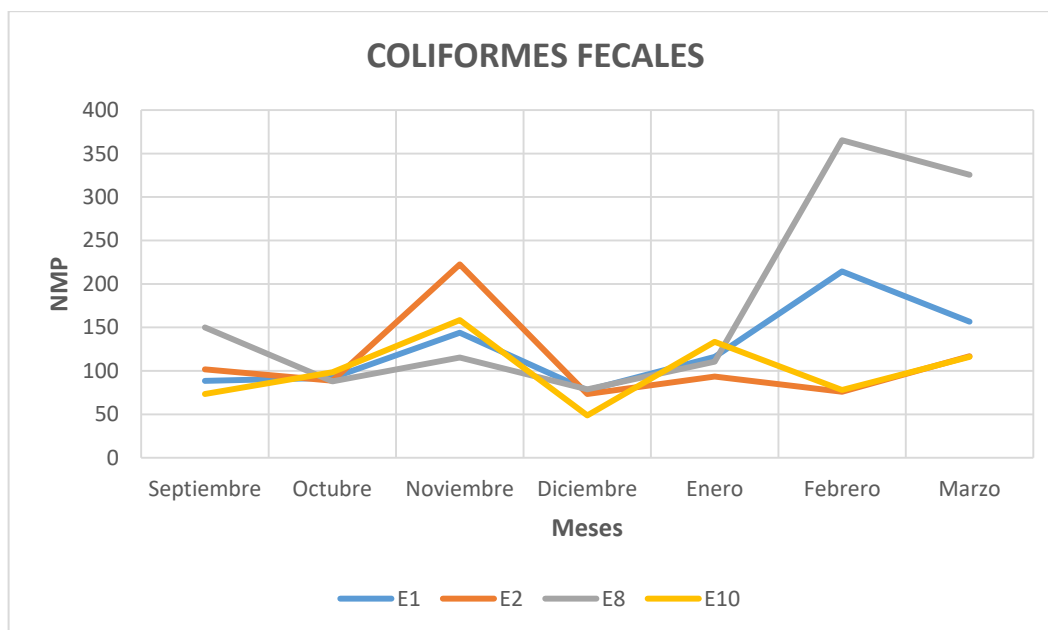
Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 36. Resultados de las variables biológicas para el mes de marzo de 2014.

| VARIABLES BIOLÓGICAS | Periodo de muestreo y estaciones | | | |
|---------------------------------|----------------------------------|----------|----------|----------|
| | MARZO DE 2014 | | | |
| | E1 | E2 | E8 | E10 |
| Coliformes Totales (NMP) | > 2419,6 | > 2419,6 | > 2419,6 | > 2419,6 |
| Coliformes Fecales (NMP) | 156,5 | 116,9 | 325,5 | 116 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 37. Comportamiento espacio – temporal de los coliformes fecales durante el estudio.



Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 38. Resultados de las Pruebas de Normalidad para todas las variables.

| | CONDUCTIVIDAD EL | TEMPERATURA HIDR | TURBIEDAD | OD | OD% | DQO | DBO | PO4 |
|--------------------|------------------|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| N | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 |
| Shapiro-Wilk W | 0,9035 | 0,9196 | 0,5279 | 0,8117 | 0,932 | 0,9122 | 0,9124 | 0,6239 |
| p(normal) | 2,069E-10 | 2,773E-09 | 1,852E-23 | 3,301E-15 | 2,632E-08 | 8,14E-10 | 8,33E-10 | 3,088E-21 |
| Jarque-Bera JB | 30,91 | 39,03 | 287,7 | 146,4 | 36,96 | 73,01 | 67,91 | 1488 |
| p(normal) | 1,939E-07 | 3,34E-09 | 3,309E-63 | 1,582E-32 | 9,413E-09 | 1,399E-16 | 1,793E-15 | 4,941E-324 |
| p(Monte Carlo) | 0,0007 | 0,0004 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0001 |
| Chi²2 | 17,314 | 59,067 | 407,49 | 23,029 | 14,952 | 1,8857 | 7,7143 | 238,72 |
| p(normal) | 3,168E-05 | 1,5242E-14 | 1,2925E-90 | 1,5961E-06 | 0,00011026 | 0,16969 | 0,0054786 | 7,4641E-54 |
| Chi²2 OK (N>20) | YES | YES | YES | YES | YES | YES | YES | YES |
| Anderson-Darling A | 6,081 | 6,444 | 45,97 | 12,55 | 3,807 | 3,824 | 3,939 | 25,36 |
| p(normal) | 5,397E-15 | 7,33E-16 | 2,351E-97 | 4,162E-30 | 1,606E-09 | 1,462E-09 | 7,691E-10 | 4,87E-58 |
| | NO2 | NO3 | NH4 | SDT | pH | SALINIDAD | CAUDAL | |
| N | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | |
| Shapiro-Wilk W | 0,8727 | 0,9285 | 0,7415 | 0,9113 | 0,7079 | 0,7761 | 0,7779 | |
| p(normal) | 2,806E-12 | 1,353E-08 | 7,838E-18 | 6,978E-10 | 6,587E-19 | 1,299E-16 | 1,52E-16 | |
| Jarque-Bera JB | 41,98 | 77,84 | 37,74 | 27 | 3487 | 10,11 | 717,5 | |
| p(normal) | 7,661E-10 | 1,253E-17 | 6,387E-09 | 1,368E-06 | 0 | 0,006371 | 1,611E-156 | |
| p(Monte Carlo) | 0,0004 | 0,0001 | 0,0003 | 0,0005 | 0,0001 | 0,0153 | 0,0001 | |
| Chi²2 | 24,438 | 15,257 | 69,429 | 17,314 | 65,771 | 133,54 | 39,257 | |
| p(normal) | 7,6736E-07 | 9,3821E-05 | 7,9233E-17 | 3,168E-05 | 5,0637E-16 | 6,8782E-31 | 3,7151E-10 | |
| Chi²2 OK (N>20) | YES | YES | YES | YES | YES | YES | YES | |
| Anderson-Darling A | 10,71 | 3,393 | 23,48 | 5,409 | 11,27 | 20,85 | 9,697 | |
| p(normal) | 6,829E-26 | 1,629E-08 | 4,154E-54 | 2,195E-13 | 3,609E-27 | 1,623E-48 | 1,577E-23 | |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 39. Resultados de las variables hidráulicas para el mes de septiembre de 2013.

| VARIABLES HIDRÁULICAS | Periodo de muestreo y estaciones | | | | | | | | | |
|------------------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | SEPTIEMBRE DE 2013 | | | | | | | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 |
| Caudal (m³/s) | 0,58 | 0,78 | 0,98 | 1,38 | 1,38 | 1,38 | 1,38 | 1,38 | 1,48 | 1,97 |
| Profundidad Media (m) | 0,45 | 0,35 | 0,47 | 0,40 | 0,45 | 0,35 | 0,40 | 0,32 | 0,40 | 0,43 |
| Ancho (m) | 7,00 | 9,00 | 9,00 | 6,00 | 7,00 | 7,00 | 8,00 | 5,00 | 7,50 | 11,50 |
| Área (m²) | 3,14 | 3,15 | 4,26 | 2,38 | 3,15 | 2,45 | 3,20 | 1,60 | 3,00 | 4,95 |
| Radio Hidráulico (m) | 0,40 | 0,32 | 0,43 | 0,35 | 0,40 | 0,32 | 0,36 | 0,28 | 0,36 | 0,40 |
| Pendiente (m/m) | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| Velocidad Media (m/s) | 1,09 | 0,95 | 1,15 | 1,00 | 1,09 | 0,94 | 1,03 | 0,87 | 1,03 | 1,10 |
| Kd Corregido (dias ⁻¹) | 1,91 | 1,71 | 1,53 | 1,29 | 1,29 | 1,29 | 1,29 | 1,29 | 1,25 | 1,16 |
| Kr Corregido (dias ⁻¹) | 22,44 | 33,01 | 21,41 | 27,20 | 22,76 | 32,76 | 27,17 | 36,74 | 27,09 | 25,62 |
| Factor de Autodepuración | 11,73 | 19,35 | 13,99 | 21,02 | 17,59 | 25,32 | 20,99 | 28,39 | 21,67 | 22,13 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 40. Resultados de las variables hidráulicas para el mes de octubre de 2013.

| VARIABLES HIDRÁULICAS | Periodo de muestreo y estaciones | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | OCTUBRE DE 2013 | | | | | | | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 |
| Caudal (m³/s) | 0,84 | 1,04 | 1,24 | 1,64 | 1,64 | 1,64 | 1,64 | 1,64 | 1,74 | 2,85 |
| Profundidad Media (m) | 0,45 | 0,35 | 0,47 | 0,40 | 0,45 | 0,35 | 0,40 | 0,32 | 0,40 | 0,65 |
| Ancho (m) | 7,00 | 9,00 | 9,00 | 6,00 | 7,00 | 7,00 | 8,00 | 5,00 | 7,50 | 11,50 |
| Área (m²) | 3,14 | 3,15 | 4,26 | 2,38 | 3,15 | 2,45 | 3,20 | 1,60 | 3,00 | 7,48 |
| Radio Hidráulico (m) | 0,40 | 0,32 | 0,43 | 0,35 | 0,40 | 0,32 | 0,36 | 0,28 | 0,36 | 0,58 |
| Pendiente (m/m) | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| Velocidad Media (m/s) | 1,10 | 0,96 | 1,16 | 1,01 | 1,10 | 0,95 | 1,04 | 0,88 | 1,04 | 1,42 |
| Kd Corregido (días⁻¹) | 1,46 | 1,38 | 1,27 | 1,10 | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 1,08 | 0,88 |
| Kr Corregido (días⁻¹) | 21,42 | 31,83 | 20,66 | 26,19 | 21,97 | 31,62 | 26,22 | 35,46 | 26,15 | 13,48 |
| Factor de Autodepuración | 14,69 | 23,05 | 16,23 | 23,70 | 19,79 | 28,49 | 23,62 | 31,94 | 24,25 | 15,28 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 41. Resultados de las variables hidráulicas para el mes de noviembre de 2013.

| VARIABLES HIDRÁULICAS | Periodo de muestreo y estaciones | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | NOVIEMBRE DE 2013 | | | | | | | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 |
| Caudal (m³/s) | 1,70 | 1,90 | 2,10 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 2,60 | 5,75 |
| Profundidad Media (m) | 0,45 | 0,35 | 0,47 | 0,40 | 0,45 | 0,35 | 0,40 | 0,35 | 0,40 | 0,50 |
| Ancho (m) | 7,00 | 9,00 | 9,00 | 6,00 | 7,00 | 7,00 | 8,00 | 5,00 | 7,50 | 11,50 |
| Área (m²) | 3,14 | 3,15 | 4,26 | 2,38 | 3,15 | 2,45 | 3,20 | 1,75 | 3,00 | 5,75 |
| Radio Hidráulico (m) | 0,40 | 0,32 | 0,43 | 0,35 | 0,40 | 0,32 | 0,36 | 0,31 | 0,36 | 0,46 |
| Pendiente (m/m) | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| Velocidad Media (m/s) | 1,11 | 0,96 | 1,16 | 1,11 | 1,10 | 0,94 | 1,05 | 0,94 | 1,04 | 1,20 |
| Kd Corregido (días⁻¹) | 0,99 | 1,00 | 1,00 | 0,90 | 0,91 | 0,90 | 0,91 | 0,92 | 0,90 | 0,64 |
| Kr Corregido (días⁻¹) | 20,97 | 31,41 | 20,82 | 26,25 | 22,00 | 31,57 | 26,36 | 31,44 | 26,39 | 19,89 |
| Factor de Autodepuración | 21,17 | 31,36 | 20,85 | 29,08 | 24,30 | 35,07 | 28,89 | 34,14 | 29,26 | 31,17 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 42. Resultados de las variables hidráulicas para el mes de diciembre de 2013.

| VARIABLES HIDRÁULICAS | Periodo de muestreo y estaciones | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | DICIEMBRE DE 2013 | | | | | | | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 |
| Caudal (m³/s) | 1,37 | 1,57 | 1,77 | 2,17 | 2,17 | 2,17 | 2,17 | 2,17 | 2,27 | 4,65 |
| Profundidad Media (m) | 0,45 | 0,35 | 0,47 | 0,40 | 0,45 | 0,35 | 0,40 | 0,34 | 0,40 | 0,60 |
| Ancho (m) | 7,00 | 9,00 | 9,00 | 6,00 | 7,00 | 7,00 | 8,00 | 5,00 | 7,50 | 11,50 |
| Área (m²) | 3,14 | 3,15 | 4,26 | 2,38 | 3,15 | 2,45 | 3,20 | 1,70 | 3,00 | 6,90 |
| Radio Hidráulico (m) | 0,40 | 0,32 | 0,43 | 0,35 | 0,40 | 0,32 | 0,36 | 0,30 | 0,36 | 0,54 |
| Pendiente (m/m) | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| Velocidad Media (m/s) | 1,13 | 0,97 | 1,17 | 1,02 | 1,11 | 0,96 | 1,04 | 0,92 | 1,05 | 1,35 |
| Kd Corregido (días⁻¹) | 1,19 | 1,15 | 1,09 | 0,98 | 0,98 | 0,98 | 0,98 | 0,99 | 0,96 | 0,71 |
| Kr Corregido (días⁻¹) | 21,85 | 32,14 | 20,82 | 26,44 | 22,13 | 31,84 | 26,40 | 32,77 | 26,39 | 15,35 |
| Factor de Autodepuración | 18,33 | 27,95 | 19,18 | 26,95 | 22,55 | 32,46 | 26,91 | 33,25 | 27,38 | 21,51 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 43. Resultados de las variables hidráulicas para el mes de enero de 2014.

| VARIABLES HIDRÁULICAS | Periodo de muestreo y estaciones | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | ENERO DE 2014 | | | | | | | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 |
| Caudal (m³/s) | 0,63 | 0,83 | 1,03 | 1,42 | 1,42 | 1,42 | 1,42 | 1,42 | 1,52 | 2,15 |
| Profundidad Media (m) | 0,45 | 0,35 | 0,47 | 0,40 | 0,45 | 0,35 | 0,40 | 0,32 | 0,40 | 0,45 |
| Ancho (m) | 7,00 | 9,00 | 9,00 | 6,00 | 7,00 | 7,00 | 8,00 | 5,00 | 7,50 | 11,50 |
| Área (m²) | 3,14 | 3,15 | 4,26 | 2,38 | 3,15 | 2,45 | 3,20 | 1,60 | 3,00 | 5,18 |
| Radio Hidráulico (m) | 0,40 | 0,32 | 0,43 | 0,35 | 0,40 | 0,32 | 0,36 | 0,28 | 0,36 | 0,42 |
| Pendiente (m/m) | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| Velocidad Media (m/s) | 1,07 | 0,93 | 1,13 | 0,98 | 1,07 | 0,92 | 1,01 | 0,85 | 1,01 | 1,11 |
| Kd Corregido (días⁻¹) | 1,74 | 1,57 | 1,42 | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,21 | 1,21 | 1,17 | 1,05 |
| Kr Corregido (días⁻¹) | 21,83 | 32,16 | 20,84 | 26,35 | 22,09 | 31,74 | 26,42 | 35,79 | 26,39 | 23,29 |
| Factor de Autodepuración | 12,54 | 20,44 | 14,70 | 21,96 | 18,35 | 26,45 | 21,85 | 29,50 | 22,49 | 22,26 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 44. Resultados de las variables hidráulicas para el mes de febrero de 2014.

| VARIABLES HIDRÁULICAS | Periodo de muestreo y estaciones | | | | | | | | | |
|------------------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | FEBRERO DE 2014 | | | | | | | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 |
| Caudal (m ³ /s) | 0,75 | 0,95 | 1,15 | 1,55 | 1,55 | 1,55 | 1,55 | 1,55 | 1,65 | 2,56 |
| Profundidad Media (m) | 0,45 | 0,35 | 0,47 | 0,40 | 0,45 | 0,35 | 0,40 | 0,32 | 0,40 | 0,48 |
| Ancho (m) | 7,00 | 9,00 | 9,00 | 6,00 | 7,00 | 7,00 | 8,00 | 5,00 | 7,50 | 11,50 |
| Área (m ²) | 3,14 | 3,15 | 4,26 | 2,38 | 3,15 | 2,45 | 3,20 | 1,60 | 3,00 | 5,52 |
| Radio Hidráulico (m) | 0,40 | 0,32 | 0,43 | 0,35 | 0,40 | 0,32 | 0,36 | 0,28 | 0,36 | 0,44 |
| Pendiente (m/m) | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| Velocidad Media (m/s) | 1,12 | 0,98 | 1,18 | 1,03 | 1,11 | 0,97 | 1,06 | 0,90 | 1,06 | 1,17 |
| Kd Corregido (días ⁻¹) | 1,61 | 1,45 | 1,34 | 1,15 | 1,15 | 1,15 | 1,17 | 1,17 | 1,14 | 0,98 |
| Kr Corregido (días ⁻¹) | 21,88 | 31,96 | 20,82 | 26,37 | 22,07 | 31,79 | 26,51 | 35,96 | 26,52 | 21,46 |
| Factor de Autodepuración | 13,62 | 21,97 | 15,53 | 22,90 | 19,17 | 27,57 | 22,74 | 30,66 | 23,31 | 21,87 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 45. Resultados de las variables hidráulicas para el mes de marzo de 2014.

| VARIABLES HIDRÁULICAS | Periodo de muestreo y estaciones | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | MARZO DE 2014 | | | | | | | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 | E10 |
| Caudal (m³/s) | 1,91 | 2,11 | 2,31 | 2,71 | 2,71 | 2,71 | 2,71 | 2,71 | 2,81 | 6,49 |
| Profundidad Media (m) | 0,45 | 0,35 | 0,47 | 0,40 | 0,45 | 0,35 | 0,40 | 0,37 | 0,40 | 0,68 |
| Ancho (m) | 7,00 | 9,00 | 9,00 | 6,00 | 7,00 | 7,00 | 8,00 | 5,00 | 7,50 | 11,50 |
| Área (m²) | 3,14 | 3,15 | 4,26 | 2,38 | 3,15 | 2,45 | 3,20 | 1,85 | 3,00 | 7,82 |
| Radio Hidráulico (m) | 0,40 | 0,32 | 0,43 | 0,35 | 0,40 | 0,32 | 0,36 | 0,32 | 0,36 | 0,61 |
| Pendiente (m/m) | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| Velocidad Media (m/s) | 1,13 | 0,99 | 1,19 | 1,04 | 1,13 | 0,98 | 1,07 | 0,99 | 1,07 | 1,45 |
| Kd Corregido (días⁻¹) | 1,01 | 1,00 | 0,97 | 0,89 | 0,89 | 0,89 | 0,90 | 0,90 | 0,89 | 0,61 |
| Kr Corregido (días⁻¹) | 21,83 | 32,24 | 20,97 | 26,63 | 22,28 | 32,07 | 26,68 | 29,17 | 26,67 | 12,82 |
| Factor de Autodepuración | 21,59 | 32,21 | 21,71 | 29,85 | 24,98 | 35,95 | 29,72 | 32,55 | 30,10 | 21,12 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 46. Resultados del modelo de Streeter y Phelps para el mes de septiembre de 2013.

| SEPTIEMBRE DE 2013 | | | | |
|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|
| Subtramo | Distancia en el Tramo (Km) | Distancia Acumulada (Km) | OD (mg/L) | DBO (mg/L) |
| | 0,0 | 0,0 | 7,45 | 0,3 |
| | 0,0 | 0,0 | 7,45 | 0,3 |
| | 0,1 | 0,1 | 7,45 | 0,3 |
| | 0,2 | 0,2 | 7,45 | 0,3 |
| | 0,3 | 0,3 | 7,45 | 0,3 |
| | 0,4 | 0,4 | 7,46 | 0,3 |
| TRAMO | 0,5 | 0,5 | 7,46 | 0,3 |
| 1 | 0,6 | 0,6 | 7,46 | 0,3 |
| | 0,7 | 0,7 | 7,46 | 0,3 |
| | 0,8 | 0,8 | 7,46 | 0,3 |
| | 0,9 | 0,9 | 7,46 | 0,3 |
| | 1,0 | 1,0 | 7,46 | 0,3 |
| | 1,1 | 1,1 | 7,46 | 0,3 |
| | 1,2 | 1,2 | 7,46 | 0,3 |
| | 1,3 | 1,3 | 7,47 | 0,3 |
| | 1,4 | 1,4 | 7,47 | 0,3 |
| | 1,5 | 1,5 | 7,47 | 0,3 |
| | 1,6 | 1,6 | 7,47 | 0,3 |
| | 1,7 | 1,7 | 7,47 | 0,3 |
| | 0,1 | 1,8 | 7,59 | 1,2 |
| | 0,2 | 1,9 | 7,58 | 1,2 |
| | 0,3 | 2,0 | 7,58 | 1,2 |
| | 0,4 | 2,1 | 7,58 | 1,2 |
| | 0,5 | 2,2 | 7,58 | 1,2 |
| | 0,6 | 2,3 | 7,57 | 1,2 |
| | 0,7 | 2,4 | 7,57 | 1,2 |
| | 0,8 | 2,5 | 7,57 | 1,2 |
| | 0,9 | 2,6 | 7,56 | 1,2 |
| | 1,0 | 2,7 | 7,56 | 1,2 |
| TRAMO | 1,1 | 2,8 | 7,56 | 1,2 |
| 2 | 1,2 | 2,9 | 7,56 | 1,2 |
| | 1,3 | 3,0 | 7,55 | 1,2 |
| | 1,4 | 3,1 | 7,55 | 1,2 |

| | | | | |
|--------------|-----|-----|------|------|
| | 1,5 | 3,2 | 7,55 | 1,2 |
| | 1,6 | 3,3 | 7,55 | 1,2 |
| | 1,7 | 3,4 | 7,54 | 1,2 |
| | 1,8 | 3,5 | 7,54 | 1,2 |
| | 1,9 | 3,6 | 7,54 | 1,2 |
| | 2,0 | 3,7 | 7,54 | 1,2 |
| | 2,1 | 3,8 | 7,54 | 1,2 |
| | 2,2 | 3,9 | 7,53 | 1,2 |
| | 0,1 | 4,0 | 7,11 | 1,76 |
| | 0,2 | 4,1 | 7,12 | 1,76 |
| TRAMO | 0,3 | 4,2 | 7,12 | 1,76 |
| 3 | 0,4 | 4,3 | 7,13 | 1,75 |
| | 0,5 | 4,4 | 7,14 | 1,75 |
| | 0,5 | 4,4 | 7,14 | 1,75 |
| | 0,0 | 4,4 | 6,75 | 2,93 |
| | 0,0 | 4,4 | 6,75 | 2,93 |
| TRAMO | 0,0 | 4,5 | 6,76 | 2,93 |
| 4 | 0,1 | 4,5 | 6,76 | 2,93 |
| | 0,1 | 4,5 | 6,76 | 2,93 |
| | 0,1 | 4,5 | 6,76 | 2,93 |
| | 0,1 | 4,6 | 6,67 | 2,75 |
| | 0,2 | 4,7 | 6,69 | 2,75 |
| | 0,3 | 4,8 | 6,71 | 2,75 |
| | 0,4 | 4,9 | 6,73 | 2,74 |
| | 0,5 | 5,0 | 6,75 | 2,74 |
| | 0,6 | 5,1 | 6,77 | 2,73 |
| | 0,7 | 5,2 | 6,79 | 2,73 |
| | 0,8 | 5,3 | 6,80 | 2,72 |
| TRAMO | 0,9 | 5,4 | 6,82 | 2,72 |
| 5 | 1,0 | 5,5 | 6,84 | 2,72 |
| | 1,1 | 5,6 | 6,85 | 2,71 |
| | 1,2 | 5,7 | 6,87 | 2,71 |
| | 1,3 | 5,8 | 6,88 | 2,70 |
| | 1,4 | 5,9 | 6,89 | 2,70 |
| | 1,5 | 6,0 | 6,91 | 2,70 |
| | 1,6 | 6,1 | 6,92 | 2,69 |
| | 1,7 | 6,2 | 6,93 | 2,69 |
| | 1,8 | 6,3 | 6,95 | 2,68 |
| | 0,1 | 6,4 | 7,76 | 2,84 |
| | 0,2 | 6,5 | 7,75 | 2,83 |
| | 0,3 | 6,6 | 7,74 | 2,83 |
| | 0,4 | 6,7 | 7,72 | 2,83 |
| | 0,5 | 6,8 | 7,71 | 2,82 |

| | | | | |
|--------------|-----|------|------|------|
| | 0,6 | 6,9 | 7,70 | 2,82 |
| | 0,7 | 7,0 | 7,68 | 2,81 |
| | 0,8 | 7,1 | 7,67 | 2,81 |
| | 0,9 | 7,2 | 7,66 | 2,81 |
| | 1,0 | 7,3 | 7,65 | 2,80 |
| | 1,1 | 7,4 | 7,64 | 2,80 |
| | 1,2 | 7,5 | 7,63 | 2,79 |
| | 1,3 | 7,6 | 7,62 | 2,79 |
| | 1,4 | 7,7 | 7,61 | 2,79 |
| | 1,5 | 7,8 | 7,60 | 2,78 |
| TRAMO | 1,6 | 7,9 | 7,59 | 2,78 |
| 6 | 1,7 | 8,0 | 7,58 | 2,77 |
| | 1,8 | 8,1 | 7,57 | 2,77 |
| | 1,9 | 8,2 | 7,56 | 2,77 |
| | 2,0 | 8,3 | 7,55 | 2,76 |
| | 2,1 | 8,4 | 7,54 | 2,76 |
| | 2,2 | 8,5 | 7,54 | 2,75 |
| | 2,3 | 8,6 | 7,53 | 2,75 |
| | 2,4 | 8,7 | 7,52 | 2,75 |
| | 2,5 | 8,8 | 7,51 | 2,74 |
| | 2,6 | 8,9 | 7,51 | 2,74 |
| | 2,7 | 9,0 | 7,50 | 2,74 |
| | 2,8 | 9,1 | 7,49 | 2,73 |
| | 2,9 | 9,2 | 7,49 | 2,73 |
| | 3,0 | 9,3 | 7,48 | 2,72 |
| | 3,1 | 9,4 | 7,47 | 2,72 |
| | 3,2 | 9,5 | 7,47 | 2,72 |
| | 3,3 | 9,6 | 7,46 | 2,71 |
| | 3,4 | 9,7 | 7,46 | 2,71 |
| | 3,5 | 9,8 | 7,45 | 2,70 |
| | 3,6 | 9,9 | 7,45 | 2,70 |
| | 3,7 | 10,0 | 7,44 | 2,70 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 47. Resultados del modelo de Streeter y Phelps para el mes de octubre de 2013.

| OCTUBRE DE 2013 | | | | |
|------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|
| Subtramo | Distancia en el Tramo (Km) | Distancia Acumulada (Km) | OD (mg/L) | DBO (mg/L) |
| | 0,0 | 0,0 | 7,67 | 0,7 |
| | 0,0 | 0,0 | 7,67 | 0,7 |
| | 0,1 | 0,1 | 7,68 | 0,7 |
| | 0,2 | 0,2 | 7,68 | 0,7 |
| | 0,3 | 0,3 | 7,68 | 0,7 |
| | 0,4 | 0,4 | 7,69 | 0,7 |
| TRAMO | 0,5 | 0,5 | 7,69 | 0,7 |
| 1 | 0,6 | 0,6 | 7,69 | 0,7 |
| | 0,7 | 0,7 | 7,69 | 0,7 |
| | 0,8 | 0,8 | 7,70 | 0,7 |
| | 0,9 | 0,9 | 7,70 | 0,7 |
| | 1,0 | 1,0 | 7,70 | 0,7 |
| | 1,1 | 1,1 | 7,71 | 0,7 |
| | 1,2 | 1,2 | 7,71 | 0,7 |
| | 1,3 | 1,3 | 7,71 | 0,7 |
| | 1,4 | 1,4 | 7,71 | 0,7 |
| | 1,5 | 1,5 | 7,72 | 0,7 |
| | 1,6 | 1,6 | 7,72 | 0,7 |
| | 1,7 | 1,7 | 7,72 | 0,7 |
| | 0,1 | 1,8 | 7,78 | 0,8 |
| | 0,2 | 1,9 | 7,78 | 0,8 |
| | 0,3 | 2,0 | 7,78 | 0,8 |
| | 0,4 | 2,1 | 7,79 | 0,8 |
| | 0,5 | 2,2 | 7,79 | 0,8 |
| | 0,6 | 2,3 | 7,79 | 0,8 |
| | 0,7 | 2,4 | 7,79 | 0,8 |
| | 0,8 | 2,5 | 7,79 | 0,8 |
| | 0,9 | 2,6 | 7,79 | 0,8 |
| | 1,0 | 2,7 | 7,79 | 0,8 |
| TRAMO | 1,1 | 2,8 | 7,79 | 0,8 |
| 2 | 1,2 | 2,9 | 7,79 | 0,8 |
| | 1,3 | 3,0 | 7,79 | 0,8 |
| | 1,4 | 3,1 | 7,79 | 0,8 |

| | | | | |
|--------------|-----|-----|------|------|
| | 1,5 | 3,2 | 7,79 | 0,8 |
| | 1,6 | 3,3 | 7,79 | 0,8 |
| | 1,7 | 3,4 | 7,79 | 0,8 |
| | 1,8 | 3,5 | 7,79 | 0,8 |
| | 1,9 | 3,6 | 7,79 | 0,8 |
| | 2,0 | 3,7 | 7,79 | 0,8 |
| | 2,1 | 3,8 | 7,79 | 0,8 |
| | 2,2 | 3,9 | 7,79 | 0,8 |
| | 0,1 | 4,0 | 7,70 | 0,96 |
| | 0,2 | 4,1 | 7,70 | 0,96 |
| TRAMO | 0,3 | 4,2 | 7,70 | 0,96 |
| 3 | 0,4 | 4,3 | 7,70 | 0,96 |
| | 0,5 | 4,4 | 7,69 | 0,96 |
| | 0,5 | 4,4 | 7,69 | 0,96 |
| | 0,0 | 4,4 | 7,22 | 2,14 |
| | 0,0 | 4,4 | 7,23 | 2,14 |
| TRAMO | 0,0 | 4,5 | 7,23 | 2,14 |
| 4 | 0,1 | 4,5 | 7,23 | 2,14 |
| | 0,1 | 4,5 | 7,23 | 2,14 |
| | 0,1 | 4,5 | 7,23 | 2,14 |
| | 0,1 | 4,5 | 7,23 | 2,14 |
| | 0,1 | 4,6 | 7,25 | 2,14 |
| | 0,2 | 4,7 | 7,26 | 2,13 |
| | 0,3 | 4,8 | 7,27 | 2,13 |
| | 0,4 | 4,9 | 7,28 | 2,13 |
| | 0,5 | 5,0 | 7,29 | 2,13 |
| | 0,6 | 5,1 | 7,30 | 2,12 |
| | 0,7 | 5,2 | 7,31 | 2,12 |
| | 0,8 | 5,3 | 7,32 | 2,12 |
| TRAMO | 0,9 | 5,4 | 7,33 | 2,11 |
| 5 | 1,0 | 5,5 | 7,34 | 2,11 |
| | 1,1 | 5,6 | 7,34 | 2,11 |
| | 1,2 | 5,7 | 7,35 | 2,11 |
| | 1,3 | 5,8 | 7,36 | 2,10 |
| | 1,4 | 5,9 | 7,37 | 2,10 |
| | 1,5 | 6,0 | 7,37 | 2,10 |
| | 1,6 | 6,1 | 7,38 | 2,10 |
| | 1,7 | 6,2 | 7,39 | 2,09 |
| | 1,8 | 6,3 | 7,39 | 2,09 |
| | 0,1 | 6,4 | 7,53 | 1,61 |
| | 0,2 | 6,5 | 7,53 | 1,61 |
| | 0,3 | 6,6 | 7,53 | 1,61 |
| | 0,4 | 6,7 | 7,54 | 1,61 |
| | 0,5 | 6,8 | 7,54 | 1,61 |

| | | | | |
|--------------|-----|------|------|------|
| | 0,6 | 6,9 | 7,54 | 1,60 |
| | 0,7 | 7,0 | 7,54 | 1,60 |
| | 0,8 | 7,1 | 7,54 | 1,60 |
| | 0,9 | 7,2 | 7,54 | 1,60 |
| | 1,0 | 7,3 | 7,55 | 1,60 |
| | 1,1 | 7,4 | 7,55 | 1,59 |
| | 1,2 | 7,5 | 7,55 | 1,59 |
| | 1,3 | 7,6 | 7,55 | 1,59 |
| | 1,4 | 7,7 | 7,55 | 1,59 |
| | 1,5 | 7,8 | 7,55 | 1,59 |
| TRAMO | 1,6 | 7,9 | 7,55 | 1,58 |
| 6 | 1,7 | 8,0 | 7,55 | 1,58 |
| | 1,8 | 8,1 | 7,56 | 1,58 |
| | 1,9 | 8,2 | 7,56 | 1,58 |
| | 2,0 | 8,3 | 7,56 | 1,58 |
| | 2,1 | 8,4 | 7,56 | 1,58 |
| | 2,2 | 8,5 | 7,56 | 1,57 |
| | 2,3 | 8,6 | 7,56 | 1,57 |
| | 2,4 | 8,7 | 7,56 | 1,57 |
| | 2,5 | 8,8 | 7,56 | 1,57 |
| | 2,6 | 8,9 | 7,56 | 1,57 |
| | 2,7 | 9,0 | 7,56 | 1,56 |
| | 2,8 | 9,1 | 7,57 | 1,56 |
| | 2,9 | 9,2 | 7,57 | 1,56 |
| | 3,0 | 9,3 | 7,57 | 1,56 |
| | 3,1 | 9,4 | 7,57 | 1,56 |
| | 3,2 | 9,5 | 7,57 | 1,55 |
| | 3,3 | 9,6 | 7,57 | 1,55 |
| | 3,4 | 9,7 | 7,57 | 1,55 |
| | 3,5 | 9,8 | 7,57 | 1,55 |
| | 3,6 | 9,9 | 7,57 | 1,55 |
| | 3,7 | 10,0 | 7,57 | 1,54 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 48. Resultados del modelo de Streeter y Phelps para el mes de noviembre de 2013.

| NOVIEMBRE DE 2013 | | | | |
|-------------------|----------------------------|--------------------------|-----------|------------|
| Subtramo | Distancia en el Tramo (Km) | Distancia Acumulada (Km) | OD (mg/L) | DBO (mg/L) |
| | 0,0 | 0,0 | 8,13 | 1,0 |
| | 0,0 | 0,0 | 8,13 | 1,0 |
| | 0,1 | 0,1 | 8,13 | 1,0 |
| | 0,2 | 0,2 | 8,12 | 1,0 |
| | 0,3 | 0,3 | 8,12 | 1,0 |
| | 0,4 | 0,4 | 8,12 | 1,0 |
| TRAMO 1 | 0,5 | 0,5 | 8,11 | 1,0 |
| | 0,6 | 0,6 | 8,11 | 1,0 |
| | 0,7 | 0,7 | 8,11 | 1,0 |
| | 0,8 | 0,8 | 8,10 | 1,0 |
| | 0,9 | 0,9 | 8,10 | 1,0 |
| | 1,0 | 1,0 | 8,10 | 1,0 |
| | 1,1 | 1,1 | 8,09 | 1,0 |
| | 1,2 | 1,2 | 8,09 | 1,0 |
| | 1,3 | 1,3 | 8,09 | 1,0 |
| | 1,4 | 1,4 | 8,09 | 1,0 |
| | 1,5 | 1,5 | 8,08 | 1,0 |
| | 1,6 | 1,6 | 8,08 | 1,0 |
| | 1,7 | 1,7 | 8,08 | 1,0 |
| | 0,1 | 1,8 | 8,03 | 1,2 |
| | 0,2 | 1,9 | 8,03 | 1,2 |
| | 0,3 | 2,0 | 8,03 | 1,2 |
| | 0,4 | 2,1 | 8,03 | 1,2 |
| | 0,5 | 2,2 | 8,02 | 1,2 |
| | 0,6 | 2,3 | 8,02 | 1,2 |
| | 0,7 | 2,4 | 8,02 | 1,2 |
| | 0,8 | 2,5 | 8,02 | 1,2 |
| | 0,9 | 2,6 | 8,02 | 1,2 |
| | 1,0 | 2,7 | 8,02 | 1,2 |
| TRAMO 2 | 1,1 | 2,8 | 8,02 | 1,2 |
| | 1,2 | 2,9 | 8,02 | 1,2 |
| | 1,3 | 3,0 | 8,02 | 1,2 |
| | 1,4 | 3,1 | 8,02 | 1,2 |
| | 1,5 | 3,2 | 8,01 | 1,2 |
| | 1,6 | 3,3 | 8,01 | 1,2 |

| | | | | |
|--------------|-----|-----|------|------|
| | 1,7 | 3,4 | 8,01 | 1,2 |
| | 1,8 | 3,5 | 8,01 | 1,2 |
| | 1,9 | 3,6 | 8,01 | 1,2 |
| | 2,0 | 3,7 | 8,01 | 1,2 |
| | 2,1 | 3,8 | 8,01 | 1,2 |
| | 2,2 | 3,9 | 8,01 | 1,2 |
| | 0,1 | 4,0 | 7,90 | 1,23 |
| | 0,2 | 4,1 | 7,89 | 1,23 |
| TRAMO | 0,3 | 4,2 | 7,89 | 1,23 |
| 3 | 0,4 | 4,3 | 7,88 | 1,23 |
| | 0,5 | 4,4 | 7,88 | 1,23 |
| | 0,5 | 4,4 | 7,88 | 1,23 |
| | 0,0 | 4,4 | 7,52 | 1,96 |
| | 0,0 | 4,4 | 7,52 | 1,96 |
| TRAMO | 0,0 | 4,5 | 7,52 | 1,96 |
| 4 | 0,1 | 4,5 | 7,52 | 1,96 |
| | 0,1 | 4,5 | 7,52 | 1,96 |
| | 0,1 | 4,5 | 7,52 | 1,96 |
| | 0,1 | 4,6 | 7,55 | 1,93 |
| | 0,2 | 4,7 | 7,55 | 1,92 |
| | 0,3 | 4,8 | 7,55 | 1,92 |
| | 0,4 | 4,9 | 7,55 | 1,92 |
| | 0,5 | 5,0 | 7,55 | 1,92 |
| | 0,6 | 5,1 | 7,55 | 1,92 |
| | 0,7 | 5,2 | 7,55 | 1,91 |
| | 0,8 | 5,3 | 7,55 | 1,91 |
| TRAMO | 0,9 | 5,4 | 7,56 | 1,91 |
| 5 | 1,0 | 5,5 | 7,56 | 1,91 |
| | 1,1 | 5,6 | 7,56 | 1,91 |
| | 1,2 | 5,7 | 7,56 | 1,90 |
| | 1,3 | 5,8 | 7,56 | 1,90 |
| | 1,4 | 5,9 | 7,56 | 1,90 |
| | 1,5 | 6,0 | 7,56 | 1,90 |
| | 1,6 | 6,1 | 7,56 | 1,90 |
| | 1,7 | 6,2 | 7,56 | 1,89 |
| | 1,8 | 6,3 | 7,56 | 1,89 |
| | 0,1 | 6,4 | 7,79 | 1,35 |
| | 0,2 | 6,5 | 7,78 | 1,35 |
| | 0,3 | 6,6 | 7,78 | 1,35 |
| | 0,4 | 6,7 | 7,77 | 1,35 |
| | 0,5 | 6,8 | 7,76 | 1,35 |
| | 0,6 | 6,9 | 7,76 | 1,35 |
| | 0,7 | 7,0 | 7,75 | 1,34 |

| | | | | |
|--------------|-----|------|------|------|
| | 0,8 | 7,1 | 7,74 | 1,34 |
| | 0,9 | 7,2 | 7,74 | 1,34 |
| | 1,0 | 7,3 | 7,73 | 1,34 |
| | 1,1 | 7,4 | 7,73 | 1,34 |
| | 1,2 | 7,5 | 7,72 | 1,34 |
| | 1,3 | 7,6 | 7,72 | 1,34 |
| | 1,4 | 7,7 | 7,71 | 1,34 |
| | 1,5 | 7,8 | 7,71 | 1,33 |
| TRAMO | 1,6 | 7,9 | 7,70 | 1,33 |
| 6 | 1,7 | 8,0 | 7,70 | 1,33 |
| | 1,8 | 8,1 | 7,69 | 1,33 |
| | 1,9 | 8,2 | 7,69 | 1,33 |
| | 2,0 | 8,3 | 7,68 | 1,33 |
| | 2,1 | 8,4 | 7,68 | 1,33 |
| | 2,2 | 8,5 | 7,68 | 1,32 |
| | 2,3 | 8,6 | 7,67 | 1,32 |
| | 2,4 | 8,7 | 7,67 | 1,32 |
| | 2,5 | 8,8 | 7,66 | 1,32 |
| | 2,6 | 8,9 | 7,66 | 1,32 |
| | 2,7 | 9,0 | 7,66 | 1,32 |
| | 2,8 | 9,1 | 7,65 | 1,32 |
| | 2,9 | 9,2 | 7,65 | 1,32 |
| | 3,0 | 9,3 | 7,65 | 1,31 |
| | 3,1 | 9,4 | 7,64 | 1,31 |
| | 3,2 | 9,5 | 7,64 | 1,31 |
| | 3,3 | 9,6 | 7,64 | 1,31 |
| | 3,4 | 9,7 | 7,64 | 1,31 |
| | 3,5 | 9,8 | 7,63 | 1,31 |
| | 3,6 | 9,9 | 7,63 | 1,31 |
| | 3,7 | 10,0 | 7,63 | 1,30 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 49. Resultados del modelo de Streeter y Phelps para el mes de diciembre de 2013.

| DICIEMBRE DE 2013 | | | | |
|-------------------|----------------------------|--------------------------|-----------|------------|
| Subtramo | Distancia en el Tramo (Km) | Distancia Acumulada (Km) | OD (mg/L) | DBO (mg/L) |
| | 0,0 | 0,0 | 7,55 | 0,6 |
| | 0,0 | 0,0 | 7,55 | 0,6 |
| | 0,1 | 0,1 | 7,55 | 0,6 |
| | 0,2 | 0,2 | 7,56 | 0,6 |
| | 0,3 | 0,3 | 7,56 | 0,6 |
| | 0,4 | 0,4 | 7,56 | 0,6 |
| TRAMO 1 | 0,5 | 0,5 | 7,57 | 0,6 |
| | 0,6 | 0,6 | 7,57 | 0,6 |
| | 0,7 | 0,7 | 7,57 | 0,6 |
| | 0,8 | 0,8 | 7,57 | 0,6 |
| | 0,9 | 0,9 | 7,58 | 0,6 |
| | 1,0 | 1,0 | 7,58 | 0,6 |
| | 1,1 | 1,1 | 7,58 | 0,6 |
| | 1,2 | 1,2 | 7,58 | 0,6 |
| | 1,3 | 1,3 | 7,59 | 0,6 |
| | 1,4 | 1,4 | 7,59 | 0,6 |
| | 1,5 | 1,5 | 7,59 | 0,6 |
| | 1,6 | 1,6 | 7,59 | 0,6 |
| | 1,7 | 1,7 | 7,60 | 0,6 |
| | 0,1 | 1,8 | 7,62 | 0,7 |
| | 0,2 | 1,9 | 7,62 | 0,7 |
| | 0,3 | 2,0 | 7,62 | 0,7 |
| | 0,4 | 2,1 | 7,62 | 0,7 |
| | 0,5 | 2,2 | 7,62 | 0,7 |
| | 0,6 | 2,3 | 7,62 | 0,7 |
| | 0,7 | 2,4 | 7,63 | 0,7 |
| | 0,8 | 2,5 | 7,63 | 0,7 |
| | 0,9 | 2,6 | 7,63 | 0,7 |
| | 1,0 | 2,7 | 7,63 | 0,7 |
| TRAMO 2 | 1,1 | 2,8 | 7,63 | 0,7 |
| | 1,2 | 2,9 | 7,63 | 0,7 |
| | 1,3 | 3,0 | 7,63 | 0,7 |
| | 1,4 | 3,1 | 7,63 | 0,7 |
| | 1,5 | 3,2 | 7,64 | 0,7 |
| | 1,6 | 3,3 | 7,64 | 0,7 |

| | | | | |
|--------------|-----|-----|------|------|
| | 1,7 | 3,4 | 7,64 | 0,7 |
| | 1,8 | 3,5 | 7,64 | 0,7 |
| | 1,9 | 3,6 | 7,64 | 0,7 |
| | 2,0 | 3,7 | 7,64 | 0,7 |
| | 2,1 | 3,8 | 7,64 | 0,7 |
| | 2,2 | 3,9 | 7,64 | 0,7 |
| | 0,1 | 4,0 | 7,75 | 0,87 |
| | 0,2 | 4,1 | 7,74 | 0,87 |
| TRAMO | 0,3 | 4,2 | 7,74 | 0,87 |
| 3 | 0,4 | 4,3 | 7,73 | 0,87 |
| | 0,5 | 4,4 | 7,72 | 0,87 |
| | 0,5 | 4,4 | 7,72 | 0,87 |
| | 0,0 | 4,4 | 7,35 | 1,78 |
| | 0,0 | 4,4 | 7,35 | 1,78 |
| TRAMO | 0,0 | 4,5 | 7,35 | 1,78 |
| 4 | 0,1 | 4,5 | 7,35 | 1,78 |
| | 0,1 | 4,5 | 7,35 | 1,78 |
| | 0,1 | 4,5 | 7,35 | 1,78 |
| | 0,1 | 4,6 | 7,06 | 1,81 |
| | 0,2 | 4,7 | 7,07 | 1,80 |
| | 0,3 | 4,8 | 7,09 | 1,80 |
| | 0,4 | 4,9 | 7,10 | 1,80 |
| | 0,5 | 5,0 | 7,11 | 1,80 |
| | 0,6 | 5,1 | 7,13 | 1,80 |
| | 0,7 | 5,2 | 7,14 | 1,79 |
| | 0,8 | 5,3 | 7,15 | 1,79 |
| TRAMO | 0,9 | 5,4 | 7,17 | 1,79 |
| 5 | 1,0 | 5,5 | 7,18 | 1,79 |
| | 1,1 | 5,6 | 7,19 | 1,79 |
| | 1,2 | 5,7 | 7,20 | 1,78 |
| | 1,3 | 5,8 | 7,21 | 1,78 |
| | 1,4 | 5,9 | 7,22 | 1,78 |
| | 1,5 | 6,0 | 7,23 | 1,78 |
| | 1,6 | 6,1 | 7,24 | 1,77 |
| | 1,7 | 6,2 | 7,25 | 1,77 |
| | 1,8 | 6,3 | 7,26 | 1,77 |
| | 0,1 | 6,4 | 6,90 | 1,24 |
| | 0,2 | 6,5 | 6,92 | 1,24 |
| | 0,3 | 6,6 | 6,94 | 1,24 |
| | 0,4 | 6,7 | 6,95 | 1,23 |
| | 0,5 | 6,8 | 6,97 | 1,23 |
| | 0,6 | 6,9 | 6,99 | 1,23 |
| | 0,7 | 7,0 | 7,00 | 1,23 |

| | | | | |
|--------------|-----|------|------|------|
| | 0,8 | 7,1 | 7,02 | 1,23 |
| | 0,9 | 7,2 | 7,04 | 1,23 |
| | 1,0 | 7,3 | 7,05 | 1,23 |
| | 1,1 | 7,4 | 7,07 | 1,22 |
| | 1,2 | 7,5 | 7,08 | 1,22 |
| | 1,3 | 7,6 | 7,09 | 1,22 |
| | 1,4 | 7,7 | 7,11 | 1,22 |
| | 1,5 | 7,8 | 7,12 | 1,22 |
| TRAMO | 1,6 | 7,9 | 7,13 | 1,22 |
| 6 | 1,7 | 8,0 | 7,14 | 1,22 |
| | 1,8 | 8,1 | 7,16 | 1,22 |
| | 1,9 | 8,2 | 7,17 | 1,21 |
| | 2,0 | 8,3 | 7,18 | 1,21 |
| | 2,1 | 8,4 | 7,19 | 1,21 |
| | 2,2 | 8,5 | 7,20 | 1,21 |
| | 2,3 | 8,6 | 7,21 | 1,21 |
| | 2,4 | 8,7 | 7,22 | 1,21 |
| | 2,5 | 8,8 | 7,23 | 1,21 |
| | 2,6 | 8,9 | 7,24 | 1,21 |
| | 2,7 | 9,0 | 7,25 | 1,20 |
| | 2,8 | 9,1 | 7,26 | 1,20 |
| | 2,9 | 9,2 | 7,26 | 1,20 |
| | 3,0 | 9,3 | 7,27 | 1,20 |
| | 3,1 | 9,4 | 7,28 | 1,20 |
| | 3,2 | 9,5 | 7,29 | 1,20 |
| | 3,3 | 9,6 | 7,30 | 1,20 |
| | 3,4 | 9,7 | 7,30 | 1,19 |
| | 3,5 | 9,8 | 7,31 | 1,19 |
| | 3,6 | 9,9 | 7,32 | 1,19 |
| | 3,7 | 10,0 | 7,32 | 1,19 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 50. Resultados del modelo de Streeter y Phelps para el mes de enero de 2014.

| ENERO DE 2014 | | | | |
|----------------|----------------------------|--------------------------|-----------|------------|
| Subtramo | Distancia en el Tramo (Km) | Distancia Acumulada (Km) | OD (mg/L) | DBO (mg/L) |
| | 0,0 | 0,0 | 7,73 | 0,7 |
| | 0,0 | 0,0 | 7,73 | 0,7 |
| | 0,1 | 0,1 | 7,73 | 0,7 |
| | 0,2 | 0,2 | 7,73 | 0,7 |
| | 0,3 | 0,3 | 7,73 | 0,7 |
| | 0,4 | 0,4 | 7,73 | 0,7 |
| TRAMO 1 | 0,5 | 0,5 | 7,72 | 0,7 |
| | 0,6 | 0,6 | 7,72 | 0,7 |
| | 0,7 | 0,7 | 7,72 | 0,7 |
| | 0,8 | 0,8 | 7,72 | 0,7 |
| | 0,9 | 0,9 | 7,72 | 0,7 |
| | 1,0 | 1,0 | 7,72 | 0,7 |
| | 1,1 | 1,1 | 7,72 | 0,7 |
| | 1,2 | 1,2 | 7,72 | 0,7 |
| | 1,3 | 1,3 | 7,72 | 0,7 |
| | 1,4 | 1,4 | 7,71 | 0,7 |
| | 1,5 | 1,5 | 7,71 | 0,7 |
| | 1,6 | 1,6 | 7,71 | 0,7 |
| | 1,7 | 1,7 | 7,71 | 0,7 |
| | 0,1 | 1,8 | 7,76 | 0,7 |
| | 0,2 | 1,9 | 7,76 | 0,7 |
| | 0,3 | 2,0 | 7,75 | 0,7 |
| | 0,4 | 2,1 | 7,75 | 0,7 |
| | 0,5 | 2,2 | 7,75 | 0,7 |
| | 0,6 | 2,3 | 7,75 | 0,7 |
| | 0,7 | 2,4 | 7,75 | 0,7 |
| | 0,8 | 2,5 | 7,75 | 0,7 |
| | 0,9 | 2,6 | 7,74 | 0,7 |
| | 1,0 | 2,7 | 7,74 | 0,7 |
| TRAMO 2 | 1,1 | 2,8 | 7,74 | 0,6 |
| | 1,2 | 2,9 | 7,74 | 0,6 |
| | 1,3 | 3,0 | 7,74 | 0,6 |
| | 1,4 | 3,1 | 7,74 | 0,6 |
| | 1,5 | 3,2 | 7,74 | 0,6 |
| | 1,6 | 3,3 | 7,73 | 0,6 |

| | | | | |
|--------------|-----|-----|------|------|
| | 1,7 | 3,4 | 7,73 | 0,6 |
| | 1,8 | 3,5 | 7,73 | 0,6 |
| | 1,9 | 3,6 | 7,73 | 0,6 |
| | 2,0 | 3,7 | 7,73 | 0,6 |
| | 2,1 | 3,8 | 7,73 | 0,6 |
| | 2,2 | 3,9 | 7,73 | 0,6 |
| | 0,1 | 4,0 | 7,75 | 1,08 |
| | 0,2 | 4,1 | 7,74 | 1,08 |
| TRAMO | 0,3 | 4,2 | 7,73 | 1,07 |
| 3 | 0,4 | 4,3 | 7,73 | 1,07 |
| | 0,5 | 4,4 | 7,72 | 1,07 |
| | 0,5 | 4,4 | 7,72 | 1,07 |
| | 0,0 | 4,4 | 7,16 | 2,39 |
| | 0,0 | 4,4 | 7,16 | 2,39 |
| TRAMO | 0,0 | 4,5 | 7,16 | 2,39 |
| 4 | 0,1 | 4,5 | 7,17 | 2,39 |
| | 0,1 | 4,5 | 7,17 | 2,39 |
| | 0,1 | 4,5 | 7,17 | 2,39 |
| | 0,1 | 4,6 | 7,20 | 2,30 |
| | 0,2 | 4,7 | 7,21 | 2,30 |
| | 0,3 | 4,8 | 7,22 | 2,29 |
| | 0,4 | 4,9 | 7,23 | 2,29 |
| | 0,5 | 5,0 | 7,24 | 2,29 |
| | 0,6 | 5,1 | 7,24 | 2,28 |
| | 0,7 | 5,2 | 7,25 | 2,28 |
| | 0,8 | 5,3 | 7,26 | 2,28 |
| TRAMO | 0,9 | 5,4 | 7,27 | 2,27 |
| 5 | 1,0 | 5,5 | 7,28 | 2,27 |
| | 1,1 | 5,6 | 7,29 | 2,27 |
| | 1,2 | 5,7 | 7,29 | 2,26 |
| | 1,3 | 5,8 | 7,30 | 2,26 |
| | 1,4 | 5,9 | 7,31 | 2,26 |
| | 1,5 | 6,0 | 7,31 | 2,25 |
| | 1,6 | 6,1 | 7,32 | 2,25 |
| | 1,7 | 6,2 | 7,33 | 2,25 |
| | 1,8 | 6,3 | 7,33 | 2,25 |
| | 0,1 | 6,4 | 7,38 | 1,64 |
| | 0,2 | 6,5 | 7,38 | 1,63 |
| | 0,3 | 6,6 | 7,39 | 1,63 |
| | 0,4 | 6,7 | 7,39 | 1,63 |
| | 0,5 | 6,8 | 7,39 | 1,63 |
| | 0,6 | 6,9 | 7,40 | 1,63 |
| | 0,7 | 7,0 | 7,40 | 1,62 |

| | | | | |
|--------------|-----|------|------|------|
| | 0,8 | 7,1 | 7,40 | 1,62 |
| | 0,9 | 7,2 | 7,41 | 1,62 |
| | 1,0 | 7,3 | 7,41 | 1,62 |
| | 1,1 | 7,4 | 7,41 | 1,61 |
| | 1,2 | 7,5 | 7,42 | 1,61 |
| | 1,3 | 7,6 | 7,42 | 1,61 |
| | 1,4 | 7,7 | 7,42 | 1,61 |
| | 1,5 | 7,8 | 7,43 | 1,61 |
| TRAMO | 1,6 | 7,9 | 7,43 | 1,60 |
| 6 | 1,7 | 8,0 | 7,43 | 1,60 |
| | 1,8 | 8,1 | 7,43 | 1,60 |
| | 1,9 | 8,2 | 7,44 | 1,60 |
| | 2,0 | 8,3 | 7,44 | 1,60 |
| | 2,1 | 8,4 | 7,44 | 1,59 |
| | 2,2 | 8,5 | 7,44 | 1,59 |
| | 2,3 | 8,6 | 7,45 | 1,59 |
| | 2,4 | 8,7 | 7,45 | 1,59 |
| | 2,5 | 8,8 | 7,45 | 1,58 |
| | 2,6 | 8,9 | 7,45 | 1,58 |
| | 2,7 | 9,0 | 7,45 | 1,58 |
| | 2,8 | 9,1 | 7,46 | 1,58 |
| | 2,9 | 9,2 | 7,46 | 1,58 |
| | 3,0 | 9,3 | 7,46 | 1,57 |
| | 3,1 | 9,4 | 7,46 | 1,57 |
| | 3,2 | 9,5 | 7,46 | 1,57 |
| | 3,3 | 9,6 | 7,46 | 1,57 |
| | 3,4 | 9,7 | 7,47 | 1,57 |
| | 3,5 | 9,8 | 7,47 | 1,56 |
| | 3,6 | 9,9 | 7,47 | 1,56 |
| | 3,7 | 10,0 | 7,47 | 1,56 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 51. Resultados del modelo de Streeter y Phelps para el mes de febrero de 2014.

| FEBRERO DE 2014 | | | | |
|-----------------|----------------------------|--------------------------|-----------|------------|
| Subtramo | Distancia en el Tramo (Km) | Distancia Acumulada (Km) | OD (mg/L) | DBO (mg/L) |
| | 0,0 | 0,0 | 7,74 | 0,2 |
| | 0,0 | 0,0 | 7,74 | 0,2 |
| | 0,1 | 0,1 | 7,74 | 0,2 |
| | 0,2 | 0,2 | 7,74 | 0,2 |
| | 0,3 | 0,3 | 7,74 | 0,2 |
| | 0,4 | 0,4 | 7,74 | 0,2 |
| TRAMO | 0,5 | 0,5 | 7,74 | 0,2 |
| 1 | 0,6 | 0,6 | 7,73 | 0,2 |
| | 0,7 | 0,7 | 7,73 | 0,2 |
| | 0,8 | 0,8 | 7,73 | 0,2 |
| | 0,9 | 0,9 | 7,73 | 0,2 |
| | 1,0 | 1,0 | 7,73 | 0,2 |
| | 1,1 | 1,1 | 7,73 | 0,2 |
| | 1,2 | 1,2 | 7,73 | 0,2 |
| | 1,3 | 1,3 | 7,73 | 0,2 |
| | 1,4 | 1,4 | 7,73 | 0,2 |
| | 1,5 | 1,5 | 7,73 | 0,2 |
| | 1,6 | 1,6 | 7,73 | 0,2 |
| | 1,7 | 1,7 | 7,73 | 0,2 |
| | 0,1 | 1,8 | 7,89 | 1,7 |
| | 0,2 | 1,9 | 7,88 | 1,7 |
| | 0,3 | 2,0 | 7,87 | 1,7 |
| | 0,4 | 2,1 | 7,87 | 1,7 |
| | 0,5 | 2,2 | 7,86 | 1,7 |
| | 0,6 | 2,3 | 7,85 | 1,7 |
| | 0,7 | 2,4 | 7,85 | 1,7 |
| | 0,8 | 2,5 | 7,84 | 1,7 |
| | 0,9 | 2,6 | 7,84 | 1,7 |
| | 1,0 | 2,7 | 7,83 | 1,7 |
| TRAMO | 1,1 | 2,8 | 7,82 | 1,7 |
| 2 | 1,2 | 2,9 | 7,82 | 1,7 |
| | 1,3 | 3,0 | 7,81 | 1,7 |
| | 1,4 | 3,1 | 7,81 | 1,7 |

| | | | | |
|--------------|-----|-----|------|------|
| | 1,5 | 3,2 | 7,80 | 1,7 |
| | 1,6 | 3,3 | 7,80 | 1,7 |
| | 1,7 | 3,4 | 7,79 | 1,7 |
| | 1,8 | 3,5 | 7,79 | 1,6 |
| | 1,9 | 3,6 | 7,78 | 1,6 |
| | 2,0 | 3,7 | 7,78 | 1,6 |
| | 2,1 | 3,8 | 7,78 | 1,6 |
| | 2,2 | 3,9 | 7,77 | 1,6 |
| | 0,1 | 4,0 | 7,72 | 1,92 |
| | 0,2 | 4,1 | 7,71 | 1,91 |
| TRAMO | 0,3 | 4,2 | 7,71 | 1,91 |
| 3 | 0,4 | 4,3 | 7,70 | 1,91 |
| | 0,5 | 4,4 | 7,70 | 1,90 |
| | 0,5 | 4,4 | 7,69 | 1,90 |
| | 0,0 | 4,4 | 7,19 | 2,91 |
| | 0,0 | 4,4 | 7,19 | 2,91 |
| TRAMO | 0,0 | 4,5 | 7,19 | 2,90 |
| 4 | 0,1 | 4,5 | 7,19 | 2,90 |
| | 0,1 | 4,5 | 7,19 | 2,90 |
| | 0,1 | 4,5 | 7,19 | 2,90 |
| | 0,1 | 4,6 | 7,20 | 2,75 |
| | 0,2 | 4,7 | 7,21 | 2,75 |
| | 0,3 | 4,8 | 7,22 | 2,75 |
| | 0,4 | 4,9 | 7,22 | 2,74 |
| | 0,5 | 5,0 | 7,23 | 2,74 |
| | 0,6 | 5,1 | 7,24 | 2,74 |
| | 0,7 | 5,2 | 7,25 | 2,73 |
| | 0,8 | 5,3 | 7,26 | 2,73 |
| TRAMO | 0,9 | 5,4 | 7,26 | 2,72 |
| 5 | 1,0 | 5,5 | 7,27 | 2,72 |
| | 1,1 | 5,6 | 7,28 | 2,72 |
| | 1,2 | 5,7 | 7,29 | 2,71 |
| | 1,3 | 5,8 | 7,29 | 2,71 |
| | 1,4 | 5,9 | 7,30 | 2,71 |
| | 1,5 | 6,0 | 7,30 | 2,70 |
| | 1,6 | 6,1 | 7,31 | 2,70 |
| | 1,7 | 6,2 | 7,32 | 2,70 |
| | 1,8 | 6,3 | 7,32 | 2,69 |
| | 0,1 | 6,4 | 7,39 | 2,48 |
| | 0,2 | 6,5 | 7,39 | 2,47 |
| | 0,3 | 6,6 | 7,40 | 2,47 |
| | 0,4 | 6,7 | 7,40 | 2,47 |
| | 0,5 | 6,8 | 7,40 | 2,46 |

| | | | | |
|--------------|-----|------|------|------|
| | 0,6 | 6,9 | 7,40 | 2,46 |
| | 0,7 | 7,0 | 7,40 | 2,46 |
| | 0,8 | 7,1 | 7,40 | 2,45 |
| | 0,9 | 7,2 | 7,40 | 2,45 |
| | 1,0 | 7,3 | 7,41 | 2,45 |
| | 1,1 | 7,4 | 7,41 | 2,44 |
| | 1,2 | 7,5 | 7,41 | 2,44 |
| | 1,3 | 7,6 | 7,41 | 2,44 |
| | 1,4 | 7,7 | 7,41 | 2,43 |
| | 1,5 | 7,8 | 7,41 | 2,43 |
| TRAMO | 1,6 | 7,9 | 7,41 | 2,43 |
| 6 | 1,7 | 8,0 | 7,42 | 2,42 |
| | 1,8 | 8,1 | 7,42 | 2,42 |
| | 1,9 | 8,2 | 7,42 | 2,42 |
| | 2,0 | 8,3 | 7,42 | 2,42 |
| | 2,1 | 8,4 | 7,42 | 2,41 |
| | 2,2 | 8,5 | 7,42 | 2,41 |
| | 2,3 | 8,6 | 7,42 | 2,41 |
| | 2,4 | 8,7 | 7,42 | 2,40 |
| | 2,5 | 8,8 | 7,42 | 2,40 |
| | 2,6 | 8,9 | 7,43 | 2,40 |
| | 2,7 | 9,0 | 7,43 | 2,39 |
| | 2,8 | 9,1 | 7,43 | 2,39 |
| | 2,9 | 9,2 | 7,43 | 2,39 |
| | 3,0 | 9,3 | 7,43 | 2,38 |
| | 3,1 | 9,4 | 7,43 | 2,38 |
| | 3,2 | 9,5 | 7,43 | 2,38 |
| | 3,3 | 9,6 | 7,43 | 2,38 |
| | 3,4 | 9,7 | 7,43 | 2,37 |
| | 3,5 | 9,8 | 7,43 | 2,37 |
| | 3,6 | 9,9 | 7,43 | 2,37 |
| | 3,7 | 10,0 | 7,43 | 2,36 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 52. Resultados del modelo de Streeter y Phelps para el mes de marzo de 2014.

| MARZO DE 2014 | | | | |
|----------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|
| Subtramo | Distancia en el Tramo (Km) | Distancia Acumulada (Km) | OD (mg/L) | DBO (mg/L) |
| | 0,0 | 0,0 | 7,89 | 0,3 |
| | 0,0 | 0,0 | 7,89 | 0,3 |
| | 0,1 | 0,1 | 7,89 | 0,3 |
| | 0,2 | 0,2 | 7,88 | 0,3 |
| | 0,3 | 0,3 | 7,88 | 0,3 |
| | 0,4 | 0,4 | 7,87 | 0,3 |
| TRAMO | 0,5 | 0,5 | 7,87 | 0,3 |
| 1 | 0,6 | 0,6 | 7,87 | 0,3 |
| | 0,7 | 0,7 | 7,86 | 0,3 |
| | 0,8 | 0,8 | 7,86 | 0,3 |
| | 0,9 | 0,9 | 7,86 | 0,3 |
| | 1,0 | 1,0 | 7,85 | 0,3 |
| | 1,1 | 1,1 | 7,85 | 0,3 |
| | 1,2 | 1,2 | 7,85 | 0,3 |
| | 1,3 | 1,3 | 7,84 | 0,3 |
| | 1,4 | 1,4 | 7,84 | 0,3 |
| | 1,5 | 1,5 | 7,84 | 0,3 |
| | 1,6 | 1,6 | 7,84 | 0,3 |
| | 1,7 | 1,7 | 7,83 | 0,3 |
| | 0,1 | 1,8 | 7,91 | 1,1 |
| | 0,2 | 1,9 | 7,90 | 1,1 |
| | 0,3 | 2,0 | 7,90 | 1,1 |
| | 0,4 | 2,1 | 7,89 | 1,1 |
| | 0,5 | 2,2 | 7,89 | 1,1 |
| | 0,6 | 2,3 | 7,88 | 1,1 |
| | 0,7 | 2,4 | 7,88 | 1,1 |
| | 0,8 | 2,5 | 7,87 | 1,1 |
| | 0,9 | 2,6 | 7,87 | 1,1 |
| | 1,0 | 2,7 | 7,86 | 1,1 |
| TRAMO | 1,1 | 2,8 | 7,86 | 1,1 |
| 2 | 1,2 | 2,9 | 7,86 | 1,1 |
| | 1,3 | 3,0 | 7,85 | 1,1 |
| | 1,4 | 3,1 | 7,85 | 1,1 |

| | | | | |
|--------------|-----|-----|------|------|
| | 1,5 | 3,2 | 7,84 | 1,1 |
| | 1,6 | 3,3 | 7,84 | 1,1 |
| | 1,7 | 3,4 | 7,84 | 1,1 |
| | 1,8 | 3,5 | 7,83 | 1,1 |
| | 1,9 | 3,6 | 7,83 | 1,1 |
| | 2,0 | 3,7 | 7,83 | 1,1 |
| | 2,1 | 3,8 | 7,82 | 1,1 |
| | 2,2 | 3,9 | 7,82 | 1,1 |
| | 0,1 | 4,0 | 7,83 | 1,67 |
| | 0,2 | 4,1 | 7,82 | 1,67 |
| TRAMO | 0,3 | 4,2 | 7,81 | 1,67 |
| 3 | 0,4 | 4,3 | 7,80 | 1,67 |
| | 0,5 | 4,4 | 7,79 | 1,66 |
| | 0,5 | 4,4 | 7,79 | 1,66 |
| | 0,0 | 4,4 | 7,46 | 2,27 |
| | 0,0 | 4,4 | 7,46 | 2,27 |
| TRAMO | 0,0 | 4,5 | 7,46 | 2,27 |
| 4 | 0,1 | 4,5 | 7,46 | 2,27 |
| | 0,1 | 4,5 | 7,46 | 2,27 |
| | 0,1 | 4,5 | 7,46 | 2,27 |
| | 0,1 | 4,6 | 7,40 | 2,59 |
| | 0,2 | 4,7 | 7,40 | 2,59 |
| | 0,3 | 4,8 | 7,40 | 2,59 |
| | 0,4 | 4,9 | 7,40 | 2,58 |
| | 0,5 | 5,0 | 7,40 | 2,58 |
| | 0,6 | 5,1 | 7,41 | 2,58 |
| | 0,7 | 5,2 | 7,41 | 2,58 |
| | 0,8 | 5,3 | 7,41 | 2,57 |
| TRAMO | 0,9 | 5,4 | 7,41 | 2,57 |
| 5 | 1,0 | 5,5 | 7,41 | 2,57 |
| | 1,1 | 5,6 | 7,41 | 2,56 |
| | 1,2 | 5,7 | 7,42 | 2,56 |
| | 1,3 | 5,8 | 7,42 | 2,56 |
| | 1,4 | 5,9 | 7,42 | 2,56 |
| | 1,5 | 6,0 | 7,42 | 2,55 |
| | 1,6 | 6,1 | 7,42 | 2,55 |
| | 1,7 | 6,2 | 7,42 | 2,55 |
| | 1,8 | 6,3 | 7,42 | 2,55 |
| | 0,1 | 6,4 | 7,84 | 1,51 |
| | 0,2 | 6,5 | 7,82 | 1,51 |
| | 0,3 | 6,6 | 7,81 | 1,51 |
| | 0,4 | 6,7 | 7,80 | 1,51 |
| | 0,5 | 6,8 | 7,79 | 1,51 |

| | | | | |
|--------------|-----|------|------|------|
| | 0,6 | 6,9 | 7,78 | 1,51 |
| | 0,7 | 7,0 | 7,77 | 1,50 |
| | 0,8 | 7,1 | 7,77 | 1,50 |
| | 0,9 | 7,2 | 7,76 | 1,50 |
| | 1,0 | 7,3 | 7,75 | 1,50 |
| | 1,1 | 7,4 | 7,74 | 1,50 |
| | 1,2 | 7,5 | 7,73 | 1,50 |
| | 1,3 | 7,6 | 7,72 | 1,50 |
| | 1,4 | 7,7 | 7,72 | 1,49 |
| | 1,5 | 7,8 | 7,71 | 1,49 |
| TRAMO | 1,6 | 7,9 | 7,70 | 1,49 |
| 6 | 1,7 | 8,0 | 7,70 | 1,49 |
| | 1,8 | 8,1 | 7,69 | 1,49 |
| | 1,9 | 8,2 | 7,68 | 1,49 |
| | 2,0 | 8,3 | 7,68 | 1,48 |
| | 2,1 | 8,4 | 7,67 | 1,48 |
| | 2,2 | 8,5 | 7,66 | 1,48 |
| | 2,3 | 8,6 | 7,66 | 1,48 |
| | 2,4 | 8,7 | 7,65 | 1,48 |
| | 2,5 | 8,8 | 7,65 | 1,48 |
| | 2,6 | 8,9 | 7,64 | 1,48 |
| | 2,7 | 9,0 | 7,64 | 1,47 |
| | 2,8 | 9,1 | 7,63 | 1,47 |
| | 2,9 | 9,2 | 7,63 | 1,47 |
| | 3,0 | 9,3 | 7,62 | 1,47 |
| | 3,1 | 9,4 | 7,62 | 1,47 |
| | 3,2 | 9,5 | 7,61 | 1,47 |
| | 3,3 | 9,6 | 7,61 | 1,47 |
| | 3,4 | 9,7 | 7,61 | 1,46 |
| | 3,5 | 9,8 | 7,60 | 1,46 |
| | 3,6 | 9,9 | 7,60 | 1,46 |
| | 3,7 | 10,0 | 7,59 | 1,46 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 53. Resultados comparativos de OD para el mes de septiembre de 2013.

| SEPTIEMBRE DE 2013 | | |
|--------------------|--------------------|--------------------|
| ESTACION | OD MODELADO (mg/L) | OD EN CAMPO (mg/L) |
| E1 | 7,45 | 7,46 |
| E2 | 7,53 | 7,59 |
| E3 | 7,14 | 7,16 |
| E4 | 6,76 | 7,29 |
| E5 | 6,76 | 7,15 |
| E6 | 6,76 | 6,79 |
| E7 | 6,76 | 6,80 |
| E8 | 6,76 | 6,85 |
| E9 | 6,76 | 6,85 |
| E10 | 7,44 | 7,71 |

ANEXO 54. Resultados comparativos de OD para el mes de octubre de 2013.

| OCTUBRE DE 2013 | | |
|-----------------|--------------------|--------------------|
| ESTACION | OD MODELADO (mg/L) | OD EN CAMPO (mg/L) |
| E1 | 7,67 | 7,67 |
| E2 | 7,79 | 7,78 |
| E3 | 7,69 | 7,69 |
| E4 | 7,23 | 7,61 |
| E5 | 7,23 | 7,73 |
| E6 | 7,23 | 7,70 |
| E7 | 7,23 | 7,70 |
| E8 | 7,23 | 7,72 |
| E9 | 7,23 | 7,68 |
| E10 | 7,57 | 7,79 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 55. Resultados comparativos de OD para el mes de noviembre de 2013.

| NOVIEMBRE DE 2013 | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| ESTACION | OD MODELADO (mg/L) | OD EN CAMPO (mg/L) |
| E1 | 8,13 | 8,13 |
| E2 | 8,01 | 8,03 |
| E3 | 7,88 | 7,93 |
| E4 | 7,52 | 7,94 |
| E5 | 7,52 | 7,97 |
| E6 | 7,52 | 8,03 |
| E7 | 7,52 | 8,03 |
| E8 | 7,52 | 7,93 |
| E9 | 7,52 | 7,99 |
| E10 | 7,63 | 8,00 |

ANEXO 56. Resultados comparativos de OD para el mes de diciembre de 2013.

| DICIEMBRE DE 2013 | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| ESTACION | OD MODELADO (mg/L) | OD EN CAMPO (mg/L) |
| E1 | 7,55 | 7,55 |
| E2 | 7,64 | 7,61 |
| E3 | 7,72 | 7,72 |
| E4 | 7,35 | 7,75 |
| E5 | 7,35 | 7,81 |
| E6 | 7,35 | 7,89 |
| E7 | 7,35 | 7,77 |
| E8 | 7,35 | 7,68 |
| E9 | 7,35 | 7,45 |
| E10 | 7,32 | 7,07 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 57. Resultados comparativos de OD para el mes de enero de 2014.

| ENERO DE 2014 | | |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|
| ESTACION | OD MODELADO (mg/L) | OD EN CAMPO (mg/L) |
| E1 | 7,73 | 7,73 |
| E2 | 7,73 | 7,76 |
| E3 | 7,72 | 7,79 |
| E4 | 7,16 | 7,77 |
| E5 | 7,16 | 7,89 |
| E6 | 7,16 | 7,92 |
| E7 | 7,17 | 7,90 |
| E8 | 7,17 | 7,85 |
| E9 | 7,17 | 7,84 |
| E10 | 7,47 | 7,83 |

ANEXO 58. Resultados comparativos de OD para el mes de febrero de 2014.

| FEBRERO DE 2014 | | |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|
| ESTACION | OD MODELADO (mg/L) | OD EN CAMPO (mg/L) |
| E1 | 7,74 | 7,74 |
| E2 | 7,77 | 7,89 |
| E3 | 7,70 | 7,86 |
| E4 | 7,19 | 7,75 |
| E5 | 7,19 | 7,94 |
| E6 | 7,19 | 7,94 |
| E7 | 7,19 | 7,95 |
| E8 | 7,19 | 7,84 |
| E9 | 7,19 | 7,84 |
| E10 | 7,43 | 7,80 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 59. Resultados comparativos de OD para el mes de marzo de 2014.

| MARZO DE 2014 | | |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|
| ESTACION | OD MODELADO (mg/L) | OD EN CAMPO (mg/L) |
| E1 | 7,89 | 7,89 |
| E2 | 7,82 | 7,91 |
| E3 | 7,79 | 7,96 |
| E4 | 7,46 | 7,96 |
| E5 | 7,46 | 8,04 |
| E6 | 7,46 | 8,08 |
| E7 | 7,46 | 8,09 |
| E8 | 7,46 | 8,05 |
| E9 | 7,46 | 7,96 |
| E10 | 7,59 | 8,09 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 60. Resultados del ACP para el mes de septiembre de 2013.

| SEPTIEMBRE DE 2013 | | | |
|---------------------------|-------------------|------------------|-----------------------------|
| PC | Eigenvalue | %Variance | %Variance Cumulative |
| 1 | 4,84 | 53,77 | 53,77 |
| 2 | 2,17 | 24,06 | 77,83 |
| 3 | 1,16 | 12,89 | 90,72 |
| 4 | 0,52 | 5,74 | 96,46 |
| 5 | 0,21 | 2,28 | 98,74 |
| 6 | 0,10 | 1,07 | 99,81 |
| 7 | 0,01 | 0,15 | 99,96 |
| 8 | 0,00 | 0,03 | 99,99 |
| 9 | 0,00 | 0,01 | 100,00 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 61. Resultados del ACP para el mes de octubre de 2013.

| OCTUBRE DE 2013 | | | |
|------------------------|-------------------|------------------|-----------------------------|
| PC | Eigenvalue | %Variance | %Variance Cumulative |
| 1 | 4,39 | 48,77 | 48,77 |
| 2 | 2,50 | 27,79 | 76,57 |
| 3 | 1,37 | 15,24 | 91,80 |
| 4 | 0,40 | 4,47 | 96,27 |
| 5 | 0,23 | 2,53 | 98,80 |
| 6 | 0,07 | 0,74 | 99,54 |
| 7 | 0,04 | 0,44 | 99,99 |
| 8 | 0,00 | 0,01 | 100,00 |
| 9 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 62. Resultados del ACP para el mes de noviembre de 2013.

| NOVIEMBRE DE 2013 | | | |
|--------------------------|-------------------|------------------|-----------------------------|
| PC | Eigenvalue | %Variance | %Variance Cumulative |
| 1 | 4,02 | 44,64 | 44,64 |
| 2 | 2,03 | 22,56 | 67,20 |
| 3 | 1,30 | 14,47 | 81,67 |
| 4 | 0,87 | 9,69 | 91,36 |
| 5 | 0,67 | 7,49 | 98,85 |
| 6 | 0,07 | 0,79 | 99,64 |
| 7 | 0,02 | 0,26 | 99,90 |
| 8 | 0,01 | 0,09 | 99,99 |
| 9 | 0,00 | 0,01 | 100,00 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 63. Resultados del ACP para el mes de diciembre de 2013.

| DICIEMBRE DE 2013 | | | |
|--------------------------|-------------------|------------------|-----------------------------|
| PC | Eigenvalue | %Variance | %Variance Cumulative |
| 1 | 3,86 | 42,92 | 42,92 |
| 2 | 2,05 | 22,76 | 65,68 |
| 3 | 1,73 | 19,20 | 84,88 |
| 4 | 0,91 | 10,11 | 94,99 |
| 5 | 0,30 | 3,35 | 98,34 |
| 6 | 0,09 | 1,03 | 99,37 |
| 7 | 0,05 | 0,52 | 99,89 |
| 8 | 0,01 | 0,08 | 99,97 |
| 9 | 0,00 | 0,03 | 100,00 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 64. Resultados del ACP para el mes de enero de 2014.

| ENERO DE 2014 | | | |
|----------------------|-------------------|------------------|-----------------------------|
| PC | Eigenvalue | %Variance | %Variance Cumulative |
| 1 | 4,25 | 47,25 | 47,25 |
| 2 | 1,91 | 21,20 | 68,45 |
| 3 | 1,55 | 17,19 | 85,64 |
| 4 | 0,71 | 7,92 | 93,56 |
| 5 | 0,30 | 3,36 | 96,92 |
| 6 | 0,19 | 2,06 | 98,97 |
| 7 | 0,07 | 0,81 | 99,79 |
| 8 | 0,02 | 0,21 | 100,00 |
| 9 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 65. Resultados del ACP para el mes de febrero de 2014.

| FEBRERO DE 2014 | | | |
|------------------------|-------------------|------------------|-----------------------------|
| PC | Eigenvalue | %Variance | %Variance Cumulative |
| 1 | 3,45 | 38,37 | 38,37 |
| 2 | 2,21 | 24,55 | 62,92 |
| 3 | 1,76 | 19,56 | 82,49 |
| 4 | 0,87 | 9,71 | 92,19 |
| 5 | 0,51 | 5,69 | 97,88 |
| 6 | 0,11 | 1,17 | 99,05 |
| 7 | 0,07 | 0,79 | 99,84 |
| 8 | 0,01 | 0,16 | 99,99 |
| 9 | 0,00 | 0,01 | 100,00 |

Fuente: (Elaboración Propia)

ANEXO 66. Resultados del ACP para el mes de marzo de 2014.

| MARZO DE 2014 | | | |
|----------------------|-------------------|------------------|-----------------------------|
| PC | Eigenvalue | %Variance | %Variance Cumulative |
| 1 | 3,02 | 33,57 | 33,57 |
| 2 | 2,29 | 25,46 | 59,03 |
| 3 | 1,72 | 19,11 | 78,13 |
| 4 | 1,18 | 13,11 | 91,24 |
| 5 | 0,51 | 5,63 | 96,87 |
| 6 | 0,24 | 2,63 | 99,51 |
| 7 | 0,04 | 0,46 | 99,96 |
| 8 | 0,00 | 0,04 | 100,00 |
| 9 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |

Fuente: (Elaboración Propia)