



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA
GEÓGRAFA Y DEL MEDIO AMBIENTE.**

“MODELACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO Y MATERIA ORGÁNICA Y SU INFLUENCIA
EN LA DISTRIBUCIÓN Y DIVERSIDAD DE INDICADORES BENTÓNICOS DE LA
CUENCA DEL RÍO SAN PEDRO EN EL TRAMO AMAGUAÑA – GUANGOPOLO”

Realizado por: Gabriela del Carmen Carrera González

Directora: Ing. Oliva Atiaga

Codirectora: Msc. Mirian Fernández

Sangolquí – Ecuador

Junio 2011

CERTIFICACION DE LA ELABORACIÓN EL PROYECTO

El proyecto “ MODELACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO Y MATERIA ORGÁNICA Y SU INFLUENCIA EN LA DISTRIBUCIÓN Y DIVERSIDAD DE INDICADORES BENTÓNICOS DE LA CUENCA DEL RÍO SAN PEDRO EN EL TRAMO AMAGUAÑA – GUANGOPOLO ” fue realizado en su totalidad por Gabriela del Carmen Carrera González, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniera Geógrafa y del Medio Ambiente.

**ING. OLIVA ATIAGA.
DIRECTORA**

**MSC. MIRIAN FERNANDEZ.
CODIRECTORA**

Sangolquí, Junio del 2011

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

**“MODELACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO Y MATERIA ORGÁNICA Y SU INFLUENCIA
EN LA DISTRIBUCIÓN Y DIVERSIDAD DE INDICADORES BENTÓNICOS DE LA
CUENCA DEL RÍO SAN PEDRO EN EL TRAMO AMAGUAÑA – GUANGOPOLO”**

Gabriela del Carmen Carrera González

AUTOR

Ing. Francisco León

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERIA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

Sangolquí, Junio del 2011

RESUMEN

El presente estudio es una propuesta para evaluar el grado de contaminación por materia orgánica del Río San Pedro, en el tramo comprendido entre Amaguaña y Guangopolo.

El río San Pedro al atravesar zonas altamente pobladas del Valle de los Chillos exhibe un notable deterioro en la calidad de sus aguas, por tal motivo se desarrolló un modelo matemático de contaminación de aguas, basado en las ecuaciones de Streeter-Phelps que permite evaluar y predecir el comportamiento del oxígeno disuelto (OD) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO) a partir de los datos recopilados en campo.

Los resultados del modelo en base a balance de masas y criterios de cinética química aplicados al Río San Pedro, muestran que existe contaminación por materia orgánica la cual va en aumento a medida que se avanza en el tramo de estudio. El promedio de concentración de materia orgánica es de 5,81 mg/lit.

El proyecto también contempla un análisis de la influencia y diversidad de bioindicadores bentónicos, por medio de claves taxonómicas se llegó a identificar 15 familias de macro invertebrados, las cuales fueron relacionadas con los parámetros físico-químicos y la vegetación de ribera para poder caracterizar las condiciones ambientales del río.

Se obtuvo también resultados de la calidad del agua en base a los valores del Índice Biótico de Familias (IBF), índice que toma en cuenta el nivel de tolerancia de cada familia de macro invertebrado frente a la contaminación orgánica.

Las condiciones actuales del río pueden ser abordadas a través de análisis físico-químicos del agua y por otro lado a través del uso de organismos bioindicadores de la calidad ambiental.

PALABRAS CLAVE: modelo matemático, bioindicadores bentónicos, materia orgánica, índice biótico de familias, balance de masas, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno.

SUMMARY

The present study is actually a proposal to evaluate the level of the organic material pollution of San Pedro River, between Amaguaña and Guangopolo.

San Pedro River goes through highly crowded zones of Los Chillos Valley and shows a considerable damage in its water quality, due to this reason it was developed a mathematical model of water pollution, based on Streeter – Phelps equation that allows to evaluate and predict the Dissolved Oxygen behavior (DO) and Oxygen Biochemical Demand (OBD) from the information that was taken in field.

The results of the model based on the mass balance and kinetics criteria applied to San Pedro River, show pollution produced by organic material that increases in this section. The average of organic material concentration is 5, 81 mg/l.

The project also contains an analysis of the influence and diversity of biological indicators, through the taxonomic key it was identified 15 families of macro invertebrates that have a relationship whit the physical-chemical parameters to characterize the river's environmental conditions.

It got also results of the water quality based on biotic index of families (BIF) this index, takes on consideration the tolerance level of each macro invertebrate family versus organic pollution.

The current conditions of the River can be studied through of physical chemical analysis of this water and, on the other hand through of the use of biological indicator of environmental quality.

Key words: mathematical model, biological indicator, organic material, family biotic index, mass balance, dissolved oxygen, demand oxygen biochemical.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por estar siempre junto a mí, y por bendecirme con la familia y amigos que tengo, agradezco a todos mis profesores de la CIGMA, en especial a mi Directora de proyecto la Ingeniera Oliva Atiaga por toda su ayuda y todos sus consejos, no solo en la parte profesional sino también en lo personal. De igual forma agradezco a mi Co-directora la Msc. Miriam Fernández.

A mis dos abuelitos, José y Rosa, mis dos hermanos Christian y Mauricio, por estar presentes en cada momento de mi vida, sabiéndome guiar y aconsejar para llegar a ser una mejor persona. Y sobre todo por siempre estar dispuestos a brindarme su apoyo y ayuda incondicional.

A Diego que nunca dejo de alentarme, de apoyarme con sus consejos y experiencia. Pero sobre todo mostrándome que nunca hay que rendirse y hay que seguir siempre adelante frente a todo obstáculo.

A mis queridos amigos: Vane, Sandrita, Majo, y Robert, en verdad les agradezco mucho por toda su ayuda y palabras de aliento.

También agradezco al Municipio de Rumiñahui, a la Facultad de Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad del Ecuador, al Herbario Nacional del Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales, al IGM, y a la EMOP.

Pero sobre todo agradezco de forma infinita a la persona que me dio la vida, porque sé que desde arriba estas observándome y sé que estarás muy feliz con este logro alcanzado.

INDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Importancia	3
1.3 Justificación	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo general	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
CAPITULO II	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 Contaminación de aguas superficiales	6
2.2 Aguas Residuales	8
2.3 Parámetros de la Calidad de Agua	8
2.3.1 Parámetros Físicos-químicos	10
2.3.2 Parámetros biológicos	12
2.3.2.1 Los macro invertebrados bentónicos como indicadores de contaminación de materia orgánica	14
2.3.2.2 Estudio de macroinvertebrados en Latinoamérica	15
2.3.2.3 Estudio de macroinvertebrados en el Ecuador	16
2.4 Modelos de calidad de aguas superficiales	17
2.5 Modelación Matemática basado en el balance de Masas	20
2.5.1 Naturaleza de las Descargas:	21
2.5.2 Factor de Masa	21
2.5.3 Descarga de Material Residual en los Ríos:	22
2.5.4 Re aireación Atmosférica:	24
2.5.5 Demanda de Oxígeno por Materia Orgánica:	27
2.5.6 Análisis del Oxígeno Disuelto en Ríos y Riachuelos	27
2.5.7 Efecto de la temperatura	29
2.5.8 Validación del Modelo	30
CAPITULO III	31
ZONA DE ESTUDIO	31
3.1 Descripción de la Zona de Estudio	31
3.2 Principales usos de la cuenca	38
3.3 Descripción del Clima	39
3.4 Descripción de la Vegetación	39
CAPITULO IV	41
METODOS Y PROCEDIMIENTOS	41
4.1 Metodología	41
4.1.1 Localización de los puntos de muestreo	41

4.1.2	Determinación de parámetros in situ	44
4.1.3	Toma de muestras de agua y macroinvertebrados	44
4.1.4	Medición de parámetros in situ	47
4.1.5	Toma de muestras de vegetación de ribera y porcentajes de cobertura	50
4.1.6	Determinación de parámetros en laboratorio	51
4.1.7	Identificación de los diferentes grupos taxonómicos	51
4.1.8	Cálculo del Índice Biótico de Familias (IBF)	52
4.1.9	Cálculo de Índices de abundancia de los macro invertebrados	53
4.1.10	Cálculo de Índices de diversidad de los macro invertebrados	54
4.2	Modelación de Oxígeno Disuelto	55
4.2.1	Cálculo de Caudales	55
4.2.2	Cálculo de concentraciones	56
4.2.3	Cálculo de las constantes	57
CAPITULO V		58
DATOS		58
5.1	Datos experimentales	58
CAPITULO VI		60
CALCULOS Y RESULTADOS		61
6.1	Cálculo del Caudal Volumétrico	61
6.2	Resultados de los parámetros medidos en laboratorio	62
6.3	Cálculo de las concentraciones de materia orgánica y oxígeno disuelto	63
6.3.1	Cálculo de las constantes (K y Ka)	65
6.3.2	Cálculo de las concentraciones de materia orgánica	66
6.3.3	Cálculo de las concentraciones de oxígeno disuelto	74
6.3.4	Cálculo del tiempo crítico, déficit crítico y concentración mínima de oxígeno	83
6.2	Grupos taxonómicos encontrados en las salidas de campo	84
6.2.1	Aplicación del Índice Biótico de Familias IBF.	86
6.3	Resultados de los índices de abundancia y diversidad	88
6.4	Resultado y análisis de los datos de vegetación de ribera	102
6.5	Comparación de resultados de los Macro invertebrados y parámetros físico-químicos (H, OD, Tº, Q, Conductividad, pH, Sólidos Disueltos, Turbidez)	105
6.6	Comparación de resultados entre el IBF y la modelación de materia orgánica y OD.	114
CAPITULO VII		116
DISCUSION DE RESULTADOS		116
CAPITULO VIII		120
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		120
8.1	Conclusiones	120
8.2	Recomendaciones	122

INDICE DE TABLAS

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

Tabla N°1: Variación de Profundidad y Velocidad para los diferentes flujos aerados

Tabla N°2: Coeficiente de re aereación de 1er orden en distintos ríos

CAPITULO III

ZONA DE ESTUDIO

Tabla N°3: Coordenada inicial y final del tramo comprendido entre Amaguaña y Guangopolo

CAPITULO IV

MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

Tabla N°4: Coordenadas de los puntos de muestreo en el Río San Pedro

Tabla N°5: Coordenada de los puntos de muestreo de los afluentes del Río San Pedro

Tabla N°6: Parámetros medidos en campo

Tabla N°7: Escala de abundancia de Braun-Blanquet

Tabla N°8: Calidad de agua en base a valores del IBF

Tabla N°9: Rango de abundancia relativa

Tabla N°10: Simbología para la variación de DBO en el Tramo de estudio

Tabla N°11: Simbología para la variación de OD en el Tramo de estudio

CAPITULO V

DATOS

Tabla N°12: Características físicas del Río San Pedro

Tabla N°13: Parámetros físico-químicos del Río San Pedro

Tabla N°14: Datos de los afluentes del Río San Pedro

CAPITULO VI

CALCULOS Y RESULTADOS

Tabla N°15: Caudal Volumétrico de los ocho puntos de muestreo

Tabla N°16: Caudales de las fuentes puntuales

Tabla N°17: Parámetros del Río San Pedro medidos en laboratorio

Tabla N°18: Parámetros de los afluentes del Río San Pedro medidos en laboratorio

Tabla N°19: Valores utilizados para obtener el primer modelo de OD

Tabla N°20: Valores utilizados para obtener el primer segundo de OD

Tabla N°21: Valores utilizados para obtener el primer tercer de OD

Tabla N°22: Resultados de los valores de la constante K

Tabla N°23: Resultados de los valores de la constante Ka

Tabla N°24: Resultado del modelo de materia orgánica del primer muestreo

Tabla N°25: Concentraciones de materia orgánica del primer modelo y del terreno

Tabla N°26: Resultado del modelo de materia orgánica del segundo muestreo

Tabla N°27: Concentraciones de materia orgánica del segundo modelo y del terreno

Tabla N°28: Resultado del modelo de materia orgánica del tercer muestreo

Tabla N°29: Concentraciones de materia orgánica del tercer modelo y del terreno

Tabla N°30: Calidad del agua del Río San Pedro en base a la concentración de DBO

Tabla N°31: Resultados del modelo de OD (Primer muestreo)

Tabla N°32: Concentraciones de OD del primer modelo y del terreno

Tabla N°33: Resultados del modelo de OD (Segundo muestreo)

Tabla N°34: Concentraciones de OD del segundo modelo y del terreno

Tabla N°35: Resultados del modelo de OD (Tercer muestreo)

Tabla N°36: Concentraciones de OD del tercer modelo y del terreno

Tabla N°37: Concentraciones de OD y simbología
Tabla N°38: Familias de macroinvertebrados del Río San Pedro
Tabla N°39: Nivel de tolerancia de las familias de macroinvertebrados
Tabla N°40: IBF y característica ambiental de los puntos de muestreo
Tabla N°41: Abundancia de las familias de macroinvertebrados
Tabla N°42: Abundancia relativa de las familias de macroinvertebrados
Tabla N°43: Número total de individuos en cada punto de muestreo
Tabla N°44: Número de familias por punto
Tabla N°45: Vegetación de ribera del río San Pedro
Tabla N°46: Porcentaje de cobertura vegetal
Tabla N°47: Comparación de los datos físico-químicos con las familias de macroinvertebrados del Río San Pedro
Tabla N°48: Característica ambiental del agua del Río San Pedro en base al IBF
Tabla N°49: Concentración del modelo del DBO
Tabla N°50: Concentración del modelo de OD

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

- Figura Nº1: Evaluación de la calidad de aguas
- Figura Nº2: Etapas en el desarrollo de un modelo de calidad de aguas
- Figura Nº3: Naturaleza de la descarga
- Figura Nº4: Ejemplo de fuente no puntual
- Figura Nº5: Sistema de un río con dos fuentes puntuales
- Figura Nº6: Balance de oxígeno disuelto

CAPITULO III

ZONA DE ESTUDIO

- Figura Nº7: Área de estudio a Nivel Nacional
- Figura Nº8: Área de estudio a Nivel Provincial
- Figura Nº9: Área de estudio a Nivel Cantonal
- Figura Nº10: Área de estudio a Nivel de la cuenca
- Figura Nº11: Tramo entre Amaguaña y Guangopolo

CAPITULO IV

MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

- Figura Nº12: Puntos de muestreo en el Río San Pedro
- Figura Nº13: Puntos de muestreo en los afluentes del Río San
- Figura Nº14: Distancia A-B de un tramo del Río

CAPITULO VI

CALCULOS Y RESULTADOS

- Figura Nº15: Variación de la concentración de materia orgánica del modelo y del terreno a través de la distancia (Primer muestreo)
- Figura Nº16: Variación de la concentración de materia orgánica del modelo y del terreno a través de la distancia (Segundo muestreo)
- Figura Nº17: Variación de la concentración de materia orgánica del modelo y del terreno a través de la distancia (Tercer muestreo)
- Figura Nº18: Variación de la concentración de OD del modelo y del terreno, a través de la distancia (Primer muestreo)
- Figura Nº19: Variación de la concentración de OD del modelo y del terreno, a través de la distancia (Segundo muestreo)
- Figura Nº20: Variación de la concentración de OD del modelo y del terreno, a través de la distancia (Tercer muestreo)
- Figura Nº21: Abundancia relativas globales mayores al 1% de las familias
- Figura Nº22: Abundancia de familias por punto de muestreo
- Figura Nº23: Diversidad de familias por puntos de muestreo
- Figura Nº24: Número total de familias en el punto 1
- Figura Nº25: Número total de familias en el punto 2
- Figura Nº26: Número total de familias en el punto 3
- Figura Nº27: Número total de familias en el punto 4
- Figura Nº28: Número total de familias en el punto 6
- Figura Nº29: Número total de familias en el punto 7
- Figura Nº30: Número total de familias en el punto 8

CAPITULO VII

DISCUSION DE RESULTADOS

- Figura Nº31: Variación de DBO de los tres modelos calculados
- Figura Nº31: Variación de DBO de los tres modelos calculados

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

Fotografía N°1: Contaminación en el Río San Pedro

CAPITULO III

ZONA DE ESTUDIO

Fotografía N°2: Sector de la Bocatoma en San Rafael

Fotografía N°3: Especie introducida (*Eucalyptus globulus*)

CAPITULO IV

MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

Fotografía N°4: Toma de muestras de agua

Fotografía N°5: Red de mano utilizada para el muestreo de macroinvertebrados

Fotografía N°6: Colecta de macroinvertebrados en las orillas del Río San Pedro

Fotografía N°7: Medición de conductividad

CAPITULO VI

CALCULOS Y RESULTADOS

Fotografía N°8: Foto del punto de muestreo 8

BIBLIOGRAFIA.....123

INDICE DE ANEXOS

ANEXO N°1: Fotografías de los puntos de muestreo en el Río San Pedro

ANEXO N°2: Identificación de especies arbóreas y arbustivas del Herbario Nacional del Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales

ANEXO N°3: Identificación de familias de macroinvertebrados de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador

ANEXO N°4: Procedimiento para determinación de dbo5

ANEXO N°5: Procedimiento para obtener sólidos totales y sólidos disueltos

ANEXO N°6: Valores de tolerancia para macroinvertebrados bentónicos, según Figueroa (1999).

ANEXO N°7: Fotografías de los macroinvertebrados encontrados en el Río San Pedro

ANEXO N°8: Resultados de la modelación de DBOo del primer muestreo

ANEXO N°9: Resultados de la modelación de DBOo del segundo muestreo

ANEXO N°10: Resultados de la modelación de DBOo del tercer muestreo

ANEXO N°11: Resultados de la modelación de OD del primer muestreo

ANEXO N°12: Resultados de la modelación de OD del segundo muestreo

ANEXO N°13: Resultados de la modelación de OD del tercer muestreo

ANEXO N°14: Mapas

Mapa1: Modelo digital del terreno

Mapa2: Puntos de muestreo en el Ríos San Pedro y sus afluentes

Mapa 3: Variación de la concentración de DBO

Mapa 4: Variación de la concentración de OD

Mapa 5: Mapa de abundancia y diversidad de macroinvertebrados

Mapa 6: Contaminación del Río San Pedro por características ambientales

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Un acelerado crecimiento demográfico de la población ecuatoriana junto con el aumento de industrias y actividades agrícolas han ocasionado un lamentable deterioro en el medio ambiente debido a que las aguas de desecho que se generan en estos sectores son vertidas directamente a los ríos y lagunas sin ningún tratamiento previo. En las aguas superficiales se descargan grandes concentraciones de materia orgánica, lo cual altera las características del agua y muchas veces estas superan la capacidad de auto depuración de los ríos.

Los ríos del país cercanos a las áreas urbanas tienen altos niveles de contaminación. Si bien los estudios realizados son escasos, los principales elementos de contaminación en el Ecuador son: el uso indiscriminado e indebido de productos químicos en la agricultura, la incorporación de contaminación biológica producto de los desechos urbanos y los desechos tóxicos de industrias y fábricas¹. Este fenómeno se ha visto incrementado y acelerado en los últimos tiempos debido a la falta de control de la contaminación.

La cuenca del Río San Pedro atraviesa varios centros poblados y zonas agrícolas del Valle de los Chillos, recibiendo en sus aguas todo tipo de descargas provenientes del sector urbano, del sector agrícola y del sector industrial, el notable aumento en la población de Sangolquí, Amaguaña y San Rafael, incrementa la contaminación del Río San Pedro, presentándose graves

¹ Proaño Catherine – Aplicación de un Modelo de Materia Orgánica para la determinación de la contaminación por materia orgánica del Río San Pedro en el tramo comprendido entre Tambillo y la Armenia

problemas de salubridad, un gran deterioro de sus aguas, la degradación genética de su flora y fauna y en el peor de los casos su extinción.

La cuenca del Río San Pedro cuenta con algunos estudios realizados, entre ellos:

1. *“La Aplicación del Modelo Hídrico SWAT 99.2 para el análisis del impacto de la deforestación y el avance de la frontera agrícola en la producción y almacenamiento del recurso agua en las partes alta y media de la subcuenca del Río San Pedro”*
2. *“La Aplicación de un modelo de materia orgánica para la determinación de la contaminación por materia orgánica del Río San Pedro en el tramo comprendido entre Tambillo y la Armenia”.*

También se encuentra un estudio enfocado al tema de evaluaciones biológicas utilizando bioindicadores:

1. *“Estudio de las condiciones de referencia de las cuencas de los ríos Pita, San Pedro y Machángara”.*

Estos estudios han confirmado la contaminación actual de las aguas de la cuenca y la urgente necesidad de realizar nuevos proyectos que permitan obtener datos precisos para iniciar un plan de recuperación.

1.2 Importancia

El derecho de todo ciudadano a vivir en un ambiente sano y libre de contaminación es la base para realizar un nuevo proyecto de evaluación de la cuenca del Río San Pedro. La forma más adecuada para realizar esa evaluación son los modelos de calidad de aguas, los cuales permiten simular condiciones físico - químicas actuales y futuras, de tal manera, que es posible obtener escenarios, en donde se puede anticipar las variaciones que sufrirán los diversos índices de calidad de aguas. Este estudio se complementa con evaluaciones biológicas usando organismos indicadores (macro invertebrados) de la calidad ambiental, para obtener datos precisos. El estudio de bioindicadores presenta varias ventajas en la evaluación de la calidad de las aguas superficiales, ya que reflejan las condiciones existentes tiempo atrás antes de las tomas de muestras, su metodología es de bajo costo y su eficacia lo hace idóneo para un monitoreo de la calidad del agua.

La ESPE al ser una institución que dirige sus esfuerzos al mejoramiento de las condiciones de vida del país y a impulsar su desarrollo, realiza este tipo de proyectos a través de sus estudiantes para así poder lograr un cambio social y aportar al progreso de la comunidad, en especial en el campo del cuidado del medio ambiente.

Por otra parte, es indispensable que la comunidad conozca la calidad del recurso hídrico y que la misma se encargue de su cuidado y preservación, debido a que el agua puede estar contaminada por las descargas urbanas de aguas residuales y por el uso excesivo de productos relacionados con actividades industriales y agrícolas. Y este es el recurso utilizado para uso pecuario, agrícola y doméstico, situación que pone en peligro su salud y la de la comunidad.

La información de en este proyecto es una herramienta para instituciones encargadas de preservar el medio ambiente, ya que en base a esta información se puede formular un plan de recuperación de la cuenca del Río San Pedro.

1.3 Justificación

La población de las zonas aledañas a la cuenca del río San Pedro es la más afectada por la contaminación de sus aguas, en la zona de estudio habitantes de tres cantones (Rumiñahui, Mejía, y Quito) utilizan el agua del río San Pedro para diversos fines, el riego de cultivos, la crianza de ganado y de aves, el lavado de ropa y el uso industrial. Las comunidades carecen de conocimiento de la contaminación del agua del río San Pedro y realizan estas actividades exponiéndose a graves enfermedades, por lo cual es necesario complementar la información de los estudios realizados anteriormente para medir el actual grado de contaminación del agua de la cuenca y así dar una solución para el bienestar de la población y del ecosistema acuático.

El río San Pedro recibe todo tipo de descargas, siendo las más perjudiciales las aguas residuales de los centros urbanos que elevan el grado de contaminación por materia orgánica, sobrepasando la capacidad de auto depuración del río, ocasionando graves problemas de salubridad y enfermedades en los pobladores del sector, así como la pérdida de las especies de flora y fauna del río.

Es necesario realizar más estudios para las diferentes épocas del año, en donde se establezca con certeza el grado de contaminación del río San Pedro y como varia la contaminación en las diferentes estaciones, en base a la modelación de aguas y a la evaluación biológica usando organismos indicadores, que nos proporcionaran datos multitemporales de la cuenca del Río San Pedro.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- ② Modelar el comportamiento del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno de la cuenca del Río San Pedro y utilizar indicadores ecológicos bentónicos en base a su distribución y diversidad en diferentes estaciones.

1.4.2 Objetivos específicos

- ② Identificar las principales variables y parámetros en el comportamiento del modelo de Streeter Phelps para aplicar balance de masas y criterios de cinética química en la cuenca del Río San Pedro.
- ② Modelar la concentración de oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno a partir de los datos obtenidos en campo del Río San Pedro.
- ② Realizar evaluaciones biológicas mediante el uso de organismos indicadores de calidad ambiental, como son los macro invertebrados acuáticos.
- ② Establecer comparaciones entre los datos químicos y biológicos.
- ② Analizar resultados de la contaminación por materia orgánica del río San Pedro.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Contaminación de aguas superficiales

“La polución de aguas es la presencia en el agua de contaminante en concentraciones y permanencias superiores o inferiores a las establecidas en la legislación vigente capaz de deteriorar la calidad del agua.”²

El concepto de contaminación del agua es poco preciso ya que nada nos dice acerca del material contaminante o de su fuente. La contaminación de los recursos hídricos puede ser consecuencia directa de la descarga de aguas negras e industriales, llamadas fuentes puntuales, o consecuencia indirecta de la contaminación del aire y suelo, llamadas fuentes no puntuales.

La calidad del agua ha ido decreciendo en gran parte por las actividades productivas que se desarrollan en las cuencas hidrológicas y por el mal uso que le dan sus habitantes al tratarlas como receptoras de residuos (Fotografía N°1). Siendo las mayores fuentes contaminantes las emisiones de agua domésticas e industriales que contienen gran cantidad de materia orgánica, nutrientes y sustancias tóxicas como las del sector agrícola (Abonos, pesticidas, herbicidas y estiércol).

² TULAS (Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso Agua)



Fotografía N°1: Contaminación en el Río San Pedro

Los sistemas acuáticos tienen medios efectivos de hacerle frente a estos problemas de contaminación, por medio de la dilución y la capacidad de auto purificación³.

La contaminación es cuestión de concentración, al tener unos cuantos gramos de una sustancia contaminante en un tanque de almacenamiento de pocos metros cúbicos de capacidad, se obtiene una gran contaminación mientras que al tener la misma cantidad de contaminante en millones de metros cúbicos no tendría mayor importancia. Grandes volúmenes de agua pueden convertir en inofensiva una descarga de contaminante⁴

Las masas de agua también poseen organismos y microorganismos que metabolizan y reaccionan con las sustancias contaminantes, degradándolas y haciéndolas desaparecer a este proceso se le denomina capacidad de auto purificación.

Las sustancias que son arrojadas a los ríos tienen en general dos condiciones, biodegradables y no biodegradables. Las primeras son las que son posibles descomponer por medio de los microorganismos y reacciones químicas,

³ J. Glynn Henry, Gary W. Heinke, Ingeniería ambiental

⁴ Alvaro Orozco J., Bioingeniería de Agua Residuales

mientras que las segundas no, estas son de mayor gravedad debido a que su acción devastadora perdura en el tiempo y se transmite por el transporte de agua e inclusive por la cadena trófica.

2.2 Aguas Residuales

Las aguas residuales son aquellas que se han canalizado en los núcleos urbanos, que se han utilizado en usos domésticos (inodoro, fregaderos, lavadoras, lavabos y baños), y pueden contener además residuos de arrastre de las aguas de lluvia, de actividades industriales y agrícolas⁵.

También llamadas aguas negras son una mezcla compleja de agua (en un 99% por lo general) con contaminantes orgánicos e inorgánicos, tanto disueltos como en suspensión. La concentración de los contaminantes se expresa en relación de peso/volumen (mg/l).

2.3 Parámetros de la Calidad de Agua

La calidad del agua es un término relativo que depende del uso final que se le dé al recurso, por lo tanto el concepto de contaminación está referido, desde un punto de vista práctico, a los usos posteriores del agua, como por ejemplo:

- ② Producción de agua potable
- ② Consumo y usos domésticos
- ② Fines industriales
- ② Fines agrícolas
- ② Consumo de los animales

⁵ Mariano S. Calvo, Depuración de las Aguas Residuales por Tecnologías Ecológicas

- Ⓢ Actividades recreativas
- Ⓢ Preservación de flora y fauna
- Ⓢ Transporte

Para establecer la calidad de las aguas superficiales, se debe medir los parámetros físicos - químicos y biológicos de la situación real y actual de los ríos para compararlos con los parámetros estándares deseados, los cuales son establecidos en la legislación ambiental, y en la Organización Mundial de la Salud. (Figura N°1).



Figura N°1: Evaluación de la calidad de aguas

- Ⓢ **Métodos físico-químicos:** Se los lleva a cabo mediante toma de muestras y se basan en el estudio de las características físicas del agua con el análisis de sus componentes químicos. Estos métodos son puntuales ya que indican el estado del agua en el instante en que se obtuvo la muestra.
- Ⓢ **Métodos biológicos:** se basan en el estudio de macro invertebrados bentónicos y de plantas acuáticas, debido a que cada comunidad responde a las condiciones físico-químicas del medio en que vive.

Cualquier alteración se refleja en la diversidad o abundancia de las comunidades.

2.3.1 Parámetros Físicos-químicos

- Ⓜ **Olor:** Las aguas residuales poseen un olor característico producto de la degradación de la materia orgánica presente.
- Ⓜ **Color:** Algunos productos de desecho alteran considerablemente el color de las aguas, ocasionando la contaminación estética y dificultando los procesos de fotosíntesis e intercambio de oxígeno.
- Ⓜ **Materiales en suspensión:** Es la cantidad de sólidos en un fluido y expresados en porcentaje. Se refieren al material remanente luego de la evaporación, secado, filtración y sedimentación. Estos materiales según su densidad y las características del medio receptor son depositados en distintas zonas de este.
- Ⓜ **Turbidez:** se origina por materias en suspensión finamente divididas ocasiona la dificultad del agua para transmitir la luz principalmente en aguas superficiales.
- Ⓜ **Temperatura:** Es un parámetro básico para los seres vivos. Influye en la solubilidad de las sales, gases, PH y en la conductividad eléctrica. Existe una estrecha relación entre la densidad del agua y su temperatura.
- Ⓜ **PH:** Mide la concentración de iones hidrógeno en el agua. El valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica. Es medido en una escala desde 0 a 14, en la cual 7 significa que la sustancia es neutra. Valores de pH por debajo de 7 indica que la

sustancia es ácida y valores por encima de 7 indican que la sustancia es básica.

- ② **Conductividad:** Varía en función de la temperatura es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad, está estrechamente ligada a la concentración de sustancias disueltas y a su naturaleza. Es indicativa de la presencia de iones.

- ② **Contenido de grasas y aceites:** Son aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que al ser insolubles en el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas las cuales impiden un adecuado tratamiento por lo cual deben removerse primero.

- ② **Demanda biológica de oxígeno:** La DBO se define como la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la materia orgánica presente en el agua mediante la acción de bacterias en condiciones aerobias. La DBO es causada por la respiración de bacterias y cesará al agotarse totalmente la materia orgánica.

La medición de DBO se propuso como un método indirecto para medir la materia orgánica, hoy en día se efectúa en 5 días y a 20°C y se denota con el símbolo de DBO₅. Pero también puede realizarse a diferentes tiempos como la DBO₇ y la DBO_∞ (DBO última) es la medida hasta el agotamiento de toda la materia orgánica.

El ensayo de la DBO es de tipo biológico, para ello se debe simular las condiciones en que la demanda ocurre en los medios naturales, con presencia de oxígeno, nutrientes y a una temperatura adecuada.

Es el parámetro más usado para determinar la contaminación orgánica tanto en aguas residuales como en aguas superficiales. Se aplica principalmente en el control de tratamiento primario en las estaciones depuradoras.

- Ⓢ **Demanda química de oxígeno:** La DQO es la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua, oxidables en unas condiciones determinadas. Es la medida del material oxidable, cualquiera sea su origen, biodegradable y no biodegradable. Es un método aplicable en aguas continentales (ríos, lagos, acuíferos, etc.), aguas residuales o cualquier agua que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica.

2.3.2 Parámetros biológicos

La evaluación de la calidad del agua por parámetros biológicos es otra alternativa que poco a poco va siendo más utilizada a nivel mundial. Se trata del uso de organismos indicadores o bioindicadores de la calidad ambiental. La meta de la evaluación biológica es detectar y comprender los cambios en los sistemas biológicos que resultan de las actividades antropogénicas.

El uso de bioindicadores es cada vez más aplicado en los estudios de contaminación de aguas superficiales ya que ofrece numerosas ventajas siendo una evaluación en primer lugar más económica ya que consiste en estudiar una comunidad biológica, debido a que en su estructura se encontrará el efecto de muchos factores ambientales no solamente del momento sino de factores ambientales que sucedieron varios meses atrás, ya que una comunidad biológica necesita de un tiempo prolongado para recuperarse tras sufrir una perturbación.

Otra ventaja es que las comunidades biológicas se pueden encontrar en todos los sistemas acuáticos, lo cual permite realizar también estudios comparativos. Tienen una naturaleza sedentaria lo que permite un efectivo análisis espacial de

los efectos de las perturbaciones. También los muestreos y análisis de las muestras se los puede realizar con equipos simples y de bajo costo.

Existen varios grupos de bioindicadores utilizados para realizar monitoreo de calidad de aguas, sin embargo los macro invertebrados acuáticos han sido siempre los más recomendados. También son conocidos como macro invertebrados bentónicos ya que habitan en el lecho fluvial, entre piedras, plantas acuáticas, etc. Ya sea durante toda su vida o una parte de ella. Alcanzan un tamaño superior a 0.2mm lo cual los hace visibles a la simple vista. Además se caracterizan por una alta diversidad taxonómica que junto con su escasa capacidad de desplazamiento y el ciclo largo de vida de algunos permite realizar un análisis multitemporal de las perturbaciones ecológicas.

A diferencia de las evaluaciones físico químicas que dan resultados del momento en que se toman las muestras, una evaluación biológica nos da resultados de las condiciones del agua en el pasado y en el presente. En otras palabras, un análisis físico-químico puntual equivaldría a una 'foto' del río en un momento específico, mientras que el análisis de una comunidad biológica sería una 'filmación' de lo que le ha sucedido durante un tiempo determinado hasta la actualidad.

La combinación de las evaluaciones físico – químicas que son la base para realizar los modelos de calidad de aguas junto con las evaluaciones biológicas nos darán datos muy representativos del grado de contaminación de las aguas superficiales. Los resultados obtenidos del modelo y de las evaluaciones nos brindarán como resultado un estudio completo y preciso de la situación real del río, es por ello que ambas técnicas deben ser aplicadas ya que se complementan una a la otra.

2.3.2.1 Los macro invertebrados bentónicos como indicadores de contaminación de materia orgánica

La contaminación por materia orgánica en las aguas superficiales tiene efectos directos sobre las comunidades biológicas, por tal motivo la comunidad de macro invertebrados ha sido estudiada desde el punto de vista científico.

La mayor parte de invertebrados acuáticos son altamente sensibles a la reducción de oxígeno provocada por la contaminación de materia orgánica en el agua, por lo cual existe una considerable reducción en su abundancia o incluso llegan a desaparecer. Sin embargo existe otro grupo que toleran bien las bajas concentraciones de oxígeno disuelto como por ejemplo las larvas de dípteros de la familia Chironomidae, de tal forma que una gran abundancia de estos macro invertebrados son indicadores del tipo y grado de contaminación presente en el río.

Para establecer el valor indicador de los macro invertebrados se han desarrollado diferentes índices biológicos de calidad de aguas, los cuales se basan en la tolerancia de las especies ante los factores contaminantes enfocados en la presencia o ausencia así como en la abundancia de los organismos acuáticos.

En la actualidad hay una gran cantidad de índices biológicos de calidad de aguas para sistemas pluviales entre los cuales se puede mencionar los siguientes grupos:

- ② Índices Sapróbicos: Reflejan los efectos de la contaminación por materia orgánica y su grado de descomposición sobre los organismos.

- ② Índices de diversidad: Se basan en las variaciones de las comunidades de organismo, es decir que a mayor biodiversidad mejor calidad de agua.

- ④ Índices bióticos: Actualmente los más usados ya que se basan en la clasificación de los organismos por su tolerancia a la contaminación, se les asigna un número cuyo rango varía según el índice utilizado.

Como se ha mencionado los índices bióticos aprovechan los diferentes tipos de tolerancia de los macro invertebrados para valorar el grado de contaminación orgánica presente en el lecho fluvial. El BMWP (Biological Monitoring Working Party) y el IBMWP (Iberian Biomonitoring Working Party) otorgan valores de 1 a 10 a las diferentes familias de invertebrados. En el caso del índice BMWQ (Biological Monitoring Water Quality) se otorgan valores de 1 a 15 a las diferentes familias de macro invertebrados (Camargo, 1993). Este último índice ha mostrado una elevada eficacia para valorar el efecto de vertidos de aguas residuales urbanas en los ríos, de descargas de agua con déficit de oxígeno disuelto, o de descargas de agua con elevada concentración de nutrientes.

2.3.2.2 Estudio de macroinvertebrados en Latinoamérica

El esfuerzo de investigación que se ha hecho en Latinoamérica para desarrollar o aplicar métodos biológicos en la evaluación de los sistemas acuáticos aún es incipiente. Pero poco a poco esta situación va cambiando y los métodos biológicos cada vez son más utilizados, un ejemplo de los primeros trabajos realizados a nivel de América Latina son los siguientes:

- 1) El efectuado en Venezuela por Lugo & Fernández (1994) evaluaron los efectos de la contaminación orgánica sobre la composición y diversidad de la entomofauna en un río de la región central del país, sin utilizar índices bióticos. Sin embargo, Segnini (2003) revisó los diferentes enfoques en el uso del concepto de los macroinvertebrados como bioindicadores.
- 2) En Argentina, Domínguez & Fernández (1998) generaron un índice biótico para evaluar la condición ecológica de los ríos de una cuenca altoandina. Rodríguez Capítulo (1999) y Rodríguez Capítulo et al. (2001) desarrollaron índices bióticos para sistemas lóticos de la llanura pampeana (IBPAMP). Recientemente Fernández et al. (2006) presentaron un diagnóstico de la

situación ambiental de los ríos del Noroeste Argentino y analizan la posibilidad de un índice integrado.

3) En Colombia, Zúñiga et al. (1993) y Riss et al. (2002), y adaptaron el sistema BMWP para evaluar varias cuencas, mientras Gutierrez et al. (2003) implementaron un método basado en redes neuronales para estimar la calidad del agua en la cuenca media y alta del río Bogotá.

4) En Brasil, Henriquez (2003) usó un índice integrado para evaluar la cuenca media en lagunas costeras.

5) En Nicaragua, Fenoglio et al. (2002) compararon varios índices bióticos con datos obtenidos de varios ríos.

6) En México, Weigel et al. (2002) desarrollaron un índice integrado para evaluar ríos en la zona centro occidental del país.

7) En Chile, Arenas (1993) Figueroa (1999), Jara (2002), Figueroa et al. (2003), Sheibler (2003), Toro et al. (2003) y Leiva (2004), aplicaron diversos Índices Bióticos en varios ríos meridionales.

2.3.2.3 Estudio de macroinvertebrados en el Ecuador

Lastimosamente los estudios de macroinvertebrados bentónicos en el Ecuador son todavía escasos, lo mismo se puede decir del resto de los países andinos. Debido a este motivo la taxonomía aun está incompleta. Estudios anteriores, principalmente los realizados por Jacobsen y Encalada han demostrado que los macroinvertebrados aumentan su densidad en épocas secas donde la corriente de los ríos disminuye. De igual forma se ha logrado determinar que en los ríos de las zonas bajas andinas que poseen bosque en su ribera existe un aumento considerable en la riqueza de especies de macroinvertebrados.⁶

⁶ B. Ríos, Prat F, Ternues J. - Estudio de las Condiciones de Referencia de las Cuencas de los Ríos Pita, San Pedro y Machángara

Todos los estudios previos también han demostrado que existe una gran relación de riqueza de especies con la altitud, esta relación se basa en que a mayor altitud menor riqueza de especies y viceversa. Entre estos estudios se encuentran los realizados por Jacobsen, Monaghan, Carrera y Gunkel.

En los países en vías de desarrollo los estudios de carácter biológico poco a poco se han ido incrementando, se cuenta con algunos estudio en zonas puntuales de Colombia, Bolivia, Argentina y Chile como se ha mencionado anteriormente, incluso en algunos estudios se cuenta con adaptaciones e índices biológicos propios.

En el Ecuador aun no se ha establecido las herramientas ni metodologías de evaluación para las diferentes zonas. Primero se debe conocer el estado ecológico de la cuenca así como sus variaciones naturales en sitios de referencia lo que permitirá desarrollar el tipo de herramientas adecuadas y así adaptarlas a cada tipo de sistema.

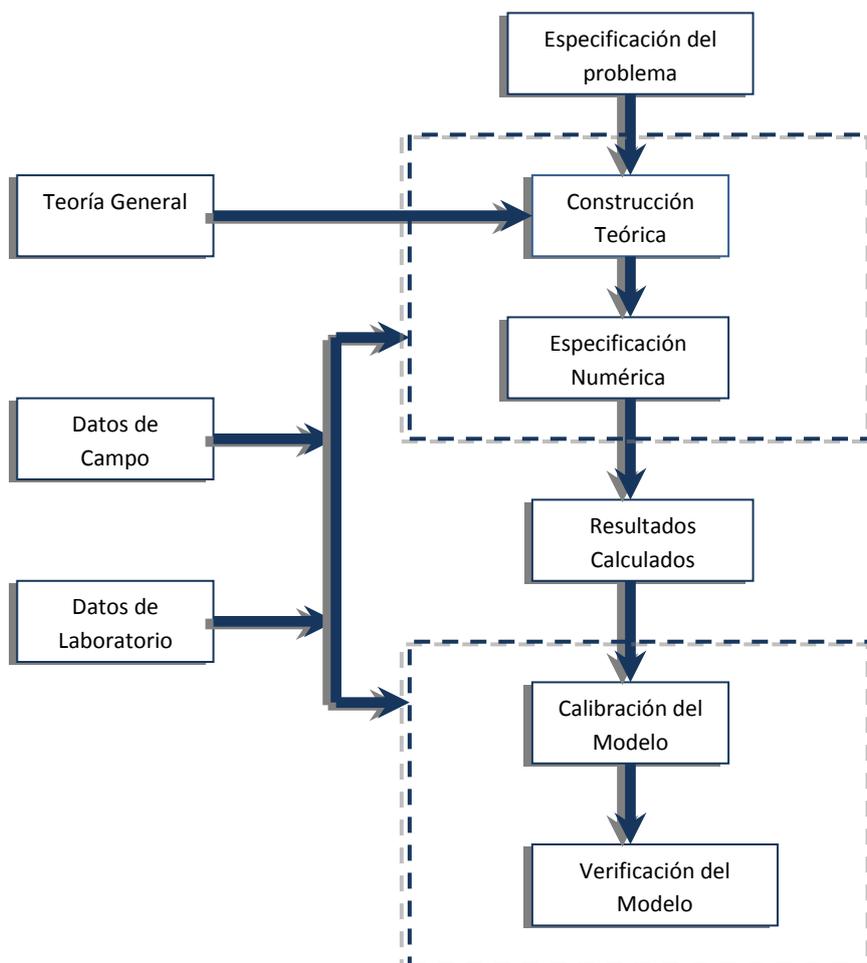
2.4 Modelos de calidad de aguas superficiales

Los modelos de calidad de aguas tienen como objetivo principal determinar las concentraciones de los contaminantes y el estado de las variables de calidad en los cuerpos de agua, incorporando una gran variedad de agentes físicos, químicos y biológicos que controlan el transporte y la transformación de estas variables. Las ecuaciones que se emplean para desarrollar estos modelos están basadas fundamentalmente en la conservación de la masa y energía, de tal forma que se presentan tres aspectos a considerarse: el ingreso de contaminantes al cuerpo de agua, el transporte y las reacciones en el cuerpo de agua.

Para aplicar un modelo de calidad de aguas hay que cumplir primero con reproducir las condiciones actuales del río teniendo en cuenta el comportamiento hidrodinámico del cuerpo de agua. El desarrollo de un modelo de calidad de agua

empieza con la creación de una herramienta capaz de simular el comportamiento de los componentes hidrológicos y de la calidad del cuerpo de agua⁷.

La figura N° 2 muestra los componentes principales de las etapas del desarrollo de un modelo de calidad de aguas. Las dos primeras etapas: “Construcción teórica” y la “Especificación numérica” constituyen lo que se denomina un modelo matemático el cual abarca el planteamiento de las ecuaciones que se utilizarán para el modelo así como la obtención de los parámetros en números, obtenidos de los datos de campo y de los análisis de laboratorio. De estas dos etapas se obtienen los resultados calculados, y con ellos empieza la etapa de “Calibración del modelo” y la “Verificación del modelo”, al cumplir todas las etapas el modelo se considera verificado.



**Figura N° 2: Etapas en el desarrollo de un modelo de calidad de aguas.
Modificado de Thomann y Mueller (1987)**

⁷ Robert V Thomann, John A Mueller - Principles of Surface Water Quality Modeling and Control

Existen varios tipos de modelos de calidad de agua, algunos que se centran en un problema en particular como por ejemplo los que miden la reducción de oxígeno disuelto o la materia orgánica. Hay otros modelos más generales que son utilizados para abarcar diferentes problemas de contaminación en aguas. De la misma forma hay otro tipo de modelos que se especializan en el tipo de cuerpo de agua como lagos o arroyos.

Con los avances tecnológicos de la actualidad se puede encontrar modelos cada vez más amigables e interactivos. Cada modelo de calidad de aguas tiene su conjunto de características y requisitos, entre el gran número existente enumeramos los siguientes:

WASP	QUAL2E	Aquatox
EPD-RIV1	DOSAG	QUAL I
PIONEER I	RECEIV	SWMM
WODA	MIKE21	DUFLOW

Estos modelos al poder reproducir todos los componentes del ciclo hidrológico con la ayuda de un computador, dan la posibilidad de simular diferente tipo de condiciones, en especial condiciones futuras, que afectarían a uno o varios de los procesos físicos que intervienen, como por ejemplo la urbanización, el uso del suelo, incremento de sedimentos, obras de captación, etc. que son hechos que afectan directamente el comportamiento hidrodinámico del cuerpo de agua.

Los modelos de calidad de aguas han ido evolucionando de acuerdo a los problemas ambientales que se van presentando en las aguas superficiales, la descarga de aguas servidas con o sin tratamiento, la actividad industrial, y la agricultura generan graves problemas en el medio acuático, por eso el desarrollo de los modelos de calidad de aguas se centran en estos tres aspectos.

“Un hito histórico comprende: El estudio de la polución y purificación natural del río Ohio (Streeter y Phelps, 1925), que presenta la primera modelación de Oxígeno Disuelto y Demanda Bioquímica de Oxígeno (OD-DBO) para un río. Este modelo puede considerarse el padre de todos los modelos que posterior y actualmente se siguen elaborando”⁸

2.5 Modelación Matemática basado en el balance de Masas

Un balance de masa se define como la verificación de igualdad cuantitativa de masas que debe existir entre los insumos de entrada y los productos de salida.⁹

La aplicación de un modelo basado en el balance de masas permite determinar parámetros físicos-químicos y biológicos y determinar el grado de contaminación que pueden provocar estos parámetros en diferentes condiciones. Estos balances se aplican para sustancias conservativas y no conservativas.

Al implementar el modelo matemático de calidad de agua y realizar el balance del Oxígeno disuelto es necesario analizar los diferentes procesos en los cuales el Oxígeno Disuelto interviene como son: la reaeración, la degradación de la materia orgánica y la demanda biológica (sedimentos). Estos procesos se convierten en los parámetros fundamentales para la calibración y verificación del modelo.

El Oxígeno Disuelto aparte de ser el elemento básico para la supervivencia de organismos acuáticos, es el parámetro que indica el estado de contaminación de un río o cuerpo de agua, razón por la cual el diagnóstico del estado de contaminación de un río empieza con un Balance de Oxígeno Disuelto.¹⁰

⁸ Vargas José , Calidad del agua en espacios naturales: Impacto y Modelación

⁹ Proaño Catherine – Aplicación de un Modelo de Materia Orgánica para la determinación de la contaminación por materia orgánica del Río San Pedro en el tramo comprendido entre Tambillo y la Armenia

¹⁰ Oyarzún G. Jessica – Modelación y Simulación de Oxígeno Disuelto, Materia Orgánica y Relación Distribucional de Macro invertebrados en la Sub Cuenca del Río Traiguén.

2.5.1 Naturaleza de las Descargas:



Figura N° 3: Naturaleza de la descarga

- ⊙ **Fuentes Puntuales** (punto definido de descarga): Pueden ser aguas municipales (materia orgánica, bacterias, nutrientes y sustancias tóxicas) o aguas industriales (materia orgánica, nutrientes y sustancias peligrosas)
- ⊙ **Fuentes no Puntuales:** Pueden ser aguas provenientes de la agricultura (Figura N°4), de la atmósfera, urbanas y suburbanas (muchas descargas) o aguas subterráneas.

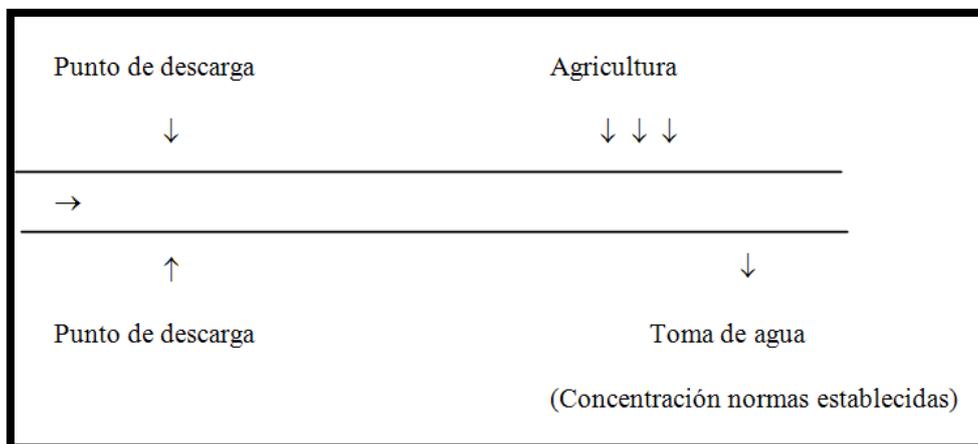


Figura N° 4: Ejemplo de fuente no puntual

2.5.2 Factor de Masa

Fuentes puntuales:

$$W(t) = Q(t) C(t)$$

$$W(\text{lb/día}) = 8,34 Q(\text{MGD}) C(\text{mg/l})$$

$$W \text{ (lb/día)} = 5,4 Q \text{ (ft}^3\text{/s)} C \text{ (mg/l)}$$

Fuentes no puntuales:

$$Q_R = C I A$$

Donde:

Q_R = Flujo de escorrentía, $[L^3/\theta]$

I = razón de precipitación, $[L/T]$

A = Área, $[L^2]$

C = Factor de uso de la tierra [0.1 - 0.3] área rural

[0.7 - 0.9] área industrial

$$W = Q_R C$$

2.5.3 Descarga de Material Residual en los Ríos:

Asumimos mezcla completa en la sección transversal en el punto de descarga

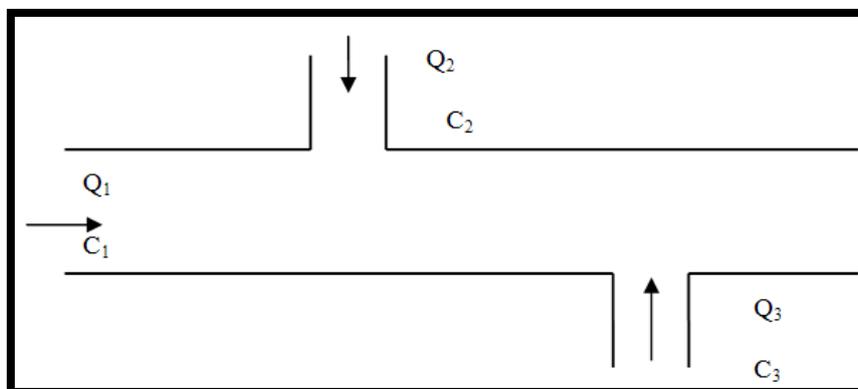


Figura N°5: Sistema de un río con dos fuentes puntuales

Ⓢ **Sustancias Conservativas:** Aquellas que no se descomponen (no hay pérdidas) debido a reacciones químicas o biológicas. Ejemplos: TDS, cloruros y ciertos metales.

$$W = Q * C \quad (1)$$

$$Q_1 C_1 + Q_2 C_2 + Q_3 C_3 = C_X Q_X \quad (2)$$

$$Q_X = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (3)$$

$$C_X = \frac{(Q_1 C_1 + Q_2 C_2 + Q_3 C_3)}{Q_X} \quad (4)$$

$$C_X = \frac{\sum W}{\sum Q} \quad (5)$$

Donde:

W= Flujo másico

Q= Caudal volumétrico

C= Concentración

Qx= Caudal volumétrico final

Cx= Concentración final

🕒 **Sustancias no Conservativas:** Son aquellas que sufren pérdidas por degradación química biológica o radioactivas o también por sedimentación. Ejemplos: materia orgánica oxidable, nutrientes, químicos, volátiles, y bacterias.

$$\frac{dC_A}{dt} = -kC_A \quad (6)$$

$$C_A = C_{A_0} e^{-kt^*} \quad (7)$$

$$t^* = \frac{x}{V} \quad (8)$$

$$C_A = C_{A_0} e^{\frac{-kx}{V}} \quad (9)$$

Asumimos que es una reacción de primer orden.

Donde:

C_A = Concentración de entrada

C_{A_0} = Concentración de entrada al siguiente punto

k = Constante de variación del río ($días^{-1}$)

t^* = tiempo de viaje

x = distancia recorrida

V = Velocidad (Ecuación de Manning)

2.5.4 Re aireación Atmosférica:

$$\frac{DC}{dt} = k_a(C_s - C) \quad (10)$$

$$D = C_s - C \quad (11)$$

$$C_s = 14.652 - 0.41022T + 0.0079910T^2 - 0.000077774T^2 \quad (12)$$

Donde:

C_s = Concentración de saturación de oxígeno

C = Concentración de oxígeno al tiempo t

D = Déficit de oxígeno

Para $D = D_0$

$$D_0 = C_s - C_0 \quad (13)$$

$$t = 0$$

$$D = D_0 e^{-k_a t} \quad (14)$$

$$C = C_s - (C_s - C_0) e^{-k_a t} \quad (15)$$

$$k_a = \frac{12.9 U^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{2}}} \quad \text{a } 20 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (16)$$

Donde:

U = velocidad promedio (pies/s)

H = profundidad promedio (pies)

k_a = coeficiente de re aireación (día^{-1})

La reaireación en los ríos es el proceso físico de absorción del Oxígeno de la atmósfera, es el proceso principal en los ríos a través del cual se reemplaza el Oxígeno consumido en la biodegradación de la materia orgánica¹¹. Las ecuaciones que permiten predecir el proceso de re aireación en los ríos están enfocadas a determinar el coeficiente de re aireación (K_a).

Un coeficiente de re aireación alto indica rápida recuperación de oxígeno disuelto, un coeficiente bajo indica recuperación baja de OD.

El coeficiente de re aireación depende de: mezcla y turbulencia interna debido a la gradiente de velocidad, temperatura, viento, caídas de agua, rápidos, etc.

(ka) : Es la constante cinética de primer orden para la transferencia de oxígeno desde el aire, mide la velocidad a la que el Oxígeno presente en la atmósfera es transferido a los cuerpos de agua. Se obtiene esta constante a partir de varios modelos a 20° C:

	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)
O'Connor-Dobbins	0.30 – 9.9	0.15 – 0.49
Churchill	0.61 – 3.35	0.55 – 1.52
Owens-Gibbs	0.12 – 0.73	0.03 - .055

Tabla Nº 1: Variación de Profundidad y Velocidad para los diferentes flujos aireados a 20°C (Fuente: Chapra, 1997)

¹¹ Oyarzún G. Jessica – Modelación y Simulación de Oxígeno Disuelto, Materia Orgánica y Relación Distribucional de Macro invertebrados en la Sub Cuenca del Río Traiguén

Las tasas o coeficientes de re aireación se emplean principalmente para cuantificar los procesos de re aireación en los modelos matemáticos de calidad del agua. Estos modelos, que simulan el intercambio de Oxígeno entre la superficie del agua y la atmósfera, permiten establecer los niveles de remoción requeridos en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, la ubicación y la máxima carga contaminante posible a verter en el recorrido de los ríos, sean o no provenientes de plantas de tratamiento, con el fin de garantizar una concentración mínima de OD.

El coeficiente de re aireación de primer orden para diferentes ríos, se detalla en la siguiente tabla:

Coeficiente k_a	Valor (1/d)
Ríos lentos y profundos	0.1-0.4
Ríos con condiciones típicas	0.4-1.5
Ríos veloces y profundos	1.5-4.0
Ríos veloces y poco profundos	4.0-10

Tabla N°2: Coeficiente de re aireación de 1er orden en distintos ríos (Fuente: Schnoor, 1996)

Cuando se produce una descarga de aguas residuales compuestas principalmente de materia orgánica en un río, las bacterias presentes atacan estas aguas residuales, para construir nuevo material celular y mantener su vida. Para este proceso de descomposición de la materia orgánica las bacterias necesitan de oxígeno. Por eso decimos que a mayor cantidad de materia orgánica presente mayor cantidad de oxígeno necesitan las bacterias. Como conclusión se puede decir que un nivel bajo de oxígeno nos indica una actividad biológica intensa y por ende las aguas del río están contaminadas. Las ecuaciones que permiten predecir este proceso se basan en el coeficiente de consumo de oxígeno por acción metabólica de las bacterias.

2.5.5 Demanda de Oxígeno por Materia Orgánica:

$$\frac{dC}{dt} = -k_d L \quad (17)$$

$$L = L_o e^{k_r t} \quad (18)$$

Donde:

k_d = tasa de desoxigenación efectiva

k_r = tasa de desoxigenación del río, considerando pérdida por sedimento

(Kd): Es la constante cinética de primer orden para el consumo de oxígeno por la acción metabólica. La relación entre K_d a los 20°C y la profundidad del río está dada por la siguiente fórmula:

$$k_d = 0.3 \left(\frac{H}{8}\right)^{-0.434} \quad (19)$$

Si $0 \leq H \leq 2.4\text{m}$ y;

$$k_d = 0.3 \quad (20)$$

Cuando $H > 2.4\text{m}$

2.5.6 Análisis del Oxígeno Disuelto en Ríos y Riachuelos

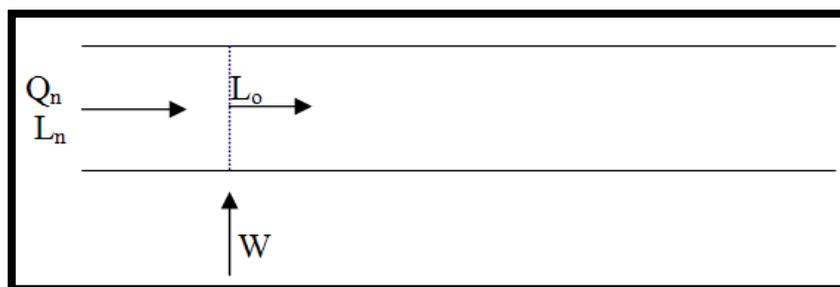


Figura N°6: Balance de oxígeno disuelto

$$L_o = \frac{W+Q_n L_n}{(Q_n+Q_e)} \quad (21)$$

$$V \frac{dC}{dx} = -k_d L_o e^{k_r t} + k_a (C_s - C) \quad (22)$$

$$V \frac{dC}{dx} = k_d L_o e^{-k_r t} + k_a D \quad (23)$$

$$D = \frac{k_d}{k_a - k_d} (e^{-k_r \frac{x}{V}} - e^{-k_a \frac{x}{V}}) L_o + D_o e^{-k_a \frac{x}{V}} \quad (24)$$

$$\text{Si } \frac{D_d}{dx} = 0$$

$$D_c = \frac{k_d}{k_a} L_o e^{-k_r t_c} \quad (25)$$

La concentración mínima de oxígeno disuelto en el río a una cierta distancia (x) se la obtiene a partir de la diferencia entre la concentración de Saturación de Oxígeno Disuelto y el Déficit crítico. Su fórmula es:

$$C_m = C_s - D_c \quad (26)$$

$$t_c = \frac{1}{(k_a - k_r)} \ln \left\{ \frac{k_a}{k_r} \left[1 - \frac{D_o (k_a - k_r)}{k_d * L_o} \right] \right\} \quad (27)$$

D_c = Déficit crítico

C_m = Concentración mínima de oxígeno

t_c = Tiempo crítico

Como se ha mencionado en el proceso de descomposición de la materia orgánica en los ríos, las bacterias consumen oxígeno, a medida que la concentración de oxígeno disminuye, el oxígeno que hay en la atmósfera entra en el agua. Al principio, el ritmo al cual el oxígeno es consumido por los

organismos heterótrofos es mayor que el ritmo al cual el agua se re oxigena. Este ritmo de re-oxigenación es proporcional al déficit de oxígeno en el agua, en relación a la concentración de oxígeno disuelto a saturación (Ley de Henry). Más aguas abajo, a medida que la materia orgánica es degradada, el ritmo de consumo de oxígeno se hace más pequeño. También el déficit de oxígeno se hace mayor, y por tanto, crece el flujo de re-oxigenación. Llega un punto en que los ritmos de consumo de oxígeno y re-oxigenación se hacen iguales.

Es el punto 'crítico', en que los niveles de oxígeno en agua son mínimos. Aguas abajo de este punto, los procesos de re-oxigenación dominan a los procesos de descomposición/consumo de oxígeno y la concentración de oxígeno disuelto vuelve a aumentar. Esta última zona se conoce como zona de recuperación¹².

Estas fórmulas se aplican secuencialmente a una serie de tramos del río que contengan varios vertidos como fuentes puntuales y afluentes, solo se debe cambiar los valores de DBOo y Do adecuado para cada tramo.

2.5.7 Efecto de la temperatura

Para obtener la temperatura mezcla del río se necesita realizar un balance de calor entre la temperatura de la fuente puntual y la temperatura del río se puede aplicar la siguiente fórmula:

$$T = \frac{[(Q_{rio} * T_{rio}) + (Q_{fp} * T_{fp})]}{[Q_{rio} + Q_{fp}]} \quad (28)$$

Las bajas temperaturas reducirán e incluso llegarán a detener la actividad de los organismos, de modo que en verano la descomposición tiene lugar de modo mucho más rápido que en invierno.

¹² Rodriguez Ch. Tatiana – Modelación de la calidad del agua en la Cuenca alta del Río Bogotá

Por lo tanto la transferencia de oxígeno como la tasa de eliminación de la DBO, son influenciadas por la temperatura del medio. Esto se estudia con la relación de Van't Hoff-Arrhenius (Metcalf, 1995).

$$k_a = k_{a,20^{\circ}C} \theta^{T-20} \quad (29)$$

y

$$k_d = k_{d,20^{\circ}C} \theta^{T-20}$$

2.5.8 Validación del Modelo

La validación del modelo, se define como la diferencia absoluta entre la concentración de oxígeno disuelto teórico y experimental dividido por la concentración experimental.

$$Error \% = \left| \frac{[O_2] - [O_2]_t}{[O_2]_t} \right| * 100 \quad (30)$$

Para que un modelo pueda representar con fidelidad la realidad estudiada, es necesario someterlo a un proceso de calibración y verificación. La calibración de un modelo de calidad del agua es un proceso complejo que procura la obtención de un conjunto de valores de los parámetros de calibración que minimicen la diferencia (error) entre los datos medidos en campo y los calculados por el modelo¹³. Durante este proceso, se emplea una base de datos en las fronteras del modelo, la cual permite realizar simulaciones hasta lograr reproducir con cierta precisión las series de datos observados en campo en diferentes estaciones.

¹³ Optimización del Modelo de Simulación de la Calidad del Agua del Río Cauca – Universidad del Valle, Colombia

CAPITULO III

ZONA DE ESTUDIO

3.1 Descripción de la Zona de Estudio

El estudio se realizó en la cuenca del Río San Pedro ubicado en la provincia de Pichincha (Figura N° 7 y 8) el cual nace de los deshielos de los Ilinizas atravesando todo el Valle de los Chillos, sector localizado al oriente de Quito, desde Machachi hasta bordear el Cerro Ilaló por el Oriente. Sus aguas atraviesan tres cantones: Cantón Méjia, Cantón Rumiñahui y Cantón Quito (Figura N° 9). En todo su recorrido, recibe las aguas de diferentes ríos y quebradas, entre los principales se encuentran el Río Pita, Río Santa Clara, Río Cachaco y Río Capelo. Atraviesa varios centros poblados, como Tambillo, Uyumbicho, Amaguaña, Sangolquí, San Rafael, Guangopolo, Tumbaco y Cumbayá. (Figura N° 10)

Al llegar al sector de San Rafael a nivel de la Bocatoma, el caudal del río es canalizado casi en su totalidad, en un canal de 4 kilómetros aproximadamente sus aguas son trasladadas a la represa de Guangopolo para la producción de energía eléctrica, posteriormente las aguas son liberadas a la altura de Tumbaco, a esta altura la cuenca recibe las aguas del Río Machángara y el Río Chiche, para luego transformarse en el Río Guayllabamba.

La zona de estudio se localiza en el tramo del río comprendido entre Amaguaña y Guangopolo. A lo largo de esta distancia de aproximadamente 20 kilómetros¹⁴ existen varias zonas agrícolas, industrias y centros poblados que descargan sus

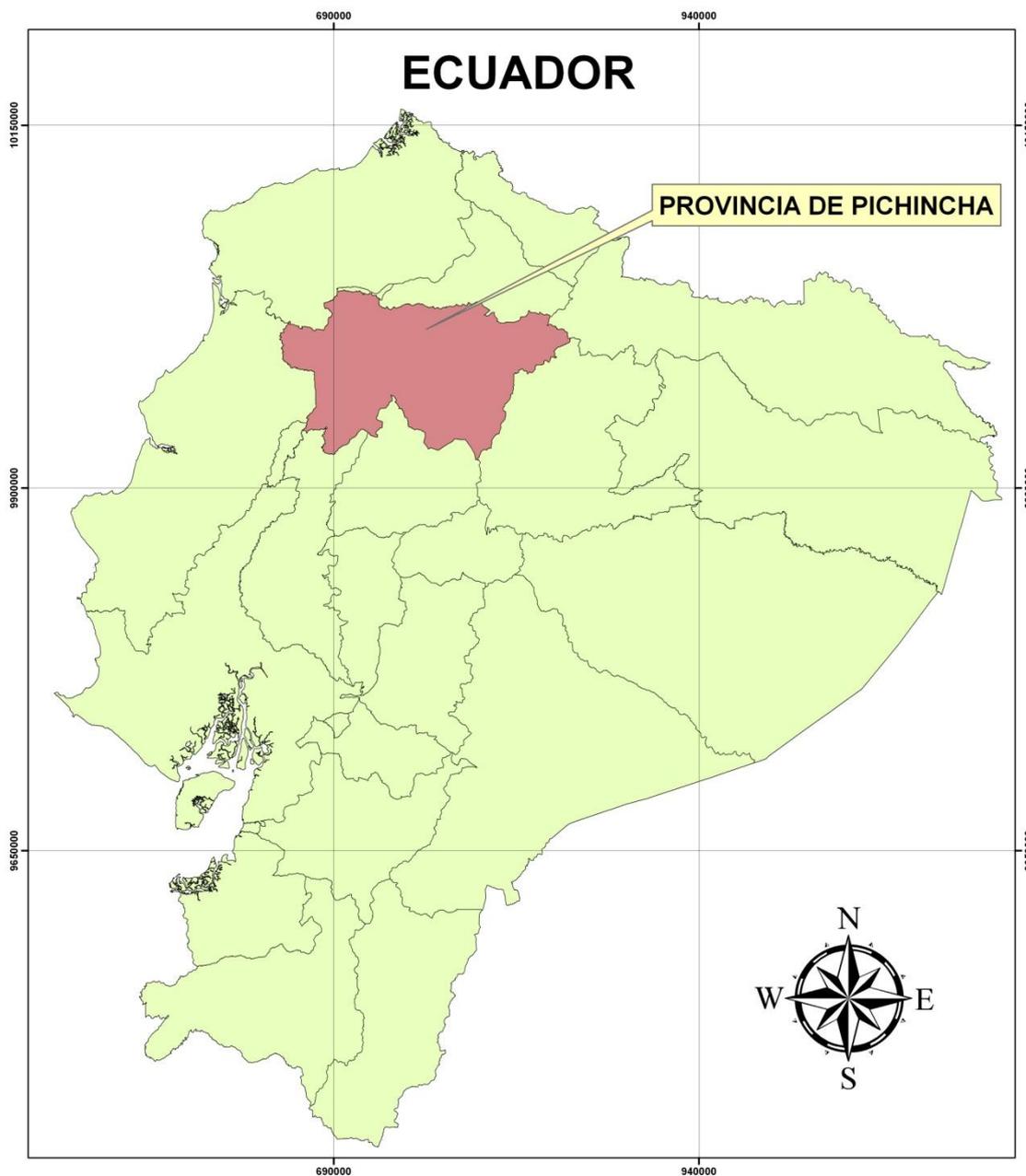
¹⁴ Distancia obtenida en Arc Gis

aguas servidas y contaminadas directamente en el río, la mayoría sin ningún tratamiento previo. (Figura N°11)

El tramo del Río analizado está comprendido entre las siguientes coordenadas UTM:

	NORTE	ESTE	ALTURA
Inicial	9958822	778081	2543
Final	9973964	784766	2382

Tabla N°3: Coordenada inicial y final del tramo comprendido entre Amaguaña y Guangopolo

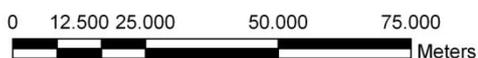


Proyección UTM (Universal Transversa de Mercator)
 Datum Horizontal WGS84 Zona 18 Sur
 Datum Vertical Nivel Medio de los Mares

 ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE 		
AREA DE ESTUDIO A NIVEL NACIONAL		
REALIZADO POR: Gabriela Carrera G.	REVISADO POR: Ing. Oliva Atiaga Mcs. Mirian Fernández	
ESCALA: 1 : 2.500.000	FUENTE: IGM	FECHA: Enero 2011

Figura N° 7: Área de estudio a Nivel Nacional

Autor: Gabriela Carrera

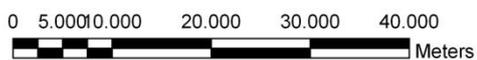
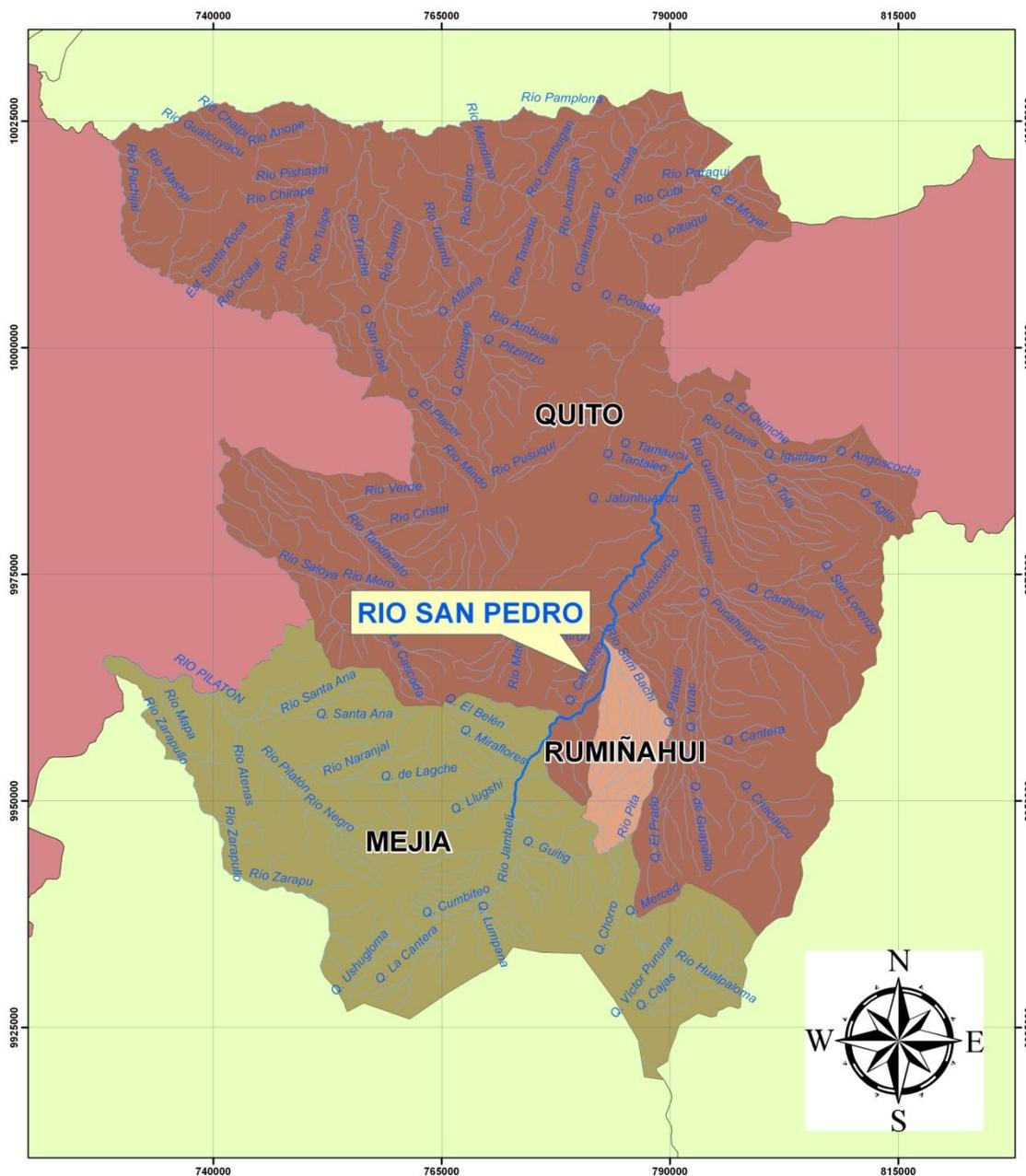


Proyección UTM (Universal Transversa de Mercator)
 Datum Horizontal WGS84 Zona 18 Sur
 Datum Vertical Nivel Medio de los Mares

 ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE 	
AREA DE ESTUDIO A NIVEL PROVINCIAL	
REALIZADO POR: Gabriela Carrera G.	REVISADO POR: Ing. Oliva Atiaga Mcs. Mirian Fernández
ESCALA: 1 : 750.000	FUENTE: IGM
FECHA: Enero 2011	

Figura Nº 8: Área de estudio a Nivel Provincial

Autor: Gabriela Carrera

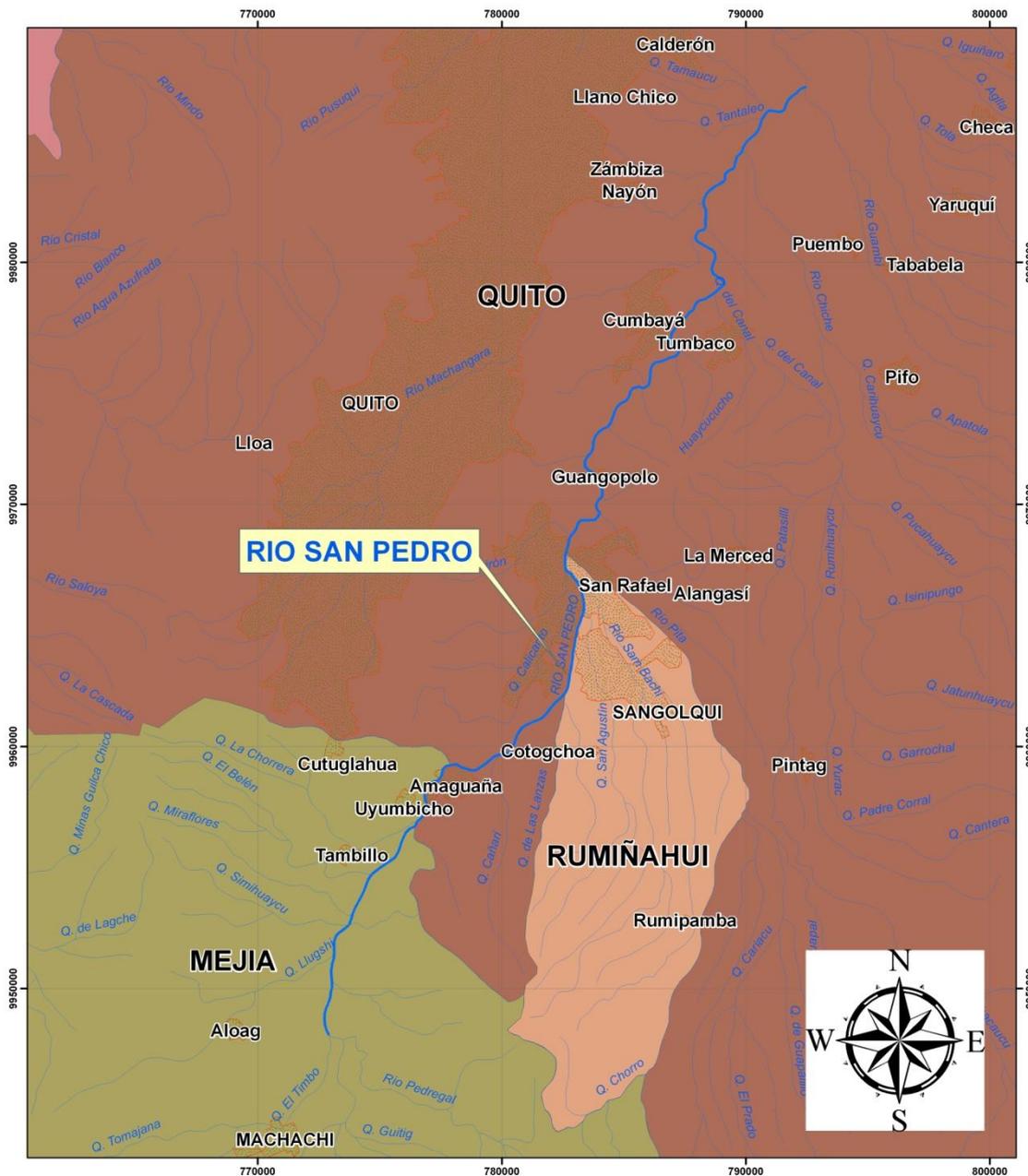


Proyección UTM (Universal Transversa de Mercator)
 Datum Horizontal WGS84 Zona 18 Sur
 Datum Vertical Nivel Medio de los Mares

 ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE 		
AREA DE ESTUDIO A NIVEL CANTONAL		
REALIZADO POR: Gabriela Carrera G.	REVISADO POR: Ing. Oliva Atiaga Mcs. Mirian Hernández	
ESCALA: 1 : 400.000	FUENTE: IGM	FECHA: Enero 2011

Figura N° 9: Área de estudio a Nivel Cantonal

Autor: Gabriela Carrera

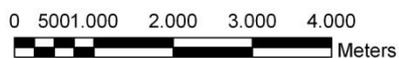
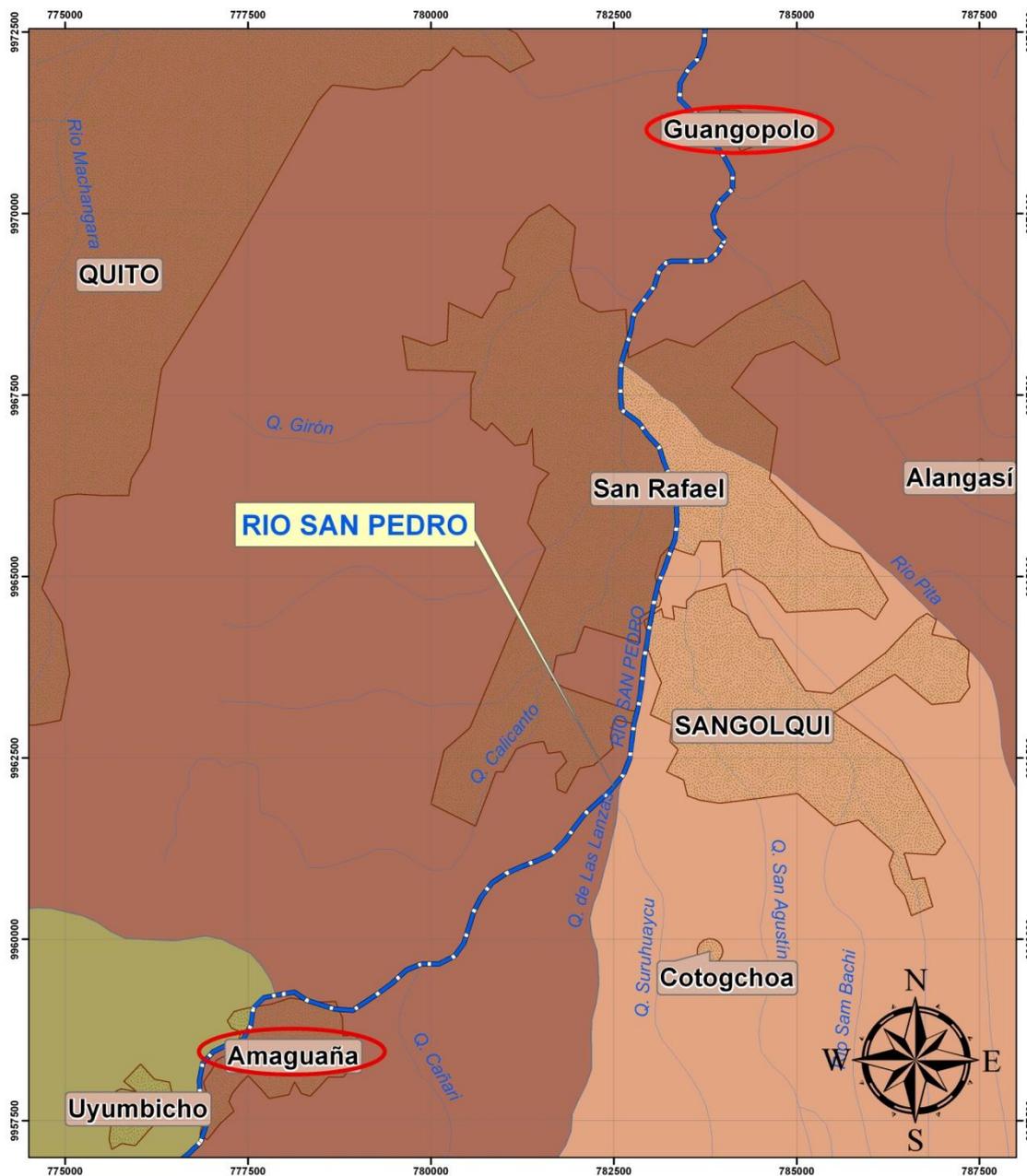


Proyección UTM (Universal Transversa de Mercator)
 Datum Horizontal WGS84 Zona 18 Sur
 Datum Vertical Nivel Medio de los Mares

 ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE			
AREA DE ESTUDIO A NIVEL DE LA CUENCA			
REALIZADO POR: Gabriela Carrera G.	REVISADO POR: Ing. Oliva Atiaga Mcs. Mirian Fernández		
ESCALA: 1 : 150.000	FUENTE: IGM	FECHA: Enero 2011	

Figura Nº 10: Área de estudio a Nivel de la Cuenca

Autor: Gabriela Carrera



Proyección UTM (Universal Transversa de Mercator)
 Datum Horizontal WGS84 Zona 18 Sur
 Datum Vertical Nivel Medio de los Mares

 ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE 		
AREA DE ESTUDIO A NIVEL DE LA CUENCA TRAMO DEL RIO ENTRE AMAGUAÑA Y GUANGOPOLO		
REALIZADO POR: Gabriela Carrera G.	REVISADO POR: Ing. Oliva Atiaga Mcs. Mirian Fernández	
ESCALA: 1 : 50.000	FUENTE: IGM	FECHA: Enero 2011

Figura N°11: Tramo entre Amaguaña y Guangopolo del río San Pedro

Autor: Gabriela Carrera

3.2 Principales usos de la cuenca

A pesar del alto índice de crecimiento habitacional en el área de estudio, existe un alto porcentaje de zonas agrícolas, este sector se abastece de las aguas del río San Pedro para el riego de sus cultivos, en especial cultivos de maíz, pastos y hortalizas.

También hay zonas destinadas a la cría de ganado, donde se puede observar que los animales pastan cerca de las orillas y beben directamente el agua del río, ganado vacuno y porcino se encuentran en mayor cantidad.

La producción de energía eléctrica es otro de los principales usos de la cuenca, como se había mencionado anteriormente, en San Rafael, por el sector de la Bocatoma, las aguas del río son canalizadas (Fotografía N° 2) para abastecer el reservorio de Guangopolo el cual está a cargo de la Empresa Eléctrica Quito (EEQ).



Fotografía N°2: Sector de la Bocatoma en San Rafael (el agua del Río San Pedro es canalizada para llevarla al reservorio de Guangopolo)

3.3 Descripción del Clima

El clima del sector es templado y húmedo, posee dos estaciones marcadas, estación seca que va desde junio a septiembre con precipitaciones de 15.36 mm mensual y 13.85°C y una estación lluviosa que va desde finales de septiembre a mayo con precipitaciones y temperaturas promedio de 122.73 mm mensual y 13.89°C.¹⁵

Por su morfología la zona se conforma de amplias planicies y quebradas, que se encuentran rodeadas de elevaciones lo que provoca la alta concentración de humedad. Sus tierras son muy fértiles motivo por el cual existen grandes zonas de cultivo, principalmente de maíz y pastos para la cría de ganado. La altitud promedio del sector es de 2550 msnm.

Al ser un clima muy agradable y debido a su proximidad de la ciudad de Quito provoca que un alto número de personas migren a esta zona acelerando su crecimiento habitacional.

3.4 Descripción de la Vegetación

La vegetación de ribera es un elemento clave en la protección del canal del río y amortiguador del efecto de las crecidas.¹⁶ En los ríos de los Andes ecuatorianos a bajas altitudes (hasta 1000 m.s.n.m.), se ha demostrado un incremento en la riqueza relacionada a la presencia de áreas de bosque en la cuenca. Al cambiar la vegetación de la cuenca con la altitud, se espera que la vegetación de ribera cambie y por lo tanto tenga un rol diferencial altitudinalmente.

La vegetación de ribera es diversa y cambia en base a la altura, sobre todo las especies de árboles cambian a partir de los 3200 m.s.n.m. Los arbustos entre los 2800 y 3200 m.s.n.m. son comunes a todo el rango.

¹⁵ Estación Izobamba y Estación Quito

¹⁶ E. B. Ríos, Prat F, Ternues J. - Estudio de las Condiciones de Referencia de las Cuencas de los Ríos Pita, San Pedro y Machángara

En la zona de estudio se puede apreciar que en muchos de los puntos existe la presencia de *Eucalyptus globulus* (Fotografía N° 3), lo que nos indica que la vegetación de la zona está bastante intervenida. Concretamente, los sitios donde esta especie introducida está presente en abundancias considerables hay una afectación en la dinámica y presencia de la ribera producida en parte por el cambio de pH debido a la acidez de la hojarasca y cortezas desechadas y a las resinas que emana.



Fotografía N° 3: Especie introducida (*Eucalyptus globulus*)

La introducción de nuevas especies junto con un alto grado de intervención humana ha llegado a modificar drásticamente el paisaje, en muchos sitios se puede observar zonas destinadas al cultivo de pastos para alimentar ganado vacuno, estos factores no permiten que la vegetación de ribera cumpla con su objetivo de protección y amortiguador en crecidas, ocasionando inundaciones en la época de lluvias que han perjudicado cultivos y viviendas de zonas aledañas al Río San Pedro.

CAPITULO IV

METODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1 Metodología

4.1.1 Localización de los puntos de muestreo

Antes de iniciar el trabajo de campo es necesario estar familiarizado con el lugar de estudio, se puede utilizar ayuda bibliográfica, mapas, imágenes satelitales, información del clima etc. En la primera visita de campo se identifica los puntos de muestreo en el río y en los afluentes, escogiendo los puntos de fácil acceso, cercanos a poblados, fábricas y zonas agrícolas. (ANEXO N°1)

Se estableció ocho puntos de muestreo a lo largo del río, en el tramo comprendido desde Amaguaña y Guangopolo (Figura N°12). Y cinco puntos en los afluentes principales: Quebrada Guamba, Río Cachaco, Río Santa Clara, Río Capelo y Río Pita (Figura N°13). Las coordenadas de los puntos de muestreos fueron tomadas con un equipo GPS Navegador, obteniendo los siguientes puntos:

📍 Puntos de muestreo en el Río San Pedro

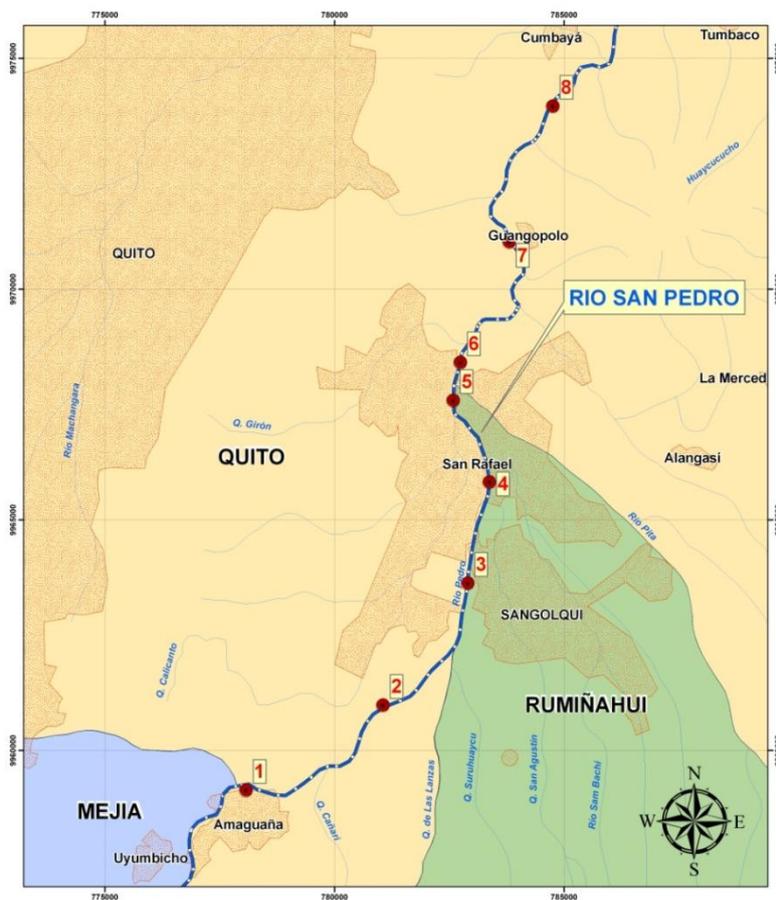


Figura N°12: Puntos de muestreo en el Río San Pedro

	NORTE	ESTE	ALTURA
PUNTO1	9958822	778081	2543
PUNTO2	9960664	781330	2521
PUNTO3	9963669	782728	2484
PUNTO4	9965815	783380	2479
PUNTO5	9967587	782590	2450
PUNTO6	9968409	782673	2455
PUNTO7	9970843	783496	2406
PUNTO8	9973964	784766	2382

Tabla N°4: Coordenadas de los puntos de muestreo en el Río San Pedro

📍 **Puntos de muestreo en los afluentes del Río San Pedro**



Figura N°13: Puntos de muestreo en los afluentes del Río San Pedro

	NORTE	ESTE	ALTURA(m)
PUNTO 1	779828	9959569	2536
PUNTO 2	783460	9965486	2475
PUNTO 3	783599	9966214	2470
PUNTO 4	782430	9966490	2449
PUNTO 5	783101	9967756	2455

Tabla N°5: Coordenadas de los puntos de muestreo de los afluentes del Río San Pedro

Las distancias de cada fuente puntual y afluente existentes en el tramo se las determinó con ayuda del SIG, desde el punto 1 a la fuente puntual de Amaguaña la distancia es de 788 metros, hasta la fuente puntual de Sangolquí es de 7534 metros, hasta el río Cachado 9701 metros, hasta San Rafael 1 es de 9824 metros, hasta el Río Santa Clara es de 10523, hasta La armenia es de 15963, Guangopolo es de 17589 y hasta el punto 8 es de 19253.

4.1.2 Determinación de parámetros in situ

Se debe identificar todos los parámetros necesarios para efectuar el proyecto:

- ④ Para la modelación de oxígeno disuelto y materia orgánica se debe medir in situ los siguientes parámetros: Temperatura (T°), Velocidad (V), Profundidad (H), Caudal (Q), pH, y recoger muestras de agua para en laboratorio determinar: OD, y DBO_5 .
- ④ Para analizar la influencia en la distribución y diversidad de indicadores bentónicos in situ se mide la conductividad y se debe recoger muestras de agua para medir en laboratorio: Sólidos Totales. En campo se toma muestras de macro invertebrados acuáticos y vegetación de ribera para posteriormente identificarlos.

Los tres muestreos se realizaron entre los meses de junio y octubre del año 2009. Se obtuvo datos en época lluviosa comprendida entre los meses de septiembre a diciembre y época seca comprendida entre los meses de junio y agosto. Un importante aspecto que permite observar la variación de la contaminación por materia orgánica en diferente época del año.

4.1.3 Toma de muestras de agua y macroinvertebrados

Para la toma de muestras de agua, se empleó las normas establecidas del INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización), y el SM (Standard Methods), para que no presenten cambios significativos antes de su análisis en laboratorio. En cada uno de los 8 puntos de muestreo en el río se recogió 4 botellas Winkler, y en los puntos de los afluentes se recogió 2 botella por punto.

Se recomienda llevar las botellas ya identificadas para optimizar el tiempo en campo.

Una vez que se extrae el agua en un balde se procede a llenar las botellas Winckler sumergiéndolas totalmente evitando crear burbujas, luego se las cierra herméticamente y se comprueba que no haya quedado ninguna burbuja en su interior (Fotografía N°4). Preferiblemente se envuelve la tapa con papel parafilm. Se las transporta en un cooler hasta llegar al laboratorio.



Fotografía N°4: Toma de muestras de agua en botella Winkler

Para la colecta de macroinvertebrados se utilizó el método de *Kick Sampling* (Fide Abel 1989). El método consiste en utilizar una red Surber o red de mano en este caso de 250 μm de abertura de malla y 800cm^2 (40 cm x 20 cm) de área colectora (Fotografía N° 5).



Fotografía N° 5: Red de mano utilizada para el muestreo de macro invertebrados

Se introduce la red al fondo del río siempre en sentido contrario a la corriente del agua, por delante de la red se procede a remover o golpear el sustrato, por un tiempo de 10 segundos aproximadamente.

Debido al caudal y profundidad de la mayoría de los puntos de muestreo del Río, la muestra de macro invertebrados fue tomada en las orillas (Fotografía N° 6) a excepción del punto cinco donde solo se recolectó muestras de agua debido a la altura de la orilla.



Fotografía N° 6: Colecta de macro invertebrados en las orillas del Río San Pedro

Se realizó 10 pasadas en cada uno de los puntos, ya que se optó por utilizar un tiempo estándar alto, en lugar de realizar diversas pasadas hasta que no se identificaran más taxones en el campo, ya que se ha demostrado que incluso en muestreos realizados por expertos en el tema se puede pasar por alto taxones en las inspecciones visuales del contenido de la red.¹⁷

En cada una de las pasadas, se realizó un análisis cuantitativo de las especies en el contenido de la red, anotando la abundancia de cada una de ellas en una hoja de campo necesaria para este estudio. Es de ayuda extender la red sobre una hoja de plástico blanco o una bandeja ya que esto ayudará a ver los macro

¹⁷ Molina I. Carlos, Marín Rubén - Ensayo de un método para el estudio de macro invertebrados acuáticos en un río contaminado de la ciudad de la Paz – Bolivia.

invertebrados con mayor facilidad, también se debe utilizar una lupa de aumento para no perder detalle de los especímenes más pequeños y difíciles de ver a simple vista.

Con la ayuda de una pinza fina los individuos colectados fueron depositados en frascos de vidrio con alcohol al 70% para preservar la muestra. Algunos ejemplares se los depositó en frascos de vidrio con agua del río para conservarlos vivos y analizarlos en laboratorio posteriormente.

4.1.4 Medición de parámetros in situ

También se recopiló información en hojas de campo de las condiciones del Río, condiciones climáticas y del área adyacente. Los parámetros medidos en campo fueron los siguientes:

Parámetro	Equipo y/o Materiales
Temperatura	Termómetro
pH	pH-metro
Conductividad	Conductivímetro
Caudal	Flotador
Profundidad	Regla en T
Ancho del Río	Regleta

Tabla N° 6: Parámetros medidos en campo

Todos los equipos fueron calibrados antes de cada salida de campo.



Fotografía N°7: Medición de parámetros en campo

En este estudio se utilizó el método del flotador, que consiste en medir el tiempo que demora en atravesar un objeto que flota en la superficie a lo largo de una distancia del río. Primero se seleccionó un tramo uniforme que no tenga piedras y que el agua fluya libremente. Se ubica dos puntos, el de salida (A) y el de llegada (B) y se midió la distancia (d) entre ellos, procurando que sea mínimo de 10 metros (Figura N° 14). Con la ayuda de un cronometro medimos el tiempo recorrido del objeto flotador desde el punto A hasta el punto B. Se repite tres veces el procedimiento para obtener un promedio de las mediciones.

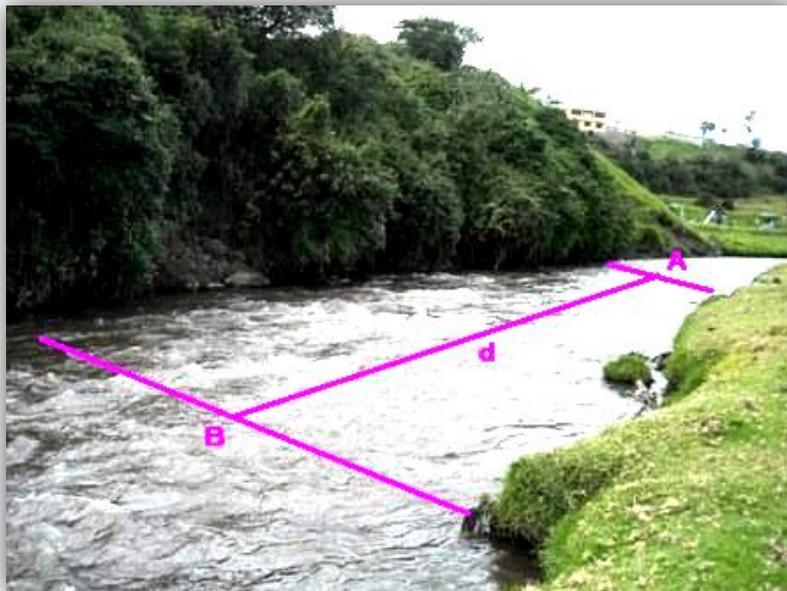


Figura N° 14: Distancia A-B de un tramo del Río San Pedro

- ⊙ Profundidad: Con una regla especial en forma de L se procede a medir la profundidad del río, se procuró llegar a la mitad del ancho del río. Las mediciones se efectuaron tres veces a lo largo del tramo comprendido entre A y B, para obtener la profundidad promedio.
- ⊙ Ancho: Con otra regla especial, la cual era lo bastante liviana para sujetarla desde una orilla hasta la otra orilla.

Aplicando las formulas matemáticas se obtiene los datos de Velocidad, Área transversal y Caudal.

- ⊙ Velocidad (m/s):

$$V = x * t \quad (31)$$

Donde:

$x =$ Distancia A-B

$t =$ Tiempo de recorrido del flotador

Ⓢ Área transversal (m^2):

$$At = a * Pp \quad (32)$$

Donde:

a= Ancho del río

Pp= Profundidad promedio

Ⓢ Caudal (m^3/s):

$$Q = V * At \quad (33)$$

Donde:

V=Velocidad

At= Area Transversal

4.1.5 Toma de muestras de vegetación de ribera y porcentajes de cobertura

Para obtener porcentajes de cobertura vegetal en los 8 puntos de estudio se aplicó un muestreo aleatorio con un total de 8 transeptos de 50 metros cada uno, en donde se recogió muestras de cada especie arbustiva y arbórea para identificarla posteriormente, también se tomo fotografías de cada una de las especies para complementar su identificación. Se tuvo en cuenta que las especies que forman parte del estrato arbóreo sobrepasaban los 3 metros de altura, mientras que las especies del estrato arbustivo eran menores de los 3 metros.

Las familias que no se pudieron identificar fueron llevadas al Herbario Nacional del Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales, en donde expertos en el tema ayudaron a identificar un total de 12 muestras. (ANEXO N°2)

Para las estimaciones de cobertura se utilizó la escala de Braun-Blanquet, Tabla N°7 (Westhoff & Van der Maarel, 1978)

VALOR	DEFINICION
r	Individuos solitarios con baja cobertura
+	Pocos individuos con baja cobertura
1	<5% de cobertura
2	5 – 25% de cobertura
3	25 – 50% de cobertura
4	50 – 75% de cobertura
5	75 – 100% de cobertura

Tabla N° 7: Escala de abundancia-cobertura de Braun-Blanquet

Los cuatro valores inferiores de la escala (2 a 4) se refieren específicamente a la cobertura de la especie, mientras que los primeros tres valores (r, + y 1) consisten mayormente de estimaciones de abundancia (o densidad) de individuos de la especie en la muestra.

4.1.6 Determinación de parámetros en laboratorio

La determinación de parámetros en laboratorio se realizó siguiendo todas las normas establecidas por el Standard Methods,

El procedimiento para obtener el Oxígeno Disuelto y DBO₅ se lo detalla en el ANEXO N° 4.

Mientras que el procedimiento para obtener los sólidos totales disueltos se los encuentra en el ANEXO N° 5.

4.1.7 Identificación de los diferentes grupos taxonómicos

Ya con los datos de campo se procede a identificar las familias de macro invertebrados. Las familias que no se pudieron identificar fueron llevadas donde un grupo de expertos que colaboraron con su identificación¹⁸ (ANEXO N° 3). Las

¹⁸ Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador

identificaciones se realizaron en base a las claves taxonómicas de Cummins y Merrit (1988), Domínguez (1992, 1994), Roldán (1996) y Fernández y Domínguez (2001).

Identificar los macro invertebrados es un proceso que requiere de una extensa experiencia, al usar cualquier clave de identificación es sumamente necesario leer las características distintivas y comparar con los otros grupos. Nunca se debe identificar al organismo con el más parecido, pues así se han cometido varios errores en este tipo de estudios¹⁹. Existen también claves pictóricas que son de gran ayuda al momento de identificar macro invertebrados. Donde se encuentran fotografías o dibujos de las diferentes especies junto con una breve descripción.

4.1.8 Cálculo del Índice Biótico de Familias (IBF)

Se obtuvo una completa colección de los grupos taxonómicos de las comunidades bentónicas de cada segmento estudiado del río, mediante muestreos cuantitativos, se recopiló el número de individuos de cada familia asignando a cada uno el puntaje de tolerancia de acuerdo a Hilsenhoff (1988) Y Lennat (1993) en base al ANEXO N° 6. En donde 0 representa el menos tolerante y el 10 corresponde al más tolerante a la contaminación orgánica

Con los niveles de tolerancia se procede a obtener el IBF, para lo cual se multiplica el valor de tolerancia por el número de individuos. Los resultados son sumados y divididos por el número total de individuos de cada estación, aplicando la siguiente fórmula:

$$IBF = \frac{1}{N} \sum (n_i * t_i)$$

Donde:

¹⁹ Figueroa R., Araya E., Parra O., Valdovinos C. "Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua"

ni: es el número de individuos en una familia;

ti: el valor de tolerancia de cada familia y;

N: el número total de individuos en la muestra (punto de muestreo).

Posteriormente los valores del IBF se expresan en 7 clases de calidad ambiental, correspondiente a una escala de condición biológica que fue desarrollada para determinar el grado de contaminación orgánica y la calidad del agua, como se muestra en la siguiente tabla N°8:

CLASE	IBF (HILSENHOFF 1988)	CARACTERISTICAS AMBIENTALES	SIMBOLOGIA
I	0,00 - 3,75	Excelente	Celeste
II	3,76 - 4,25	Muy bueno	Azul
III	4,26 - 5,00	bueno	Verde
IV	5,01 - 5,75	Regular	Amarillo
V	5,76 - 6,50	Relativamente malo	Café
VI	6,50 - 7,25	Malo	Naranja
VII	7,26 - 10,00	Muy malo	Rojo

Tabla N° 8: Calidad de agua en base a los valores del IBF de Hilsenhoff (1988)

4.1.9 Cálculo de Índices de abundancia de los macro invertebrados

Un índice de abundancia es un parámetro relacionado con la densidad o tamaño de la población el cual refleja los cambios que ocurren en la misma. Su utilidad se basa en la capacidad de comparar resultados con otros que se obtienen aplicando el mismo procedimiento. La obtención de un índice de abundancia no está sujeto a reglas, debido a que su aplicación depende de la creatividad y experiencia de la persona que realiza el muestreo de especies.

Para obtener la abundancia por punto de muestreo de macro invertebrados se uso la tabla N°9, en donde se cuenta los 100 primeros individuos y a la totalidad de la muestra se la clasifica en rangos del 1 al 4 (criterio determinado por Prat, 2000). Este procedimiento ha sido utilizado previamente en estudios realizados en la cuenca del río San Pedro²⁰

Abundancia en la muestra	Rango de abundancia
1-3 individuos	1
4-11 individuos	2
12-100 individuos	3
mayor a 100 individuos	4

Tabla N° 9: Rango de abundancia relativa (criterio de Prat, 2000)

4.1.10 Cálculo de Índices de diversidad de los macro invertebrados

La diversidad o riqueza de especies se refiere al número de diferentes individuos presentes en un área determinada como puede ser un ecosistema, un país, una región, etc.

El número de especies se puede contar en cualquier lugar en el que se tome muestras, esta medida da como resultado la biodiversidad del lugar y una base de comparación entre zonas. Es la medida general más inmediata, y en muchos aspectos más útil de la biodiversidad.

La riqueza de las especies varía según la zona geográfica en la que habita, en la áreas más cálidas tiende a haber más especies que en las frías, y las más húmedas son más ricas que las más secas; las zonas con menores variaciones estacionales suelen ser más ricas que aquellas con estaciones muy marcadas;

²⁰ B. Ríos, Prat F, Ternues J. - Estudio de las Condiciones de Referencia de las Cuencas de los Ríos Pita, San Pedro y Machángara

por último, las zonas con topografía y clima variados mantienen más especies que las uniformes.

Las especies similares se agrupan en géneros, los géneros en familias, las familias en órdenes y así sucesivamente hasta el nivel más elevado, que es el reino. Esta organización taxonómica es un intento de representar las verdaderas relaciones entre organismos, es decir, de reflejar la historia de la evolución, pues se considera que las especies agrupadas en un mismo género están más estrechamente relacionadas que las pertenecientes a géneros distintos, y lo mismo para los demás niveles taxonómicos.

4.2 Modelación de Oxígeno Disuelto

Se identificó todas las variables que se requieren para realizar el modelo matemático de Streeter-Phelps, para ello se obtuvo los caudales de las fuentes puntuales, las concentraciones en cada punto por medio de balance de masas y el cálculo de las constantes.

4.2.1 Cálculo de Caudales

Los caudales del Río San Pedro se obtuvieron en base al método del flotador en las salidas de campo en cada uno de los ocho puntos.

Los caudales de los afluentes del río Cachaco y Santa Clara (los más representativos) se obtuvieron de estudios anteriores realizados en el Río.

Se procedió a obtener los caudales de las fuentes puntuales a partir del número de habitantes de los diferentes centros poblados que se encuentran adyacentes al río que por pendiente descargan sus aguas residuales hacia el río San Pedro.

Según estudios realizados anteriormente se determinó que en promedio cada habitante descarga 200 lt/día de aguas residuales²¹, este valor se lo multiplicó por el número de habitantes aledaños de la zona.

²¹ Estudios y Diseños para el tratamiento de Aguas Servidas Mediante el Sistema de Filtros Verdes para el Campus Politécnico – ESPE

El número aproximado de habitantes aledaños al río San Pedro se determinó con ayuda de los datos del INEC y del GIS.

4.2.2 Cálculo de concentraciones

Para las concentraciones de las cargas puntuales de Amaguaña, Sangolquí, San Rafael 1, San Rafael 2, La Armenia y Guangopolo se utilizó el valor promedio de DBO, que es de 200 mg/lit.²²

Luego se realizó un balance de masas, donde las concentraciones de salida de cada tramo sirvieron como concentraciones iniciales del siguiente tramo.

Se analizó un total de 8 tramos y se realizó una simulación en cada uno para evaluar el comportamiento del modelo en donde se puede apreciar la variación de la concentración de materia orgánica y oxígeno disuelto a través de la distancia.

Los resultados obtenidos a través de los ocho tramos se los comparan con los datos reales tomados en campo (un total de ocho puntos) y se obtiene el porcentaje de error del modelo.

Los datos tomados en campo de velocidad, profundidad y caudal son ingresados en las diferentes simulaciones para acercar el modelo a la realidad.

Los resultados de las concentraciones de DBO son comparados con los parámetros deseados, de acuerdo al TULAS (Texto Unificado) el límite permisible para agua potable es de 2 mg/lit y de 35 mg/lit para uso agrícola y riego según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)

²² Ramalho R., Tratamiento de Aguas Residuales

La siguiente tabla nos muestra los colores utilizados en el Mapa N°3 para representar la variación de materia orgánica en el tramo analizado del Río San Pedro

	NIVEL DBO (mg/lit)			
SIMBOLOGIA	0 - 2	2 - 5	5 - 9	9 o más

Tabla N° 10: Simbología para la variación de DBO en el Tramo de estudio

Los resultados de la concentración de OD son comparados con los parámetros deseados, la concentración saludable y el estándar de calidad típica de O₂ en agua dulce de río es de 3 a 5 mg/lit²³.

La siguiente tabla nos muestra los colores utilizados en el Mapa N°4 para representar la variación de materia orgánica en el tramo analizado del Río San Pedro.

	NIVEL OD (mg/lit)			
SIMBOLOGIA	0 - 2	2 - 4	4 - 6	6 - 10

Tabla N° 11: Simbología para la variación de OD en el Tramo de estudio

4.2.3 Cálculo de las constantes

Con los datos que se obtiene en laboratorio de las mediciones de DBO, es posible despejar la constante K y se puede obtener su valor para cada uno de los ocho puntos, se debe despreciar los valores menos representativos.

Para la constante k_a se consideró el efecto de la temperatura corrigiendo cada una de las constantes a la temperatura del río. De igual forma solo se tomó en cuenta los valores más representativos para sacar un valor promedio.

²³ Ramos R., Villalobos F. - El agua en el Medio Ambiente: muestreo y análisis

CAPITULO V

DATOS

5.1 Datos experimentales

En las tres salidas de campo se obtuvo las siguientes características físicas del río

	PRIMER MUESTREO							
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8
Tiempo (s)	12.89	11.58	15.54	15.98	16.52	29.39	19.68	16.56
Distancia (m)	10	10	10	10	10	10	10	10
Velocidad (m/s)	0.77	0.86	0.64	0.62	0.60	0.34	0.50	0.60
Profundidad (m)	0.80	0.75	0.54	0.60	0.65	0.20	0.25	0.28
Ancho (m)	8.5	7.5	6.5	6	6.5	7	9	8.5
Área Sección T(m ²)	6.80	5.62	3.57	3.6	4.22	1.40	2.25	2.38
	SEGUNDO MUESTREO							
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8
Tiempo (s)	12.28	11.35	15.35	15.11	15.6	28.73	18.17	16.02
Distancia (m)	10	10	10	10	10	10	10	10
Velocidad (m/s)	0.81	0.88	0.65	0.66	0.63	0.34	0.55	0.62
Profundidad (m)	0.80	0.75	0.54	0.60	0.65	0.20	0.25	0.28
Ancho (m)	8.5	7.5	6.5	6	6.5	7	9	8.5
Área Sección T(m ²)	6.80	5.62	3.57	3.6	4.22	1.40	2.25	2.38
	TERCER MUESTREO							
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8
Tiempo (s)	11.90	10.24	14.89	14.98	14.6	27.62	16.84	15.3
Distancia (m)	10	10	10	10	10	10	10	10
Velocidad (m/s)	0.84	0.97	0.67	0.66	0.68	0.36	0.59	0.65
Profundidad (m)	0.80	0.75	0.54	0.60	0.65	0.20	0.25	0.28
Ancho (m)	8.5	7.5	6.5	6	6.5	7	9	8.5
Área Sección T(m ²)	6.80	5.62	3.57	3.6	4.22	1.40	2.25	2.38

Tabla N° 12: Características físicas del Río San Pedro

De igual forma in situ se obtuvo los siguientes parámetros del río

	PRIMER MUESTREO							
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8
Temperatura (°C)	9	15	16	16.8	16.5	17	19	19.5
pH	7.96	8.19	8.69	8.6	8.71	8.76	8,77	8.82
Conductividad (µsm)	0.65	0.67	0.72	0.74	0.76	0.68	0,55	0.51
	SEGUNDO MUESTREO							
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8
Temperatura (°C)	14	14	15	15	15.5	16	17	18
pH	7.63	8.14	8.26	8.54	8.47	8.63	8.39	8.29
Conductividad (µsm)	0.42	0.52	0.65	0.54	0.58	0.48	0.56	0.53
	TERCER MUESTREO							
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8
Temperatura (°C)	14	16	16	17	18	21	22	22
pH	8.25	8.23	8.10	8.06	8.40	7.83	7.98	7.92
Conductividad (µsm)	0.69	0.68	0.70	0.71	0.75	0.64	0.57	0.50

Tabla N° 13: Parámetros físico-químicos del Río San Pedro

Para los afluentes del río se tiene los siguientes datos

	PRIMER MUESTREO				
	(Q. Guamba)	(R. Cachaco)	(Río Sta Clara)	(río Capelo)	(Río Pita)
Caudal (m^3/s)	0.26*	0.56*	0.54*	0.18*	0.10
Temperatura (°C)	9.5	17.9	17.3	16.8	17.5
	SEGUNDO MUESTREO				
	(Q. Guamba)	(R. Cachaco)	(Río Sta Clara)	(río Capelo)	(Río Pita)
Caudal (m^3/s)	0.15*	0.37*	0.24*	0.15*	0.12
Temperatura (°C)	14.5	15.9	16	16.5	16.8
	TERCER MUESTREO				
	(Q. Guamba)	(R. Cachaco)	(Río Sta Clara)	(río Capelo)	(Río Pita)
Caudal (m^3/s)	0.16*	0.44*	0.28*	0.16*	0.15
Temperatura (°C)	14.8	17	17.9	18.2	18.9

Tabla N° 14: Datos de los afluentes del Río San Pedro

Los datos de Caudal señalados con asteriscos fueron obtenidos de la tesis: Aplicación de un modelo de materia orgánica para la determinación de la

contaminación por materia orgánica del Rio San Pedro en el tramo comprendido entre Tambillo y La Armenia, Proaño C. 2007

Las distancias aplicadas para cada tramo se muestran a continuación, en un total de ocho tramos:

TRAMO 1	F. Puntual Amaguaña	F. Puntual Sangolquí
Distancia (m)	0	6746

TRAMO 2	F. Puntual Sangolquí	Afluente R. Cachaco
Distancia (m)	0	2167

TRAMO 3	Afluente R. Cachaco	F. Puntual San Rafael 1
Distancia (m)	0	123

TRAMO 4	F. Puntual San Rafael 1	Afluente R. Sta. Clara
Distancia (m)	0	699

TRAMO 5	Afluente R. Sta. Clara	F. Puntual San Rafael 2
Distancia (m)	0	1032

TRAMO 6	F. Puntual San Rafael 2	F. Puntual La Armenia
Distancia (m)	0	4408

TRAMO 7	F. Puntual La Armenia	F. Puntual Guangopolo
Distancia (m)	0	1626

TRAMO 8	F. Puntual Guangopolo	Punto 8
Distancia (m)	0	1664

CAPITULO VI

CALCULOS Y RESULTADOS

6.1 Cálculo del Caudal Volumétrico

Con la ecuación (33) y con los datos de la Tabla N°10 se calcula el caudal en los ocho puntos de muestreo para las tres salidas de campo.

Para el PUNTO 1:

$$Q = V * At$$

$$Q = 0.775 \text{ m/s} * 6.800 \text{ m}^2$$

$$Q = 5.27 \text{ m}^3/\text{s}$$

Caudal (m ³ /s)	PRIMER MUESTREO							
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8
	5.27	4.85	2.30	2.25	2.55	0.47	1.14	1.43
Caudal (m ³ /s)	SEGUNDO MUESTREO							
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8
	5.53	4.95	2.32	2.38	2.69	0.48	1.23	1.48
Caudal (m ³ /s)	TERCER MUESTREO							
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8
	5.71	5.49	2.40	2.40	2.88	0.50	1.33	1.55

Tabla N° 15: Caudal volumétrico de los ocho puntos de muestreo

Para el cálculo del caudal de las fuentes puntuales se utilizó el dato de 200 lt/día de aguas residuales por habitante, se obtuvo los siguientes resultados:

Número Habitantes en Amaguaña = 10613

Q (fuente puntual)= 200 lt/día *10613 habitantes

Q (fuente puntual)= 2122650 lt/día

Q (fuente puntual)= 0.02 m³/s

	Q Amaguaña	Q Sangolquí	Q San Rafael 1	Q San Rafael 2	Q Armenia	Q Guangopolo
Caudal (m³/s)	0.02	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01

Tabla N°16: Caudales de las fuentes puntuales

6.2 Resultados de los parámetros medidos en laboratorio

Como se describe en los ANEXOS N° 4 y 5 se obtuvo las siguientes tablas de resultados de los tres muestreos realizados

	PRIMER MUESTREO							
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8
DBO5 (ppm O2)	1.5	2,1	4.1	6.6	7.5	6.4	7.9	9.2
OD (mg/l)	7.8	7.6	5.2	6,5	6.3	6.2	6.2	6
Sólidos totales (mg/lt)	0.234	0.368	0.232	0.352	0.29	0.118	0.458	0.422
	SEGUNDO MUESTREO							
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8
DBO5 (ppm O2)	2.5	2.0	6.0	6.7	6.9	9.1	10.0	11.3
OD (mg/l)	7.5	7.3	5.3	4.8	6.5	5.4	5.6	5.8
Sólidos totales (mg/lt)	0.462	0.450	0.406	0.384	0.32	0.520	0.452	0.378
	TERCER MUESTREO							
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8
DBO5 (ppm O2)	1.7	1.5	3.9	3.9	4.9	6.6	8.2	9.1
OD (mg/l)	7.4	7.3	5.6	5.5	5.8	4.2	5.1	5.5
Sólidos totales (mg/lt)	0.669	0.764	0.521	0.593	0.551	0.620	0.698	0.364

Tabla N°17: Parámetros del río San Pedro medidos en laboratorio

	PRIMER MUESTREO				
	(Q. guamba)	(R. Cachaco)	(Río Sta Clara)	(río Capelo)	(Río Pita)
OD (mg/l)	-	5.9	6.7	-	-
DBO5 (ppm O2)	8.12	13.93	6.87	8.75	6.98
	SEGUNDO MUESTREO				
	(Q. guamba)	(R. Cachaco)	(Río Sta Clara)	(río Capelo)	(Río Pita)
OD (mg/l)	-	5.1	6.2	-	-
DBO5 (ppm O2)	7.42	12.61	6.57	8.57	5.90
	TERCER MUESTREO				
	(Q. guamba)	(R. Cachaco)	(Río Sta Clara)	(río Capelo)	(Río Pita)
OD (mg/l)	-	5.5	6.5	-	-
DBO5 (ppm O2)	7.12	12.50	6.16	8.21	6.10

Tabla N°18: Parámetros de los afluentes del Río San Pedro medidos en laboratorio

6.3 Cálculo de las concentraciones de materia orgánica y oxígeno disuelto

Los valores utilizados para obtener el modelo de Déficit de Oxígeno disuelto son los siguientes:

	Caudal (m ³ /s)	V (m/día)	Prof (m)	OD (mg/l)	DBOo (mg/l)	T (°C)
Punto 1	5.27	66528	0.80	7.8	1.73	9
Punto A (Amaguaña)	0.02	-	-	0	200	10
Punto 2	4.85	77304	0.75	7.6	2.42	15
Punto B (Sangolquí)	0.03	-	-	0	200	14
Punto 3	2.30	55296	0.54	5.2	4.74	16
Punto C (Cachaco)	0.56	-	-	5.9	16.11	9.5
Punto D (San Rafael 1)	0.03	-	-	0	200	15
Punto 4	2.25	53568	0.60	6.5	7.63	16.8
Punto E (Sta. Clara)	0.54	-	-	6.7	7.94	17.3
Punto F (San Rafael 2)	0.03	-	-	0	200	16
Punto 5	2.53	51840	0.65	6.3	8.67	16.5
Punto6	0.47	29376	0.20	6.2	7.40	17
Punto G (La Armenia)	0.01	-	-	0	200	18
Punto 7	1.14	43200	0.25	6.2	9.13	19
Punto H (Guangopolo)	0.01	-	-	0	200	19
Punto 8	1.43	51840	0.28	6	10.63	19.5

Tabla N°19: Valores utilizados para obtener el primer modelo de OD

	Caudal (m ³ /s)	V (m/día)	Prof (m)	OD (mg/l)	DBOo (mg/l)	T (°C)
Punto 1	5.53	69984	0.80	7.5	2.89	14
Punto A (Amaguaña)	0.02	-	-	0	200	14
Punto 2	4.95	76032	0.75	7.6	2.31	14
Punto B (Sangolquí)	0.03	-	-	0	200	15
Punto 3	2.32	56160	0.54	5.3	6.93	15
Punto C (Cachaco)	0.37	-	-	6.9	12.61	15
Punto D (San Rafael 1)	0.03	-	-	0	200	15
Punto 4	2.38	57024	0.60	4.8	7.74	15
Punto E (Sta. Clara)	0.24	-	-	5.4	6.57	15
Punto F (San Rafael 2)	0.03	-	-	0	200	15
Punto 5	2.69	54432	0.65	6.3	7.97	15.5
Punto6	0.48	29376	0.20	5.2	10.52	16
Punto G (La Armenia)	0.01	-	-	0	200	16
Punto 7	1.23	47520	0.25	5.6	11.56	17
Punto H (Guangopolo)	0.01	-	-	0	200	17
Punto 8	1.48	53568	0.28	5.8	13.06	18

Tabla N°20: Valores utilizados para obtener el segundo modelo de OD

	Caudal (m ³ /s)	V (m/día)	Prof (m)	OD (mg/l)	DBOo (mg/l)	T (°C)
Punto 1	5.71	72576	0.80	7.4	1.96	14
Punto A (Amaguaña)	0.02	-	-	0	200	15
Punto 2	5.49	83808	0.75	7.3	1.73	16
Punto B (Sangolquí)	0.03	-	-	0	200	16
Punto 3	2.40	57888	0.54	5.6	4.51	16
Punto C (Cachaco)	0.44	-	-	5.5	12.50	16
Punto D (San Rafael 1)	0.03	-	-	0	200	17
Punto 4	2.40	57024	0.60	5.5	4.51	17
Punto E (Sta. Clara)	0.28	-	-	6.5	6.16	17
Punto F (San Rafael 2)	0.03	-	-	0	200	18
Punto 5	2.88	58752	0.65	5.8	5.66	18
Punto6	0.50	31104	0.20	4.2	7.63	21
Punto G (La Armenia)	0.01	-	-	0	200	21
Punto 7	1.33	33696	0.25	5.1	9.48	22
Punto H (Guangopolo)	0.01	-	-	0	200	22
Punto 8	1.55	56160	0.28	5.5	10.52	22

Tabla N°21: Valores utilizados para obtener el tercer modelo de OD

6.3.1 Cálculo de las constantes (K y Ka)

Despejando K de la ecuación (9) se obtiene los siguientes resultados

$$K = \text{Ln} \frac{C_{A0}}{C_A} * \frac{V}{X}$$

$$K = \text{Ln} \frac{2.42}{1.73} * \frac{66528}{4210}$$

$$K=5.30 \text{ dia}^{-1}$$

	PRIMER MUESTREO	SEGUNDO MUESTREO	TERCER MUESTREO
	K (dia-1)	K (dia-1)	K (dia-1)
punto1	5,30	-3,72	-2,15
punto2	14,02	23,44	22,54
punto3	12,15	2,86	0,00
punto4	3,42	0,83	6,48
punto5	-9,81	18,05	20,96
punto6	1,66	0,75	1,82
punto7	2,37	2,09	1,27

Tabla Nº22: Resultado de los valores de la constante K

Para obtener el valor de k se obtuvo un promedio de los valores mas representativos, los valores señalados con gris no se tomo en cuenta. Así para el primer muestreo K=3.19, para el segundo muestreo k=1.64 y para el tercer muestreo k=2.39

Con la Ecuación (16) y con los datos de las Tablas 17, 18 y 19 para cada muestreo se obtiene la constante Ka

$$k_a = \frac{12.9 U^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{2}}}$$

$$k_a = \frac{12.9 2.53^{\frac{1}{2}}}{2.62^{\frac{3}{2}}}$$

$$k_a = 4.82 \text{ dia}^{-1} \text{ a } 20^{\circ}\text{C}$$

Para obtener el valor de Ka a la temperatura ambiente se utiliza la formula (29)

$$k_a = k_{a,20^{\circ}C} \theta^{T-20}$$

Para la temperatura medida en campo que se encuentra en el rango de 4- 20°C se puede asumir el valor de 1.135 para θ , y mayores a ese rango se puede asumir el valor de 1.065 para θ

$$k_a = 4.82 * 1.135^{9-20}$$

$$k_a = 1.19 \text{ dia}^{-1}$$

	PRIMER MUESTREO	SEGUNDO MUESTREO	TERCER MUESTREO
	Ka (dia-1)	Ka (dia-1)	Ka (dia-1)
Punto1	1,1978	2,3139	2,3139
Punto2	2,9812	2,657	3,4228
Punto3	4,7778	4,2423	4,815
Punto4	4,4432	3,6499	4,7019
Punto5	3,732	3,3693	4,6241
Punto6	17,536	15,45	27,306
Punto7	19,602	15,959	26,466
Punto 8	19,3	16,225	23,707

Tabla N°23: Resultados de los valores de la constante Ka

El promedio de los valores más representativos en el primer muestreo para Ka es 3.43, para el segundo muestreo es 3.25 y para el tercer muestreo 3.98.

6.3.2 Cálculo de las concentraciones de materia orgánica

Aplicando las fórmulas matemáticas del modelo de Streeter-Phelps, con los datos de los tres muestreos realizados, llegamos a obtener los modelos de Materia Orgánica y Oxígeno disuelto que se presentan a continuación.

Se debe recordar que las concentraciones de salida del primer punto se convierten en las concentraciones de entrada del siguiente punto.

- ⊙ Cálculo de la concentración en el Punto A (Amaguaña), con la ecuación (4) y los datos de caudales y concentraciones de DBo

$$CA = \frac{(Ci * Qi) + (C * Q)}{(Qi + Q)}$$

$$CA = \frac{(1.73 * 5.27) + (200 * 0.02)}{(5.27 + 0.02)}$$

$$CA = 2.48 \text{ mg/lit}$$

- ⊙ Cálculo de la concentración que ingresa al Punto B (Salgolquí) con la ecuación (9)

$$CA' = CA * e^{-kx/v}$$

$$CA' = 2.48 * e^{\frac{(-3.19)(6746.19)}{74304}}$$

$$CA' = 1.85 \text{ mg/lit}$$

- ⊙ Cálculo de la concentración en el Punto B (Sangolquí)

$$CA = \frac{(Ci * Qi) + (C * Q)}{(Qi + Q)}$$

$$CA = \frac{(1.85 * 4.85) + (200 * 0.03)}{(4.85 + 0.03)}$$

$$CA = 3.07 \text{ mg/lit}$$

- ⊙ Cálculo de la concentración que ingresa al punto C (Cachaco)

$$CA' = CA * e^{-kx/v}$$

$$CA' = 3.07 * e^{\frac{(-3.19)(2167.78)}{55296}}$$

$$CA' = 2.71 \text{ mg/t}$$

	PUNTO A Amaguaña	PUNTO B Sangolquí	PUNTO C Cachaco	PUNTO D S. Rafael 1	PUNTO E Sta. Clara	PUNTO F S. Rafael 2	PUNTO G Armenia	PUNTO H Guangopolo
Ci (mg/l)	1,730	1,856	2,713	5,299	7,487	7,123	5,986	8,894
Qi (m³/s)	5,270	4,850	2,300	2,300	2,250	2,250	0,470	1,140
C (mg/l)	200	200	16,11	200	7,94	200	200	200
Q (m³/s)	0,020	0,030	0,560	0,030	0,540	0,030	0,010	0,010
CA' (mg/l)	2,480	3,074	5,336	7,805	7,575	9,661	10,028	10,555
QA' (m³/s)	5,290	4,880	2,860	2,330	2,790	2,280	0,480	1,150

Tabla N°24: Resultados del modelo de materia orgánica del primer muestreo

En el ANEXO N° 8 se puede apreciar la variación de la concentración de materia orgánica a través de la distancia (cada 100 metros) del primer muestreo.

La comparación de los datos teóricos del modelo con los datos de campo, así como el porcentaje de error del modelo se presenta en la Tabla N° 25. En la Figura N° 15 se puede apreciar estos resultados.

Pto. Muestreo	X (m)	MODELO [DBO] (mg/l)	TERRENO [DBO] (mg/l)	ERROR %
1	0	1,73	1,73	0
2	4200	2,07	2,42	14,44
3	7700	2,92	4,74	38,35
4	9900	7,57	7,63	0,81
5	11900	9,05	8,67	4,37
6	12700	8,30	7,4	12,11
7	15400	6,19	9,13	32,23
8	19200	9,32	10,63	12,32

Tabla N° 25: Concentraciones de materia orgánica del modelo y del terreno

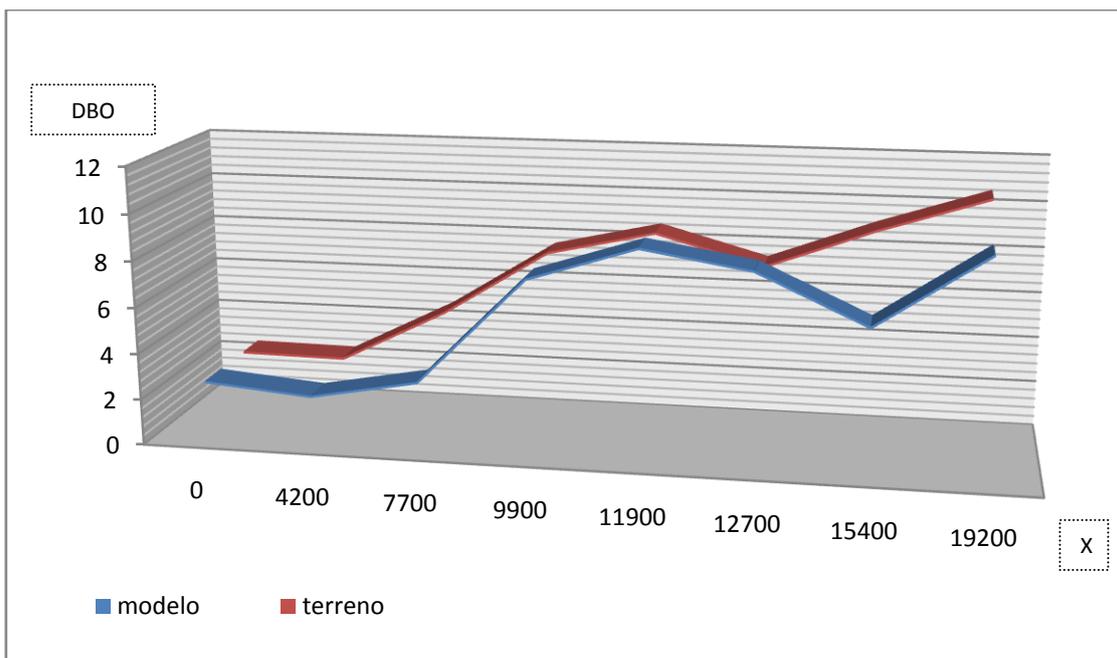


Figura N°15: Variación de la concentración de materia orgánica del modelo y del terreno a través de la distancia (Primer muestreo)

Al comparar los datos de campo con los datos teóricos de DBO_0 , se obtiene una validación buena del modelo en las fuentes puntuales B (14,44%), D (0,81%), E (4,37%), F (12,11%) y H (12,32%), pero en las fuentes puntuales C y G se tiene más del 30% de error, estos puntos corresponden al afluente del Río Cachaco y a la fuente puntual de la Armenia.

🌀 Para la segunda modelación de DBO_0 se obtuvo los siguientes resultados:

	PUNTO A Amaguaña	PUNTO B Sangolquí	PUNTO C Cachaco	PUNTO D S. Rafael 1	PUNTO E Sta. Clara	PUNTO F S. Rafael 2	PUNTO G Armenia	PUNTO H Guangopolo
Ci (mg/l)	2,89	3,11	4,04	5,68	7,99	7,49	7,73	11,02
Qi (m^3/s)	5,53	4,95	2,32	2,32	2,38	2,38	0,48	1,23
C (mg/l)	200,00	200,00	12,61	200,00	6,57	200,00	200,00	200,00
Q (m^3/s)	0,02	0,03	0,56	0,03	0,54	0,03	0,01	0,01
CA' (mg/l)	3,60	4,30	5,70	8,16	7,73	9,89	11,66	12,54
QA' (m^3/s)	5,55	4,98	2,88	2,35	2,92	2,41	0,49	1,24

Tabla N°26: Resultados del modelo de materia orgánica del segundo muestreo

En el ANEXO N° 9 se puede apreciar la variación de la concentración de materia orgánica a través de la distancia (cada 100 metros) del segundo muestreo.

La comparación de los datos teóricos del modelo con los datos de campo, así como el porcentaje de error del modelo se presenta en la Tabla N° 27. En la Figura N° 16 se puede apreciar estos resultados.

Pto. Muestreo	X (m)	MODELO [DBO] (mg/l)	TERRENO [DBO] (mg/l)	ERROR %
1	0	2,89	2,890	0
2	4200	3,29	2,31	42,36
3	7700	4,19	6,93	39,53
4	9900	8,04	7,74	3,82
5	11900	9,56	7,97	19,96
6	12700	9,14	10,52	13,09
7	15400	7,86	11,56	31,97
8	19200	11,92	13,06	8,76

Tabla N° 27: Concentraciones de materia orgánica del modelo y del terreno

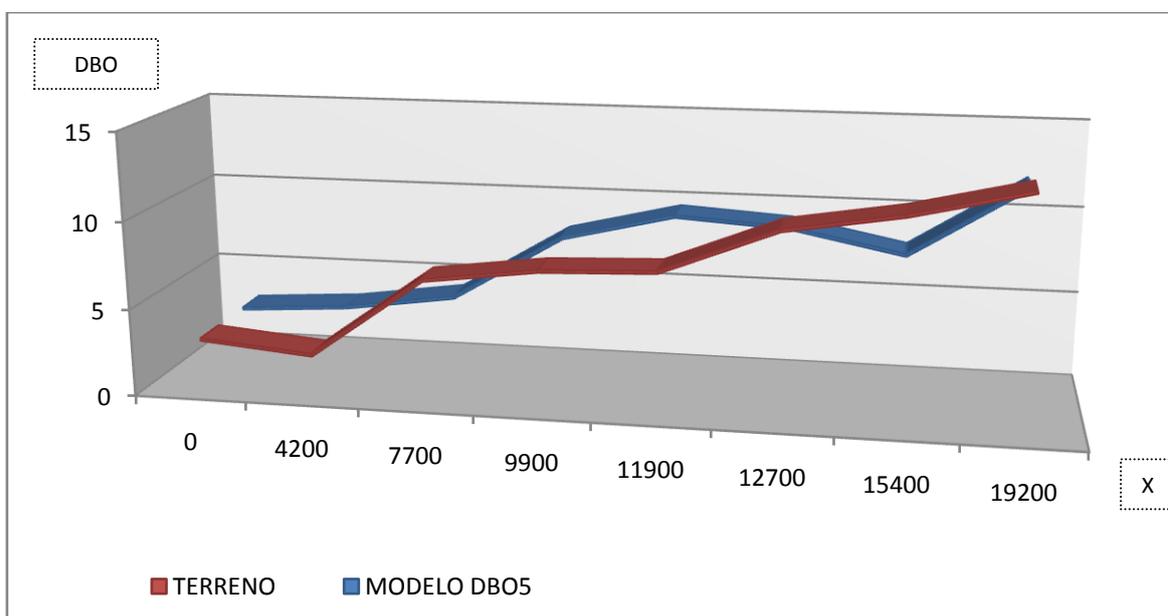


Figura N°16: Variación de la concentración de materia orgánica del modelo y del terreno, a través de la distancia (Segundo muestreo)

Al comparar los datos de campo para el segundo muestreo con los datos teóricos de DBO₀, se obtiene una validación buena del modelo en las fuentes

puntuales D (3,82%), E (19,96%), F (13,09%), y H (8,76%), pero en las fuentes puntuales B, C y G se tiene más del 30% de error, estos puntos corresponden a la fuente puntual de Salgolquí, al afluente del Río Cachaco y a la fuente puntual de la Armenia.

☺ Para la tercera modelación de DBO_0 se obtuvo los siguientes resultados:

	PUNTO A Amaguaña	PUNTO B Sangolquí	PUNTO C Cachaco	PUNTO D S. Rafael 1	PUNTO E Sta. Clara	PUNTO F.S. Rafael 2	PUNTO G Armenia	PUNTO H Guangopolo
Ci (mg/l)	1,960	2,187	2,983	4,435	6,652	6,321	6,209	8,919
Qi (m³/s)	5,710	5,490	2,400	2,400	2,400	2,400	0,500	1,330
C (mg/l)	200	200	12,50	200	6,16	200	200	200
Q (m³/s)	0,020	0,030	0,440	0,030	0,280	0,030	0,010	0,010
CA' (mg/l)	2,651	3,262	4,457	6,849	6,600	8,712	10,009	10,345
QA' (m³/s)	5,730	5,520	2,840	2,430	2,680	2,430	0,510	1,340

Tabla N°28: Resultados del modelo de materia orgánica del Tercer muestreo

En el ANEXO N° 10 se puede apreciar la variación de la concentración de materia orgánica a través de la distancia (cada 100 metros) del tercer muestreo.

La comparación de los datos teóricos del modelo con los datos de campo, así como el porcentaje de error del modelo se presenta en la Tabla N° 29. En la Figura N° 17 se puede apreciar estos resultados.

Pto. Muestreo	X (m)	MODELO [DBO] (mg/l)	TERRENO [DBO] (mg/l)	ERROR %
1	0	1,96	1,96	0
2	4200	2,35	1,73	35,95
3	7700	3,15	4,51	30,24
4	9900	6,70	4,51	48,61
5	11900	8,32	5,66	46,97
6	12700	7,82	7,63	2,53
7	15400	6,36	9,48	32,94
8	19200	9,63	10,52	8,34

Tabla N° 29: Concentraciones de materia orgánica del modelo y del terreno

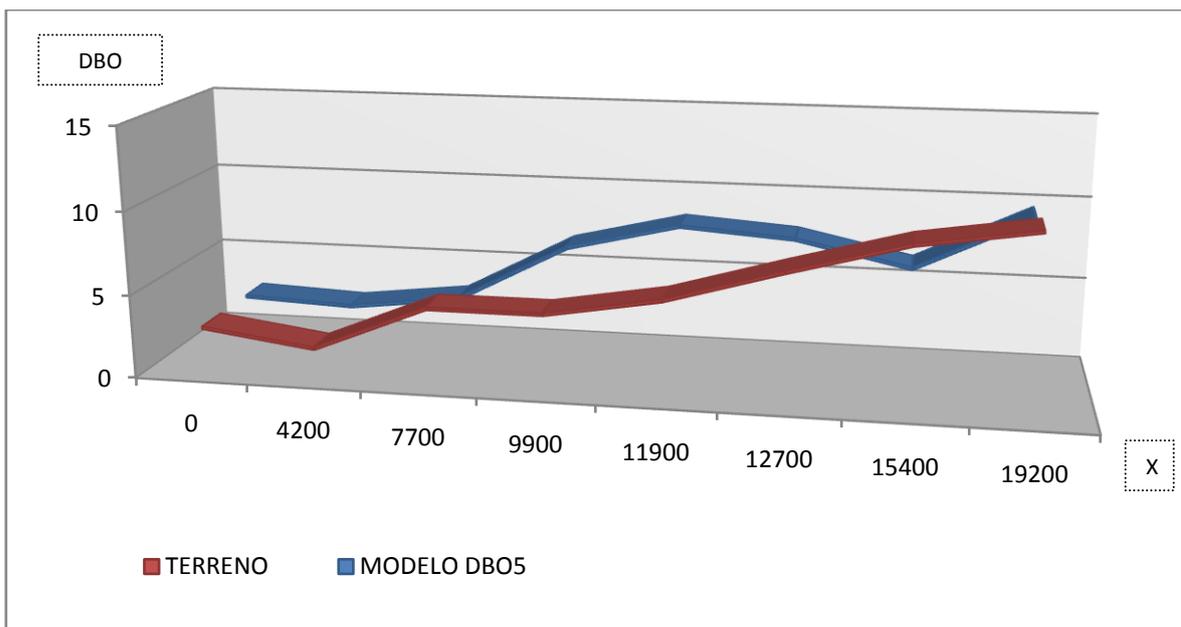


Figura N°17: Variación de la concentración de materia orgánica del modelo y del terreno, a través de la distancia (Tercer muestreo)

Al comparar los datos de campo para el tercer muestreo con los datos teóricos de DBO_0 , se obtiene una validación buena del modelo solo en dos fuentes puntuales F (2,53%) y H (8,34%), el resto de puntos sobrepasan el 30% de error.

La calidad del agua en base a la concentración de DBO se describe en la tabla N° 30. La simbología es utilizada en el Mapa N°3 de los anexos donde se puede observar la variación de la materia orgánica a través del Río San Pedro.

PRIMER MUESTREO				
PTO MUESTREO	CONCENTRACIÓN [DBO] (mg/l)	Para agua potable (según el TULAS)	Para riego (según la FAO)	SIMBOLOGÍA
1	1,73	Si es apta	Si es apta	Verde
2	2,07	No es apta	Si es apta	Amarillo
3	2,92	No es apta	Si es apta	Amarillo
4	7,57	No es apta	Si es apta	Tomate
5	9,05	No es apta	Si es apta	Rojo
6	8,30	No es apta	Si es apta	Tomate
7	6,19	No es apta	Si es apta	Tomate
8	9,32	No es apta	Si es apta	Rojo
SEGUNDO MUESTREO				
PTO MUESTREO	CONCENTRACIÓN [DBO] (mg/l)	Para agua potable (según el TULAS)	Para riego (según la FAO)	SIMBOLOGÍA
1	2,89	No es apta	Si es apta	Amarillo
2	3,29	No es apta	Si es apta	Amarillo
3	4,19	No es apta	Si es apta	Amarillo
4	8,04	No es apta	Si es apta	Tomate
5	9,56	No es apta	Si es apta	Rojo
6	9,14	No es apta	Si es apta	Rojo
7	7,86	No es apta	Si es apta	Tomate
8	11,92	No es apta	Si es apta	Rojo
TERCER MUESTREO				
PTO MUESTREO	CONCENTRACIÓN [DBO] (mg/l)	Para agua potable (según el TULAS)	Para riego (según la FAO)	SIMBOLOGÍA
1	1,96	Si es apta	Si es apta	Verde
2	2,35	No es apta	Si es apta	Amarillo
3	3,15	No es apta	Si es apta	Amarillo
4	6,70	No es apta	Si es apta	Tomate
5	8,32	No es apta	Si es apta	Tomate
6	7,82	No es apta	Si es apta	Tomate
7	6,36	No es apta	Si es apta	Tomate
8	9,63	No es apta	Si es apta	Rojo

Tabla Nº 30: Calidad del agua del Río San Pedro en base a la concentración de DBO

6.3.3 Cálculo de las concentraciones de oxígeno disuelto

El ejemplo para el cálculo de la concentración de oxígeno disuelto se muestra a continuación

- ④ Cálculo de la concentración en el Punto A (Amaguaña), con la ecuación (4) y los datos de caudales y concentraciones de OD

$$C_o = \frac{(7.80 * 5.27) + (0 * 0.02)}{(5.27 + 0.02)}$$

$$C_o = 7.77$$

- ④ Cálculo de la concentración de saturación de oxígeno en el punto A (Amaguaña), con la ecuación (12)

$$C_s = 14.652 - 0.41022T + 0.0079910T^2 - 0.000077774T^2$$

$$C_s = 14.652 - 0.41022(10) + 0.0079910(10)^2 - 0.000077774(10)^2$$

$$C_s = 11.34$$

- ④ Cálculo del déficit de oxígeno en el tramo A-B (Amaguaña-Sangolquí), con la ecuación (13)

$$D_o = C_s - C_o$$

$$D_o = 11.34 - 7.77$$

$$D_o = 3.57$$

Con la ecuación (24)

$$D = \frac{k_d}{k_a - k_d} (e^{-k_r \frac{x}{\bar{v}}} - e^{-k_a \frac{x}{\bar{v}}}) L_{o+} + D_o e^{-k_a \frac{x}{\bar{v}}}$$

$$D = \frac{3.19}{3.43 - 3.19} (e^{-3.19 \frac{6746.19}{66528}} - e^{-3.43 \frac{6746.19}{66528}}) 1.73 + 3.57 e^{-3.43 \frac{6746.19}{66528}}$$

$$D = 2.92$$

Con la ecuación (11) se obtiene la concentración de oxígeno al tiempo t

$$C = C_s - D$$

$$C = 11.34 - 2.92$$

$$C = 8.42$$

- ④ Cálculo del déficit de oxígeno que ingresa punto B (Sangolquí), con la ecuación (14)

$$D_o' = D_o * e^{-k_a * x / v}$$

$$D_o' = 3.57 * e^{-3.43 * 6746.19 / 66528}$$

$$D_o' = 2.52$$

- ④ Cálculo de la concentración en el punto B (Salgolqui)

$$C_o = \frac{(4.85 * 2.52) + (0 * 0.03)}{(4.88)}$$

$$C_o = 2.51$$

$$C_s = 14.652 - 0.41022T + 0.0079910T^2 - 0.000077774T^2$$

$$C_s = 14.652 - 0.41022(14) + 0.0079910(14)^2 - 0.000077774(14)^2$$

$$C_s = 10.46$$

- ④ Cálculo del déficit de oxígeno en el tramo B-C (Sangolquí-Cachaco)

$$D_o = C_s - C_o$$

$$D_o = 10.46 - 2.51$$

$$D_o = 7.95$$

$$D = \frac{k_d}{k_a - k_d} (e^{-k_r \frac{x}{v}} - e^{-k_a \frac{x}{v}}) L_{o+} + D_o e^{-k_a \frac{x}{v}}$$

$$D = \frac{3.19}{3.43 \cdot 3.19} \left(e^{-3.19 \frac{2167}{77304}} - e^{-3.43 \frac{2167}{77304}} \right) 7.95 e^{-3.43 \frac{2167}{77304}}$$

$$D = 7.38$$

$$C = C_s - D$$

$$C = 10.46 - 7.38$$

$$C = 3.08$$

🕒 Cálculo del déficit de oxígeno que ingresa punto C (Cachaco)

$$D_o' = D_o * e^{-ka*x/v}$$

$$D_o' = 7.95 * e^{-3.43*2167/77304}$$

$$D_o' = 7.22$$

Para la primera modelación de OD se obtuvo los siguientes resultados:

	PUNTO A Amaguaña	PUNTO B Sangolquí	PUNTO C Cachaco	PUNTO D S. Rafael 1	PUNTO E Sta. Clara	PUNTO F S. Rafael 2	PUNTO G Armenia	PUNTO H Guangopolo
Qi (m³/s)	5,27	4,85	2,30	2,30	2,25	2,25	0,47	1,14
Ci (mg/l)	7,80	2,52	7,22	4,59	5,51	3,92	4,71	4,32
Ca (mg/l)	0,00	0,00	5,29	0,00	6,70	0,00	0,00	0,00
Qa (m³/s)	0,02	0,03	0,56	0,03	0,54	0,03	0,01	0,01
Co (mg/l)	7,77	2,51	6,85	4,53	5,74	3,87	4,61	4,28
Qo (m³/s)	5,29	4,88	2,86	2,33	2,79	2,28	0,48	1,15
Cs (mg/l)	11,34	10,46	11,47	10,28	9,92	10,11	9,83	9,71
Do (mg/l)	3,57	7,95	4,62	5,75	4,19	6,25	5,22	5,43
Do` (mg/l)	2,52	7,22	4,59	5,51	3,92	4,71	4,32	4,76
V (m/d)	66528	77304	55296	55296	53568	53568	29376	43200
H (m)	0,8	0,75	0,54	0,54	0,60	0,60	0,20	0,25
Ka (1/d)	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43
Kd (1/d)	3,19	3,19	3,19	3,19	3,19	3,19	3,19	3,19
Kr (1/d)	3,19	3,19	3,19	3,19	3,19	3,19	3,19	3,19
D (mg/l)	2,92	7,38	4,61	5,71	4,35	6,13	5,20	5,72
Lo (mg/l)	1,73	1,85609	2,7128	5,2985	7,487	7,1232	5,9862	8,8937
c (mg/l)	8,42	3,08	6,86	4,57	5,57	3,98	4,64	3,99

Tabla N°31: Resultados del modelo de OD (Primer muestreo)

En el ANEXO N° 11 se puede apreciar la variación de la concentración de oxígeno disuelto OD a través de la distancia (cada 100 metros) del primer muestreo.

La comparación de los datos teóricos del modelo con los datos de campo, así como el porcentaje de error del modelo se presenta en la Tabla N° 32. En la Figura N° 18 se puede apreciar estos resultados.

Pto. Muestreo	X (m)	MODELO [OD] (mg/l)	TERRENO [OD] (mg/l)	ERROR %
1	0	7,80	7,80	0
2	4200	8,54	7,6	12,33
3	7700	3,17	5,2	39,8
4	9900	4,62	6,5	28,97
5	11900	5,16	6,3	18,11
6	12700	4,86	6,2	21,62
7	15400	4,05	6,2	34,61
8	19200	3,98	6	33,61

Tabla N°32: Concentraciones de OD del modelo y del terreno

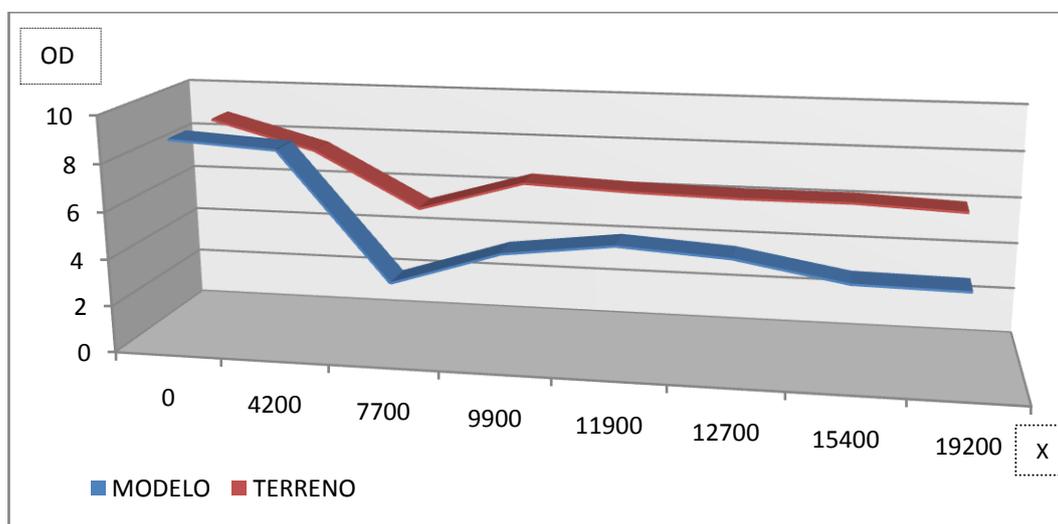


Figura N°18: Variación de la concentración de OD del modelo y del terreno, a través de la distancia (Primer muestreo)

Al analizar los datos de campo para el primer muestreo con los datos teóricos de OD, se obtiene una validación buena del modelo en las fuentes puntuales B

(12,33%), D (28,97%), E (18,11%), F (21,62%), mientras que en las fuentes G y H se obtiene porcentajes de error de más del 30%. En la fuente C (Río Cachaco) se obtiene el porcentaje de error más alto del 39,8%.

Para la segunda modelación de OD se obtuvo los siguientes resultados:

	PUNTO A Amaguaña	PUNTO B Sangolquí	PUNTO C Cachaco	PUNTO D S. Rafael 1	PUNTO E Sta. Clara	PUNTO F S. Rafael 2	PUNTO G Armenia	PUNTO H Guangopolo
Qi (m³/s)	5,53	4,95	2,32	2,32	2,38	2,38	0,48	1,23
Ci (mg/l)	7,50	2,55	7,56	2,80	7,37	3,00	6,44	3,47
Ca (mg/l)	0,00	0,00	6,90	0,00	5,40	0,00	0,00	0,00
Qa (m³/s)	0,02	0,03	0,37	0,03	0,24	0,03	0,01	0,01
Co (mg/l)	7,47	2,53	7,47	2,76	7,19	2,97	6,31	3,45
Qo (m³/s)	5,55	4,98	2,69	2,35	2,62	2,41	0,49	1,24
Cs (mg/l)	10,46	10,46	10,28	10,28	10,28	10,28	10,11	9,97
Do (mg/l)	2,99	7,93	2,81	7,52	3,09	7,31	3,80	6,52
Do` (mg/l)	2,55	7,56	2,80	7,37	3,00	6,44	3,47	6,16
V (m/d)	69984	76032	56160	56160	57024	57024	29376	47520
H (m)	0,8	0,75	0,54	0,54	0,60	0,60	0,20	0,25
Ka (1/d)	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25
Kd (1/d)	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64
Kr (1/d)	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64
D (mg/l)	2,91	7,70	2,81	7,48	3,23	7,23	4,09	6,74
Lo (mg/l)	2,89	3,11274	4,03511	5,6824	7,9929	7,4931	7,7322	11,02
c (mg/l)	7,55	2,76	7,47	2,80	7,05	3,05	6,03	3,23

Tabla N°33: Resultados del modelo de OD (Segundo muestreo)

En el ANEXO N° 12 se puede apreciar la variación de la concentración de oxígeno disuelto OD a través de la distancia (cada 100 metros) del segundo muestreo.

La comparación de los datos teóricos del modelo con los datos de campo, así como el porcentaje de error del modelo se presenta en la Tabla N° 34. En la Figura N° 19 se puede apreciar estos resultados.

Pto. Muestreo	X (m)	MODELO [OD] (mg/l)	TERRENO [OD] (mg/l)	ERROR %
1	0	7,50	7,50	0
2	4200	7,664	7,6	0,84
3	7700	2,838	5,3	46,46
4	9900	2,825	4,8	41,14
5	11900	3,710	6,3	41,11
6	12700	3,552	5,2	31,69
7	15400	3,095	5,6	44,73
8	19200	3,213	5,8	44,60

Tabla N°34: Concentraciones de OD del modelo y del terreno

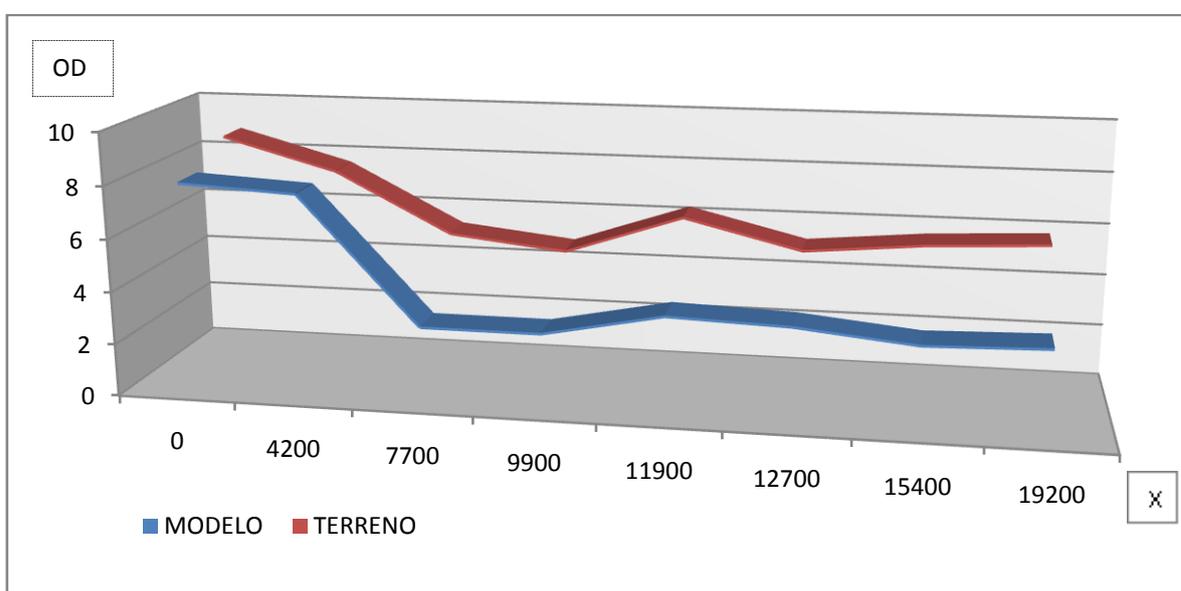


Figura N°19: Variación de la concentración de OD del modelo y del terreno, a través de la distancia (Segundo muestreo)

Al analizar los datos de campo para el segundo muestreo con los datos teóricos de OD, se obtiene una validación buena del modelo solo en la fuente puntual B (0.84%), mientras que en el resto de fuentes se obtiene porcentajes de error de más del 40%. En la fuente C (Río Cachaco) se obtiene el porcentaje de error más alto del 46,4%.

Para la tercera modelación de OD se obtuvo los siguientes resultados:

	PUNTO A Amaguaña	PUNTO B Sangolquí	PUNTO C Cachaco	PUNTO D S. Rafael 1	PUNTO E Sta. Clara	PUNTO F S. Rafael 2	PUNTO G Armenia	PUNTO H Guangopolo
Qi (m³/s)	5,71	5,49	2,40	2,40	2,40	2,40	0,50	1,33
Ci (mg/l)	7,40	2,84	6,85	3,45	6,50	4,42	4,55	4,48
Ca (mg/l)	0,00	0,00	5,50	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00
Qa (m³/s)	0,02	0,03	0,44	0,03	0,54	0,03	0,01	0,01
Co (mg/l)	7,37	2,83	6,64	3,41	5,36	4,36	4,46	4,44
Qo (m³/s)	5,73	5,52	2,84	2,43	2,94	2,43	0,51	1,34
Cs (mg/l)	10,28	10,11	10,11	9,97	9,97	9,83	9,53	9,46
Do (mg/l)	2,91	7,28	3,47	6,56	4,61	5,47	5,07	5,02
Do` (mg/l)	2,84	6,85	3,45	6,37	4,42	4,55	4,48	4,46
V (m/d)	722573	83808	57888	57888	57024	57024	31104	33696
H (m)	0,8	0,75	0,54	0,54	0,60	0,60	0,20	0,25
Ka (1/d)	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98
Kd (1/d)	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39
Kr (1/d)	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39
D (mg/l)	2,88	6,97	3,47	6,50	4,69	5,46	5,14	5,36
Lo (mg/l)	1,96	2,18724	2,98302	4,435	6,6516	6,3208	6,209	8,9187
c (mg/l)	7,40	3,14	6,64	3,47	5,28	4,37	4,39	4,10

Tabla N°35: Resultados del modelo de OD (Tercer muestreo)

En el ANEXO N° 13 se puede apreciar la variación de la concentración de oxígeno disuelto OD a través de la distancia (cada 100 metros) del tercer muestreo.

La comparación de los datos teóricos del modelo con los datos de campo, así como el porcentaje de error del modelo se presenta en la Tabla N° 36. En la Figura N° 20 se puede apreciar estos resultados.

Pto. Muestreo	X (m)	MODELO [OD] (mg/l)	TERRENO [OD] (mg/l)	ERROR %
1	0	7,40	7,4	0,00
2	4200	7,41	7,3	1,53
3	7700	3,21	5,6	42,73
4	9900	3,51	5,5	36,27
5	11900	5,13	5,8	11,64
6	12700	4,94	4,2	17,52
7	15400	4,41	5,1	13,44
8	19200	4,08	5,5	25,80

Tabla N°36: Concentraciones de OD del modelo y del terreno

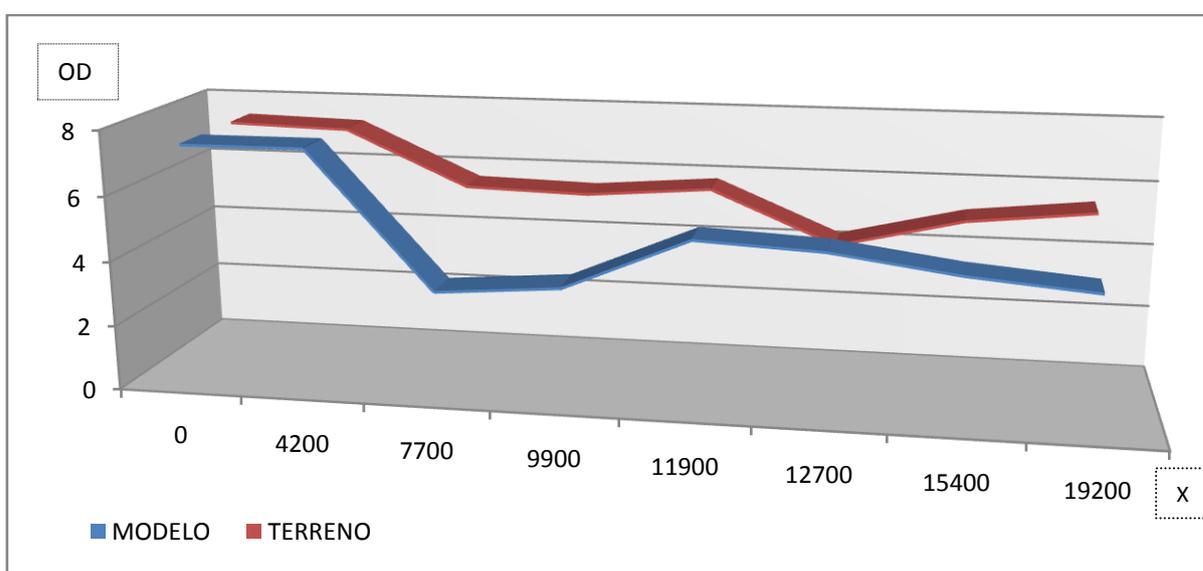


Figura N°20: Variación de la concentración de OD del modelo y del terreno, a través de la distancia (Tercer muestreo)

Al analizar los datos de campo para el tercer muestreo con los datos teóricos de OD, se obtiene una validación buena del modelo en las fuentes puntuales B (1,5%), E (11,64%), F (17,52%), G (13,44%) y H (25,80%). Mientras que en el resto de fuentes se obtiene porcentajes de error de más del 30%. En la fuente C (Río Cachaco) se obtiene el porcentaje de error más alto del 42,73%.

En todos los puntos la concentración de OD es saludable como se muestra en la tabla N° 37. La simbología es utilizada en el Mapa N°4 de los anexos donde se puede observar la variación de oxígeno disuelto a través del Río San Pedro.

PRIMER MUESTREO		
PTO MUESTREO	CONCENTRACION [OD] (mg/l)	SIMBOLOGÍA
1	7,80	Verde
2	8,54	Verde
3	3,17	Tomate
4	4,62	Amarillo
5	5,16	Amarillo
6	4,86	Amarillo
7	4,05	Amarillo
8	3,98	Tomate
SEGUNDO MUESTREO		
PTO MUESTREO	CONCENTRACION [OD] (mg/l)	SIMBOLOGÍA
1	7,50	Verde
2	7,664	Verde
3	2,838	Tomate
4	2,825	Tomate
5	3,710	Tomate
6	3,552	Tomate
7	3,095	Tomate
8	3,213	Tomate
TERCER MUESTREO		
PTO MUESTREO	CONCENTRACION [OD] (mg/l)	SIMBOLOGÍA
1	7,40	Verde
2	7,41	Verde
3	3,21	Tomate
4	3,51	Tomate
5	5,13	Amarillo
6	4,94	Amarillo
7	4,41	Amarillo
8	4,08	Amarillo

Tabla N° 37: Concentración de OD del agua del Río San Pedro y simbología

6.3.4 Cálculo del tiempo crítico, déficit crítico y concentración mínima de oxígeno

Con la ecuación (27) se calcula el tiempo crítico como se muestra a continuación:

$$t_c = \frac{1}{(k_a - k_r)} \ln \left\{ \frac{k_a}{k_r} \left[1 - \frac{D_o(k_a - k_r)}{k_d * L_0} \right] \right\}$$

$$t_c = \frac{1}{(3.43 - 3.19)} \ln \left\{ \frac{3.43}{3.19} \left[1 - \frac{3.57(3.43 - 3.19)}{3.19 * 1.73} \right] \right\}$$

$$t_c = 0.33$$

La siguiente tabla nos muestra los resultados para el tiempo crítico de los tres muestreos:

	Primer muestreo	Segundo muestreo	Tercer muestreo
tc (días)	0.33	-	2.44

Con la ecuación (25) se calcula el déficit crítico como se muestra en el ejemplo siguiente:

$$D_c = \frac{k_d}{k_a} L_0 e^{-k_r t_c}$$

$$D_c = \frac{3.19}{3.43} * 1.73 * e^{-3.19 * 0.33}$$

	Primer muestreo	Segundo muestreo	Tercer muestreo
Dc mg/lt	0.56	-	0.04

Con la ecuación (26) se calcula la concentración mínima de oxígeno

$$C_m = C_s - D_c$$

$$C_m = 11.34 - 0.56$$

$$C_m = 10.78$$

	Primer muestreo	Segundo muestreo	Tercer muestreo
Cm mg/lt	10.78	10.46	10.24

6.2 Grupos taxonómicos encontrados en las salidas de campo

Los resultados de la identificación de cada una de las familias muestreadas del Rio San Pedro son los siguientes:

CLASE	ORDEN	FAMILIA
<i>Insecta</i>	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>
<i>Insecta</i>	<i>Coleóptera</i>	<i>Elmidae</i>
<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>
<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Ceratopogonidae</i>
<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Simuliidae</i>
<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Tipulidae</i>
<i>Turbellaria</i>	<i>Tricladida</i>	<i>Planarian Platyhelminthes</i>
<i>Nematomorpha</i>	<i>Gordioidea</i>	<i>Gordiidae</i>
<i>Gastrópoda</i>	<i>Basommatophora</i>	<i>Physidae</i>
<i>Hirudinea</i>	<i>Arhynchobdellida</i>	<i>Hirudineo</i>
<i>Clitellata</i>	<i>Anélida</i>	<i>Oligochaeta</i>
<i>Malacostraca</i>	<i>Amphipoda</i>	<i>Hyaellidae</i>
<i>Bivalva</i>	<i>Veneroidea</i>	<i>Sphaeriidae</i>
<i>Gastrópoda</i>	<i>Basommatophora</i>	<i>Lymnaeidae</i>
<i>Hirudinea</i>	<i>Arhynchobdellida</i>	<i>Glossiphoniidae</i>

Tabla N° 38: Familias de macroinvertebrados del río San Pedro

Se encontró un total de 15 familias: *Baetidae*, *Elmidae*, *Chironomidae*, *Ceratopogonidae*, *Simuliidae*, *Tipulidae*, *Platyhelminthes*, *Gordiidae*, *Physidae*, *Hirudineo*, *Oligochaeta*, *Hyaellidae*, *Sphaeriidae*, *Lymnaeidae*, *Glossiphoniidae*. Seis corresponden a la clase *Insecta*, dentro de las cuales los dípteros son las que mayor número de familias presentan (en total 4 familias).

Todas las familias de macro invertebrados encontradas en nuestro muestreo se las puede apreciar en el ANEXO N°7.

6.2.1 Aplicación del Índice Biótico de Familias IBF.

Los resultados obtenidos del nivel de tolerancia de cada familia se describen en la siguiente tabla:

PTO.	CLASE	ORDEN	FAMILIA	NUMERO	NIVEL DE TOLERANCIA
1	<i>Insecta</i>	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	30	4
1	<i>Insecta</i>	<i>Diptera</i>	<i>Ceratopogonidae</i>	9	6
1	<i>Insecta</i>	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	8	6
1	<i>Insecta</i>	<i>Coleóptera</i>	<i>Elmidae</i>	10	4
1	<i>Huridinea</i>	<i>Arhynchobdellida</i>	<i>Glossiphoniidae</i>	3	10
1	<i>Nematomorpha</i>	<i>Gordioidea</i>	<i>Gordiidae</i>	20	6
1	<i>Malacostraca</i>	<i>Amphipoda</i>	<i>Hyaellidae</i>	15	8
1	<i>Gastropoda</i>	<i>Basommatophora</i>	<i>Lymnaeidae</i>	2	6
1	<i>Gastropoda</i>	<i>Basommatophora</i>	<i>Physidae</i>	45	8
1	<i>Turbellaria</i>	<i>Tricladida</i>	<i>Planarian</i> <i>Platyhelminthes</i>	6	4
1	<i>Bivalva</i>	<i>Veneroidea</i>	<i>Sphaeriidae</i>	3	8
2	<i>Insecta</i>	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	22	4
2	<i>Insecta</i>	<i>Diptera</i>	<i>Ceratopogonidae</i>	16	6
2	<i>Insecta</i>	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	10	6
2	<i>Insecta</i>	<i>Coleóptera</i>	<i>Elmidae</i>	4	4
2	<i>Huridinea</i>	<i>Arhynchobdellida</i>	<i>Glossiphoniidae</i>	6	10
2	<i>Nematomorpha</i>	<i>Gordioidea</i>	<i>Gordiidae</i>	150	6
2	<i>Malacostraca</i>	<i>Amphipoda</i>	<i>Hyaellidae</i>	10	8
2	<i>Clitellata</i>	<i>Anélida</i>	<i>Oligochaeta</i>	20	8
2	<i>Gastropoda</i>	<i>Basommatophora</i>	<i>Physidae</i>	16	8
2	<i>Hirudinea</i>	<i>Arhynchobdellida</i>	<i>Planarian</i> <i>Hirudineo</i>	12	10
2	<i>Turbellaria</i>	<i>Tricladida</i>	<i>Planarian</i> <i>Platyhelminthes</i>	18	4
2	<i>Insecta</i>	<i>Diptera</i>	<i>Tipulidae</i>	15	3
3	<i>Insecta</i>	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	8	4
3	<i>Insecta</i>	<i>Diptera</i>	<i>Ceratopogonidae</i>	25	6
3	<i>Insecta</i>	<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	8	6
3	<i>Nematomorpha</i>	<i>Gordioidea</i>	<i>Gordiidae</i>	200	6

3	<i>Malacostraca</i>	<i>Amphipoda</i>	<i>Hyalellidae</i>	8	8
3	<i>Gastropoda</i>	<i>Basommatophora</i>	<i>Physidae</i>	15	8
3	<i>Hirudinea</i>	<i>Arhynchobdellida</i>	<i>Planarian</i> <i>Hirudineo</i>	12	10
3	<i>Turbellaria</i>	<i>Tricladida</i>	<i>Planarian</i> <i>Platyhelminthes</i>	6	4
3	<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Tipulidae</i>	35	3
4	<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Ceratopogonidae</i>	6	6
4	<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>	7	6
4	<i>Nematomorpha</i>	<i>Gordioidea</i>	<i>Gordiidae</i>	220	6
4	<i>Malacostraca</i>	<i>Amphipoda</i>	<i>Hyalellidae</i>	5	8
4	<i>Gastropoda</i>	<i>Basommatophora</i>	<i>Physidae</i>	10	8
4	<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Tipulidae</i>	11	3
6	<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>	22	6
6	<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>	4	6
6	<i>Nematomorpha</i>	<i>Gordioidea</i>	<i>Gordiidae</i>	50	6
6	<i>Gastropoda</i>	<i>Basommatophora</i>	<i>Physidae</i>	5	8
6	<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Simuliidae</i>	10	6
7	<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>	30	6
7	<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>	4	6
7	<i>Hirudinea</i>	<i>Arhynchobdellida</i>	<i>Glossiphoniidae</i>	1	10
7	<i>Nematomorpha</i>	<i>Gordioidea</i>	<i>Gordiidae</i>	80	6
7	<i>Turbellaria</i>	<i>Tricladida</i>	<i>Planarian</i> <i>Platyhelminthes</i>	20	4
7	<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Simuliidae</i>	8	6
8	<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>	28	6
8	<i>Nematomorpha</i>	<i>Gordioidea</i>	<i>Gordiidae</i>	18	6
8	<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Simuliidae</i>	6	6

Tabla Nº 39: Nivel de tolerancia de las familias de macroinvertebrados

Con los niveles de tolerancia se procede a obtener el IBF (Índice Biótico de Familias). Aplicando la escala de condición biológica se obtiene los siguientes grados de contaminación en los puntos de muestreo:

Pto. Muestreo	CLASE	IBF(HILSENHOFF 1988)	CARACTERISTICAS AMBIENTALES	SIMBOLOGIA
1	V	6,3	Relativamente malo	Café
2	V	6,1	Relativamente malo	Café
3	V	5,9	Relativamente malo	Café
4	V	6	Relativamente malo	Café
6	V	6,1	Relativamente malo	Café
7	VI	6,9	Malo	Naranja
8	VII	7,4	Muy malo	Rojo

Tabla N°40: IBF y característica ambiental de los puntos de muestreo

Los resultados demuestran el alto grado de contaminación de las aguas del Río San Pedro, se aprecia que en los cinco primeros puntos la característica ambiental del río es relativamente mala, es aquí donde recibe todas las aguas servidas de los habitantes de Amaguaña, Sangolquí y San Rafael. En los últimos dos puntos de muestreo las condiciones ambientales del río se ven alteradas drásticamente, se obtienen condiciones de mala a muy mala, en este sector es totalmente visible la contaminación (Fotografía N° 8).



Fotografía N°8: Foto del punto de muestreo 8

6.3 Resultados de los índices de abundancia y diversidad

Aplicando el Rango de Abundancia Relativa que se explicó en la metodología se obtiene los siguientes resultados:

	FAMILIA	Nº INDIVIDUOS	ABUNDANCIA
PUNTO 1	Baetidae	30	3
	Platyhelminthes	6	2
	Coleóptera Elmidae	10	2
	Gordiidae	20	3
	Physidae	45	3
	Chironomidae	8	2
	Ceratopogonidae	9	2
	Hyaellidae	15	3
	Sphaeriide	3	1
	Lymnaeidae	2	1
	Glossiphoniidae	3	1
PUNTO 2	Platyhelminthes	18	3
	Gordiidae	150	4
	Physidae	16	3
	Chironomidae	10	2
	Hirudineo	12	3
	Oligochaeta	20	3
	Hyaellidae	10	2
	Baetidae	22	3
	Ceratopogonidae	16	3
	Tipulidae	15	3
	Glossiphoniidae	6	2
	Elmidae	4	1

PUNTO 3			
	Chironomidae	8	2
	Hirudineo	12	2
	Physidae	15	3
	Gordiidae	200	4
	Baetidae	8	2
	Platyhelminthes	6	2
	Hyalellidae	8	3
	Ceratopogonidae	25	3
	Tipulidae	35	3
PUNTO 4			
	Chironomidae	7	3
	Physidae	10	2
	Gordiidae	220	4
	Hyalellidae	5	1
	Ceratopogonidae	6	2
Tipulidae	11	2	
PUNTO 6			
	Chironomidae	26	5
	Gordiidae	50	3
	Physidae	5	2
Simuliidae	10	3	
PUNTO 7			
	Chironomidae	34	5
	Gordiidae seg.	80	3
	Glossiphoniidae	1	1
Platyhelminthes	20	3	

	Simuliidae	8	2
PUNTO 8			
	Chironomidae	28	3
	Gordiidae	18	3
	Simuliidae	6	2

Tabla N°41: Abundancia de las familias de macroinvertebrados

En un total de 1312 individuos se obtiene la abundancia relativa global de cada uno de los diferentes grupos taxonómicos, las cuales se detallan en la siguiente tabla:

FAMILIA DE MACRO INVERTEBRADOS	NUMERO TOTAL	ABUNDANCIA RELATIVA %
<i>Gordiidae</i>	738	56,3
<i>Chironomidae</i>	121	9,2
<i>Physidae</i>	91	6,9
<i>Tipulidae</i>	61	4,6
<i>Baetidae</i>	60	4,6
<i>Ceratopogonidae</i>	56	4,3
<i>Platyhelminthes</i>	50	3,8
<i>Hyalellidae</i>	38	2,9
<i>Hirudineo</i>	24	1,8
<i>Simuliidae</i>	24	1,8
<i>Oligochaeta</i>	20	1,5
<i>Elmidae</i>	14	1,1
<i>Glossiphoniidae</i>	10	0,8
<i>Sphaeriidae</i>	3	0,2
<i>Lymnaeidae</i>	2	0,2
TOTAL	1312	100%

Tabla N° 42: Abundancia relativa de las familias de macroinvertebrados

En lo que se refiere a la abundancia de familias, nuestros resultados expresan que la familia de macro invertebrados predominante en la zona de estudio es de la familia *Gordiidae*, presentando una abundancia relativa del 56.3%, la familia *Chironomidae* posee una abundancia relativa del 9.2% y la familia *Physidae* 6.9%, marcando una gran diferencia con el resto de familias (*Tipulidae*, *Baetidae*, *Ceratopogonidae*, *Platyhelminthes*, *Hyaellidae*, *Hirudineo*, *Simuliidae*, *Oligochaeta*, *Elmidae*, *Glossiphoniidae*, *Sphaeriidae*, *Lymnaeidae*) que no superan el 5% de abundancia relativa.

La siguiente figura nos muestra las abundancias relativas global mayores al 1% de las familias encontradas en los ocho puntos de muestreo

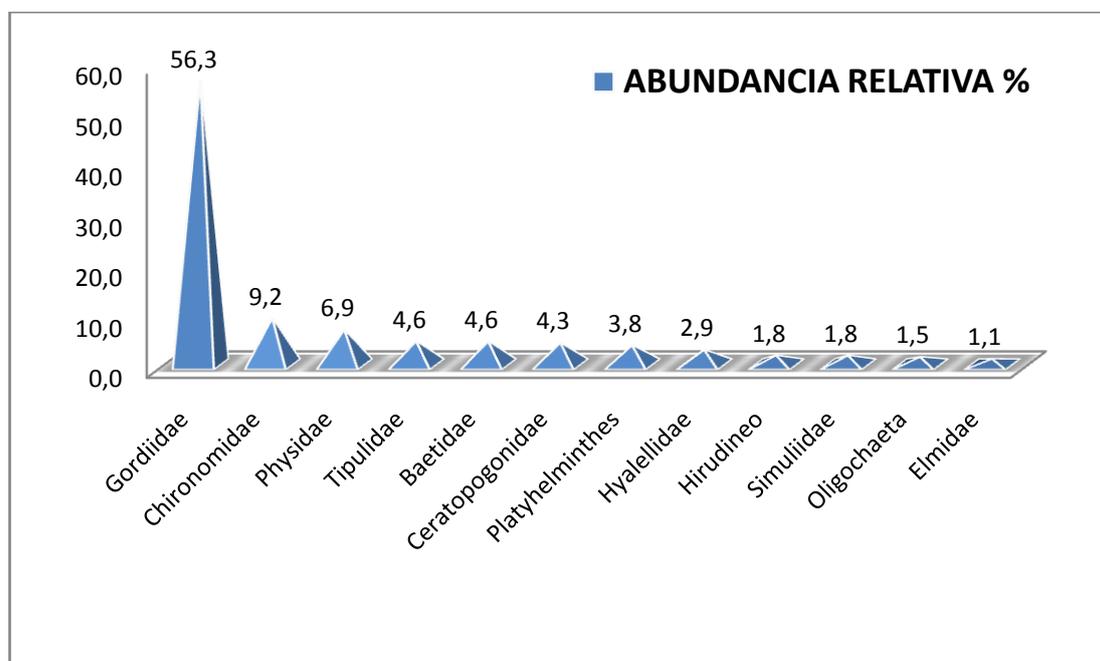


Figura N°21: Abundancias relativas global mayores al 1% de las familias

A continuación se detalla la abundancia de individuos, es decir el número total de individuos de diferentes familias encontrados en cada uno de los puntos de muestreo:

PUNTO	NUMERO TOTAL
1	151
2	299
3	317
4	259
6	91
7	143
8	52
TOTAL	1312

Tabla N°43: número total de individuos en cada punto de muestreo

Se puede apreciar que en los puntos de muestreo 2, 3 y 4 existe mayor abundancia.

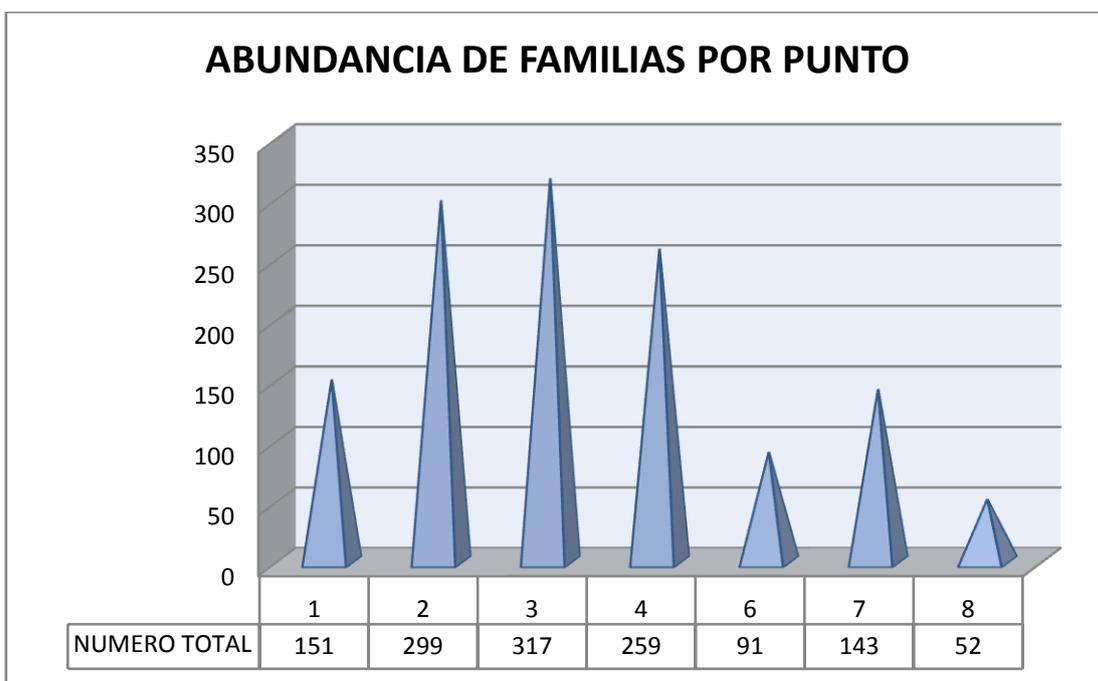


Figura N°22: Abundancia de familias por punto de muestreo

Los datos obtenidos de diversidad, es decir el número de familias en cada punto de muestreo son los siguientes:

PUNTO	NUMERO TOTAL DE FAMILIAS
1	11
2	12
3	9
4	6
6	5
7	6
8	3

Tabla N°44: Número de familias por punto

La figura correspondiente a la tabla en donde se puede apreciar el punto con mayor diversidad se presenta a continuación.

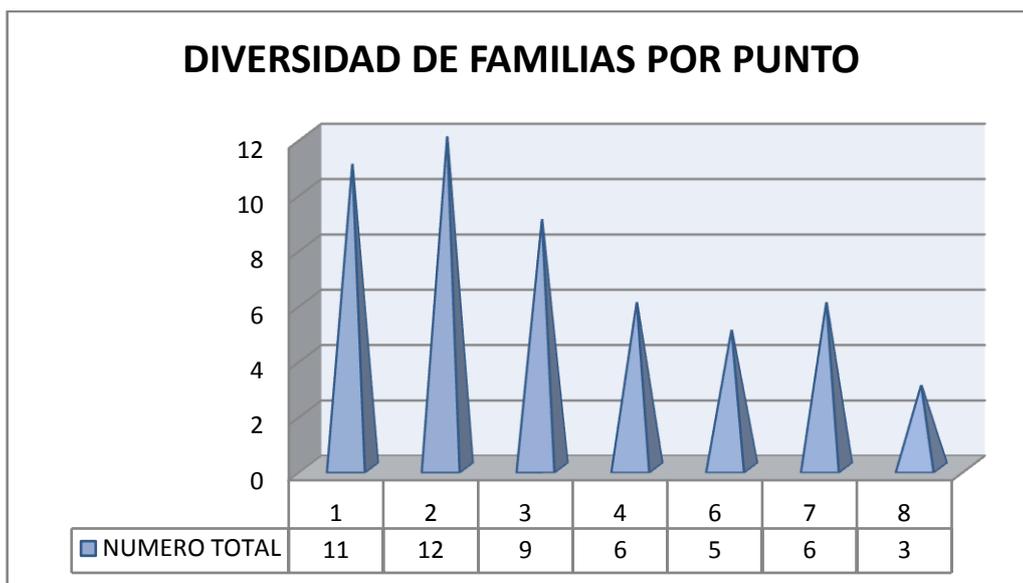


Figura N° 23: Diversidad de familias por punto de muestreo

Se puede apreciar que en los puntos de muestreo 1, 2 y 3 existe mayor diversidad de familias.

Aplicando el concepto de abundancia y diversidad para cada uno de los puntos de muestreo se puede observar los siguientes resultados:

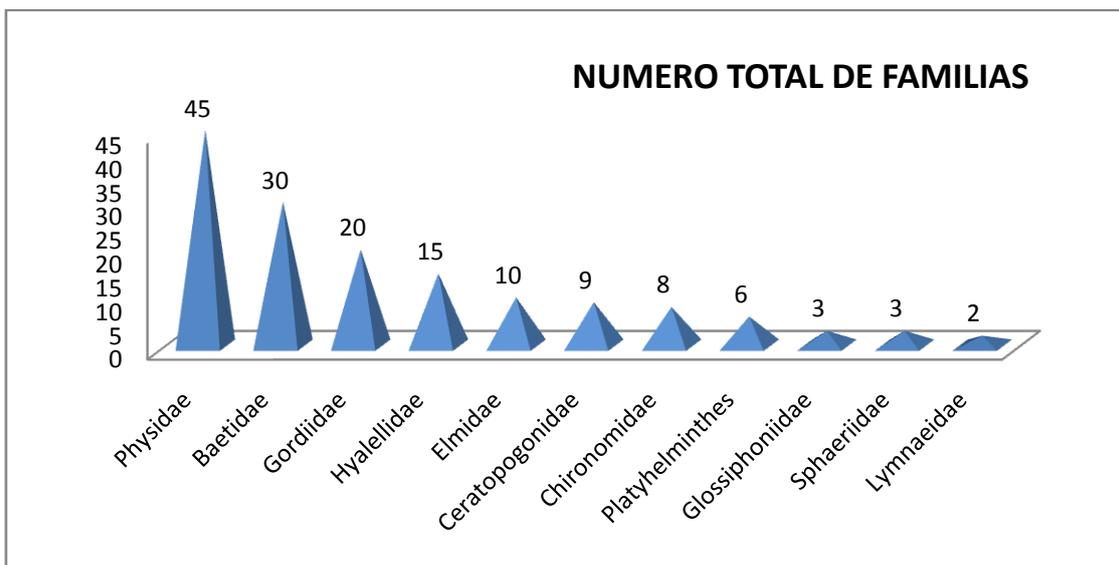
PUNTO 1:

Figura N°24: Número total de familias en el punto 1

En lo que refiere a la abundancia, la familia *Physidae* es la más abundante, se recolectaron 45 individuos en total, de la familia *Baetidae* un total de 30 individuos y de la familia *Gordiidae* la de mayor abundancia a nivel global se recolectó un total de 20 individuos. El resto de familias no superan el número de 10 individuos por punto de muestreo.

En lo que se refiere a diversidad se puede observar que en el primer punto existe un total de 11 familias distintas, ubicándose en el segundo lugar de diversidad de los ocho puntos de muestreo.

El IBF de este punto es de 6.3 y pertenece a la clase V el cual indica que la característica ambiental es relativamente mala.

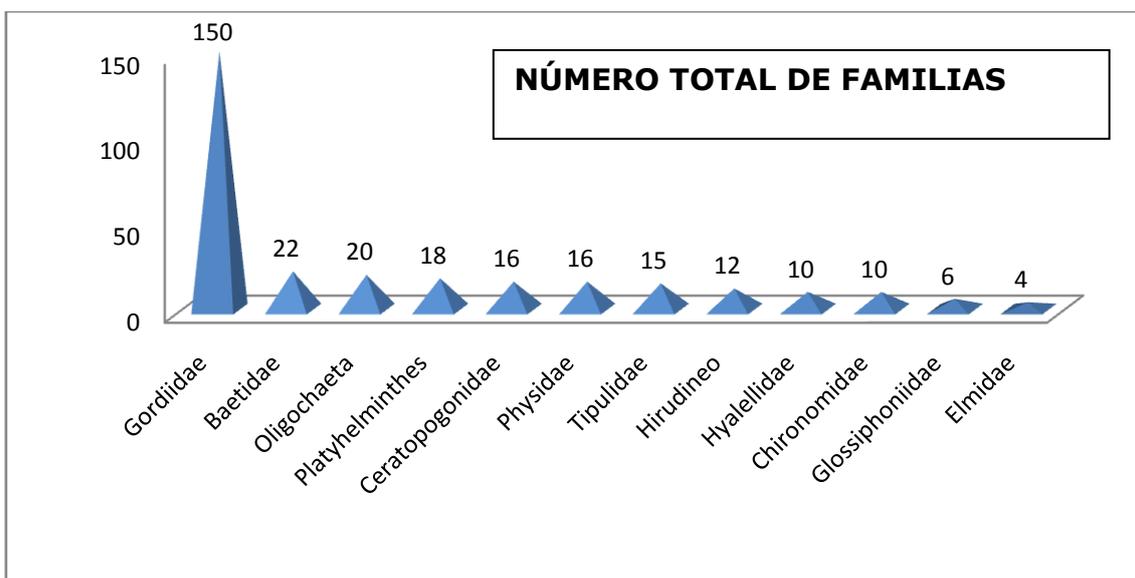
PUNTO 2:

Figura N°25: Número total de familias en el punto 2

Se puede apreciar la enorme diferencia de la abundancia de la familia *Gordiidae* con el resto de familias presentes en este punto de muestreo. La familia *Baetidae* al igual que en el primer punto ocupa el segundo puesto en abundancia de especies. Y aparece una nueva familia *Oligochaeta* ocupando el tercer lugar con un total de 20 individuos recolectados. Las familias *Sphaeriidae* y *Lymnaeidae* ya no se encuentran presentes.

En este punto se obtiene la mayor diversidad de la zona de estudio, con un total de 12 distintas familias presentes.

El IBF de este punto es de 6.1 y pertenece a la clase V el cual indica que la característica ambiental es relativamente mala

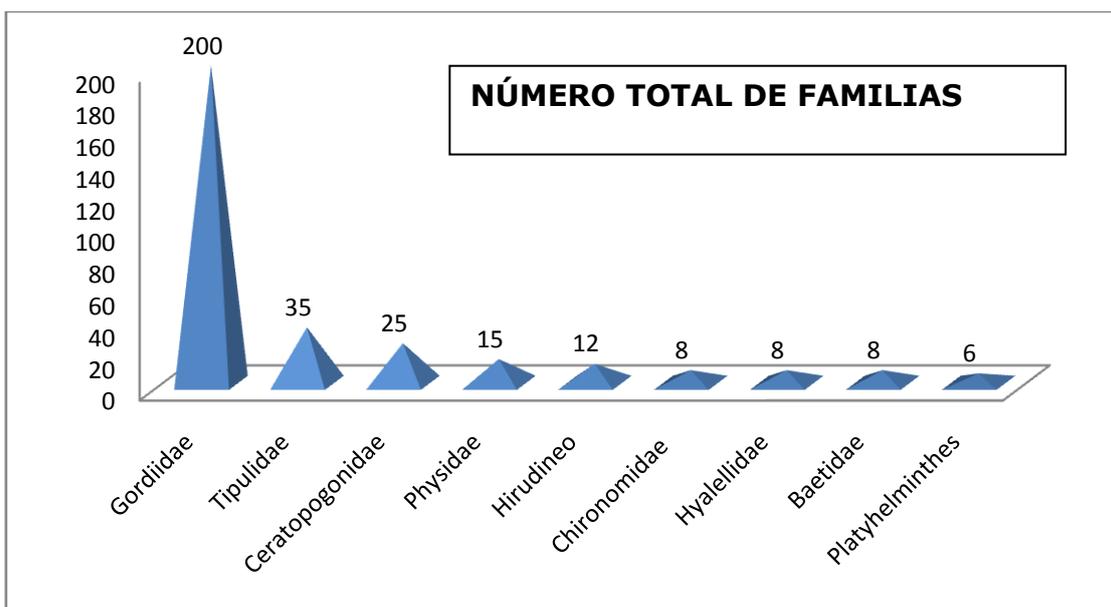
PUNTO 3:

Figura N°26: Número total de familias en el punto 3

La familia *Gordiidae* posee la mayor abundancia en este punto, al igual que en el anterior la diferencia es muy alta con el segundo grupo de la familia *Tipulidae*, de la cual hay un total de 35 individuos recolectados, esta familia ha incrementado su abundancia respecto al punto anterior. Las familias *Oligochaeta*, *Glossiphoniidae* y *Elmidae* ya no se encuentran presentes en este nuevo punto de muestreo

A pesar de tener un número bastante elevado de abundancia, la diversidad de familias bajo a nueve, con respecto al anterior punto.

El IBF de este punto es de 5.9 y pertenece a la clase V el cual indica que la característica ambiental es relativamente mala.

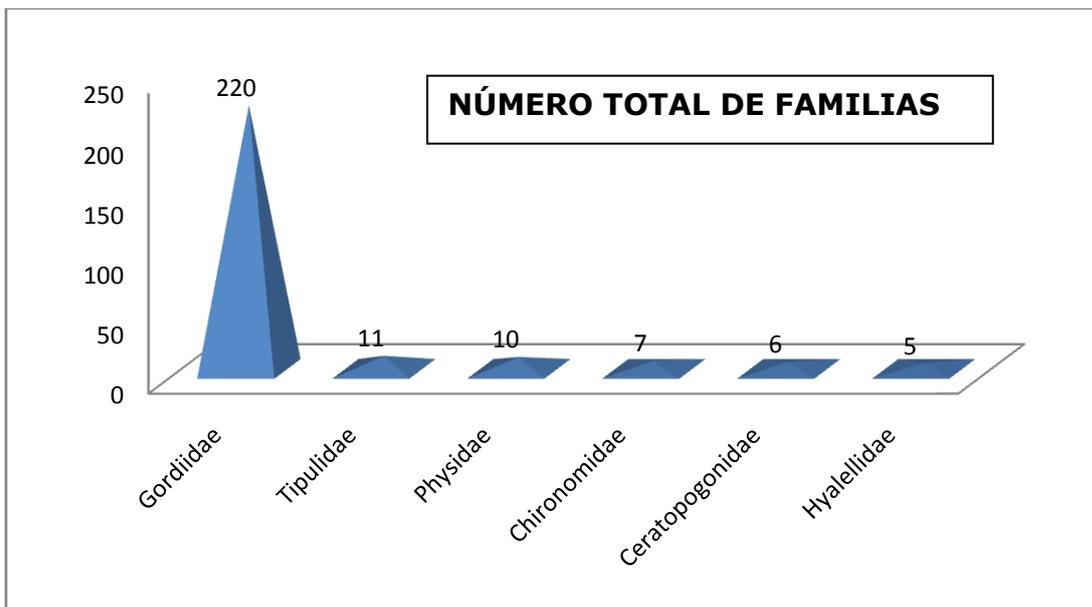
PUNTO 4:

Figura N°27: Número total de familias en el punto 4

La abundancia de la familia *Gordiidae* incrementó a un total de 220 individuos recolectados, mientras que la familia *Tipulidae* tiene apenas 11 individuos, se puede apreciar también que las familias *Hirudineo*, *Platyhelminthes* y *Baetidae* ya no están presentes.

Al igual que en el caso anterior la abundancia de especies a pesar de ser muy elevada para la familia *Gordiidae*, la diversidad de especies declinó notablemente, presentándose solo 6 familias distintas.

El IBF de este punto es de 6 y pertenece a la clase V el cual indica que la característica ambiental es relativamente mala.

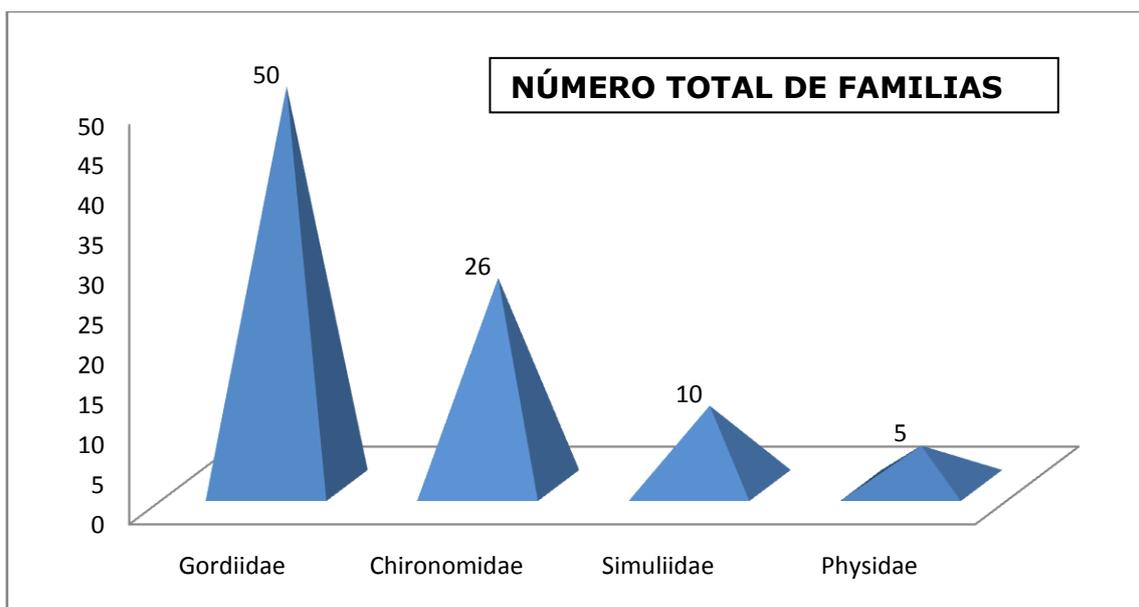
PUNTO 6:

Figura N°28: Número total de familias en el punto 6

En el punto de muestreo seis se redujo notablemente la abundancia de la familia *Gordiidae*, teniendo un total de 50 individuos recolectados, la familia *Chironomidae* tiene un total de 26 individuos recolectados, y las familias *Simuliidae* y *Physidae* aparecen con un número de 10 y 5 respectivamente. El resto de familias no están presentes en este punto.

Con respecto a la diversidad solo se tiene 4 diferentes tipos de familias, siendo uno de los puntos con menos índice de diversidad de la zona de estudio.

El IBF de este punto es de 6.1 y pertenece a la clase V el cual indica que la característica ambiental es relativamente mala.

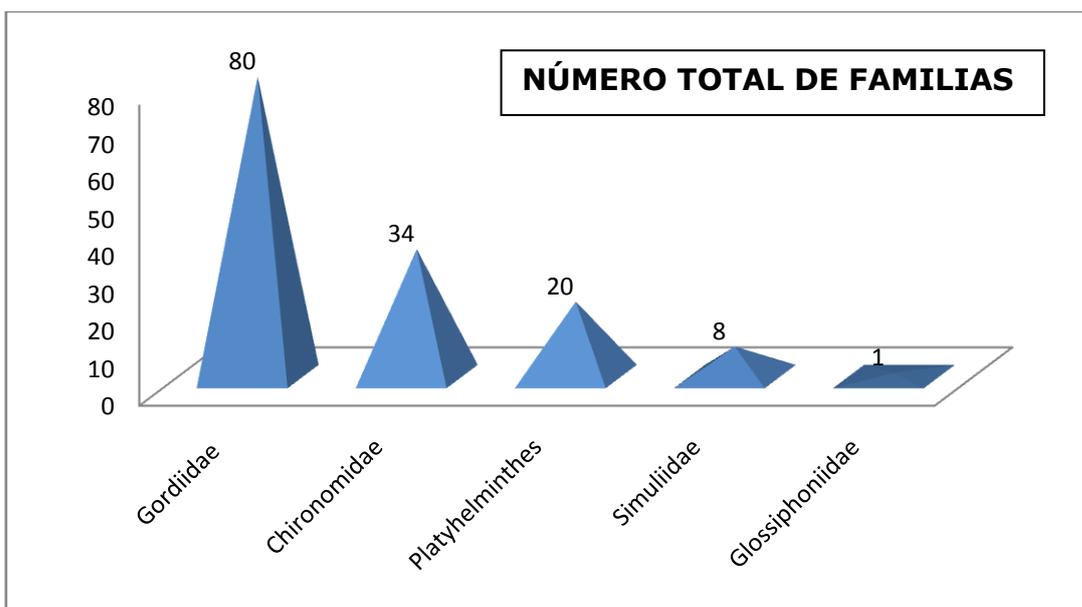
PUNTO 7:

Figura N°29: Número total de familias en el punto 7

Nuevamente la familia *Gordiidae* se encuentra en mayor abundancia con un total de 80 individuos recolectados, y los *Chironomidae* con un total de 34 individuos. La familia de los *Platyhelminthes* se encuentra presente con un total de 20 individuos.

Existe un total de cinco familias presentes en este punto, por lo cual ocupa uno de los puestos más bajos en índice de diversidad en la zona de estudio.

El IBF de este punto es de 6.9 y pertenece a la clase VI el cual indica que la característica ambiental es mala.

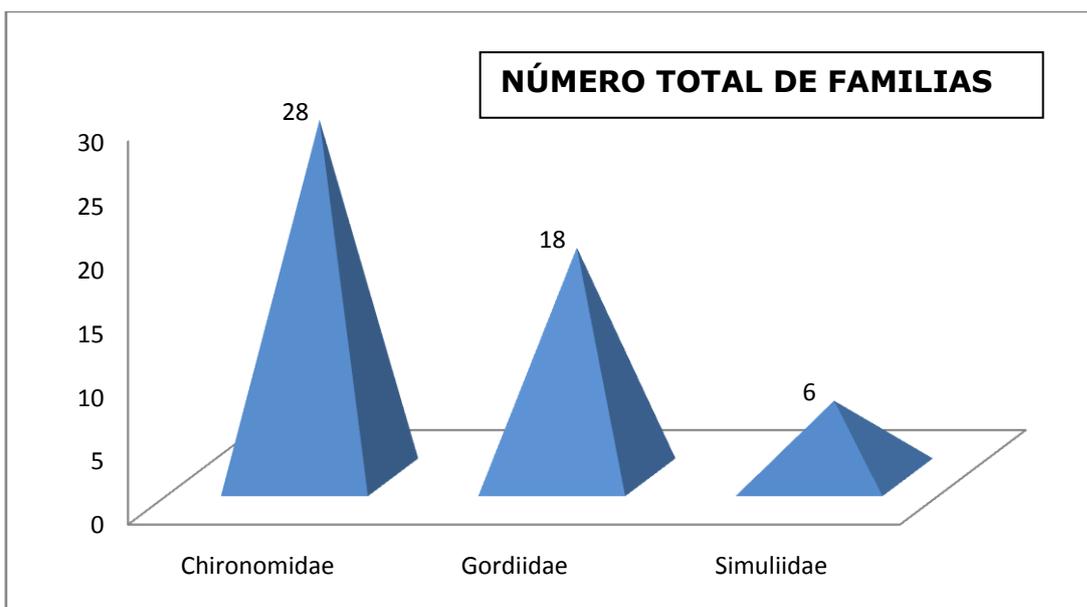
PUNTO 8:

Figura N°30: Número total de familias en el punto 8

En nuestro último punto se puede observar el notable decrecimiento en los índices de abundancia de las familias encontradas. Los *Chironomidae* ocupan el primer lugar en abundancia con un total de 28 individuos recolectados, mientras que los *Gordiidae* apenas tienen 18 individuos. Y por último se encuentra a los *Simuliidae* con tan solo 6 individuos.

En lo que se refiere a diversidad, es el punto con el índice de diversidad más bajo, teniendo un total de tan solo tres familias encontradas.

El IBF de este punto es de 7.4 y pertenece a la clase VII el cual indica que la característica ambiental es muy mala. Esto se puede evidenciar a simple vista, en este punto solo las aguas de descargas junto con pequeños riachuelos recorren el cauce del Río.

En nuestro estudio no se puede establecer los cambios en la abundancia de especies en base a diferentes pisos altitudinales, ya que nuestra diferencia de altura entre el primer punto de muestreo y el último punto es apenas de 161 msnm. Este es un aspecto muy importante que se lo puede realizar a futuro.

Los datos obtenidos de abundancia y diversidad de nuestra zona de estudio fueron representados en dos mapas temáticos, donde se podrá apreciar de mejor manera los resultados por cada punto de muestreo. (Ver Mapa N°5)

6.4 Resultado y análisis de los datos de vegetación de ribera

Las familias de vegetación de ribera encontradas a lo largo del tramo de estudio del Río San Pedro son las que se muestran en la Tabla N° 45 que se detalla a continuación:

PTO N#	ARBOLES	ARBUSTOS
1	<i>Eucalyptus globulus</i> <i>Carica pubescens</i> <i>Cleome anómala</i> <i>Alnus acuminata</i> <i>Vallea mutis</i> <i>Brugmansia sanguínea</i> <i>Miconia sp.</i> <i>Gonzalagunia sp.</i> <i>Inga edulis</i> <i>Tilia platyphyllos</i> <i>Ligustrum vulgare</i> <i>Acacia dealbata</i> <i>Platanus x acerifolia</i> <i>Ulmus sp.</i>	<i>Baccharis latifolia</i> <i>Salvia tortuosa</i> <i>Cavendishia bracteata</i> <i>Solanum crinipes</i> <i>Cymbopogon citratus</i> <i>Durantha triacantha</i> <i>Solanum marginatum</i> <i>Platanus x acerifolia</i> <i>Mimosa quitensis</i>
2	<i>Carica pubescens</i> <i>Cleome anómala</i> <i>Alnus acuminata</i> <i>Vallea mutis</i> <i>Eucalyptus globulus</i> <i>Oreopanax sp.</i> <i>Gonzalagunia sp</i> <i>Inga edulis</i> <i>Tilia platyphyllos</i> <i>Ligustrum vulgare</i> <i>Acacia dealbata</i> <i>Ulmus sp.</i>	<i>Viguiera</i> <i>Arctium lappa</i> <i>Baccharis latifolia</i> <i>Salvia tortuosa</i> <i>Barnadesia spinosa</i> <i>Cavendishia bracteata</i> <i>Solanum crinipes</i> <i>Cymbopogon citratus</i> <i>Durantha triacantha</i> <i>Solanum marginatum</i> <i>Mimosa quitensis</i>
3	<i>Carica pubescens</i> <i>Cleome anómala</i> <i>Alnus acuminata</i> <i>Eucalyptus globulus</i> <i>Oreopanax</i> <i>Inga edulis</i> <i>Tilia platyphyllos</i> <i>Ligustrum vulgare</i>	<i>Viguiera</i> <i>Arctium lappa</i> <i>Baccharis latifolia</i> <i>Salvia tortuosa</i> <i>Barnadesia spinosa</i> <i>Solanum crinipes</i> <i>Cymbopogon citratus</i> <i>Durantha triacantha</i>

	<i>Acacia dealbata</i> <i>Ulmus sp.</i>	<i>Solanum marginatum</i> <i>Platanus x acerifolia</i> <i>Mimosa quitensis</i>
4	<i>Cleome anómala</i> <i>Alnus acuminata</i> <i>Eucalyptus globulus</i> <i>Oreopanax</i> <i>Ligustrum vulgare</i> <i>Acacia dealbata</i> <i>Hibiscus rosa-sinensis</i> <i>Ulmus sp.</i>	<i>Viguiera</i> <i>Cucurbita ficifolia</i> <i>Arctium lappa</i> <i>Baccharis latifolia</i> <i>Salvia tortuosa</i> <i>Solanum crinipes</i> <i>Cymbopogon citratus</i> <i>Platanus x acerifolia</i>
5	<i>Eucalyptus globulus</i> <i>Oreopanax</i> <i>Tilia platyphyllos</i> <i>Ligustrum vulgare</i> <i>Acacia dealbata</i> <i>Hibiscus rosa-sinensis</i> <i>Ulmus sp.</i>	<i>Viguiera</i> <i>Cucurbita ficifolia</i> <i>Barnadesia spinosa</i> <i>Salvia tortuosa</i> <i>Baccharis latifolia</i> <i>Solanum crinipes</i> <i>Cymbopogon citratus</i> <i>Durantha triacantha</i> <i>Mimosa quitensis</i>
6	<i>Cleome anómala</i> <i>Alnus acuminata</i> <i>Eucalyptus globulus</i> <i>Brugmansia sanguínea</i> <i>Ligustrum vulgare</i> <i>Acacia dealbata</i> <i>Ulmus sp.</i>	<i>Cucurbita ficifolia</i> <i>Barnadesia spinosa</i> <i>Baccharis latifolia</i> <i>Solanum crinipes</i> <i>Cymbopogon citratus</i> <i>Mimosa quitensis</i>
7	<i>Oreopanax sp.</i> <i>Brugmansia sanguinea</i> <i>Eucalyptus globulus</i> <i>Cortaderia selloana</i> <i>Cleome anómala</i> <i>Inga edulis</i> <i>Acacia dealbata</i> <i>Ulmus sp.</i>	<i>Cucurbita ficifolia</i> <i>Barnadesia spinosa</i> <i>Baccharis latifolia</i> <i>Cymbopogon citratus</i> <i>Mimosa quitensis</i>
8	<i>Oreopanax</i> <i>Eucalyptus globulus</i> <i>Cortaderia selloana</i> <i>Cleome anómala</i> <i>Salix babylonica</i> <i>Inga edulis</i> <i>Acacia dealbata</i> <i>Ulmus sp.</i>	<i>Cucurbita ficifolia</i> <i>Baccharis latifolia</i> <i>Cymbopogon citratus</i> <i>Mimosa quitensis</i>

Tabla N°45: Vegetación de ribera del Río San Pedro

Para obtener el porcentaje de cobertura (Tabla N°46) se utilizó el valor sumado de la cobertura del estrato arbustivo y el valor sumado del estrato arbóreo. Se obtuvo los siguientes resultados:

Arbóreo	Porcentaje de cobertura (%)							
	<i>Pto1</i>	<i>Pto2</i>	<i>Pto3</i>	<i>Pto4</i>	<i>Pto5</i>	<i>Pto6</i>	<i>Pto7</i>	<i>Pto8</i>
Nombre científico								
<i>Eucalyptus globulus</i>	37,5	20,4	19,0	40,9	34,0	27,8	21,3	19,1
<i>Carica pubescens</i>	4,9	6,4	5,8	-	-	-	-	-
<i>Cleome anómala</i>	7,6	21,7	21,9	10,9	-	23,5	23,5	22,9
<i>Alnus acuminata</i>	2,7	9,6	13,1	3,6	-	16,0	-	-
<i>Vallea mutis</i>	6,0	3,8	-	-	-	-	-	-
<i>Brugmansia sanguínea</i>	2,2	-	-	-	-	6,2	7,4	-
<i>Miconia sp.</i>	3,8	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gonzalagunia sp</i>	1,6	1,3	-	-	-	-	-	-
<i>Inga edulis</i>	15,8	5,1	2,9	-	-	-	14,0	10,7
<i>Tilia platyphyllos</i>	2,7	1,3	1,5	-	2,8	-	-	-
<i>Ligustrum vulgare</i>	1,6	4,5	7,3	5,5	15,1	11,7	-	-
<i>Acacia dealbata</i>	4,3	2,5	5,8	-	7,5	7,4	4,4	3,8
<i>Platanus x acerifolia</i>	2,7	-	-	-	-	-	-	3,8
<i>Ulmus sp.</i>	6,5	9,6	11,7	15,5	15,1	7,4	5,9	-
<i>Oreopanax sp.</i>	-	14,0	10,9	12,7	17,9	-	11,8	16,8
<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	-	-	-	5,5	7,5	-	-	-
<i>Cortaderia selloana</i>	-	-	-	-	-	-	11,8	15,3
<i>Salix babylonica</i>	-	-	-	-	-	-	-	7,6
Arbustivo								
<i>Baccharis latifolia</i>	38,6	30,9	28,0	25,5	26,9	28,6	30,4	38,8
<i>Salvia tortuosa</i>	9,9	2,9	3,5	5,5	5,8	-	-	-
<i>Cavendishia bracteata</i>	5,0	2,2	-	-	-	-	-	-
<i>Solanum crinipes</i>	4,0	2,9	7,0	5,5	8,3	7,1	-	-
<i>Cymbopogon citratus</i>	10,9	1,5	2,8	11,0	9,6	22,6	26,1	26,5
<i>Durandina triacantha</i>	12,9	8,1	7,7	-	7,7	-	-	-
<i>Solanum marginatum</i>	2,0	2,2	5,6	-	-	-	-	-
<i>Platanus x acerifolia</i>	2,0	-	7,0	6,2	-	-	-	-
<i>Mimosa quitensis</i>	14,9	21,3	15,4	-	5,1	6,0	5,8	8,2
<i>Viguiera sp.</i>	-	5,9	14,0	22,1	16,7	-	-	-
<i>Arctium lappa</i>	-	18,4	7,0	13,8	-	-	-	-
<i>Barnadesia spinosa</i>	-	3,7	2,1	-	6,4	9,5	8,7	-
<i>Cucurbita ficifolia</i>	-	-	-	10,3	13,5	26,2	29,0	26,5

Tabla N° 46: Porcentaje de cobertura vegetal

- ⊙ En lo que se refiere al estrato arbóreo: En el punto 1, 4, 5 y 6 se obtiene porcentajes de cobertura desde el 25% hasta el 50%, para la familia *Eucalyptus globulus*, especie introducida, siendo esta la que predomina en el tramo de estudio. El resto de familias no sobrepasan en 25% de cobertura.
- ⊙ En lo que se refiere al estrato arbustivo: En todos los puntos de muestreo la familia *Baccharis latifolia* tiene porcentaje de cobertura del 25% al 50%

siendo la familia con mayor porcentaje de cobertura en nuestra área de estudio. También tienen valores del 25% al 50% las familias *Cymbopogon citratus* en los puntos 7 y 8, la familia *Cucurbita ficifolia* en los puntos 6,7 y 8. El resto de familias no sobrepasan el 25% de cobertura.

6.5 Comparación de resultados de los Macro invertebrados y parámetros físico-químicos (H, OD, Tº, Q, Conductividad, pH, Sólidos Disueltos, Turbidez)

A continuación se presenta un cuadro en donde se detalla los parámetros físico-químicos medidos en campo y en laboratorio, con los resultados de los macro invertebrados obtenidos en los muestreos.

									MACRO INVERTEBRADOS			
PTO	H	OD	T	Q	Conducti- vidad	PH	Sólidos Totales	TURBI- DEZ	CLASE	ORDEN	FAMILIA	Num. De Individuos
1	2543	7,8	9	5,3	0,65	7,96	0,23	37,22	<i>Gastropoda</i>	<i>Basommatophora</i>	<i>Lymnaeidae</i>	2
									<i>Huridinea</i>	<i>Arhynchobdellida</i>	<i>Glossiphoniidae</i>	3
									<i>Bivalva</i>	<i>Veneroidea</i>	<i>Sphaeriidae</i>	3
									<i>Turbellaria</i>	<i>Tricladida</i>	<i>Platyhelminthes</i>	6
									<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>	8
									<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Ceratopogonidae</i>	9
									<i>Insecta</i>	<i>Coleóptera</i>	<i>Elmidae</i>	10
									<i>Malacostraca</i>	<i>Amphipoda</i>	<i>Hyaellidae</i>	15
									<i>Nematomorpha</i>	<i>Gordioidea</i>	<i>Gordiidae</i>	20
									<i>Insecta</i>	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	30
									<i>Gastropoda</i>	<i>Basommatophora</i>	<i>Physidae</i>	45
2	2521	7,6	15	4,9	0,67	8,19	0,36	35,71	<i>Huridinea</i>	<i>Arhynchobdellida</i>	<i>Glossiphoniidae</i>	6
									<i>Insecta</i>	<i>Coleóptera</i>	<i>Elmidae</i>	4
									<i>Malacostraca</i>	<i>Amphipoda</i>	<i>Hyaellidae</i>	10
									<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>	10
									<i>Hirudinea</i>	<i>Arhynchobdellida</i>	<i>Hirudineo</i>	12
									<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Tipulidae</i>	15
									<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Ceratopogonidae</i>	16
									<i>Gastropoda</i>	<i>Basommatophora</i>	<i>Physidae</i>	16
									<i>Turbellaria</i>	<i>Tricladida</i>	<i>Platyhelminthes</i>	18

7	2406	6,2	19	1,1	0,55	8,77	0,45	16,1	<i>Huridinea</i>	<i>Arhynchobdellida</i>	<i>Glossiphoniidae</i>	1
									<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>	4
									<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Simuliidae</i>	8
									<i>Turbellaria</i>	<i>Tricladida</i>	<i>Platyhelminthes</i>	20
									<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>	30
									<i>Nematomorpha</i>	<i>Gordioidea</i>	<i>Gordiidae</i>	80
8	2382	6	20	1,4	0,51	8,82	0,42	17,85	<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Simuliidae</i>	6
									<i>Nematomorpha</i>	<i>Gordioidea</i>	<i>Gordiidae</i>	18
									<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>	28

Tabla N°47: Comparación de los parámetros físico-químicos con las familias de macroinvertebrados del Río San Pedro

Los resultados por familias que se obtienen de la Tabla N°47 se los describe a continuación:

Ⓢ **Hyaellidae y Ceratopogonidae:** Estas familias están presentes en los cuatro primeros puntos de muestreo, ubicándose en valores de oxígeno disuelto entre los 6,5 mg/l a los 7,8 mg/l. Valores de DBO5 entre los 1,5 ppm O2 y los 6,6 ppm O2. El rango de temperatura es de 9 °C a 17°C, el caudal se encuentra entre los 2,3 m³/s a los 5,3 m³/s, el PH va de valores desde los 7,96 a los 8,6 y los sólidos totales desde los 0,23 mg/l hasta los 0,36 mg/l.

La frecuencia de la familia Hyaellidae va disminuyendo a medida que se avanza en los puntos de muestreo, en el primer punto se obtiene un total de 15 taxones encontrados, en el segundo 10, en el tercero 8 y en el cuarto 5. Esta familia tiene un nivel de tolerancia a la contaminación por materia orgánica de 8, en una escala del 1 al 10 donde 1 es el menos tolerante y 10 el más tolerante a la contaminación.

La frecuencia de la familia Ceratopogonidae varía totalmente a través de los puntos de muestreo, en el primer punto se obtiene un total de 9 taxones, en el segundo 16, en el tercero hay un aumento considerable de 25 y en el cuarto tan solo 6. El parámetro de oxígeno disuelto cambia de 7,2 mg/l en el tercer punto a 6,5 mg/l en el cuarto, mientras que el de DBO5 cambia de 4,1 ppm O2 a 6,6 ppm O2. Esto puede demostrar el decrecimiento repentino de esta familia, ya que en el resto de parámetros no se observa ningún cambio brusco en sus medidas. La familia Ceratopogonidae tiene un nivel de tolerancia de 6 a la contaminación por materia orgánica.

Ⓢ **Lymnaeidae y Sphaeriidae:** Estas familias están presentes solamente en el primer punto de muestreo, con valores de oxígeno disuelto de 7,8 mg/l, valores de DBO5 de 1,5 ppm O2. El valor de temperatura es de 9 °C, el caudal de 5,3 m³/s, el PH de 7,96 y los sólidos totales de 0,23 mg/l.

La frecuencia de la familia Lymnaeidae es de 2 y la de la familia Sphaeriidae es de 3, y el nivel de tolerancia para la materia orgánica es de 6 y 8 respectivamente

- ⊙ **Elmidae:** esta familia se encuentra presente en los puntos de muestreo 1 y 2, ubicándose en valores de oxígeno disuelto entre los 7,6 mg/l a los 7,8 mg/l. Valores de DBO5 entre los 1,5 ppm O2 y los 2,1 ppmO2. El rango de temperatura es de 9 °C a 15°C, el caudal se encuentra entre los 4,9 m^3/s a los 5,3 m^3/s , el PH va de valores desde los 7,96 a los 8,19 y los sólidos totales desde los 0,23 mg/l hasta los 0,36 mg/l.

La frecuencia de la familia Elmidae en el punto 1 es de 10 taxones, mientras que en el punto 2 disminuye a 4 taxones. Esta familia tiene un nivel de tolerancia a la contaminación por materia orgánica de 4.

- ⊙ **Chironomidae y Gordiidae:** son las familias que se encuentran presentes en todos los puntos de muestreo, ubicándose en valores de oxígeno disuelto entre los 6 mg/l a los 7,8 mg/l. Valores de DBO5 entre los 1,5 ppm O2 y los 9,2 ppmO2. El rango de temperatura es de 9 °C a 20°C, el caudal se encuentra entre los 1,4 m^3/s a los 5,3 m^3/s , el PH va de valores desde los 7,96 a los 8,82 y los sólidos totales desde los 0,23 mg/l hasta los 0,42 mg/l.

La frecuencia de la familia Gordiidae es la más alta en todo el estudio, en segundo lugar está la familia Chironomidae, ambas familias tienen un nivel de tolerancia a la contaminación orgánica de 6.

- ⊙ **Physidae:** Esta familia está presente en los puntos de muestreo 1, 2, 3, 4 y 6, ubicándose en valores de oxígeno disuelto entre los 6,2 mg/l a los 7,8 mg/l. Valores de DBO5 entre los 1,5 ppm O2 y los 6,4 ppm O2. El rango de temperatura es de 9 °C a 17°C, el caudal se encuentra entre los 0,5 m^3/s a los 5,3 m^3/s , el PH va de valores desde los 7,96 a los 8,76 y los sólidos totales desde los 0,11 mg/l hasta los 0,36 mg/l.

La frecuencia de la familia Physidae en los puntos de muestreo mencionados son de 45, 16, 15, 10 y 5 respectivamente, es decir va disminuyendo. Esta familia tiene un nivel de tolerancia a la contaminación por materia orgánica de 8.

- Ⓢ **Baetidae:** Esta familia está presente en los tres primeros puntos de muestreo ubicándose en valores de oxígeno disuelto entre los 7,2 mg/l a los 7,8 mg/l. Valores de DBO5 entre los 1,5 ppm O2 y los 4,1 ppm O2. El rango de temperatura es de 9 °C a 16°C, el caudal se encuentra entre los 2,3 m³/s a los 5,3 m³/s, el PH va de valores desde los 7,96 a los 8,69 y los sólidos totales desde los 0,23 mg/l hasta los 0,36 mg/l.

En el primer punto la frecuencia de la familia Baetidae es de 30, en el segundo punto de 22 y en el tercer punto de 8, por lo tanto hay un decremento en el número de taxones encontrados por punto de muestreo. Esta familia tiene un nivel de tolerancia a la contaminación por materia orgánica de 4.

- Ⓢ **Oligochaeta:** Esta familia está presente solamente en el segundo punto de muestreo, con valores de oxígeno disuelto de 7,6 mg/l, valores de DBO5 de 2,1 ppm O2. El valor de temperatura es de 15 °C, el caudal de 4,9 m³/s el PH de 8,19 y los sólidos totales de 0,36 mg/l.

Familia con frecuencia de 20 taxones encontrados y con un nivel de tolerancia a la contaminación de 8.

- Ⓢ **Simuliidae:** Esta familia está presente en los tres últimos puntos de muestreo ubicándose en valores de oxígeno disuelto entre los 6 mg/l a los 6,5 mg/l. Valores de DBO5 entre los 6,4 ppm O2 y los 9,2 ppm O2. El rango de temperatura es de 17 °C a 20°C, el caudal se encuentra entre los 0,5 m³/s a los 1,4 m³/s, el PH va de valores desde los 8,76 a los 8,82 y los sólidos totales desde los 0,11 mg/l hasta los 0,42 mg/l.

Esta familia tiene una frecuencia de 10, 8 y 6 en los puntos 6, 7 y 8 respectivamente. Es decir que su número disminuye a media que se avanza en el río. Su nivel de tolerancia es de 6.

- Ⓢ **Hirudineo:** Familia que se encuentra en los puntos 2 y 3 de muestreo, ubicándose en valores de oxígeno disuelto entre los 7,2 mg/l a los 7,6 mg/l. Valores de DBO5 entre los 2,1 ppm O2 y los 4,1 ppm O2. El rango de temperatura es de 15 °C a 16°C, el caudal se encuentra entre los 2,3 m³/s a los 4,9 m³/s, el PH va de valores desde los 8,19 a los 8,69 y los sólidos totales desde los 0,23 mg/l hasta los 0,36 mg/l.

La frecuencia de la familia Hirudineo en el segundo y tercer punto de muestreo es de tres, lo que indica que el número se mantiene, puede ser a causa de no existir gran diferencia entre los rangos de los valores de los parámetros físicos. Tiene un nivel de tolerancia a la contaminación de 10.

- Ⓢ **Tipulidae:** esta familia se encuentra presente en los puntos de muestreo 2, 3 y 4, ubicándose en valores de oxígeno disuelto entre los 6,5 mg/l a los 7,6 mg/l. Valores de DBO5 entre los 2,1 ppm O2 y los 6,6 ppmO2. El rango de temperatura es de 15 °C a 17°C, el caudal se encuentra entre los 2,3 m³/s a los 4,9 m³/s, el PH va de valores desde los 8,19 a los 8,60 y los sólidos totales desde los 0,23 mg/l hasta los 0,36 mg/l.

La frecuencia de esta familia es de 15, 35 y 11, respectivamente en el segundo, tercer y cuarto punto de muestreo. Es decir varía totalmente, a simple vista no se puede encontrar un motivo específico al cambio de frecuencia en esta familia. Su nivel de tolerancia es de 3.

- Ⓢ **Glossiphoniidae:** familia que se encuentra presente en los puntos 1, 2 y 7, ubicándose en valores de oxígeno disuelto entre los 6,2 mg/l a los 7,8 mg/l. Valores de DBO5 entre los 1,5 ppm O2 y los 7,9 ppmO2. El rango de temperatura es de 9 °C a 19°C, el caudal se encuentra entre los 1,1

m^3/s a los 5,3 m^3/s , el PH va de valores desde los 7,96 a los 8,77 y los sólidos totales desde los 0,23 mg/l hasta los 0,45 mg/l.

La frecuencia de esta familia en el punto 1, 2 y 7 es de 3, 6 y 1 respectivamente, del punto de muestreo uno al punto dos, la frecuencia de la familia decrece, al siguiente punto desaparece totalmente y vuelve a aparecer en el punto 7 donde las condiciones físico-químicas del río han cambiado drásticamente. Es un familia con un nivel de tolerancia de 10 a la contaminación orgánica, lo cual puede explicar que en condiciones totalmente distintas a los primeros puntos de muestreo aun se encuentre esta familia presente.

🕒 **Platyhelminthes:** Esta familia que se encuentra presente en los puntos 1, 2, 3 y 7, ubicándose en valores de oxígeno disuelto entre los 6,2 mg/l a los 7,8 mg/l. Valores de DBO5 entre los 1,5 ppm O2 y los 7,9 ppmO2. El rango de temperatura es de 9 °C a 19°C, el caudal se encuentra entre los 1,1 m^3/s a los 5,3 m^3/s , el PH va de valores desde los 7,96 a los 8,77 y los sólidos totales desde los 0,23 mg/l hasta los 0,45 mg/l.

Su frecuencia es de 6, 19, 6 y 20 en los puntos 1, 2, 3 y 7 respectivamente, su frecuencia varía totalmente y en el punto cuatro desaparece su presencia, para aparecer nuevamente en el punto 7 con más numero de taxones que en los primeros puntos. Su nivel de tolerancia a la contaminación por materia orgánica es de es de 4.

Analizando los resultados se puede afirmar que a medida que el OD y el caudal disminuyen la frecuencia de taxones de la familia Hyalellidae, Elmidae, Physidae, y Baetidae disminuye también, a medida que la temperatura, DBO5, conductividad y PH aumentan la frecuencia de taxones disminuye.

Un parámetro que aporta bastante al estudio de macro invertebrados es la altura, por ello se describe a continuación los resultados en base a este parámetro:

Altura (H): A pesar de no existir una gran diferencia entre los valores de elevación en el primer y último punto de muestreo, en el estudio se puede apreciar que a medida que los valores de elevación disminuyen las familias presentes de macro invertebrados van reduciendo, en los primeros puntos con elevaciones entre los 2543 msnm a los 2484 msnm se encontró de 9 a 12 familias, mientras que en los puntos siguientes que van desde los 2479 msnm a los 2382 msnm se encontró tan solo de 3 a 6 familias.

6.6 Comparación de resultados entre el índice biótico de familias y la modelación de materia orgánica y OD.

Los resultados del índice biótico comparados con los resultados de la modelación de materia orgánica y oxígeno disuelto en su mayoría coinciden en demostrar la contaminación por materia orgánica del Río San Pedro.

Con el IBF (Índice Biótico de Familias) que se divide en 7 clases, en los resultados de nuestro estudio se obtiene las tres clases más altas, del punto 1 al punto 6 se obtiene la clase V donde la característica ambiental del río es relativamente mala. En el punto 7 se obtiene la clase VI siendo la característica ambiental Mala y en el punto 8 se obtiene la clase más alta cuya característica ambiental es Muy Mala. Estos resultados nos demuestran que a medida que se avanza en el cauce del río la contaminación por materia orgánica va en aumento

Pto. Muestreo	IBF(HILSENHOFF 1988)	CARACTERISTICAS AMBIENTALES
1	6,3	Relativamente malo
2	6,1	Relativamente malo
3	5,9	Relativamente malo
4	6	Relativamente malo
6	6,1	Relativamente malo
7	6,9	Malo
8	7,4	Muy malo

Tabla Nº 48: Característica ambiental del agua del Río San Pedro en base al IBF

Este hecho se comprueba con los resultados de los modelos de materia orgánica en donde se aprecia que en cada punto de muestreo la concentración de DBO va aumentando. Como se describe en la siguiente tabla:

	PRIMER MUESTREO	SEGUNDO MUESTREO	TERCER MUESTREO
PTO MUESTREO	CONCENTRACIÓN [DBO] (mg/l)	CONCENTRACIÓN [DBO] (mg/l)	CONCENTRACIÓN [DBO] (mg/l)
1	1,73	2,89	1,96
2	2,07	3,29	2,35
3	2,92	4,19	3,15
4	7,57	8,04	6,70
5	9,05	9,56	8,32
6	8,30	9,14	7,82
7	6,19	7,86	6,36
8	9,32	11,92	9,63

Tabla Nº 49: Concentración del modelo de DBO

En lo que se refiere a OD se obtiene resultados de la calidad del agua que van desde buena hasta muy buena, a excepción del segundo modelo en el punto 3 y 4 que se obtiene una calidad mala. En lo que se refiere a resultados de calidad del agua en base al OD el río San Pedro se encuentra en una buena condición ambiental, ya que casi en la totalidad de puntos se sobrepasa el nivel necesario de oxígeno disuelto para que exista vida acuática.

	PRIMER MUESTREO	SEGUNDO MUESTREO	TERCER MUESTREO
PTO MUESTREO	CONCENTRACION [OD] (mg/l)	CONCENTRACION [OD] (mg/l)	CONCENTRACION [OD] (mg/l)
1	7,80	7,50	7,40
2	8,54	7,664	7,41
3	3,17	2,838	3,21
4	4,62	2,825	3,51
5	5,16	3,710	5,13
6	4,86	3,552	4,94
7	4,05	3,095	4,41
8	3,98	3,213	4,08

Tabla Nº 50: Concentración del modelo de OD

CAPITULO VII

DISCUSION DE RESULTADOS

Los resultados de los tres modelos calculados de materia orgánica se los puede apreciar en la siguiente figura:

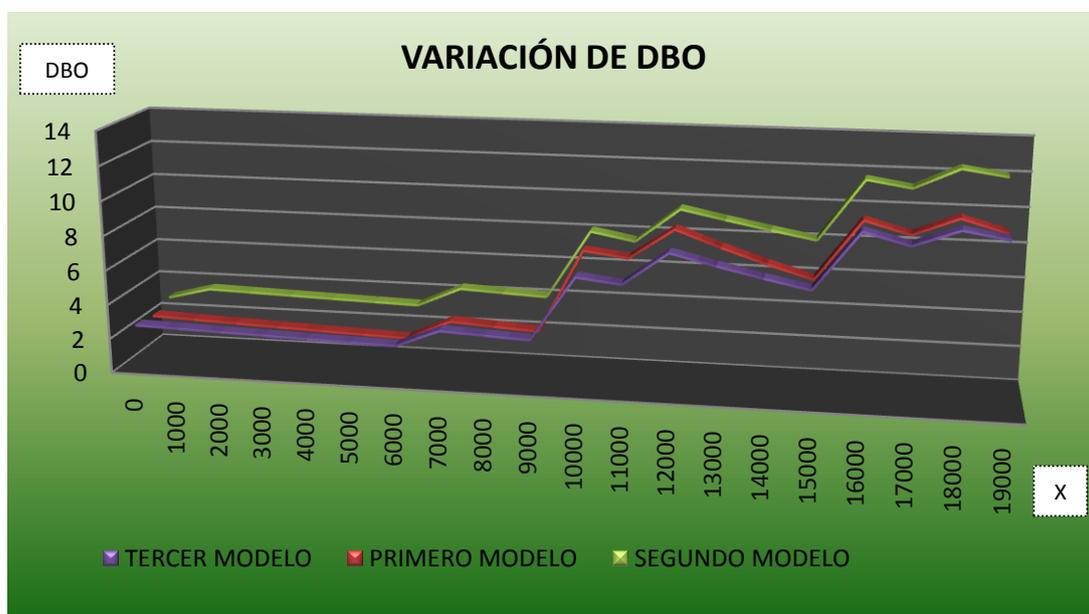


Figura N° 31: Variación de DBO de los tres modelos calculados

- En los tres modelos se obtiene resultados similares en la variación de DBO a través de la distancia, lo cual ayuda a comprobar que los muestreos y los cálculos han sido acertados. Se puede resaltar que el tercer modelo obtenido de los datos de campo en época lluviosa posee menor cantidad de materia orgánica con un promedio de 5,38 mg/lit muy diferente al promedio del segundo muestreo obtenido de los datos de campo en época seca con un promedio de 6,67 mg/lit.

- ② Al analizar los resultados se observa que desde el punto inicial hasta los 6000 metros de distancia aproximadamente se obtiene valores de DBO menores a los 3,16 mg/lit, situación que se presenta debido a que el río San Pedro recibe el ingreso de aguas limpias que provienen de las quebradas del Pasochoa y del Bosque Cachaco.
- ② A partir de los 6000 metros de distancia hasta los 9000, existe un incremento en la concentración de DBO, debido a que el río atraviesa por un gran centro poblado como es la ciudad de Sangolquí.
- ② Posteriormente desde los 9000 metros de distancia hasta los 12000 metros la concentración de DBO aumenta considerablemente llegando a valores de 9,51 mg/lit, situación que se da debido al ingreso del afluente del río Cachaco el cual posee un contenido de materia orgánica bastante elevada y a las descargas de aguas residuales de San Rafael, un centro altamente poblado.
- ② Desde los 12000 hasta los 19000 metros de distancia se obtiene los valores más alto de DBO (11,99 mg/lit), se alcanza estos valores debido a que el río a la altura de La Bocatoma es canalizado casi en su totalidad, a esto se le aumenta las aguas residuales de la Armenia y Guangopolo.

Los resultados de los tres modelos calculados de oxígeno disuelto se los puede apreciar en la siguiente figura:

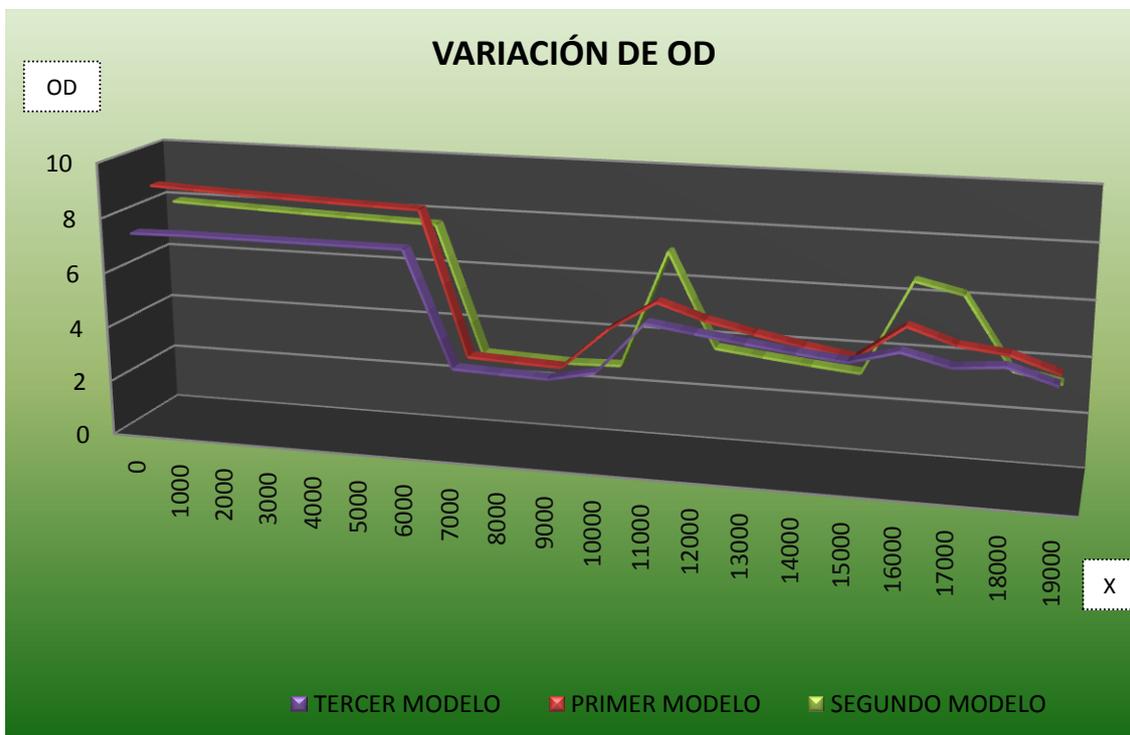


Figura N° 32: Variación de OD de los tres modelos calculados

- ⊙ En el primer y tercer modelo de OD se puede apreciar una similitud de la concentración a través de la distancia, pero en el segundo modelo en dos puntos hay una diferencia muy marcada.
- ⊙ Del punto inicial hasta los 6000 metros de distancia aproximadamente, la concentración de OD se mantiene bastante estable con niveles que van desde los 7,40mg/lit hasta los 8,82 mg/lit.
- ⊙ A los 7000 metros de distancia existe una reducción bastante acelerada llegando a valores de OD de 2,75 mg/lit, a pesar de tener porcentajes altos de error en estos puntos los tres modelos nos presentan esta disminución notable. Esta situación se podría presentar debido al ingreso de grandes cantidades de materia orgánica, la cual sirve de sustento para organismos

heterótrofos, en el proceso de descomposición de esta materia se consume gran cantidad de oxígeno.

- ④ A partir de los 10000 metros de distancia el agua del río San Pedro recibe a su principal afluente, el Río Santa Clara, un río bien caudaloso que debe aportar una importante cantidad de OD. Se obtiene valores de 5,66 mg/lit.
- ④ Desde los 12000 hasta los 15000 metros de distancia nuevamente decae la concentración de OD llegando a valores de 3,15 mg/lit, esta situación se podría presentar por la reducción del caudal del río, donde la concentración de materia orgánica aumenta y la temperatura del agua es elevada, lo que ocasiona la disminución de OD.
- ④ Y en el último tramo que va desde los 15000 metros hasta los 19000 metros de distancia se observa un ligero aumento en la concentración de oxígeno en el agua, ya que en este tramo se aporta al río el agua de pequeñas quebradas, se llega a obtener valores de 4,83 mg/lit.

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

- ④ El modelo de Streeter-Phelps es útil para simular y evaluar la calidad del agua del Río San Pedro, el resultado del modelo dependerá de la calidad y cantidad de los datos obtenidos en campo y en laboratorio.
- ④ El estudio realizado en el tramo Amaguaña - Guangopolo revela que existe contaminación por materia orgánica, principalmente en las zonas donde el río atraviesa centros poblados como Sangolquí y San Rafael. Cuando el río es canalizado casi en su totalidad la situación se altera drásticamente, recorriendo por el cauce abandonado gran cantidad de aguas residuales junto con el agua de pequeñas quebradas.
- ④ El promedio de concentración de materia orgánica de los tres modelos es de 5,81 mg/lit este dato indica que el agua del Río San Pedro es apto para riego (según la FAO²⁴) y no es apta para agua potable (según el TULAS) cuyos límites permisibles deben ser < 35 mg/lit y < a 2 mg/lit respectivamente.
- ④ La capacidad de autodepuración del río ayuda a no elevar los niveles de materia orgánica a pesar de que el caudal de aguas residuales va en aumento debido al incremento del número de habitantes en el Valle de los Chillos.

²⁴ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

- Ⓢ Existe una disminución de la concentración de DBO en época lluviosa, situación que se manifiesta debido al ingreso de aguas limpias que por pendiente se unen al cauce del río aumentando la cantidad de oxígeno disuelto.
- Ⓢ La concentración de oxígeno disuelto del río a inicios del tramo es bastante buena, se obtiene valores superiores a los 4 mg/lit que es la mínima concentración para que la vida acuática se desarrolle normalmente. Esta situación cambia notablemente a medida que se avanza en el cauce del río, debido al aumento de las descargas de aguas residuales.
- Ⓢ El estudio de la comunidad de macroinvertebrados es una herramienta eficaz para evaluar la calidad de cuerpos de agua en lo que se refiere a la contaminación por materia orgánica.
- Ⓢ La comunidad de macroinvertebrados del Río San Pedro en el tramo de estudio está constituida por un total de 15 familias, siendo los insectos el grupo más representativo.
- Ⓢ El Índice Biótico de Familias (IBF) es el índice más utilizado para evaluar la contaminación de los sistemas acuáticos debido a su simplicidad y a que solo requiere llegar al nivel taxonómico de familias ahorrando tiempo y costos.
- Ⓢ Comparando los resultados de los modelos de DBO y OD con el índice biótico, existe una relación bastante aproximada en los diferentes tramos analizados. Llegando a coincidir en que la concentración de materia orgánica aumenta a través de la distancia.

8.2 Recomendaciones

- ② Para mejorar la calidad del agua del río San Pedro es necesario disminuir las descargas de agua residuales directas, creando plantas de tratamiento y mejorado el sistema de alcantarillado por parte de los municipios.
- ② Mantener un monitoreo continuo de los ríos realizando evaluaciones físico-químicas y biológicas para obtener datos en diferentes épocas del año y así conocer el comportamiento del río y poder emplear un plan de recuperación de sus aguas.
- ② Para un estudio completo de la contaminación del río se debe incluir mayor cantidad de parámetros como metales, coliformes fecales, detergentes, pesticidas, etc.
- ② Incrementar el uso de métodos biológicos en la evaluación de los sistemas acuáticos en el país para desarrollar un nuevo índice adaptado para los ríos de la Sierra, Costa y Oriente.
- ② Crear conciencia en la población de los efectos de la contaminación de los ríos, por medio de campañas de educación en las escuelas y colegios.

BIBLIOGRAFÍA

- ④ **PROAÑO C.** "Aplicación de un modelo de materia orgánica para la determinación de la contaminación por materia orgánica del Río San Pedro en el tramo comprendido entre Tambillo y la Armenia"
- ④ **OYARZÚN J.** "Modelación y simulación de oxígeno disuelto, materia orgánica y relación distribucional de macro invertebrados en la sub cuenca del Río Traiguén"
- ④ **THOMAN R., MUELLER J.** "Principles of Surface Water Quality Modeling and Control"
- ④ **DOMÍNGUEZ J., BORROTO I., HERNÁNDEZ A.** "Empleo del Modelo de Streeter y Phelps modificado para la planificación de estrategias de saneamiento del Río Almendares"
- ④ **RODRIGUEZ T.** "Modelación de la calidad del agua en la Cuenca alta del Río Bogotá"
- ④ **GLYNN HENRY, GARY W. HEINKE,** "Ingeniería ambiental"
- ④ **OROZCO J.,** "Bioingeniería de Agua Residuales"
- ④ **CALVO M.,** "Depuración de las Aguas Residuales por Tecnologías Ecológicas"
- ④ **UNIVERSIDAD DEL VALLE, COLOMBIA,** "Optimización del Modelo de Simulación de la Calidad del Agua del Río Cauca"
- ④ **VARGAS J.** "Calidad del agua en espacios naturales: Impacto y Modelación"
- ④ **RAMALHO R.,** "Tratamiento de Aguas Residuales"
- ④ **TOUMA B., PRAT N., TERNEUS E.** "Estudio de las condiciones de referencia de las cuencas de los ríos Pita, San Pedro y Machángara"

- ② **MOLINA I. CARLOS, MARÍN RUBÉN** , "Ensayo de un método para el estudio de macro invertebrados acuáticos en un río contaminado de la ciudad de la Paz - Bolivia"
- ② **CARRASCO ZUFFI C.** "Sucesión longitudinal, altitudinal y conectividad de las comunidades de macroinvertebrados y su relación con parámetros ambientales en ríos de estribaciones occidentales en el Bosque Integral Otonga, Cotopaxi, Ecuador."
- ② **JACOBSEN D.** "Los ríos de la Sierra Ecuatoriana - los más sensibles a la contaminación"
- ② **MOYA N., OBERDORFF T., BIGORNE R., ZUBIETA J., CAMACHO J.** "Comunidad de macroinvertebrados en ríos de la cuenca Chipiriri con condiciones de referencia y alteradas, estudio preliminar para la bio-evaluación de arroyos"
- ② **CORREOSO M.** "Uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de contaminación y calidad de agua"
- ② **FIGUEROA R., ARAYA E., PARRA O., VALDOVINOS C.** "Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua"
- ② **DARRIGRAN G., VILCHES A., LEGARRALDE T. DAMBORENEA C.** "Guía para el estudio de macroinvertebrados"
- ② **LEIVA FLORES M.** "Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua en la cuenca del Estero Peu Peu comuna de Lautaro ix región de la Araucania"
- ② **AGUAS CLARAS** "Macroinvertebrados bentónicos registrados en Río Caren. Chile"
- ② **MOLINA I., MARÍN R.** "Ensayo de un método para el estudio de macro invertebrados acuáticos en un río contaminado de la ciudad de la Paz"
- ② **FRERS C.** "La problemática del agua dulce y cómo influye el medio ambiente en la salud"

- ② **TULAS**, "Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso Agua"
<http://www.ambiente.gob.ec>

- ② **UICN**, "Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza"
<http://www.iucn.org>

- ② **HIDRORED**, "Estado y Gestión de los recursos Hídricos en el Ecuador"
<http://tierra.rediris.es/hidrored/index.html>

- ② **AMBIENTUM**, Portal del Medio ambiente "Contaminación del agua por materia orgánica"
<http://www.ambientum.com>

- ② **CAMAREN**, "Sistema de Capacitación para el Manejo de los Recursos Naturales Renovables "
<http://www.agroecuador.com>

- ② **IDENTIFICATON AND ECOLOGY OF FRESHWATER INVERTEBRATES**,
Guía grafica de identificación de macroinvertebrados
<http://www.mdfrc.org.au/bugguide/index.htm>

ANEXO Nº 1

Fotografías de los puntos de muestreo en el Río San Pedro

PUNTO 1 (AMAGUAÑA-PARQUE CACHACO)



PUNTO 2 (LAS BALBINAS)



PUNTO 3 (SAN PEDRO DE TABOADA)



PUNTO 4 (CAPELO)



PUNTO 6 (COLEGIO FARINA)



PUNTO 7 (LA ARMENIA)



PUNTO 8 (GUANGOPOLO)



ANEXO Nº 2

Identificación de especies arbóreas y arbustivas del Herbario Nacional del
Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales

ANEXO Nº 3

Identificación de familias de macroinvertebrados de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador

ANEXO Nº 4

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINACIÓN DE DBO₅

Este método es aplicable para la determinación de la demanda biológica de oxígeno en 5 días (DBO₅) en aguas limpias y residuales.

REFERENCIAS:

- MCE-09 Standard Methods for examination of water and wastewater
Public office American public Health Association, 1998
- Texto Unificado de Legislación Secundaria, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recuso agua.
Publicada por el Decreto ejecutivo N°3516, 2003

EQUIPOS

- Balanza analítica
- Incubadora
- Estufa

MATERIALES

- Balones aforados de 500ml, 250ml, 100ml y 50 ml
- Pipeta automática de 1ml
- Pipeta volumétrica de 5 y 10 ml

REACTIVOS

1. Solución Buffer de Fosfato: Disolver 42.5 g de KH_2PO_4 o 54.3 g de K_2HPO_4 en agua destilada. Ajustar el pH a 7.2 con NaOH al 30% y diluir a 1 L.
2. Solución Cloruro de Calcio: Disolver 27.5 g de CaCl_2 en agua destilada y diluir a 1L
3. Solución Sulfato de Magnesio: Disolver 22.5g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada y aforar a 1L

4. Solución cloruro Férrico: Disolver 0.25 g de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada y aforar a 1 L
5. Solución sulfato Manganeso: Disolver 364 g de $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ en agua destilada, filtrar y diluir a 1L
6. Álcali-Yoduro-Ácida reactivo: Disolver 500 g hidróxido de sodio (NaOH) y 150 g KI en agua destilada y diluir a 1L. Añadir 10 g de Azida de Sodio (NaN_3) disueltos en 40 ml de agua destilada.
7. Ácido Sulfúrico, H_2SO_4 concentrado
8. Almidón: o bien utilizar una solución acuosa o mezclas de poder de almidón soluble
9. Titulante estándar de Tiosulfato de Sodio: Disolver 6.205 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada. Añadir 0.4 g de NaOH y diluir a 1 L
10. Solución Ácido Glucosa-Glutámico: secar la glucosa y el glutámico como grado reactivo a una temperatura de 103°C por 1 hora. Añadir 150 mg de glucosa y 150 g de ácido glutámico al agua destilada y aforar a 1L. Preparar inmediatamente antes de su uso.

PREPARACIÓN Y PRESERVACIÓN DE LA MUESTRA:

- Debe tomarse un mínimo de 300 ml de muestra en una botella winkler
- Se debe evitar que la muestra se agite o entre en contacto con el aire
- El análisis de la muestra debe realizarse inmediatamente después de su recolección, caso contrario añadir 1ml de sulfato manganeso (MnSO_4), 1 ml de la solución de álcali-yoduro, y 1 ml de H_2SO_4 , el tiempo máximo de preservación de hasta 24 horas
- Si la muestra tiene que ser transportada, se debe mantener a 4°C aproximadamente y no se debe almacenar por más de 8 horas.
- Se debe proteger las muestras del sol fuerte y titular lo más pronto posible.

PROCEDIMIENTO

- Previamente dejar aireando por un día el agua destilada con cada uno de los nutrientes que contienen: sulfato de magnesio, cloruro férrico, cloruro de calcio y buffer de fosfatos.
- Por cada litro de agua destilada se añade 1 ml de cada nutriente, a esto se le llama agua de dilución
- Se hace las respectivas diluciones de acuerdo al trabajo que se vaya a realizar

- Agregar un volumen con respecto a cada estándar a analizar
- Completar la muestra con la cantidad necesaria del agua de dilución a cada botella
- A dicha muestra se la deja incubando a una temperatura de 20°C durante 5 días
- Sacar la muestra de la incubadora, añadir 1 ml de sulfato manganoso ($MnSO_4$) con una pipeta, y 1 ml del reactivo álcali-yoduro-ácida.
- Se coloca la tapa, evitando que queden burbujas dentro del frasco, se retira el sobrante y agitamos en frasco varias veces.
- Cuando el precipitado se ha asentado suficientemente 1/3 botella que deja un claro que es el hidróxido de manganeso que está por encima de la floculación
- Destapamos el frasco y agregamos 1ml de ácido sulfúrico concentrado, tapamos y agitamos hasta homogenizar.
- Titule un volumen correspondiente a 200 ml de la muestra original
- Titule con la solución 0.025M $Na_2S_2O_3$ a un color amarillo pálido
- Añadir unas gotas de solución de almidón y continuar la titulación hasta la primera desaparición del color azul.
- Anotar los resultados en el registro de trabajo diario
- Preparar el blanco: con 300 ml de agua del grifo

EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

Para calcular la concentración de DBO_5 tanto para las muestras, estándares y blancos se utiliza la siguiente ecuación:

$$DBO_5 = \frac{D1 - D2}{P}$$

Donde:

D1= Oxígeno disuelto inicial de la muestra (mg/L)

D2= Oxígeno disuelto de la muestra luego de 5 días a 20°C (mg/L)

P= Fracción residual decimal de la muestra de agua usada

$$P = \frac{\text{Volumen de la muestra del agua (ml)}}{\text{Valumen frasco para DBO (ml)}}$$

ANEXO N°5

PROCEDIMIENTO PARA OBTENER SOLIDOS TOTALES Y SOLIDOS DISUELTOS

Primero se obtienen los sólidos en suspensión para ello se sigue los siguientes pasos:

- 1) Se filtra 50 ml del agua del río. Para esto se utiliza un procedimiento gravimétrico y una bomba de vacío para agitar el proceso. La muestra antes de pasar por el filtro previamente pesado es conveniente que se encuentre homogenizada, para evitar acumulación de sólidos.
- 2) El filtro debe ser manipulado con pinzas y ser transportado en una caja petri con el fin de que no absorba humedad y cambie su peso.
- 3) Una vez realizado esto se deja el filtro en la caja petri semi descubierta a 60°C en la estufa durante 1 día y se vuelve a medir el peso.

Para obtener los sólidos disueltos se sigue los siguientes pasos:

- 1) Los 50 ml de agua previamente filtrada se deposita en un crisol y se evapora en la estufa a 60°C durante 24 horas.
- 2) Se determina el residuo que permanece en el crisol empleado. Por diferencia de pesos.

La sumatoria de los sólidos en suspensión y los sólidos disueltos nos dan como resultado los sólidos totales. Para comprobar los datos se sigue los siguientes pasos:

- 1) Se vierte directamente sobre el crisol previamente pesado los 50 ml de la muestra del río. Se lleva a la estufa y se deja a 60°C durante 24 horas.
- 2) Se vuelve a pesar el crisol y el resultado de peso sirve para comprobar las otras medidas (sólidos disueltos y sólidos en suspensión).

ANEXO Nº 6

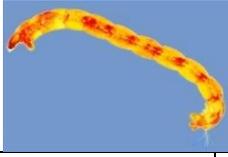
Valores de tolerancia para macroinvertebrados bentónicos, según Figueroa (1999).

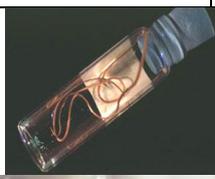
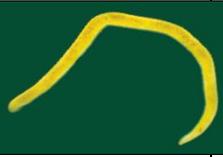
Plecoptera		Trichoptera		Coleoptera	
Gripopterygiidae	1	Calamoceratidae	3	Elmidae	4
Notonemouridae	0	Glossosomatidae	0	Psephenidae	4
Perlidae	1	Helicopsychidae	3		
Diamphipnoidae (*)	0	Hydropsychidae	4	Diptera	
Austronemouridae (*)	1	Hydroptilidae	4	Athericidae	2
Eustheniidae	0	Leptoceridae	4	Blephariceridae	0
Autroperlidae	1	Limnephilidae	2	Ceratopogonidae	6
Ephemeroptera		Ecnomidae	3	Chironomidae	7
Baetidae	4	Helicophidae	6	Empididae	6
Caenidae	7	Philopotamidae	2	Ephydriidae	6
Leptophlebiidae	2	Polycentropodidae	3	Psychodidae	10
Nesameletidae	2	Hydrobiosidae	0	Simuliidae	6
Oligoneuridae	2	Sericostomatidae	3	Tipulidae	3
Ameletopsidae	2				
Coloburiscidae	3	Megaloptera		Amphipoda	
Oniscigastridae	3	Corydalidae	0	Gammaridae	4
Odonata		Sialidae	4	Hyaellidae	8
Aeshnidae	3			Mollusca	
Calopterygidae	5	Lepidoptera		Amnicolidae	6
Gomphidae	1	Pyralidae	5	Lymnaeidae	6
Lestidae	9			Physidae	8
Libellulidae	9	Platyhelminthes		Sphaeriidae	8
Coenagrionidae	9	Turbellaria	4	Chilinae	6
Cordulidae	5	Acari	4	Oligochaeta	8
Petaluridae	5	Decapoda	6	Hirudinea	10

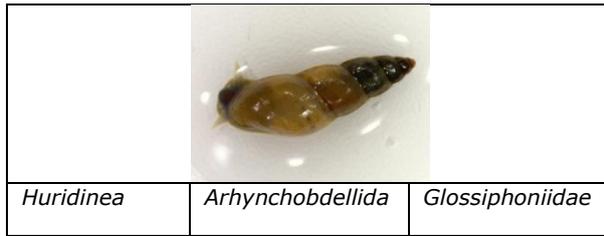
ANEXO Nº 7

Fotografías de los macroinvertebrados encontrados en el Río San Pedro

(FUENTE: <http://www.mdrc.org.au/bugguide/index.htm>)

CLASE	ORDEN	FAMILIA
<i>Insecta</i>	<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>
		
<i>Insecta</i>	<i>Coleóptera</i>	<i>Elmidae</i>
		
<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Chironomidae</i>
		
<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Ceratopogonidae</i>
		
<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Simuliidae</i>
		
<i>Insecta</i>	<i>Díptera</i>	<i>Tipulidae</i>
		
<i>Turbellaria</i>	<i>Tricladida</i>	<i>Planarian</i> <i>Platyhelminthes</i>
		

<i>Nematomorpha</i>	<i>Gordioidea</i>	<i>Gordiidae</i>
		
		
<i>Gastropoda</i>	<i>Basommatophora</i>	<i>Physidae</i>
		
<i>Hirudinea</i>	<i>Arhynchobdellida</i>	<i>Hirudineo</i>
		
<i>Clitellata</i>	<i>Anélida</i>	<i>Oligochaeta</i>
		
<i>Malacostraca</i>	<i>Amphipoda</i>	<i>Hyalellidae</i>
		
<i>Bivalva</i>	<i>Veneroida</i>	<i>Sphaeriidae</i>
		
<i>Gastropoda</i>	<i>Basommatophora</i>	<i>Lymnaeidae</i>



Huridinea

Arhynchobdellida

Glossiphoniidae



ANEXO N°8

**RESULTADOS DE LA
MODELACION DE
DBO₀ DEL PRIMER
MUESTREO**

X (0 – 19200)

X	MODELO [DBO] (mg/l)	TERRENO [DBO] (mg/l)	ERROR %
0	1,73	173	0,00
100	2,47		
200	2,46		
300	2,45		
400	2,44		
500	2,43		
600	2,42		
700	2,41		
800	2,40		
900	2,39		
1000	2,38		
1100	2,37		
1200	2,36		
1300	2,35		
1400	2,33		
1500	2,32		
1600	2,31		
1700	2,31		
1800	2,30		
1900	2,29		
2000	2,28		
2100	2,27		
2200	2,26		
2300	2,25		
2400	2,24		
2500	2,23		
2600	2,22		
2700	2,21		

2800	2,20		
2900	2,19		
3000	2,18		
3100	2,17		
3200	2,16		
3300	2,15		
3400	2,14		
3500	2,13		
3600	2,12		
3700	2,12		
3800	2,11		
3900	2,10		
4000	2,09		
4100	2,08		
4200	2,07	2,42	14,44
4300	2,06		
4400	2,05		
4500	2,04		
4600	2,04		
4700	2,03		
4800	2,02		
4900	2,01		
5000	2,00		
5100	1,99		
5200	1,98		
5300	1,97		
5400	1,97		
5500	1,96		
5600	1,95		
5700	1,94		
5800	1,93		
5900	1,92		
6000	1,92		
6100	1,91		
6200	1,90		
6300	1,89		
6400	1,88		
6500	1,88		
6600	1,87		

6700	1,86		
6800	3,08		
6900	3,06		
7000	3,04		
7100	3,03		
7200	3,01		
7300	2,99		
7400	2,97		
7500	2,96		
7600	2,94		
7700	2,92	4,74	38,35
7800	2,91		
7900	2,89		
8000	2,87		
8100	2,86		
8200	2,84		
8300	2,82		
8400	2,81		
8500	2,79		
8600	2,77		
8700	2,76		
8800	2,74		
8900	2,73		
9000	2,71		
9100	5,33		
9200	5,30		
9300	5,29		
9400	7,80		
9500	7,75		
9600	7,70		
9700	7,66		
9800	7,61		
9900	7,57	7,63	0,81
10000	7,52		
10100	7,48		
10200	7,56		
10300	7,52		
10400	7,47		
10500	7,43		

10600	7,38		
10700	7,34		
10800	7,30		
10900	7,25		
11000	7,21		
11100	7,17		
11200	7,12		
11300	9,66		
11400	9,55		
11500	9,45		
11600	9,35		
11700	9,25		
11800	9,15		
11900	9,05	8,67	4,37
12000	8,95		
12100	8,85		
12200	8,76		
12300	8,66		
12400	8,57		
12500	8,48		
12600	8,39		
12700	8,30	7,40	12,11
12800	8,21		
12900	8,12		
13000	8,03		
13100	7,94		
13200	7,86		
13300	7,77		
13400	7,69		
13500	7,61		
13600	7,52		
13700	7,44		
13800	7,36		
13900	7,28		
14000	7,20		
14100	7,13		
14200	7,05		
14300	6,97		
14400	6,90		
14500	6,82		
14600	6,75		
14700	6,68		
14800	6,60		
14900	6,53		
15000	6,46		

15100	6,39		
15200	6,32		
15300	6,26		
15400	6,19	9,13	32,23
15500	6,12		
15600	6,05		
15700	5,99		
15800	10,02		
15900	9,95		
16000	9,88		
16100	9,80		
16200	9,73		
16300	9,66		
16400	9,59		
16500	9,52		
16600	9,45		
16700	9,38		
16800	9,31		
16900	9,24		
17000	9,17		
17100	9,10		
17200	9,04		
17300	8,97		
17400	8,91		
17500	10,57		
17600	10,49		
17700	10,41		
17800	10,34		
17900	10,26		
18000	10,18		
18100	10,11		
18200	10,03		
18300	9,96		
18400	9,89		
18500	9,81		
18600	9,74		
18700	9,67		
18800	9,60		
18900	9,53		
19000	9,46		
19100	9,39		
19200	9,32	10,63	12,32

ANEXO N°9
RESULTADOS DE LA
MODELACION DE
DBO₀ DEL SEGUNDO
MUESTREO
X (0 – 19200)

	MODELO	TERRENO	ERROR
X	[DBO] (mg/l)	[DBO] (mg/l)	%
0	2,89	2,890	0,00
100	3,59		
200	3,58		
300	3,58		
400	3,57		
500	3,56		
600	3,55		
700	3,55		
800	3,54		
900	3,53		
1000	3,52		
1100	3,52		
1200	3,51		
1300	3,50		
1400	3,49		
1500	3,49		
1600	3,48		
1700	3,47		
1800	3,46		
1900	3,46		

2000	3,45		
2100	3,44		
2200	3,43		
2300	3,43		
2400	3,42		
2500	3,41		
2600	3,40		
2700	3,40		
2800	3,39		
2900	3,38		
3000	3,37		
3100	3,37		
3200	3,36		
3300	3,35		
3400	3,35		
3500	3,34		
3600	3,33		
3700	3,32		
3800	3,32		
3900	3,31		
4000	3,30		
4100	3,30		
4200	3,29	2,31	42,36
4300	3,28		
4400	3,27		
4500	3,27		
4600	3,26		
4700	3,25		
4800	3,25		
4900	3,24		
5000	3,23		
5100	3,23		
5200	3,22		
5300	3,21		
5400	3,20		
5500	3,20		
5600	3,19		
5700	3,18		
5800	3,18		
5900	3,17		
6000	3,16		
6100	3,16		
6200	3,15		
6300	3,14		
6400	3,14		

6500	3,13		
6600	3,12		
6700	3,12		
6800	4,30		
6900	4,29		
7000	4,28		
7100	4,26		
7200	4,25		
7300	4,24		
7400	4,23		
7500	4,22		
7600	4,20		
7700	4,19	6,93	39,53
7800	4,18		
7900	4,17		
8000	4,15		
8100	4,14		
8200	4,13		
8300	4,12		
8400	4,11		
8500	4,09		
8600	4,08		
8700	4,07		
8800	4,06		
8900	4,05		
9000	4,03		
9100	5,70		
9200	5,69		
9300	5,68		
9400	8,16		
9500	8,13		
9600	8,11		
9700	8,08		
9800	8,06		
9900	8,04	7,74	3,82
10000	8,01		
10100	7,99		
10200	7,73		
10300	7,70		
10400	7,68		
10500	7,66		
10600	7,63		
10700	7,61		
10800	7,59		
10900	7,57		

11000	7,54		
11100	7,52		
11200	7,50		
11300	9,89		
11400	9,83		
11500	9,78		
11600	9,72		
11700	9,67		
11800	9,61		
11900	9,56	7,97	19,96
12000	9,51		
12100	9,45		
12200	9,40		
12300	9,35		
12400	9,30		
12500	9,25		
12600	9,19		
12700	9,14	10,52	13,09
12800	9,09		
12900	9,04		
13000	8,99		
13100	8,94		
13200	8,89		
13300	8,84		
13400	8,79		
13500	8,74		
13600	8,70		
13700	8,65		
13800	8,60		
13900	8,55		
14000	8,50		
14100	8,46		
14200	8,41		
14300	8,36		
14400	8,32		
14500	8,27		
14600	8,22		
14700	8,18		
14800	8,13		
14900	8,09		
15000	8,04		
15100	8,00		
15200	7,95		
15300	7,91		
15400	7,86	11,56	31,97

15500	7,82		
15600	7,78		
15700	7,73		
15800	11,65		
15900	11,61		
16000	11,57		
16100	11,53		
16200	11,49		
16300	11,45		
16400	11,42		
16500	11,38		
16600	11,34		
16700	11,30		
16800	11,26		
16900	11,22		
17000	11,18		
17100	11,14		
17200	11,10		
17300	11,07		
17400	11,03		
17500	12,55		
17600	12,51		
17700	12,48		
17800	12,44		
17900	12,40		
18000	12,36		
18100	12,32		
18200	12,29		
18300	12,25		
18400	12,21		
18500	12,17		
18600	12,14		
18700	12,10		
18800	12,06		
18900	12,03		
19000	11,99		
19100	11,95		
19200	11,92	13,06	8,76

ANEXO Nº10
RESULTADOS DE LA
MODELACION DE
DBO₀ DEL TERCER
MUESTREO
X (0 – 19200)

X	MODELO [DBO] (mg/l)	TERRENO [DBO] (mg/l)	ERROR %
0	1,96	1,96	0,0
100	2,64		
200	2,64		
300	2,63		
400	2,62		
500	2,61		
600	2,61		
700	2,60		
800	2,59		
900	2,58		
1000	2,58		
1100	2,57		
1200	2,56		
1300	2,55		
1400	2,55		
1500	2,54		
1600	2,53		
1700	2,53		
1800	2,52		

1900	2,51		
2000	2,50		
2100	2,50		
2200	2,49		
2300	2,48		
2400	2,48		
2500	2,47		
2600	2,46		
2700	2,45		
2800	2,45		
2900	2,44		
3000	2,43		
3100	2,43		
3200	2,42		
3300	2,41		
3400	2,41		
3500	2,40		
3600	2,39		
3700	2,39		
3800	2,38		
3900	2,37		
4000	2,37		
4100	2,36		
4200	2,35	1,73	35,95
4300	2,35		
4400	2,34		
4500	2,33		
4600	2,33		
4700	2,32		
4800	2,31		
4900	2,31		
5000	2,30		
5100	2,29		
5200	2,29		
5300	2,28		
5400	2,27		
5500	2,27		
5600	2,26		
5700	2,25		
5800	2,25		
5900	2,24		
6000	2,23		
6100	2,23		
6200	2,22		
6300	2,22		

6400	2,21		
6500	2,20		
6600	2,20		
6700	2,19		
6800	3,27		
6900	3,25		
7000	3,24		
7100	3,22		
7200	3,21		
7300	3,20		
7400	3,19		
7500	3,17		
7600	3,16		
7700	3,15	4,51	30,24
7800	3,13		
7900	3,12		
8000	3,11		
8100	3,09		
8200	3,08		
8300	3,07		
8400	3,06		
8500	3,04		
8600	3,03		
8700	3,02		
8800	3,01		
8900	2,99		
9000	2,98		
9100	4,45		
9200	4,44		
9300	4,43		
9400	6,84		
9500	6,82		
9600	6,79		
9700	6,76		
9800	6,73		
9900	6,70	4,51	48,61
10000	6,67		
10100	6,65		
10200	6,60		
10300	6,57		
10400	6,54		
10500	6,52		
10600	6,49		
10700	6,46		
10800	6,43		

10900	6,41		
11000	6,38		
11100	6,35		
11200	6,33		
11300	8,71		
11400	8,64		
11500	8,58		
11600	8,51		
11700	8,45		
11800	8,38		
11900	8,32	5,66	46,97
12000	8,25		
12100	8,19		
12200	8,13		
12300	8,07		
12400	8,01		
12500	7,94		
12600	7,88		
12700	7,82	7,63	2,53
12800	7,76		
12900	7,70		
13000	7,64		
13100	7,59		
13200	7,53		
13300	7,47		
13400	7,41		
13500	7,36		
13600	7,30		
13700	7,24		
13800	7,19		
13900	7,13		
14000	7,08		
14100	7,02		
14200	6,97		
14300	6,92		
14400	6,86		
14500	6,81		
14600	6,76		
14700	6,71		
14800	6,66		
14900	6,61		
15000	6,56		
15100	6,51		
15200	6,46		
15300	6,41		

15400	6,36	9,48	32,94
15500	6,31		
15600	6,26		
15700	6,21		
15800	10,01		
15900	9,94		
16000	9,87		
16100	9,80		
16200	9,73		
16300	9,66		
16400	9,59		
16500	9,52		
16600	9,46		
16700	9,39		
16800	9,32		
16900	9,26		
17000	9,19		
17100	9,13		
17200	9,06		
17300	9,00		
17400	8,94		
17500	10,36		
17600	10,31		
17700	10,27		
17800	10,22		
17900	10,18		
18000	10,14		
18100	10,09		
18200	10,05		
18300	10,01		
18400	9,97		
18500	9,92		
18600	9,88		
18700	9,84		
18800	9,80		
18900	9,76		
19000	9,72		
19100	9,67		
19200	9,63	10,52	8,43

ANEXO Nº11
RESULTADOS DE LA
MODELACION DE OD
DEL PRIMER
MUESTREO

X (0 – 19200)

	MODELO	TERRENO	ERROR
X	[DBO] (mg/l)	[DBO] (mg/l)	%
0	7,8	7,8	0,00
100	8,81		
200	8,80		
300	8,79		
400	8,79		
500	8,78		
600	8,77		
700	8,76		
800	8,76		
900	8,75		
1000	8,74		
1100	8,73		
1200	8,73		
1300	8,72		
1400	8,71		
1500	8,70		
1600	8,70		
1700	8,69		
1800	8,68		
1900	8,68		

2000	8,67		
2100	8,66		
2200	8,66		
2300	8,65		
2400	8,64		
2500	8,64		
2600	8,63		
2700	8,62		
2800	8,62		
2900	8,61		
3000	8,61		
3100	8,60		
3200	8,59		
3300	8,59		
3400	8,58		
3500	8,58		
3600	8,57		
3700	8,56		
3800	8,56		
3900	8,55		
4000	8,55		
4100	8,54		
4200	8,54	7,6	12,33
4300	8,53		
4400	8,53		
4500	8,52		
4600	8,52		
4700	8,51		
4800	8,51		
4900	8,50		
5000	8,50		
5100	8,49		
5200	8,49		
5300	8,48		
5400	8,48		
5500	8,47		
5600	8,47		
5700	8,46		
5800	8,46		
5900	8,45		
6000	8,45		
6100	8,45		
6200	8,44		
6300	8,44		
6400	8,43		

6500	8,43		
6600	8,43		
6700	8,42		
6800	3,23		
6900	3,23		
7000	3,22		
7100	3,21		
7200	3,20		
7300	3,20		
7400	3,19		
7500	3,18		
7600	3,17		
7700	3,17	5,2	39,8
7800	3,16		
7900	3,15		
8000	3,15		
8100	3,14		
8200	3,13		
8300	3,13		
8400	3,12		
8500	3,11		
8600	3,11		
8700	3,10		
8800	3,09		
8900	3,09		
9000	3,08		
9100	6,88		
9200	6,87		
9300	6,86		
9400	4,76		
9500	4,73		
9600	4,70		
9700	4,68		
9800	4,65		
9900	4,62	6,5	28,97
10000	4,59		
10100	4,56		
10200	6,00		
10300	5,96		
10400	5,91		
10500	5,87		
10600	5,83		
10700	5,78		
10800	5,74		
10900	5,70		

11000	5,66		
11100	5,62		
11200	5,58		
11300	5,40		
11400	5,36		
11500	5,32		
11600	5,28		
11700	5,24		
11800	5,20		
11900	5,16	6,3	18,11
12000	5,12		
12100	5,08		
12200	5,04		
12300	5,01		
12400	4,97		
12500	4,93		
12600	4,90		
12700	4,86	6,2	21,62
12800	4,82		
12900	4,79		
13000	4,75		
13100	4,72		
13200	4,69		
13300	4,65		
13400	4,62		
13500	4,59		
13600	4,56		
13700	4,53		
13800	4,50		
13900	4,46		
14000	4,43		
14100	4,41		
14200	4,38		
14300	4,35		
14400	4,32		
14500	4,29		
14600	4,26		
14700	4,24		
14800	4,21		
14900	4,18		
15000	4,16		
15100	4,13		
15200	4,10		
15300	4,08		
15400	4,05	6,2	34,61

15500	4,03		
15600	4,01		
15700	3,98		
15800	5,51		
15900	5,45		
16000	5,39		
16100	5,33		
16200	5,27		
16300	5,21		
16400	5,15		
16500	5,09		
16600	5,04		
16700	4,99		
16800	4,93		
16900	4,88		
17000	4,83		
17100	4,78		
17200	4,74		
17300	4,69		
17400	4,65		
17500	4,96		
17600	4,89		
17700	4,83		
17800	4,76		
17900	4,70		
18000	4,64		
18100	4,58		
18200	4,52		
18300	4,46		
18400	4,41		
18500	4,35		
18600	4,29		
18700	4,24		
18800	4,18		
18900	4,13		
19000	4,08		
19100	4,03		
19200	3,98	6	33,72

ANEXO Nº12
RESULTADOS DE LA
MODELACION DE OD
DEL SEGUNDO
MUESTREO
X (0 – 19200)

	MODELO	TERRENO	ERROR
X	[DBO] (mg/l)	[DBO] (mg/l)	%
0	7,50	7,50	0
100	7,903		
200	7,896		
300	7,890		
400	7,883		
500	7,876		
600	7,870		
700	7,863		
800	7,857		
900	7,851		
1000	7,844		
1100	7,838		
1200	7,832		
1300	7,826		
1400	7,819		
1500	7,813		
1600	7,807		
1700	7,801		
1800	7,795		
1900	7,789		

2000	7,783		
2100	7,778		
2200	7,772		
2300	7,766		
2400	7,760		
2500	7,755		
2600	7,749		
2700	7,743		
2800	7,738		
2900	7,732		
3000	7,727		
3100	7,721		
3200	7,716		
3300	7,711		
3400	7,705		
3500	7,700		
3600	7,695		
3700	7,689		
3800	7,684		
3900	7,679		
4000	7,674		
4100	7,669		
4200	7,664	7,6	0,84
4300	7,659		
4400	7,654		
4500	7,649		
4600	7,644		
4700	7,640		
4800	7,635		
4900	7,630		
5000	7,625		
5100	7,621		
5200	7,616		
5300	7,611		
5400	7,607		
5500	7,602		
5600	7,598		
5700	7,593		
5800	7,589		
5900	7,584		
6000	7,580		
6100	7,576		
6200	7,571		
6300	7,567		
6400	7,563		

6500	7,559		
6600	7,554		
6700	7,550		
6800	2,897		
6900	2,890		
7000	2,883		
7100	2,877		
7200	2,870		
7300	2,864		
7400	2,857		
7500	2,851		
7600	2,844		
7700	2,838	5,3	46,46
7800	2,832		
7900	2,825		
8000	2,819		
8100	2,813		
8200	2,807		
8300	2,801		
8400	2,795		
8500	2,788		
8600	2,782		
8700	2,777		
8800	2,771		
8900	2,765		
9000	2,759		
9100	7,479		
9200	7,467		
9300	7,462		
9400	2,906		
9500	2,890		
9600	2,873		
9700	2,857		
9800	2,841		
9900	2,825	4,8	41,14
10000	2,809		
10100	2,794		
10200	7,271		
10300	7,248		
10400	7,225		
10500	7,203		
10600	7,180		
10700	7,158		
10800	7,136		
10900	7,115		

11000	7,093		
11100	7,072		
11200	7,051		
11300	3,836		
11400	3,815		
11500	3,793		
11600	3,772		
11700	3,752		
11800	3,731		
11900	3,710	6,3	41,11
12000	3,690		
12100	3,670		
12200	3,650		
12300	3,630		
12400	3,610		
12500	3,591		
12600	3,571		
12700	3,552	5,2	31,69
12800	3,533		
12900	3,514		
13000	3,496		
13100	3,477		
13200	3,459		
13300	3,441		
13400	3,423		
13500	3,405		
13600	3,387		
13700	3,370		
13800	3,352		
13900	3,335		
14000	3,318		
14100	3,301		
14200	3,284		
14300	3,268		
14400	3,251		
14500	3,235		
14600	3,219		
14700	3,203		
14800	3,187		
14900	3,171		
15000	3,156		
15100	3,140		
15200	3,125		
15300	3,110		
15400	3,095	5,6	44,73

15500	3,080		
15600	3,065		
15700	3,051		
15800	6,638		
15900	6,595		
16000	6,553		
16100	6,512		
16200	6,471		
16300	6,431		
16400	6,392		
16500	6,353		
16600	6,315		
16700	6,278		
16800	6,241		
16900	6,205		
17000	6,169		
17100	6,134		
17200	6,100		
17300	6,066		
17400	6,033		
17500	3,806		
17600	3,768		
17700	3,730		
17800	3,693		
17900	3,657		
18000	3,620		
18100	3,585		
18200	3,549		
18300	3,514		
18400	3,479		
18500	3,445		
18600	3,410		
18700	3,377		
18800	3,343		
18900	3,310		
19000	3,278		
19100	3,245		
19200	3,213	5,8	44,60

ANEXO Nº13
RESULTADOS DE LA
MODELACION DE OD
DEL TERCER
MUESTREO
X (0 – 19200)

	MODELO	TERRENO	ERROR
X	[DBO] (mg/l)	[DBO] (mg/l)	%
0	7,40	7,40	0
100	7,44		
200	7,44		
300	7,44		
400	7,44		
500	7,44		
600	7,43		
700	7,43		
800	7,43		
900	7,43		
1000	7,43		
1100	7,43		
1200	7,43		
1300	7,43		
1400	7,43		
1500	7,43		
1600	7,43		
1700	7,43		
1800	7,43		
1900	7,43		
2000	7,43		
2100	7,42		
2200	7,42		

2300	7,42		
2400	7,42		
2500	7,42		
2600	7,42		
2700	7,42		
2800	7,42		
2900	7,42		
3000	7,42		
3100	7,42		
3200	7,42		
3300	7,42		
3400	7,42		
3500	7,42		
3600	7,42		
3700	7,41		
3800	7,41		
3900	7,41		
4000	7,41		
4100	7,41		
4200	7,41	7,3	1,5
4300	7,41		
4400	7,41		
4500	7,41		
4600	7,41		
4700	7,41		
4800	7,41		
4900	7,41		
5000	7,41		
5100	7,41		
5200	7,41		
5300	7,40		
5400	7,40		
5500	7,40		
5600	7,40		
5700	7,40		
5800	7,40		
5900	7,40		
6000	7,40		
6100	7,40		
6200	7,40		
6300	7,40		
6400	7,40		
6500	7,40		
6600	7,40		
6700	7,40		

6800	3,26		
6900	3,25		
7000	3,25		
7100	3,24		
7200	3,24		
7300	3,23		
7400	3,22		
7500	3,22		
7600	3,21		
7700	3,21	5,6	42,73
7800	3,20		
7900	3,20		
8000	3,19		
8100	3,18		
8200	3,18		
8300	3,17		
8400	3,17		
8500	3,16		
8600	3,16		
8700	3,15		
8800	3,15		
8900	3,14		
9000	3,13		
9100	6,66		
9200	6,65		
9300	6,64		
9400	3,59		
9500	3,58		
9600	3,56		
9700	3,54		
9800	3,52		
9900	3,51	5,5	36,27
10000	3,49		
10100	3,47		
10200	5,55		
10300	5,52		
10400	5,50		
10500	5,47		
10600	5,44		
10700	5,42		
10800	5,39		
10900	5,36		
11000	5,34		
11100	5,31		
11200	5,29		

11300	5,28		
11400	5,25		
11500	5,23		
11600	5,20		
11700	5,18		
11800	5,15		
11900	5,13	5,8	11,64
12000	5,10		
12100	5,08		
12200	5,05		
12300	5,03		
12400	5,00		
12500	4,98		
12600	4,96		
12700	4,94	4,2	17,52
12800	4,91		
12900	4,89		
13000	4,87		
13100	4,85		
13200	4,83		
13300	4,80		
13400	4,78		
13500	4,76		
13600	4,74		
13700	4,72		
13800	4,70		
13900	4,68		
14000	4,66		
14100	4,64		
14200	4,63		
14300	4,61		
14400	4,59		
14500	4,57		
14600	4,55		
14700	4,53		
14800	4,52		
14900	4,50		
15000	4,48		
15100	4,46		
15200	4,45		
15300	4,43		
15400	4,41	5,1	13,44
15500	4,40		
15600	4,38		
15700	4,37		

15800	5,05		
15900	5,00		
16000	4,95		
16100	4,91		
16200	4,86		
16300	4,82		
16400	4,78		
16500	4,74		
16600	4,70		
16700	4,66		
16800	4,62		
16900	4,58		
17000	4,54		
17100	4,50		
17200	4,47		
17300	4,43		
17400	4,40		
17500	5,00		
17600	4,93		
17700	4,87		
17800	4,81		
17900	4,75		
18000	4,69		
18100	4,64		
18200	4,58		
18300	4,53		
18400	4,47		
18500	4,42		
18600	4,37		
18700	4,32		
18800	4,27		
18900	4,22		
19000	4,17		
19100	4,13		
19200	4,08	5,5	25,80

