

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL RÍO MACHÁNGARA

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL**

IVÁN CAMILO REINOSO CHISAGUANO

ivankreinoso@yahoo.com

DIRECTOR: Ing. ISAÍAS MUÑOZ MSc.

marcelo.munoz@epn.edu.ec

CODIRECTORA: Ing. MARÍA BELÉN ALDAS MSc.

maria.aldas@epn.edu.ec

Quito, Abril 2015

DECLARACIÓN

Yo, Iván Camilo Reinoso Chisaguano declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes de este trabajo, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por su normativa institucional vigente.

IVÁN CAMILO REINOSO CHISAGUANO

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Iván Camilo Reinoso Chisaguano, bajo mi supervisión.

PROF. ING. MARCELO MUÑOZ MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO

ING. MARÍA BELÉN ALDAS MSc.
CODIRECTORA DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Primeramente a mis padres Camilo y Mariana, por su ejemplo, amor y apoyo. Todo lo que soy y llegaré a ser es gracias a ellos.

A mi hermano mayor Diego por ser mi ejemplo a seguir toda mi vida

A mi hermano menor Fernando por su grata compañía y apoyo.

A Iván Pazmiño mi gran hermano de la vida

A Naty Manosalvas por ser la hermana mayor que me dio la vida

A mis tíos Walter, María, Lupita, Luchin, Inés, Edmundito, Hernancito, por su cariño y apoyo desinteresado a mí y a mi familia.

A todos mis primos y primas, en especial a David, Gaby y Sofy

Al ingeniero Marcelo Muñoz por su guía en el desarrollo de este proyecto de titulación y ser un ejemplo a seguir en mi vida profesional.

A la Ingeniera Nathalia Valencia, por ser mi profesora, jefa y sobre todo amiga

A mis amigos de las aulas Byron, Javi, Gaby, Criss V, Criss P., Ernesto, Jessy, Lenin, Riky, Adri, Pollo, Suco, sobretodo Verito y Naty por su linda y sincera amistad.

A mis amigos de la vida Freddy Sarabia, José Morales, Oscar Fustillos y Javi Yaselga.

Al Laboratorio de Ingeniería Ambiental por permitirme desarrollar parte de los análisis de laboratorio necesarios para el desarrollo de este Proyecto.

Al Observatorio Astronómico y la EPMAPS por la información proporcionada.

DEDICATORIA

A mis amados padres Camilo Reinoso y Mariana Chisaguano

A mi segunda madre, que siempre la tengo dentro de mi corazón Gabrielita Duque

A mis queridos hermanos Diego y Fernando

A mis tíos Walter Vilatuña y María Chisaguano

A mis abuelitas Luz Parra y Ana Rubio

A mi abuelito Rafael Chisaguano y mi tía Bertha Reinoso que en paz descansen

A toda mi Familia y a aquellas personas que siempre han estado a mi lado y han sido mi apoyo.

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTO	IV
DEDICATORIA	V
CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE GRÁFICOS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	XV
ÍNDICE DE MAPAS	XV
RESUMEN	XVI
SUMMARY	XVIII
PRESENTACIÓN	XX
CAPÍTULO 1	1
1. ASPECTOS GENERALES	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	1
1.3 ALCANCE	2
1.4 OBJETIVOS	3
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
CAPÍTULO 2	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 INFORMACIÓN GENERAL DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO	4
2.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RÍOS DE QUITO	7
2.2.1 PRINCIPALES RÍOS DE QUITO	7
2.2.2 USO DEL AGUA	8
2.2.3 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS	10
2.2.3.1 Centrales Hidroeléctricas en la zona de estudio	10
2.2.3.2 Proyectos Futuros de Centrales Hidroeléctricas	11
2.2.4 USO DE LOS MÁRGENES DE LOS RÍOS	13
2.2.5 DESCARGA AGUAS RESIDUALES	13
2.2.6 PROGRAMA PARA LA DESCONTAMINACIÓN DE LOS RÍOS DE QUITO	14
2.3 AUTODEPURACIÓN EN RÍOS	14
2.3.1 PROCESOS QUE INTERVIENEN EN LA AUTODEPURACIÓN	15

2.3.2	FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA AUTODEPURACIÓN	15
2.3.3	AUTODEPURACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA	16
2.3.3.1	Aerobia	16
2.3.3.2	Anaerobia	17
2.3.4	MODELO DE STREETER Y PHELPS	18
2.3.4.1	Constante de Desoxigenación K_1	21
2.3.4.2	Constante de Reoxigenación K_2	22
2.4	DESINFECCIÓN CON OZONO	23
2.4.1	Ventajas	25
2.4.2	Desventajas	25
2.5	EVALUACIÓN AMBIENTAL	27
2.5.1	Definición	27
2.5.2	Metodologías	27
2.5.2.1	Listas de Chequeo	28
2.5.2.2	Método de Battelle Columbus	28
2.5.2.3	Análisis de Costes Beneficios	28
2.5.2.4	Matriz de Leopold	28
2.5.2.5	Método de transparencias	29
2.5.2.6	Sistemas de Información Geográfica SIG	29
CAPÍTULO 3		31
3. METODOLOGÍA		31
3.1	ZONA DE ESTUDIO	31
3.2	PERÍODO DE ESTIAJE	31
3.3	DESCARGAS DE AGUA RESIDUALES	33
3.4	DEFINICIÓN DE TRAMOS	35
3.5	CAUDALES PARA LA MODELACIÓN	37
3.5.1	Río Machángara	37
3.5.2	Río San Pedro	38
3.5.3	Río Chiche, Guambi, Uravía	38
3.6	DATOS DE DBO_5 Y OXÍGENO DISUELTO	39
3.6.1	Río Chiche, Guambi y Uravía	40
3.7	DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD	40
3.8	PRECIPITACIÓN 2013	41
3.9	MUESTREOS	43
3.9.1	RESUMEN PARÁMETROS	48
CAPÍTULO 4		50
4. MODELO DE AUTODEPURACIÓN, PROPUESTAS DE TRATAMIENTO Y EVALUACIÓN AMBIENTAL		50
4.1	MODELO DE AUTODEPURACIÓN	50
4.1.1	TRAMO 1	51
4.1.2	TRAMO 2	51
4.1.2.1	Balance DBO	52
4.1.2.2	Balance OD	52
4.1.2.3	Déficit Inicial de oxígeno disuelto	53
4.1.2.4	Determinación de la constante K_1	53
4.1.2.5	Determinación de la Constante K_2	54

4.1.2.6	Modelo	54
4.1.3	TRAMO 3	57
4.1.3.1	Determinación de la constante K_1	57
4.1.3.2	Constante K_2	58
4.1.3.3	Modelo	58
4.1.4	TRAMO 4	61
4.1.4.1	Modelo	61
4.1.5	TRAMO 5	63
4.1.5.1	Determinación de la constante K_1	64
4.1.5.2	Constante K_2	65
4.1.5.3	Modelo	65
4.1.6	TRAMO 6	68
4.1.6.1	Determinación de la constante K_1	68
4.1.6.2	Constante K_2	69
4.1.6.3	Modelo	69
4.1.7	TRAMO 7	72
4.1.7.1	Modelo	72
4.1.8	TRAMO 8	75
4.1.8.1	Modelo	75
4.1.9	TRAMO 9	77
4.1.9.1	Modelo	77
4.1.10	TRAMO 10.....	80
4.1.10.1	Modelo	80
4.1.11	TRAMO 11.....	82
4.1.11.1	Modelo	82
4.1.12	TRAMO 12.....	85
4.1.12.1	Modelo	85
4.1.13	Resultados del Modelo de Autodepuración	88
4.1.13.1	Constantes	90
4.1.13.2	Verificación del Modelo	91
4.2	TRATAMIENTO NO CONVENCIONAL	95
4.2.1	Elección del lugar para el tratamiento	96
4.2.2	Tamizado.....	97
4.2.2.1	Tamiz de finos HUBER ROTAMAT® RoMem.....	98
4.2.3	Ozonificación.....	100
4.2.4	Resultados esperados del tratamiento	101
4.2.5	Estimación preliminar de costos.....	102
4.2.5.1	Costos de Inversión de Capital.....	102
4.2.5.2	Costo anual de operación.....	103
4.3	TRATAMIENTO CONVENCIONAL.....	105
4.3.1	Descripción.....	105
4.3.2	Planta de tratamiento	106
4.3.3	Resultados Esperados	108
4.3.4	Estimación preliminar de costos.....	108
4.3.4.1	Costos de Inversión de Capital.....	108
4.3.4.2	Costo anual de operación.....	109
4.4	EVALUACIÓN AMBIENTAL	110
4.4.1	Tratamiento no convencional	110

4.1.1.1	Observaciones de Campo.....	110
4.1.1.2	Encuestas.....	114
4.1.1.3	Determinación de la Población Afectada.....	115
4.1.1.4	Usos del Agua.....	122
4.1.1.5	Uso del Suelo.....	124
4.4.2	<i>Tratamiento convencional</i>	126
4.4.2.1	Usos posibles del Agua.....	126
4.4.2.2	Otros Impactos.....	129
CAPÍTULO 5	.....	130
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	.....	130
5.1	CONCLUSIONES.....	130
5.2	RECOMENDACIONES.....	133
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.....	134
ANEXOS	.....	137
ANEXO N° 1	.....	138
REGISTRO FOTOGRÁFICO MUESTREOS	.....	138
ANEXO N° 2	.....	141
DATOS ESTACIONES DE MONITOREO	.....	141
ANEXO N° 3	.....	147
RESULTADOS ENCUESTAS	.....	147
ANEXO N° 4	.....	153
RESULTADOS ANÁLISIS DE LABORATORIO	.....	153

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 3.1 PRECIPITACIÓN MENSUAL 2013.....	41
GRÁFICO 4.1 EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN OXÍGENO DISUELTO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA.....	56
GRÁFICO 4.2 EVOLUCIÓN DE LA DBO ₅ EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA	56
GRÁFICO 4.3 EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA.....	60
GRÁFICO 4.4 EVOLUCIÓN DE LA DBO ₅ EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA	60
GRÁFICO 4.5 EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA.....	62
GRÁFICO 4.6 EVOLUCIÓN DE LA DBO ₅ EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA	63
GRÁFICO 4.7 EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA.....	67
GRÁFICO 4.8 EVOLUCIÓN DE LA DBO ₅ EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA	67
GRÁFICO 4.9 EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA.....	71
GRÁFICO 4.10 EVOLUCIÓN DE LA DBO ₅ EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA	71
GRÁFICO 4.11 EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA.....	74
GRÁFICO 4.12 EVOLUCIÓN DE LA DBO ₅ EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA	74
GRÁFICO 4.13 EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA.....	76
GRÁFICO 4.14 EVOLUCIÓN DE LA DBO ₅ EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA	77
GRÁFICO 4.15 EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA.....	79
GRÁFICO 4.16 EVOLUCIÓN DE LA DBO ₅ EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA	79
GRÁFICO 4.17 EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA.....	81
GRÁFICO 4.18 EVOLUCIÓN DE LA DBO ₅ EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA	82
GRÁFICO 4.19 EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA.....	84
GRÁFICO 4.20 EVOLUCIÓN DE LA DBO ₅ EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA	84
GRÁFICO 4.21 EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA.....	87
GRÁFICO 4.22 EVOLUCIÓN DE LA DBO ₅ EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA....	87
GRÁFICO 4.23 RESULTADO DBO ₅ RÍO MACHÁNGARA	88
GRÁFICO 4.24 RESULTADO DBO ₅ RÍO GUAYLLABAMBA.....	89
GRÁFICO 4.25 RESULTADO DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN EL RÍO MACHÁNGARA.....	89
GRÁFICO 4.26 RESULTADO DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN EL RÍO GUAYLLABAMBA	90
GRÁFICO 4.27 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DE LA ZONA DE ESTUDIO	93
GRÁFICO 4.28 CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO DE LA ZONA DE ESTUDIO	94

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 PARROQUIAS Y ÁREA URBANA DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO	4
FIGURA 2.2 VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL	5
FIGURA 2.3 PRINCIPALES RÍOS DE QUITO Y SUS AFLUENTES	7
FIGURA 2.4 ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL CICLO DEL AGUA	14
FIGURA 2.5 DIGESTIÓN ANAEROBIA.....	18
FIGURA 2.6 EVOLUCIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO EN UN RÍO	20
FIGURA 2.7 ESQUEMA DEL PROCESO DE DESINFECCIÓN UTILIZANDO OZONO	24
FIGURA 4.1 BALANCE DE MASA DE LA DBO	52
FIGURA 4.2 TAMIZ DE PLACA PERFORADA	97
FIGURA 4.3 ESQUEMA TAMIZ DE FINOS HUBER ROTAMAT® ROMEM.....	98
FIGURA 4.4 ESQUEMA GENERAL DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES URBANAS CON LODOS ACTIVADOS.....	106
FIGURA 4.5 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES VINDOBONA.....	107
FIGURA 4.6 ZONA 1	117
FIGURA 4.7 ZONA 2	118
FIGURA 4.8 ZONA 3	119
FIGURA 4.9 ZONA 4	120
FIGURA 4.10 ZONA 5	121
FIGURA 4.11 IMPACTO TRATAMIENTO CONVENCIONAL, CAUDAL MÍNIMO DE 7 DÍAS Y PERÍODO DE RETORNO DE 10 AÑOS	128

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 LONGITUD DE LOS PRINCIPALES RÍOS DE QUITO	8
TABLA 2.2 CONCESIONES DE AGUA DE LOS RÍOS	9
TABLA 2.3 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS	10
TABLA 2.4 PROYECTOS DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA EN EL RÍO GUAYLLABAMBA	11
TABLA 2.5 VALORES REFERENCIALES K_1	21
TABLA 2.6 VALORES REFERENCIALES K_2	22
TABLA 2.7 ENFERMEDADES TRANSMITIDAS EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	23
TABLA 2.8 DOSIS DE OZONO SEGÚN LA CALIDAD DEL EFLUENTE.....	24
TABLA 3.1 DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES POR RÍO	33
TABLA 3.2 DESCARGAS AL RÍO MACHÁNGARA	33
TABLA 3.3 DESCARGAS AL RÍO MONJAS	33
TABLA 3.4 DESCARGAS AL RÍO GUAYLLABAMBA.....	34
TABLA 3.5 RESUMEN DESCARGAS AL RÍO GUAYLLABAMBA	34
TABLA 3.6 TRAMOS PARA LA MODELACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	35
TABLA 3.7 ESTACIÓN HIDROLÓGICA EL RECREO	37
TABLA 3.8 ESTACIÓN HIDROLÓGICA SAN PEDRO AJ MACHÁNGARA	38
TABLA 3.9 CAUDAL DE LOS RÍOS CHICHE, GUAMBI Y URAVÍA	39
TABLA 3.10 DATOS DE DBO_5 Y OXÍGENO DISUELTO	39
TABLA 3.11 VELOCIDAD DEL RÍO MACHÁNGARA (TRAMO 2).....	41
TABLA 3.12 PRECIPITACIÓN DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA QUITO OBSERVATORIO (M054) DEL AÑO 2013	42
TABLA 3.13 CRONOGRAMA DE MUESTREO	43
TABLA 3.14 UBICACIÓN DE LOS MUESTREOS	44
TABLA 3.15 RESULTADOS MUESTREO 26 DE JUNIO	44
TABLA 3.16 RESULTADOS MUESTREO 5 DE JULIO.....	44
TABLA 3.17 RESULTADOS MUESTREO 8 DE JULIO.....	44
TABLA 3.18 RESULTADOS MUESTREO 12 DE JULIO.....	45
TABLA 3.19 RESULTADOS MUESTREO 22 DE JULIO.....	45
TABLA 3.20 RESULTADOS MUESTREO 23 DE JULIO.....	45
TABLA 3.21 CONTINUACIÓN RESULTADOS MUESTREO 23 DE JULIO	45
TABLA 3.22 RESULTADOS MUESTREO 28 DE AGOSTO.....	46
TABLA 3.23 RESULTADOS MUESTREO 21 DE SEPTIEMBRE (NOCHE).....	46
TABLA 3.24 RESUMEN RESULTADOS COLIFORMES	48
TABLA 3.25 RESUMEN RESULTADOS TENSOACTIVOS.....	48
TABLA 3.26 RESUMEN RESULTADOS FENOLES	48
TABLA 3.27 RESUMEN RESULTADOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS	48
TABLA 3.28 RESUMEN RESULTADOS DQO mg/L	49
TABLA 3.29 RESUMEN RESULTADOS OXÍGENO DISUELTO mg/L	49
TABLA 4.1 DATOS	52
TABLA 4.2 CÁLCULO DEL TIEMPO	53
TABLA 4.3 DATOS	53
TABLA 4.4 RESULTADOS DE OD Y DBO_5 A DIFERENTES DISTANCIAS.....	55
TABLA 4.5 CÁLCULO DEL TIEMPO	57
TABLA 4.6 DATOS	57

TABLA 4.7 RESULTADOS DE OD Y DBO ₅ A DIFERENTES DISTANCIAS.....	59
TABLA 4.8 DATOS	61
TABLA 4.9 RESULTADOS DE OD Y DBO ₅ A DIFERENTES DISTANCIAS.....	62
TABLA 4.10 CÁLCULO DEL TIEMPO	64
TABLA 4.11 DATOS	64
TABLA 4.12 RESULTADOS DE OD Y DBO ₅ A DIFERENTES DISTANCIAS.....	66
TABLA 4.13 CÁLCULO DEL TIEMPO	68
TABLA 4.14 DATOS	69
TABLA 4.15 RESULTADOS DE OD Y DBO ₅ A DIFERENTES DISTANCIAS.....	70
TABLA 4.16 DATOS	72
TABLA 4.17 RESULTADOS DE OD Y DBO ₅ A DIFERENTES DISTANCIAS.....	73
TABLA 4.18 DATOS	75
TABLA 4.19 RESULTADOS DE OD Y DBO ₅ A DIFERENTES DISTANCIAS.....	76
TABLA 4.20 DATOS	78
TABLA 4.21 RESULTADOS DE OD Y DBO ₅ A DIFERENTES DISTANCIAS.....	78
TABLA 4.22 DATOS	80
TABLA 4.23 RESULTADOS DE OD Y DBO ₅ A DIFERENTES DISTANCIAS.....	81
TABLA 4.24 DATOS	83
TABLA 4.25 RESULTADOS DE OD Y DBO ₅ A DIFERENTES DISTANCIAS.....	83
TABLA 4.26 DATOS	85
TABLA 4.27 RESULTADOS DE OD Y DBO ₅ A DIFERENTES DISTANCIAS.....	86
TABLA 4.28 RESULTADOS CONSTANTES K ₁ Y K ₂	91
TABLA 4.29 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES COLIFORMES	95
TABLA 4.30 VALORES DE COLIFORMES OBTENIDOS EN LOS MUESTREOS EN CUMBAYÁ Y GUAYLLABAMBA (PUNTO FINAL).....	96
TABLA 4.31 DATOS DE CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO MACHÁNGARA EN CUMBAYÁ.....	97
TABLA 4.32 TIPOS DE REJA SEGÚN EL TAMAÑO DE LA ABERTURA	98
TABLA 4.33 ESTUDIO DE DESINFECCIÓN CON OZONO	100
TABLA 4.34 RESULTADOS ESPERADOS TRATAMIENTO NO CONVENCIONAL	101
TABLA 4.35 POSIBLES USOS DESPUÉS DEL TRATAMIENTO	101
TABLA 4.36 COSTO EQUIPOS PROYECTO PALO ALTO	102
TABLA 4.37 COSTOS DE INVERSIÓN DE CAPITAL.....	103
TABLA 4.38 DATOS CONSUMO DE ENERGÍA TAMIZADO.....	103
TABLA 4.39 CONSUMO DE ENERGÍA OZONIFICADOR.....	104
TABLA 4.40 COMPONENTES DEL PROYECTO.....	105
TABLA 4.41 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	105
TABLA 4.42 EMISARIOS A LA PTAR PRINCIPAL	105
TABLA 4.43 SISTEMAS DE IMPULSIÓN	105
TABLA 4.44 OPERACIONES PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	107
TABLA 4.45 OPERACIONES TRATAMIENTO DE LODOS.....	108
TABLA 4.46 EFICIENCIA TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS	108
TABLA 4.47 COSTO PLANTA PRINCIPAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	109
TABLA 4.48 DATOS CONSUMO DE ENERGÍA TRATAMIENTO CONVENCIONAL	109

TABLA 4.49 LUGARES Y FECHAS DE LAS OBSERVACIONES DE CAMPO ...	111
TABLA 4.50 RESUMEN ENCUESTAS	114
TABLA 4.51 RESUMEN ENCUESTAS IMPACTOS DEL RÍO.....	114
TABLA 4.52 CRITERIO DE CALIDAD SEGÚN LA CANTIDAD DE OXÍGENO DISUELTO	115
TABLA 4.53 CONCESIONES DE AGUA DE LOS RÍOS MACHÁNGARA Y GUAYLLABAMBA	122
TABLA 4.54 USOS A PRESERVARSE EN EL RÍO GUAYLLABAMBA	126
TABLA 4.55 USOS A PRESERVARSE EN EL RÍO MACHÁNGARA	127

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 4.1 EL SENA.....	111
FOTOGRAFÍA 4.2 SAN FRANCISCO DE MIRAVALLE.....	112
FOTOGRAFÍA 4.3 GUÁPULO.....	112
FOTOGRAFÍA 4.4 CUMBAYÁ.....	113
FOTOGRAFÍA 4.5 RÍO GUAYLLABAMBA.....	113

ÍNDICE DE MAPAS

MAPA 2.1 MAPA ACTUALES Y FUTURAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.....	12
MAPA 3.1 MAPA UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	32
MAPA 3.2 MAPA TRAMOS PARA LA MODELACIÓN.....	36
MAPA 3.3 MAPA DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	47
MAPA 4.1 MAPA IMPACTO AMBIENTAL A LA POBLACIONES.....	116
MAPA 4.2 MAPA DE CONCESIONES DEL AGUA.....	123
MAPA 4.3 MAPA DE USO DEL SUELO.....	125

RESUMEN

El presente proyecto de titulación consiste en analizar el comportamiento del río Machángara, en condiciones de estiaje (condición crítica), como un sistema de depuración de aguas residuales. Para lo cual se delimitó como zona de estudio, al río Machángara y el tramo inicial del río Guayllabamba (el río Guayllabamba resulta de la unión de los ríos Machángara y San Pedro); es decir, desde el punto de coordenadas UTM (X: 774 939, Y: 9 970 201) ubicado en el sur de Quito donde se forma el río Machángara, hasta el punto de coordenadas (X: 792 555, Y: 9 992 864) donde se encuentra ubicado el puente de la Panamericana norte sobre el río Guayllabamba.

Debido a que el oxígeno disuelto es el elemento clave en el proceso de autodepuración, se utilizó el modelo de Streeter y Phelps para analizar este proceso. Para la verificación del modelo se utilizaron los resultados experimentales de los muestreos puntuales realizados en diferentes puntos representativos del tramo de estudio.

El modelo de autodepuración da como resultado una gran capacidad de reoxigenación (nivel mínimo de oxígeno disuelto de 2,26 mg/l) y de remoción de materia orgánica (32,89 % de la DBO₅ en un tramo de 22,5 kilómetros) del río, por lo que se verificó que el río funciona como un sistema natural de depuración de aguas residuales con tratamiento secundario.

Se analizaron dos alternativas de tratamiento: un tratamiento convencional (Lodos activados) y un tratamiento no convencional (Ozonificación). Estas dos alternativas fueron analizadas desde un punto de vista técnico, económico y ambiental; resultando la alternativa más viable el tratamiento no convencional.

Para el análisis ambiental se realizaron encuestas, observaciones de campo y generación de mapas. Para elaborar los mapas, se utilizó el Sistema de

información Geográfica (QGIS) usando la información geográfica disponible. Este análisis muestra que el principal impacto del río en las zonas aledañas son los malos olores que emana el río y que esto afecta aproximadamente a 64 000 personas.

SUMMARY

This project consists of analyzing the behavior of Machangara River, during drought conditions (critical condition), seen as a purification system of wastewater. The surveyed zone consists of the Machangara River and the initial section of Guayllabamba River (this river is the result of the union of Machangara and San Pedro rivers). This means, from the point with UTM coordinates (X: 774 939, Y: 9 970 201) that is located in the south of Quito where the Machangara river is formed, until the point with coordinates (X: 792 555, Y: 9 992 864) where the bridge of the Panamericana Norte over the Guayllabamba river is located.

Due to the fact that the dissolved oxygen is the key element in the process of self-purification, the Streeter and Phelps model was utilized for analyzing the process of self-purification. For verification, the experimental results obtained from sampling different points of the surveyed area were utilized.

The self-purification model gives a big capacity of reoxygenation (minimum level of dissolved oxygen is 2,26 mg/l) and organic matter removal (32,89 % of BOD₅ removed in a section of 22,5 kilometers) from the river. Therefore, it was verified that the river works as a natural system for purification of wastewater with secondary treatment.

Two treatment alternatives were analyzed: a conventional treatment (Activated sludge) and a non-conventional treatment (Ozonation). These two alternatives were analyzed from a technical, economic and environmental point of view. As result, the non-conventional treatment is the more feasible solution.

Surveys, field observations, and maps generation were used in the environmental analysis. For the maps generation, the Geographic information system (QGIS) was used with the available geographic information. This analysis shows that the

main impact of the river in the surrounding areas is the bad odors emanated from it, which affects approximately 64000 people.

PRESENTACIÓN

Actualmente el 76% de las aguas residuales del Distrito Metropolitano de Quito son descargadas sin tratamiento previo en el río Machángara. Por lo que en el presente trabajo se analiza al río Machángara como un sistema de depuración de aguas residuales.

El presente trabajo está constituido por cinco capítulos:

El capítulo 1 “Aspectos generales”, describe la introducción al problema y además los justificativos, alcance y objetivos del trabajo.

El capítulo 2 “Revisión bibliográfica”, contiene los fundamentos teóricos en que se basa el presente trabajo, que incluyen: información general del Distrito Metropolitano de Quito, situación actual de los ríos de Quito, autodepuración en ríos, desinfección con ozono y evaluación ambiental.

El capítulo 3 “Metodología”, describe la información necesaria para determinar el modelo de autodepuración: zona de estudio, período de estiaje, descargas de aguas residuales, definición de tramos, caudales para la modelación, datos de DBO₅ y oxígeno disuelto, determinación de la velocidad, precipitación 2013 y muestreos.

El capítulo 4 “Modelo de Autodepuración, Propuestas de Tratamiento y Evaluación Ambiental”, contiene el modelo de autodepuración y sus resultados, además las propuestas de tratamiento (convencional y no convencional) y la evaluación ambiental.

El capítulo 5 “Conclusiones y Recomendaciones”, contiene las conclusiones y recomendaciones en base a los objetivos planteados y a los resultados obtenidos.

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES

1.1 INTRODUCCIÓN

Actualmente en el Ecuador tan solo poquísimas ciudades dan algún tipo de tratamiento a sus aguas residuales, la mayoría descarga directamente en los cuerpos de agua. Teniendo en algunos casos efectos negativos como la generación de malos olores, afectación de la flora y fauna y el más crítico la proliferación de enfermedades por la presencia de coliformes (patógenos).

Cada cuerpo de agua tiene una cierta capacidad de autodepuración (autolimpiarse), por lo que hasta cierto punto se pueden utilizar como sistemas naturales de depuración.

En el caso del río Machángara, por su gran pendiente y turbulencia, tiene una alta capacidad de reoxigenación, factor clave en el proceso de autodepuración. Además es un caso particular porque en la época de estiaje gran parte de su caudal está formado por aguas residuales.

Se han desarrollado diferentes tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales principalmente enfocadas a la disminución de la carga orgánica, pero en muchos de los casos sin solucionar la contaminación por coliformes.

Hay que tomar en cuenta que el uso de cloro no es adecuado para la desinfección de las aguas residuales ya que debido a la presencia de materia orgánica se producen trihalometanos (cloroformo, dibromoclorometano, bromoformo, bromodiclorometano), compuestos que son nocivos para el ambiente y la salud de las personas, por lo que se han desarrollado sistemas de desinfección alternativos

como la ozonificación, que además reduce la presencia de otros contaminantes (detergentes, disruptores endocrinos).

En nuestro medio se tiene que buscar soluciones prácticas a la descarga de aguas residuales, de acuerdo a la realidad económica y a los potenciales usos que se quiera dar al agua.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El río Machángara por su pendiente y alta turbulencia en su cauce, permite una buena oxigenación de sus aguas y por lo tanto una buena capacidad de autodepuración de contaminantes, principalmente orgánicos. Por lo que se propone utilizarlo como un sistema natural de depuración de aguas residuales, siendo necesario tan solo un tratamiento de afinamiento, por el alto contenido de patógenos aguas abajo.

El río está formado en gran parte por aguas residuales y debido a que atraviesa parte de la ciudad de Quito, es necesario analizar el impacto ambiental en las zonas aledañas al río, tomando en cuenta los usos actuales del agua.

Además los costos de la presente propuesta serían menores con respecto al desvío de las aguas residuales y la construcción de plantas depuradoras convencionales que adicionalmente no solucionarían la presencia de patógenos y algunos microcontaminantes.

1.3 ALCANCE

Actualmente las aguas residuales urbanas de Quito son descargadas sin ningún tipo de tratamiento previo a los ríos Machángara, Monjas, San Pedro y Guayllabamba, siendo el río Machángara el principal receptor debido a que en este se descargan el 76% del total de las aguas residuales.

Por lo expuesto anteriormente es necesario analizar al río como un sistema natural de depuración de aguas residuales y además el impacto ambiental de este proceso sobre la población asentada en las zonas aledañas del río.

El estudio se lo realizará desde la formación del río Machángara en el sur de Quito a la altura del mercado mayorista de coordenadas UTM (X: 774 939, Y: 9 970 201) hasta el puente de la Panamericana norte ubicado sobre el río Guayllabamba (X: 792 555, Y: 9 992 864), con una extensión de 46 km. Para lo cual se realizará muestreos puntuales en diferentes puntos representativos del tramo de estudio; con los datos obtenidos se analizará el proceso de autodepuración del río en condiciones críticas es decir en la época de estiaje.

Además se evaluarán los principales impactos ambientales del río en las condiciones actuales sobre las zonas aledañas, y se comparará con los impactos de aplicar un tratamiento convencional a las aguas residuales; esto se lo realizará a través de la superposición de mapas en un Sistema de Información Geográfica utilizando la información geográfica disponible.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Analizar el comportamiento del río como un sistema de depuración de aguas residuales.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el proceso de autodepuración del río en condiciones de estiaje.
- Determinar el impacto ambiental del río en las zonas aledañas.
- Proponer un tratamiento de afinamiento para las aguas del río.

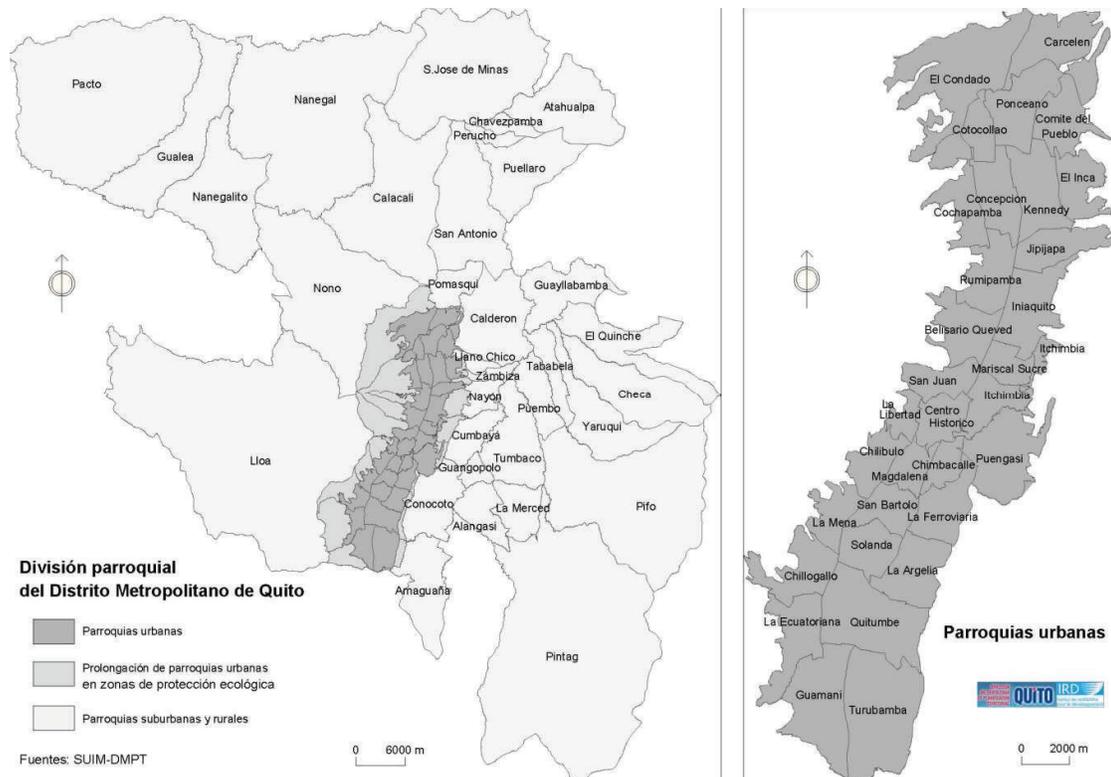
CAPÍTULO 2

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 INFORMACIÓN GENERAL DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) es la capital del Ecuador y también de la Provincia de Pichincha. Comprende el área urbana de Quito formada por 32 parroquias urbanas más 33 parroquias rurales, como se observa en la FIGURA 2.1.

FIGURA 2.1 PARROQUIAS Y ÁREA URBANA DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

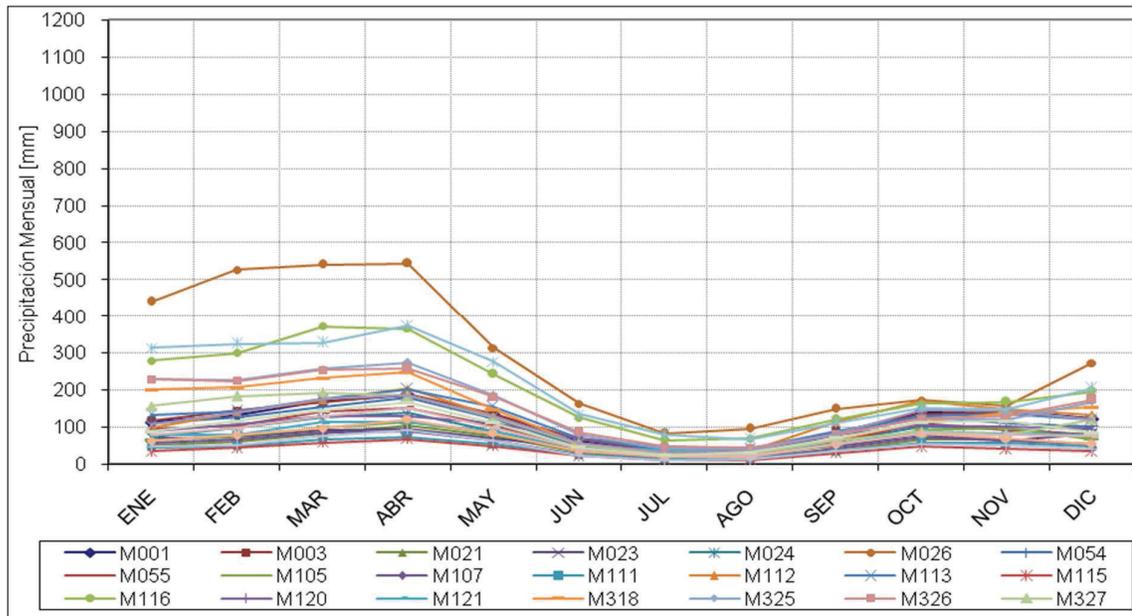


Fuente: <http://www.zonu.com/fullsize/2011-10-25-14669/Parroquias-de-Quito-2001.html>

Se encuentra ubicada sobre la zona occidental de los Andes Ecuatorianos a una altura promedio de 2800 msnm. El clima de Quito presenta dos marcadas estaciones en el año, la lluviosa y la seca que comprende los meses de Junio,

Julio y Agosto como se puede observar en la FIGURA 2.2 la precipitación media anual es de 1200 mm, siendo el mes de abril el de más alta precipitación, la temperatura media es de 14°C.

FIGURA 2.2 VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL



Fuente: Estudio Hidrológico (Arias M.)

Es la segunda ciudad más poblada del Ecuador, según el censo de Población y Vivienda del 2010 realizado por el INEC tiene 2`239 191 habitantes y en el 2020 tendrá 2`723 665 y pasará a ser el cantón más poblado del Ecuador. En el área administrativa urbana existen 1`619 432 habitantes.

Según datos del INEC Quito tiene un rápido crecimiento, pasando de 1`839 853 habitantes en el año 2001 a 2`239 191 habitantes en el año 2010, es decir un aumento del 21.7% (399 338 habitantes) en 9 años, principalmente debido a la inmigración. Este rápido crecimiento ha dado como resultado una urbanización no planificada y por lo tanto una acelerada degradación ambiental, por ejemplo la descarga directa sin tratamiento previo de las aguas residuales en quebradas y ríos.

La cobertura de agua potable en la ciudad de Quito es del 99.93 % y la de alcantarillado es del 96.53 %; contrastando con el 0% de tratamiento de aguas residuales. Hay que tener en cuenta que el sistema de alcantarillado es combinado es decir conducen simultáneamente las aguas residuales producidas por la ciudad y el agua de la escorrentía superficial. Las aguas residuales producidas por el DMQ son descargadas en los ríos Machángara, Monjas, San Pedro y Guayllabamba.

Según el Proyecto de Saneamiento del río Machángara, realizado por la Agencia Alemana de Cooperación (1991) los principales tipos de industrias asentadas en la ciudad de Quito y sus posibles impactos son:

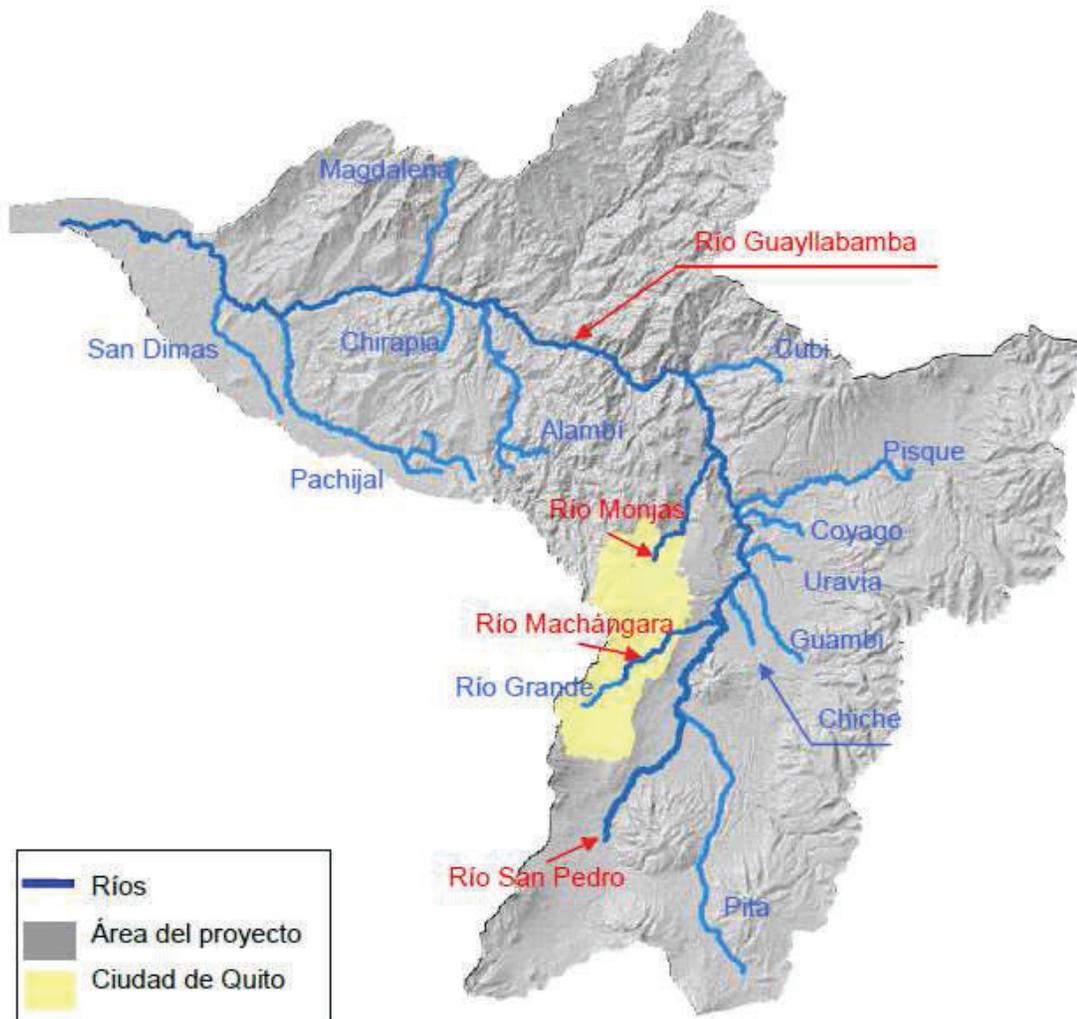
- **Alimenticia:** elevados valores de pH, sulfitos, detergentes y sedimentables.
- **Textilera:** elevados valores de pH, grasas y aceites, temperatura, metales pesados, sulfitos y sulfatos.
- **Curtiembres:** elevados valores de pH, flotantes, sulfuro, sulfito, sulfato, color, sales.
- **Química:** solventes, sulfatos, flotantes, sedimentables, grasa, metales pesados, colorantes, biocidas, tensoactivos, hidrocarburos halogenados, grasas y aceites, amonio, nitratos y fosfatos.
- **Manufactura de tableros:** bajos valores de pH, ácidos orgánicos, elevada temperatura, sulfatos, fenoles, amonio, alta DQO, cromatos, metales pesados, biocidas.
- **Pintura:** elevados valores de pH, sulfato, amonio, metales pesados, quelatos, cadmio, zinc, hidrocarburos halogenados, plata, cromo, cadmio.
- **Metalúrgica:** elevados valores de pH, sulfato, cromato, metales pesados, nitrito, cianuro, hidrocarburos halogenados.

2.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RÍOS DE QUITO

2.2.1 PRINCIPALES RÍOS DE QUITO

Los principales ríos de Quito son el río Machángara, río Monjas, río San Pedro y río Guayllabamba. En la FIGURA 2.3 se indican estos ríos y además sus afluentes.

FIGURA 2.3 PRINCIPALES RÍOS DE QUITO Y SUS AFLUENTES



Fuente: FICHTNER/Hidroestudios, Informe 3, 2009

- El río Machángara se forma a partir de varias quebradas ubicadas al sur de Quito y la quebrada el Batán ubicada al centro norte.
- El río San Pedro se forma en la parte sur oriente de Quito y su principal afluente es el río Pita, es el receptor de las aguas residuales de los valles Chillós y Cumbayá – Tumbaco. Sus aguas se utilizan para la generación de energía hidroeléctrica en las centrales de Guangopolo y Cumbayá, y en la Central de Nayón que opera con aguas del San Pedro y Machángara.
- El río Monjas recorre la parte noroccidental de Quito recogiendo sus aguas residuales, desemboca en el río Guayllabamba.
- El río Guayllabamba toma este nombre en la confluencia de los ríos Machángara y San Pedro.

TABLA 2.1 LONGITUD DE LOS PRINCIPALES RÍOS DE QUITO

RÍO	LONGITUD (km)
Machángara	22,5
Monjas	24,3
San Pedro	53,9
Guayllabamba	175,3

Fuente: FICHTNER/Hidroestudios, Informe 3, 2009

2.2.2 USO DEL AGUA

Según los estudios realizados, las aguas de los ríos Machángara, Monjas, San Pedro y Guayllabamba no son aptos para los siguientes usos:

- Consumo humano y uso doméstico
- Defensa de la vida acuática y silvestre
- Uso agrícola
- Uso pecuario
- Fines recreativos mediante contacto secundario
- Uso estético
- Uso industrial

(FICHTNER/Hidroestudios, 2009)

TABLA 2.2 CONCESIONES DE AGUA DE LOS RÍOS

Río	Usos Concesionados	Número de Concesiones	Caudal Total Concesionado (L/s)
Machángara	Abrevadero	4	1.67
	Hidroelectricidad	1	2 100
	Industria	1	98
	Riego	54	922.49
	SUBTOTAL	61	3 133.31
Monjas	Abrevadero	1	0.01
	Hidroelectricidad	3	4535
	Industria	2	71.5
	Riego	53	839.87
	Termal	1	2.5
	Uso doméstico	3	8.03
	SUBTOTAL	63	5 456.91
San Pedro	Abrevadero	23	8.17
	Agua Potable	1	70
	Hidroelectricidad	4	5365
	Industria	7	1536.70
	Piscícola	2	6
	Riego	95	3138.86
	Uso Doméstico	13	1321.07
	SUBTOTAL	145	11 445.80
Guayllabamba	Industria	1	12.06
	Riego	38	662.26
	Uso Doméstico	1	0.04
	SUBTOTAL	40	674.36

Fuente: SENAGUA, 2009

Según los datos del SENAGUA, 2009 los principales usos del agua del río Machángara son en riego con 54 concesiones otorgadas con un caudal total de 922.49 L/s e hidroelectricidad con 1 concesión otorgada de 2100 L/s para la central hidroeléctrica Nayón.

El principal uso del río Guayllabamba es en riego con 38 concesiones otorgadas con un caudal total de 662.26 L/s.

Los principales usos del río Monjas son en riego con 53 concesiones otorgadas con un caudal total de 839.87 L/s e hidroelectricidad con 3 concesiones con un caudal total de 4535 L/s.

Los principales usos del río San Pedro son en riego con 95 concesiones otorgadas con un caudal total de 3138.86 L/s e hidroelectricidad con 4 concesiones con un caudal total de 5365 L/s. Además de 7 concesiones a Industrias con un caudal de 1536.70 L/s y 13 concesiones para uso doméstico con un caudal de 1321.07 L/s.

2.2.3 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

2.2.3.1 Centrales Hidroeléctricas en la zona de estudio

La central hidroeléctrica de Cumbayá entró en funcionamiento en agosto de 1961, utiliza las aguas turbinadas de la central de Guangopolo más los remanentes del río San Pedro, que previamente son almacenadas en un reservorio de regulación diaria de 4 cámaras con una capacidad de 360 000 m³.

La central hidroeléctrica de Nayón entró en funcionamiento el año de 1974, genera 30 MW a través de dos turbinas Francis, es alimentada con las aguas turbinadas de la central de Nayón y adicionalmente de aguas del río Machángara.

La central hidroeléctrica de Guangopolo funciona desde 1935, utilizando las aguas de los ríos San Pedro, Pita y Santa Clara, posteriormente las aguas turbinadas son llevadas a través de una tubería de 8.5 km al reservorio de la central Cumbayá.

TABLA 2.3 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Central Hidroeléctrica	Captación	Potencia Instalada
Cumbayá	Río San Pedro	40 MW
Nayón	Río Machángara	30 MW
Guangopolo	Río San Pedro	20.9 MW

Realizado por: Iván Reinoso

2.2.3.2 Proyectos Futuros de Centrales Hidroeléctricas

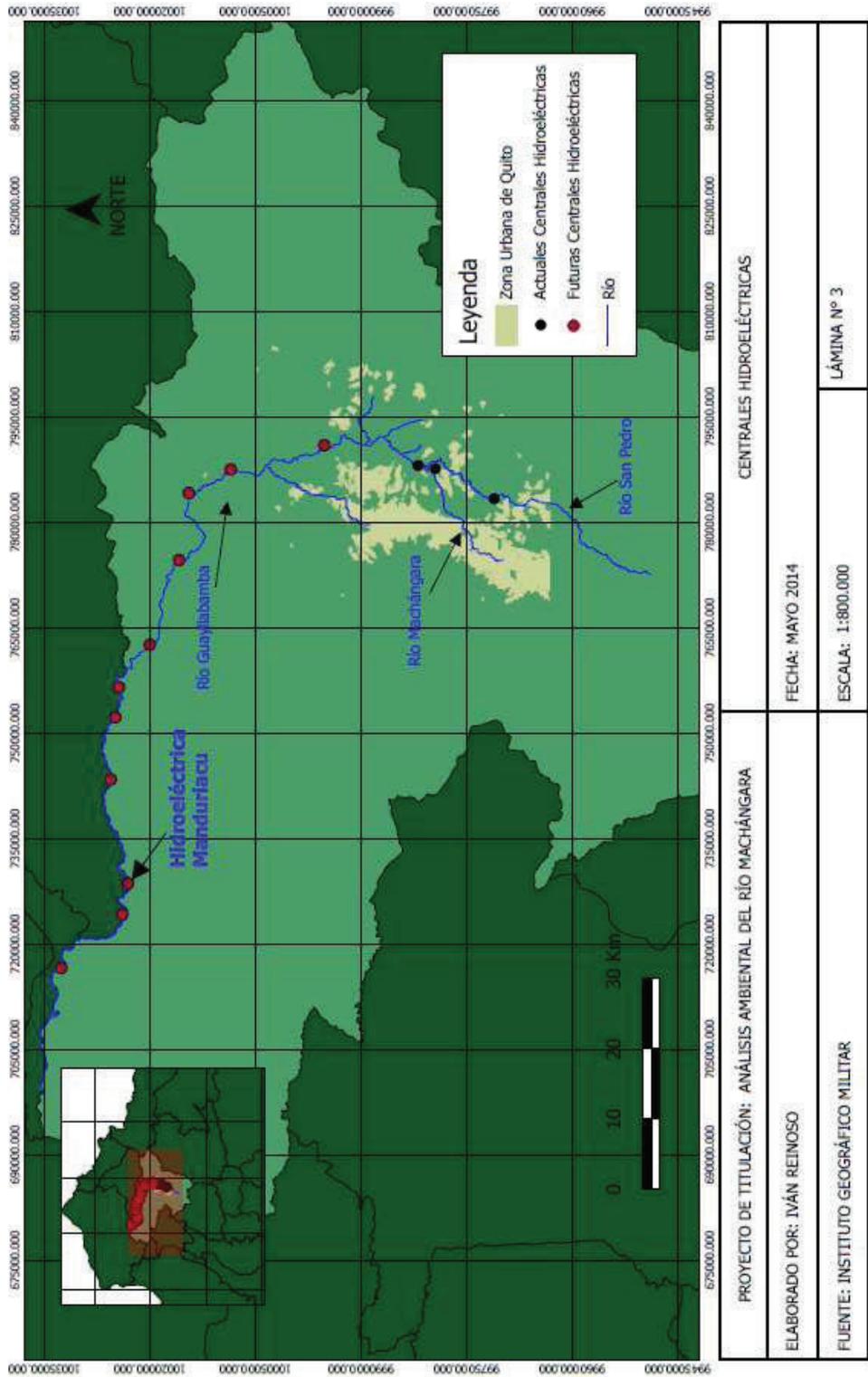
El Sistema Hidroeléctrico Integrado Guayllabamba estará formado por 7 centrales ubicadas a lo largo del río Guayllabamba como se puede apreciar en el mapa 2.1 y tendrá una potencia instalada en conjunto de 1314 MW, la Empresa Hidroequinoccio es la encargada de la administración del proyecto.

TABLA 2.4 PROYECTOS DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA EN EL RÍO GUAYLLABAMBA

Proyecto	Potencia MW
Chespi	460
Chontal	180
Chirapi	169
Manduriacu	65
Tortugo	200
Tigre	80
Llurimaguas	160
Σ	1314

Realizado por: Iván Reinoso

MAPA 2.1 MAPA ACTUALES Y FUTURAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS



2.2.4 USO DE LOS MÁRGENES DE LOS RÍOS

Debido a las características morfológicas de la mayor parte de los ríos de Quito (Machángara, Monjas, San Pedro y Guayllabamba), con cauces muy profundos y con taludes muy empinados, su acceso es limitado y por ende también el uso del agua tanto como un recurso primario o como un valor paisajístico.

Sin embargo hay zonas de fácil acceso, principalmente ubicadas en la parte sur del río Machángara y la parte inicial del río San Pedro, donde se han construido parques lineales con el objetivo de la recuperación de los márgenes de los ríos para uso recreativo.

En el sur de Quito, sobre el río Machángara, se han implementado los siguientes parques lineales por parte de la corporación Vida para Quito: parque Largo Machángara, parque Río Grande, parque Las Cuadras y el parque Quebradas Ortega y el Carmen. Como parte de un proyecto de recuperación de los márgenes del río Machángara en el sector sur-centro de la ciudad.

2.2.5 DESCARGA AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales domésticas de la ciudad de Quito son descargadas directamente sin tratamiento previo en los ríos de Quito, principalmente en el río Machángara. El río Machángara tiene una longitud de 22.5 km y recibe las descargas del sur, centro y parte del norte de la ciudad.

El caudal medio del río Machángara es de 4 m³/s y tiene una carga orgánica de 52 toneladas de DBO por día; hay que tomar en cuenta que de la carga orgánica el 80 % es de origen doméstico y el 20% restante es de origen industrial.

En la época de estiaje, el agua que circula por el río Machángara es casi en su totalidad agua residual, por lo que se la puede considerar una condición crítica desde el punto de vista ambiental ya que las aguas residuales no son diluidas con el agua producto de las lluvias.

2.2.6 PROGRAMA PARA LA DESCONTAMINACIÓN DE LOS RÍOS DE QUITO

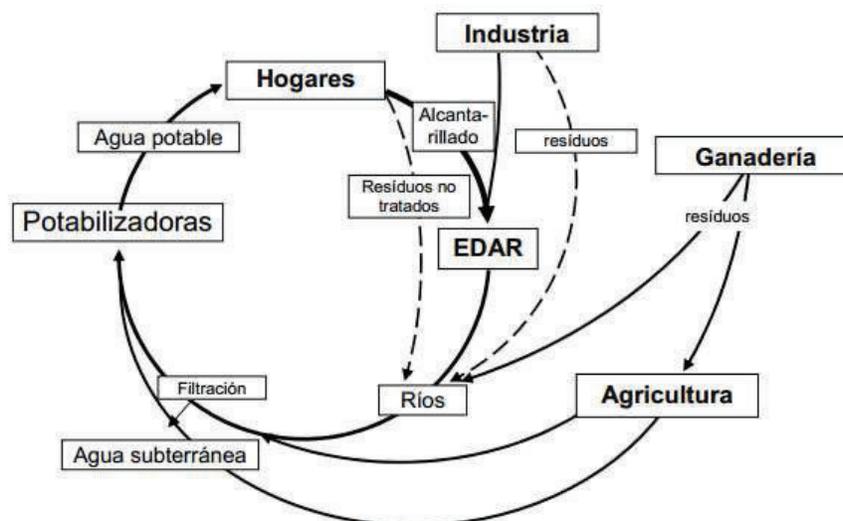
El Programa de Saneamiento Ambiental (PSA) de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS-Q) en el año 2007 implementa el “Plan de Descontaminación de los ríos de Quito” que comprende la interceptación y tratamiento de las aguas residuales para el que se necesita una inversión de 566 millones de dólares (EPMAPS, 2011).

2.3 AUTODEPURACIÓN EN RÍOS

La autodepuración es el conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos, que se desarrollan en el río, a causa de una perturbación ocasionada por el vertido de una carga contaminante y con el fin de que el río asimile dicha carga y regrese progresivamente a sus condiciones iniciales.

Las cargas contaminantes en los ríos, según el ciclo del agua de la FIGURA 2.4 tienen origen en el vertimiento de aguas residuales que principalmente son urbanas, industriales, agrícolas y ganaderas.

FIGURA 2.4 ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL CICLO DEL AGUA



Fuente: <http://www.unizar.es/fnca/varios/panel/15.pdf>

2.3.1 PROCESOS QUE INTERVIENEN EN LA AUTODEPURACIÓN

Como se mencionó anteriormente el proceso de autodepuración comprende procesos físicos, químicos y biológicos.

Entre los procesos físicos tenemos la sedimentación que es el asentamiento de las partículas sólidas al disminuir la velocidad de la corriente y la reoxigenación que es el proceso mediante el cual el oxígeno de la atmosfera ingresa al agua. Los procesos químicos como la oxidación de compuestos reductores disueltos en el agua y los procesos biológicos que son realizados por microorganismos que degradan la materia orgánica que se puede encontrar sólida, disuelta y coloidal.

2.3.2 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA AUTODEPURACIÓN

- Dilución: Por ejemplo al verter un caudal pequeño de un contaminante sobre un río con un gran caudal, se diluye la carga contaminante y por tanto se evita una notoria degradación del río.
- Corrientes: Una corriente rápida puede favorecer la reoxigenación y por tanto la autodepuración pero al mismo tiempo afectar una extensión más larga del río.
- Sedimentación: Los sólidos más pesados sedimentan en el fondo del cauce, en donde se produce una descomposición anaerobia. En las crecidas estos sedimentos pueden ser resuspendidos y llevados aguas abajo.
- Luz Solar: Puede actuar como desinfectante y como precursor en el crecimiento de algas. Las algas producen oxígeno en el día por lo que el oxígeno disuelto puede ser mayor en el atardecer que en las primeras horas de la mañana.

- **Temperatura:** Es un factor importante en la actividad de los microorganismos como descomponedores de materia orgánica, a mayor temperatura mayor velocidad de degradación. En verano existe un mayor consumo de oxígeno disuelto por la degradación y una menor solubilidad del oxígeno por lo que es la época más crítica con respecto a la cantidad de oxígeno disuelto en el cuerpo de agua.

2.3.3 AUTODEPURACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA

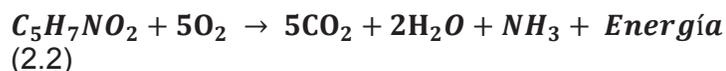
La materia orgánica puede ser degradada por los microorganismos de dos formas:

2.3.3.1 Aerobia

En la presencia de suficiente cantidad de oxígeno disuelto, los microorganismos (bacterias heterótrofas) utilizan la materia orgánica como fuente de carbono para la síntesis celular produciendo además dióxido de carbono y nitrógeno amoniacal.

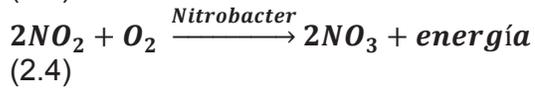
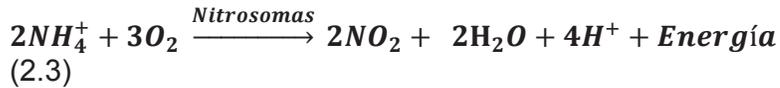


Posteriormente las bacterias heterótrofas consumen oxígeno para la oxidación bioquímica de sus reservas de materia orgánica para obtener energía, produciéndose además dióxido de carbono, agua y nitrógeno amoniacal.



El nitrógeno amoniacal producido (producto de la descomposición de la materia orgánica) es transformado a nitratos a través de la nitrificación. La nitrificación es el proceso mediante el cual los microorganismos (bacterias nitrificantes) en

presencia de oxígeno transforman el nitrógeno amoniacal en nitritos y posteriormente en nitratos.



La eliminación biológica aerobia de fósforo de las aguas residuales es limitada, debido a que tan solo es un requisito nutritivo de los microorganismos para la síntesis de nuevas células.

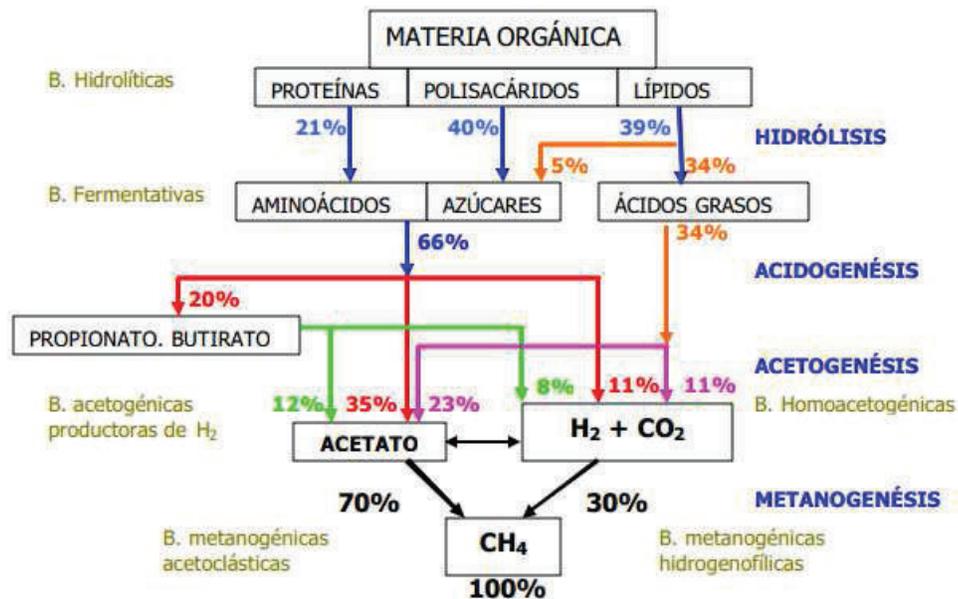
2.3.3.2 Anaerobia

Sin la presencia de oxígeno disuelto o con una cantidad insuficiente los microorganismo descomponen la materia orgánica en metano, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno. Los microorganismos que intervienen son las bacterias facultativas y las anaerobias estrictas.

Se puede resumir la digestión anaerobia en cuatro pasos, hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis como se puede ver en la figura 2.5.

En la primera etapa la materia orgánica es hidrolizada dando como productos proteínas, polisacáridos y lípidos. En la segunda etapa estos productos son fermentados a ácidos grasos como el ácido acético, propiónico y butírico. En la tercera etapa los productos de la fermentación son transformados a acetato, dióxido de carbono e hidrógeno. Finalmente en la cuarta etapa las bacterias metanogénicas convierten el acetato y el dióxido de carbono en metano.

FIGURA 2.5 DIGESTIÓN ANAEROBIA



Fuente: Madigan, 1997

Este proceso anaerobio se da por lo general en los lodos que sedimentan en el fondo del cauce de los ríos, que tiene efectos negativos por la aparición de sulfuro de hidrógeno que produce malos olores (huevo podrido).

El metano producido en la digestión anaerobia es un gas inflamable, es decir puede ser aprovechado como combustible y satisfacer en parte el consumo energético de la planta de tratamiento de aguas residuales.

2.3.4 MODELO DE STREETER Y PHELPS

El oxígeno es el elemento clave en la autodepuración, por lo que su cuantificación en un curso de agua describe el proceso de autodepuración, por lo que se han desarrollado modelos matemáticos para su predicción.

El modelo matemático de oxígeno disuelto de Streeter y Phelps fue publicado en 1925, y permite cuantificar la evolución acoplada del oxígeno disuelto y las sustancias demandantes de oxígeno (contaminantes) en un río. Lo que nos permite conocer la concentración de oxígeno disuelto en cualquier punto aguas abajo del vertido de los contaminantes.

El modelo predice el déficit de oxígeno disuelto en función de la desoxigenación (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y de la reaireación de la corriente, los procesos de desoxigenación y reoxigenación se producen simultáneamente.

$$\frac{dD}{dt} = \text{Desoxigenación} - \text{Reoxigenación} \quad (2.5)$$

$$\frac{dD}{dt} = K_1L - K_2D \quad (2.6)$$

Integrando y considerando que $L = L_0 10^{-K_1 t}$ (Reactor de flujo pistón)

$$D = \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} (10^{-K_1 t} - 10^{-K_2 t}) + D_0 10^{-K_2 t} \quad (2.7)$$

Dónde:

D= déficit de oxígeno disuelto en mg/l

t= tiempo en días

K_1 = constante de desoxigenación d^{-1}

K_2 = constante de reoxigenación d^{-1}

L= DBO en un instante t en mg/l

L_0 = DBO ultima de la mezcla = $1.46 * DBO_5$

D_0 = déficit inicial de oxígeno (de la mezcla)

El déficit de oxígeno es la diferencia entre el oxígeno disuelto de saturación (en equilibrio) y el oxígeno disuelto en el río.

$$D = OD_{sat} - OD \quad (2.8)$$

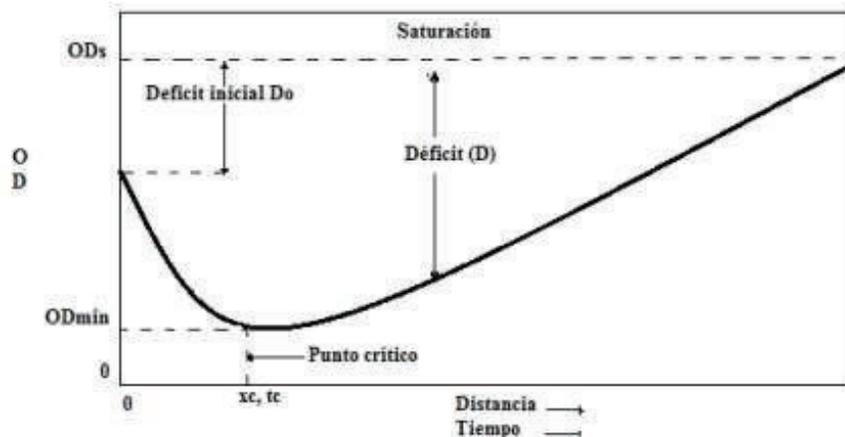
$$OD_{sat} = D + OD \quad (2.9)$$

$$OD = OD_{sat} - D$$

(2.10)

Al representar gráficamente el oxígeno disuelto en función del tiempo de viaje o de la distancia aguas abajo del vertido, se obtiene una curva cóncava. Se puede apreciar en la figura 2.6 que existe un punto mínimo (crítico) de oxígeno disuelto, que no se ubica en el punto de vertido sino aguas abajo en donde los procesos de desoxigenación y reaireación son iguales.

FIGURA 2.6 EVOLUCIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO EN UN RÍO



Fuente: <http://noticias.espe.edu.ec/lejimenez/files/2012/05/DEMANDA-DE-O2.pdf>

Aplicando máximos y mínimos a la ecuación de Streeter y Phelps se obtienen el tiempo crítico y el déficit crítico en donde el oxígeno disuelto es mínimo.

$$t_c = \frac{1}{K_2 - K_1} \log \frac{K_2}{K_1} \left[1 - \frac{D_0 (K_2 - K_1)}{L_0 K_1} \right] \quad (2.11)$$

$$D_c = \frac{K_1}{K_2} L_0 10^{-K_1 t_c} \quad (2.12)$$

Analizando la ecuación del déficit crítico se concluye que tiene una relación lineal con la L_0 (carga orgánica), es decir, que disminuyendo la carga orgánica del vertido, puede ser a través de una planta de tratamiento, se aumenta el nivel mínimo de oxígeno y por lo tanto se disminuye el impacto sobre el medio ambiente.

Utilizando la ecuación de Streeter y Phelps se pueden evaluar diferentes estrategias para gestionar la descarga de aguas residuales en ríos y por ende el nivel de oxígeno disuelto:

- Porcentaje de reducción de la carga orgánica en el vertido, a través de una planta de tratamiento.

- Oxigenación del río a través de aireadores o estructuras hidráulicas.
- Regulación del caudal de vertido para disminuir la carga orgánica inicial L_0 .

2.3.4.1 Constante de Desoxigenación K_1

Existen diferentes métodos para el cálculo de la constante de desoxigenación mínimos cuadrados, pendiente de Thomas, Thomas, Rhame y cálculo entre tramos.

Se utilizará el método de cálculo entre tramos debido a que este método considera la variación de la DBO entre estaciones, la distancia y el tiempo de viaje del agua. Además que da mejores resultados según el estudio “Modelación Matemática del río Cauca”.

$$K_{1e} = \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{L_A}{L_B} \quad (2.13)$$

$$K_1 = \frac{K_{1e}}{2,3} \quad (2.14)$$

Donde:

K_{1e} =Constante de Desoxigenación (base e), día⁻¹

K_1 = Constante de Desoxigenación (base 10), día⁻¹

L_A = DBO última en el punto A, mg/l

L_B = DBO última en el punto B, mg/l

Δt = Tiempo entre A y B, días

A= Punto aguas arriba

B= Puntos aguas abajo

(Universidad del Valle, 2001)

La Constante de Desoxigenación puede tener los siguientes valores referenciales:

TABLA 2.5 VALORES REFERENCIALES K_1

Fuente	K_1 d ⁻¹
HEC-RAS	0.02-3,4
Roesner, 1977	0,1-2
Río Cauca	2,45
Río San Pedro	3,19

Elaborado por: Iván Reinoso

- La constante K_1 puede estar en el rango (0.02-3.4) (HEC-RAS, 2010).
- K_1 puede estar entre los valores (0.1 - 2) (Roesner L., 1977).
- Se obtuvo un valor de K_1 igual a $2,45 \text{ d}^{-1}$ para el tramo (Puerto Isaacs – Paso de la Torre) del río Cauca (Universidad del Valle, 2001).
- Para el río San Pedro se obtuvieron valores promedio de 3.19, 1.64 y 2.39 (Carrera G., 2011).

2.3.4.2 Constante de Reoxigenación K_2

Existen ecuaciones empíricas para determinar la constante de reoxigenación, pero hay que tomar en cuenta que la mayoría fueron determinadas en ríos de EEUU y Europa por lo que limita su aplicación en nuestro medio (Gélvez, 2008).

Los ríos Machángara y Guayllabamba son considerados ríos de montaña por su alta pendiente y turbulencia, por lo que a continuación se cita valores de la constante de reoxigenación de dos estudios realizados en ríos de montaña y del programa HEC-RAS, para ser tomados como referencia.

TABLA 2.6 VALORES REFERENCIALES K_2

Fuente	$K_2 \text{ d}^{-1}$
HEC-RAS	0-100
Río Machángara	211,7
Río Guayllabamba	57,3
Río Subachoque	193,8

Elaborado por: Iván Reinoso

- La constante K_2 puede estar entre los valores (0-100) (HEC-RAS, 2010).
- Se obtuvo un valor promedio de $211,7 \text{ d}^{-1}$ para el río Machángara y de 57,3 para el río Guayllabamba (Sarasti E., 2001).
- Se obtuvo un valor de $193,8 \text{ d}^{-1}$ para el río de montaña Subachoque en Colombia (Gélvez R., 2008).

2.4 DESINFECCIÓN CON OZONO

El ozono se utiliza como una forma de desinfección de efluentes de tratamientos secundarios y terciarios. Siendo una etapa fundamental del tratamiento debido a las enfermedades, como puede apreciarse en la tabla 2.7, que se pueden transmitir a través de las aguas residuales domésticas.

TABLA 2.7 ENFERMEDADES TRASMITIDAS EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Organismo	Enfermedad Causada
Bacterias	
<i>Escherichia coli</i> (enterotoxígeno)	Gastroenteritis
<i>Leptospira</i> (spp.)	Leptospirosis
<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre tifoidea
<i>Salmonella</i> (2100 serotipos)	Salmonelosis
<i>Shigella</i> (4 spp.)	Shigellosis (disentería bacilar)
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
Protozoos	
<i>Balantidium coli</i>	Balantidiasis
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Cryptosporidiasis
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebiasis (disentería amoébrica)
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis
Helmintos	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis
<i>T. solium</i>	Teniasis
<i>Trichuris trichiura</i>	Tricuriasis
Virus	
Enteroviruses (72 tipos)	Gastroenteritis, anomalías del corazón y meningitis
Hepatitis A	Hepatitis del tipo infeccioso
Agente de Norwalk	Gastroenteritis

Fuente: EPA, 1999

El ozono (O₃) es un agente desinfectante y oxidante químico muy fuerte, su eficacia depende de la dosis de ozono como se ve en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, de la calidad del efluente, la demanda de ozono y de la eficiencia del sistema de transferencia de ozono. En general la calidad físico química del agua residual mejora con la dosis de ozono.

Reemplaza el uso de cloro en aguas residuales, que por la presencia de materia orgánica se producen trihalometanos que son nocivos para el ambiente y la salud

de las personas y además porque puede oxidar parcialmente muchos compuestos orgánicos.

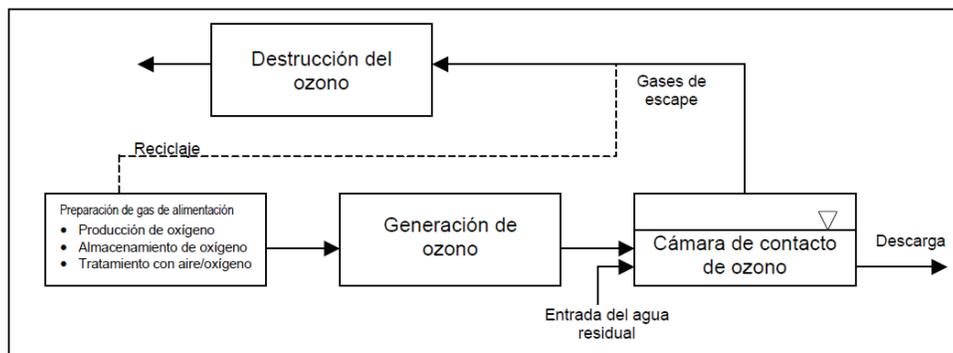
TABLA 2.8 DOSIS DE OZONO SEGÚN LA CALIDAD DEL EFLUENTE

Calidad del efluente	Dosis de ozono 200 UFC/100ml	Dosis de ozono <10 UFC/100ml
Nitrificado/Clarificado	3-5	10-20
Secundario/Clarificado	5-10	15-25
Clarificado/Filtrado	20-30	40-50

Fuente: EPA, 1999

El proceso de desinfección utilizando ozono incluyen las siguientes operaciones, como se ve en la FIGURA 2.77: preparación del gas de alimentación, generación del ozono, contacto con el ozono y destrucción del ozono. Para la generación de ozono se utilizan como gas de alimentación oxígeno puro o aire. El gas de alimentación se expone a una descarga de alto voltaje. Después el ozono producido es alimentado a una cámara de contacto que contiene el agua residual, la cámara tiene que maximizar la solubilidad del ozono en el agua residual. El ozono residual en los gases de escape de la cámara de contacto debe ser destruido antes de ser liberado a la atmosfera.

FIGURA 2.7 ESQUEMA DEL PROCESO DE DESINFECCIÓN UTILIZANDO OZONO



Fuente: EPA, 1999

La aplicación de ozono en el agua residual por lo general se la realiza en una cámara de contacto gas-líquido (ozono-agua residual), en la que se aplica una dosis de ozono en un tiempo de contacto.

En los sistemas de contacto se puede llegar a un 90% de transferencia de ozono al agua residual, es un factor crítico en el costo de la planta por la baja concentración de ozono generada en el flujo de aire o de oxígeno.

2.4.1 Ventajas

- Se alcanza niveles de oxígeno disuelto casi de saturación.
- Reducción de la DQO del 20 al 30% al utilizar dosis pequeñas de ozono de 5 mg/l, en dosis mayores de 20 mg/l la reducción es del 30 al 50%.
- Inicialmente la DBO aumenta seguido de una reducción que del 10 al 60%.
- Reducción de la turbiedad y sólidos en suspensión.
- El ozono es más eficaz que el cloro para la desinfección, ya que inactiva virus y otros microorganismos que no son sensibles a la cloración.
- Necesita un período de contacto corto (5 a 10 minutos).
- El ozono es generado dentro de la planta.
- Reducción fuerte del color (fábricas de teñido).
- Elimina del 50 al 90% de detergentes aniónicos y no aniónicos.
- Pesticidas y fenoles son sustancialmente removidos.
- Reducción de compuestos aromáticos.
- Puede remover microcontaminantes como los Disruptores Endócrinos (Paraskeva P., 2002).

2.4.2 Desventajas

- Necesita sistemas de contacto eficientes.
- El proceso de ozonización es más complejo que la cloración, por lo que necesita equipos más sofisticados.
- El costo de tratamiento puede ser alto, por la demanda de energía eléctrica.

- Para la desinfección con ozono es necesario que el agua residual haya recibido por lo menos un tratamiento secundario.
- Los sólidos suspendidos afectan en la ozonización.
- El ozono tiene una reacción muy lenta con compuestos nitrogenados.
- El ozono no reacciona con el fósforo (Paraskeva, 2002).

2.5 EVALUACIÓN AMBIENTAL

2.5.1 Definición

La Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) es el proceso mediante el cual se identifican y valoran los impactos potenciales de un proyecto sobre el medio ambiente. Los Impactos se refieren a los posibles efectos del proyecto sobre los componentes físico-químicos, bióticos, culturales y socioeconómicos del entorno. (Canter 1998)

El principal objetivo de esta evaluación es tomar en cuenta el aspecto ambiental en la planificación, diseño y ejecución de proyectos, y por ende elegir la mejor alternativa no solo desde el punto de vista técnico, económico y social sino también tomando en cuenta criterios Ambientales.

2.5.2 Metodologías

En la actualidad se han desarrollado un sin número de métodos para la EIA, pero ninguno de ellos por si solo es aplicable a todas las variantes posibles que se podrían presentar y menos aún existe un método común entre países, por diferencias en sus procedimientos y legislación. Al momento de elegir una metodología siempre se debe tener en cuenta la disponibilidad de datos.

Sin embargo las siguientes son características deseables en cualquier método que se quiera utilizar:

- Deben ser acordes a las actividades que se desean realizar, que pueden ser identificación y cuantificación de impactos como comparación de opciones.
- Que sean objetivos es decir eliminen puntos de vista personales y sesgos del grupo evaluador.
- Ser económicos tanto en costos, personal, tiempo y datos necesarios.

A continuación se describen brevemente algunas de las metodologías más utilizadas:

2.5.2.1 Listas de Chequeo

Son listas que incluyen tanto los factores ambientales como las diferentes actividades de un proyecto, su importancia radica en que permite identificar los potenciales impactos de un proyecto que posteriormente utilizando otro método se los podría cuantificar. Las listas no son inmutables, cambian dependiendo del tipo de proyecto y del entorno en que se ubicarán.

2.5.2.2 Método de Battelle Columbus

Se considera uno de los métodos más serios referente a la cuantificación de los impactos ambientales. Su metodología se basa en un formato que sigue una forma de árbol que incluyen 78 indicadores ambientales que se agrupan en 18 componentes y estos en 4 categorías ambientales. El valor de cada parámetro se lo transformara en unidades conmensurables (comparables) a través de técnicas de transformación. Este método inicialmente se diseñó para proyectos relacionados con el recurso hídrico.

2.5.2.3 Análisis de Costes Beneficios

Este método se basa en cuantificar el impacto ambiental mediante la comparación de costos. Se comparan los costes por daños frente a los costes para evitarlos. Este método se lo utiliza para comparar diferentes alternativas de un proyecto, siempre y cuando exista la información necesaria.

2.5.2.4 Matriz de Leopold

Este método se lo utiliza generalmente en nuestro medio, debido a su utilidad para identificar y valorar los impactos ambientales de actividades que se ubican en áreas relativamente pequeñas y homogéneas.

Consiste en la elaboración de una tabla de doble entrada, por un lado se encuentran las actividades del proyecto y por el otro los factores ambientales. A cada cuadrícula resultante se tiene que calificar con la magnitud del impacto y con la importancia del impacto sobre el factor ambiental.

Algunos inconvenientes de este método son:

- La no aditividad de impactos.
- No inclusión de una escala de tiempo.
- No consideración del entorno como un todo.

2.5.2.5 Método de transparencias

Propuesto por Ian Mc Harg (1969) para describir condiciones existentes o para visualizar posibles escenarios para la aplicación de un proyecto. Antes se lo realizaba a través de un ensamble físico (sobreposición) de transparencias que desplegaban diferentes características ambientales pero ahora se lo realiza digitalmente, utilizando los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

En las transparencias se dibujaban en distintas tonalidades las limitaciones de los principales factores ambientales con respecto a la implementación de un proyecto, posteriormente eran superpuestas, indicando las zonas más oscuras como de mayor sensibilidad ante la actividad.

2.5.2.6 Sistemas de Información Geográfica SIG

Los SIG son una herramienta informática que permiten manejar un gran volumen de información georreferenciada, es decir, ligada a su ubicación geográfica. Este sistema nos permite separar la información en diferentes capas y almacenarla independientemente para posteriormente poder realizar operaciones entre las capas como adición, superposición, entre otras.

Los SIG enfocados en la EIA se los puede utilizar para:

- El procesamiento y análisis de imágenes satelitales.
- Valoración del entorno previo a la aplicación del proyecto.
- Generación de cartografía temática asociada a los factores ambientales.
- Identificación y valoración de los impactos potenciales.
- Selección de alternativas.

La aplicación de esta herramienta informática en la EIA es muy reciente y se la puede utilizar tanto como soporte en todas las fases de la evaluación como en el posterior monitoreo y seguimiento de los impactos del proyecto. Se lo utiliza generalmente para trazos lineales como carreteras, gasoductos, oleoductos, líneas del ferrocarril, canales o líneas de transmisión de energía eléctrica entre otros.

Además de todas las utilidades antes mencionadas de esta herramienta, también se tiene que tomar en cuenta que la principal limitación es que actualmente existe escasa información necesaria para la EIA disponible en formato SIG y que el tiempo y recursos necesarios para transformarla son altos.

Las operaciones dentro de un SIG se las puede resumir brevemente en:

- La adquisición de datos: que consiste en la identificación y posterior recopilación de los datos necesarios para desarrollar la evaluación.
- Preprocesamiento: que es el proceso mediante el cual se transforman los datos en un formato adecuado para poderlos introducirlos en el SIG como por ejemplo la digitalización de mapas.
- Combinación matemática de capas: como la superposición.
- Salida de datos: esta herramienta puede desplegar mapas, gráficas e información tabular, lo que permite maximizar y facilitar la presentación de resultados.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1 ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio está comprendida desde la formación del río Machángara en el sur de Quito a la altura del Mercado Mayorista de coordenadas UTM (X: 774 939, Y: 9 970 201) hasta el puente de la Panamericana norte ubicado sobre el río Guayllabamba (X: 792 555, Y: 9 992 864), con una extensión de 46 km, como se aprecia en el MAPA 3.1.

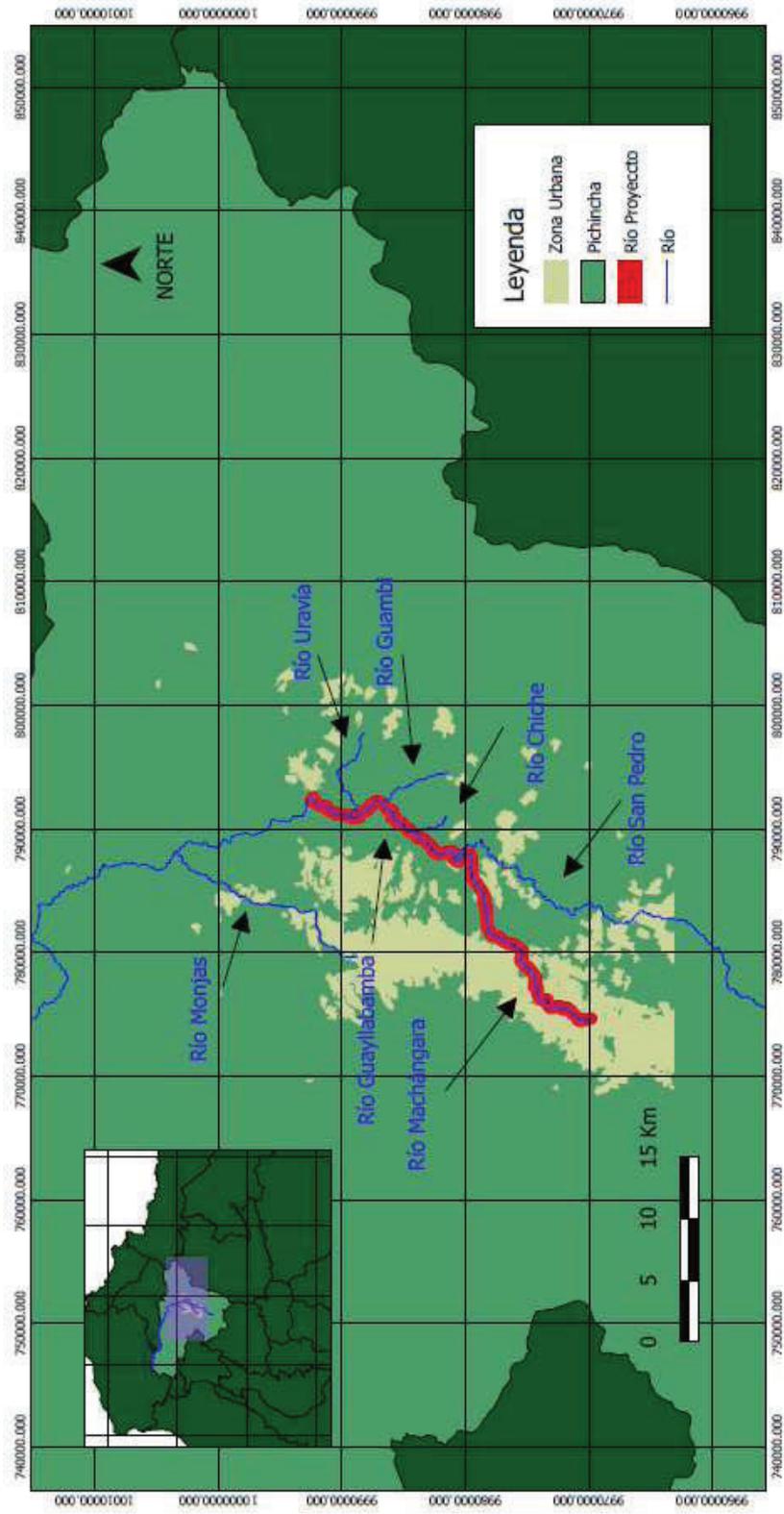
El río Machángara recibe el nombre de río Guayllabamba en la confluencia con el río San Pedro, además aguas abajo recibe a los ríos Chiche, Guambi y Uravía.

3.2 PERÍODO DE ESTIAJE

El análisis del proceso de autodepuración se lo realizará en condiciones críticas, es decir en la época del año en el que se presentan los menores caudales en el río, como los caudales están directamente relacionados con la precipitación, se analizará la variación estacional de la precipitación mensual en la zona de estudio para determinar el período de estiaje.

Se puede observar en la FIGURA 2.2 que los meses de menor precipitación en el año son entre junio y noviembre, especialmente julio y agosto, por lo tanto se elige el mes de julio como mes crítico para el análisis de la autodepuración en la zona de estudio.

MAPA 3.1 MAPA UBICACIÓN DEL PROYECTO



PROYECTO DE TITULACIÓN: ANÁLISIS AMBIENTAL DEL RÍO MACHÁNGARA	UBICACIÓN DEL PROYECTO	
ELABORADO POR: IVÁN REINOSO	FECHA: MAYO 2014	
FUENTE: INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR	ESCALA: 1:500.000	LÁMINA Nº 1

3.3 DESCARGAS DE AGUA RESIDUALES

Las aguas residuales del DMQ son descargadas en los ríos Machángara, Monjas y Guayllabamba como se observa en la tabla 3.2 TABLA 3.2, tabla 3.3 y tabla 3.4. Por el alcance del presente estudio solo se tomarán en cuenta las descargas al río Machángara y Guayllabamba, que representan aproximadamente el 89% de las descargas del DMQ.

TABLA 3.1 DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES POR RÍO

	Caudal máximo promedio l/s	%
Río Machángara	5698	76,3
Río Monjas	986,71	13,2
Río Guayllabamba	782,9	10,5
	7467,61	100

Elaborado por: Iván Reinoso

TABLA 3.2 DESCARGAS AL RÍO MACHÁNGARA

	ID	Nombre	Q máximo promedio L/s	DBO máxima mg/L	DQO máxima mg/L
Descarga 1	MA1	EL RECREO	2095,80	190	730
Descarga 2	MA2	TEODORO CARDENAL DE LA TORRE	326,10	266	639
Descarga 3	MA3	TOLA BAJA	712,70	240	447
Descarga 4	MA4	ANGLO FRENCH	362,50	189	365
Descarga 5	MA5	BATÁN	2200,90	234	466
			5698	223,8	529,4

Fuente: FICHTNER/Hidroestudios, Informe 1, 2009

TABLA 3.3 DESCARGAS AL RÍO MONJAS

Nombre	Q máximo promedio L/s	DBO máxima mg/L	DQO máxima mg/L
Colector El Colegio	139,84	338	669
El Peaje (Q. Parcayacu)	32,01	174	349
Pomasqui (Q. San José)	41,76	588	951
San Antonio principal	11,82	802	998
San Antonio Puente Piscinas (camino a Tajamar)	35,48	343	784
San Antonio La Internacional	14,41	519	703
Carcelén Alto (Corazón de Jesús)	42,39	828	1688
	986,71		

Fuente: FICHTNER/Hidroestudios, Informe 1, 2009

TABLA 3.4 DESCARGAS AL RÍO GUAYLLABAMBA

	Descarga	Ubicación	Q máximo promedio L/s	DBO máxima mg/L	DQO máxima mg/L
Descarga 6	GU3	Descarga de Zambiza	86,57	426	864
Descarga 7	GU2	Descarga de Calderón, Zona Norte N°2	411,30	933	1710
	GU4	Descarga de la Eloy Alfaro y Eucaliptos	84,57	955	1658
	GU5	Descarga del Comité del Pueblo N°1	32,82	286	549
	GU6	Descarga del Comité del Pueblo N°2	37,68	339	742
	GU7	Descarga de la Bota	6,86	533	1214
Descarga 8	GU1	Descarga de Calderón, Zona Norte N°1	123,1	109	286
			782,9		

Fuente: FICHTNER/Hidroestudios, Informe 1, 2009

La descarga 7 es la descarga equivalente a las descargas GU2, GU4, GU5, GU6 y GU7.

TABLA 3.5 RESUMEN DESCARGAS AL RÍO GUAYLLABAMBA

	Q máximo promedio L/s	DBO máxima mg/L
Descarga 6	86,57	426
Descarga 7	573,23	723,14
Descarga 8	123,1	109
Σ	782,9	

Elaborado por: Iván Reinoso

3.4 DEFINICIÓN DE TRAMOS

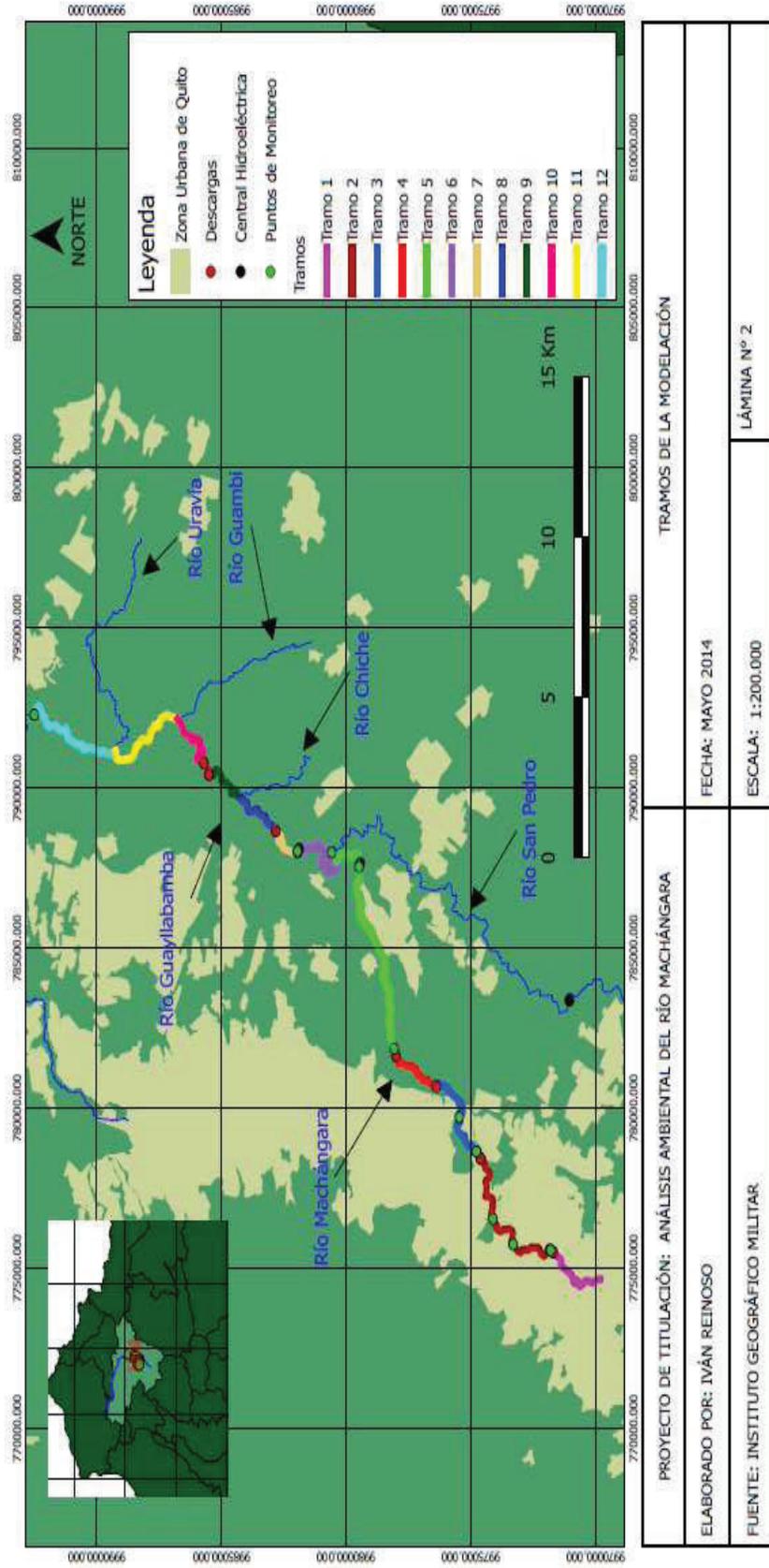
Para una mejor comprensión del proceso de autodepuración y por la disponibilidad de información ha sido necesario dividir la zona de estudio en 12 tramos como se aprecia en la TABLA 3.6, para lo cual se ha tomado en cuenta las estaciones de monitoreo, las descargas de aguas residuales, captaciones y descargas de centrales hidroeléctricas y la confluencia de ríos como se observa en el MAPA 3.2.

TABLA 3.6 TRAMOS PARA LA MODELACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

	Tramo	Inicio	Fin	Longitud km
Río Machángara	Tramo 1	Punto Inicial	Descarga 1	2,88
	Tramo 2	Descarga 2	Descarga 3	6,06
	Tramo 3	Descarga 3	Descarga 4	4.31
	Tramo 4	Descarga 4	Descarga 5	2.48
	Tramo 5	Descarga 5	Río San Pedro	9.72
Río Guayllabamba	Tramo 6	Río San Pedro	Descarga CH Nayón	3.84
	Tramo 7	Descarga CH Nayón	Descarga 6	1.74
	Tramo 8	Descarga 6	Río Chiche	2
	Tramo 9	Río Chiche	Descarga 7	2.11
	Tramo 10	Descarga 7+8	Río Guambi	3.06
	Tramo 11	Río Guambi	Río Uravía	3.62
	Tramo 12	Río Uravía	Punto Final	4.45
				46.27

Elaborado por: Iván Reinoso

MAPA 3.2 MAPA TRAMOS PARA LA MODELACIÓN



3.5 CAUDALES PARA LA MODELACIÓN

Para la modelación es necesario determinar los caudales de los ríos que se encuentran en la zona de estudio. Para el río Machángara y San Pedro se utiliza el caudal medio multianual del mes de Julio (mes crítico) y para los ríos Chiche, Guambi y Uravía se utiliza el caudal medio mensual, debido a la limitada información disponible.

3.5.1 Río Machángara

El caudal en el río Machángara va variando a lo largo de su trayecto debido principalmente a aportes puntuales de 5 descargas de aguas residuales.

Para la modelación es necesario determinar el caudal en el punto más próximo al inicio de la zona de estudio, por lo que se utiliza la información de la estación hidrológica El Recreo como se ve en la TABLA 3.7, que se encuentra ubicada al inicio del tramo 2, por lo tanto la modelación se iniciará a partir de este tramo.

Se utilizan los valores del mes de julio del año 2002 al 2007, para determinar los valores promedio de caudal, DBO, DQO y temperatura.

TABLA 3.7 ESTACIÓN HIDROLÓGICA EL RECREO

Fecha	Caudal m ³ /s	Temperatura °C	DBO ₅ mg/l	DQO mg/l
2002-07-15	1,205	19,9	236	632
2002-07-16	1,587	19	369	736
2003-07-21	1,926	22,1	199	480
2003-07-22	2,276	15,8	149	320
2004-07-19	1,557	15,8	206	650
2004-07-20	1,511	15,4	120	442
2005-07-18	1,138	18,2	147	538
2005-07-19	1,099	14,5	80	366
2006-07-17	1,527	19,2	256	467
2006-07-18	2,214	13,4	169	322
2007-07-16		15,5	122	404
Promedio	1,604	17,2	187	487
Máximo	2,276	22,1	369	736
Mínimo	1,099	13,4	80	320

Elaborado por: Iván Reinoso
Fuente: EPMAPS

- $Q=1.604 \text{ m}^3/\text{s}$
- $\text{DBO}_5= 187 \text{ mg/l}$
- $\text{DQO}= 487 \text{ mg/l}$
- $\text{Temperatura} = 17.2 \text{ }^\circ\text{C}$

3.5.2 Río San Pedro

Para determinar el caudal que aporta el río San Pedro en la confluencia con el río Machángara, se utiliza la información de la estación Hidrológica más cercana, que es la San Pedro AJ Machángara.

TABLA 3.8 ESTACIÓN HIDROLÓGICA SAN PEDRO AJ MACHÁNGARA

Fecha	Caudal m^3/s	Temperatura $^\circ\text{C}$	$\text{DBO}_5 \text{ mg/l}$	DQO mg/l
2002-07-17	1,693	21,7	100	225
2003-07-23	1,658	18,8	24	91
2005-07-20	1,852	20,3	6,4	26
2007-07-18		24,8	24	42
Promedio	1,734	21,4	38,6	96
Máximo	1,852	24,8	100	225
Mínimo	1,658	18,8	6,4	26

Elaborado por: Iván Reinoso
Fuente: EPMAPS

- $Q=1.734 \text{ m}^3/\text{s}$
- $\text{DBO}_5= 187 \text{ mg/l}$
- $\text{DQO}= 487 \text{ mg/l}$
- $\text{Temperatura} = 17.2 \text{ }^\circ\text{C}$

3.5.3 Río Chiche, Guambi, Uravía

Los caudales que aportan los ríos Chiche, Guambi y Uravía al Guayllabamba, debido a que no existen estaciones hidrológicas cercanas, se utilizan los caudales medios mensuales indicados en el estudio de Factibilidad y Diseños Definitivos del Plan de Descontaminación de los ríos de Quito (FICHTNER/Hidroestudios, 2009).

TABLA 3.9 CAUDAL DE LOS RÍOS CHICHE, GUAMBI Y URAVÍA

Río	Caudal m ³ /s
Chiche	4,026
Guambi	1,202
Uravía	2,328

Elaborado por: Iván Reinoso

Fuente: FICHTNER/Hidroestudios, Informe 1, 2009

3.6 DATOS DE DBO₅ Y OXÍGENO DISUELTO

Para el modelo de autodepuración es necesario disponer de información de DBO₅ y oxígeno disuelto en diferentes puntos de la zona de estudio, para lo cual se utilizará la información de las estaciones de monitoreo disponibles de la EPMAPS como se observa en el ANEXO N° 2.

Para la determinación de la DBO₅, se utilizan datos del mes de julio (mes crítico) del año 2002 al 2007. Por la escasa disponibilidad de información, para la determinación del oxígeno disuelto se utilizará los datos de los meses de junio, julio y agosto, meses considerados de estiaje.

TABLA 3.10 DATOS DE DBO₅ Y OXÍGENO DISUELTO

ESTACIÓN	UBICACIÓN	TRAMO	DBO ₅	OD mg/l
El Recreo	Machángara	2	187	2.52
Villaflora	Machángara	2	154	-
El Sena	Machángara	2	146	4.12
El Trébol	Machángara	3	148.6	-
Las Orquídeas	Machángara	3	125.2	3.36
DJ. Q Batán	Machángara	5	125	-
R. Mch. El Trásvase	Machángara	5	96	7.01
San Pedro AJ Machángara	San Pedro	6	38.6	6.51
Nayón, RSP AJ Turb	Guayllabamba	6	41.4	6.53
Nayón, D. Turbina	Guayllabamba	7	32.3	6.97
R.Gy Puento Panamericana	Guayllabamba	12	21.1	7,123

Elaborado por: Iván Reinoso

Fuente: EPMAPS

Además para la modelación es necesario conocer el oxígeno disuelto de las descargas de aguas residuales. Tomando en cuenta el valor de 0,85 mg/l del

muestreo realizado en la descarga El Batán como se ve en la TABLA 3.19 y la existencia de estructuras hidráulicas para la disipación de energía en la descargas, que además oxigenan el agua residual, en la modelación se tomará el valor promedio de 1 mg/l de OD para las descargas.

Para el valor de oxígeno disuelto de saturación, que se lo define como la cantidad máxima de oxígeno que puede contener el agua, se tomara el valor de 8,5 mg/l, ya que es el valor máximo en el agua de ríos no contaminados en la zona de estudio.

3.6.1 Río Chiche, Guambi y Uravía

Para los ríos Chiche, Guambi y Uravía, que son ríos aportantes al río Guayllabamba, que no se encuentran a su alrededor grandes poblaciones, se los considera ríos con una baja contaminación, por lo que se adopta una DBO_5 de 15 mg/l y un oxígeno disuelto de 6,5 mg/l.

3.7 DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD

En el estudio “Rehabilitación y Reforzamiento Puente Machángara” (Muñoz M., 2005), utilizando la ecuación de Manning en el río Machángara (Puente del Sena) se determinó una velocidad del flujo de 1.02 m/s, coeficiente de rugosidad de 0.054 y radio hidráulico de 0.41 m²/m.

Utilizando estos datos y la ecuación de Manning, se obtuvo una velocidad del flujo de 1.17 m/s para el Tramo 2 como se ve en la TABLA 3.611, comprendido entre El Recreo y la descarga 3 (Tola Baja), por lo tanto se utilizara el valor medio de 1 m/s para la zona de estudio.

TABLA 3.11 VELOCIDAD DEL RÍO MACHÁNGARA (TRAMO 2)

Tramo	Longitud m	Altura m	Pendiente m/m	n	R m ² /m	Velocidad m/s
El Recreo	0	2800				
Descarga 3	6061.14	2720	0,0132	0,054	0,41	1,17

Elaborado por: Iván Reinoso

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * i^{1/2} \quad (3.1)$$

n=rugosidad del cauce, adimensional

V= velocidad del flujo, m/s

R= radio hidráulico, m²/m

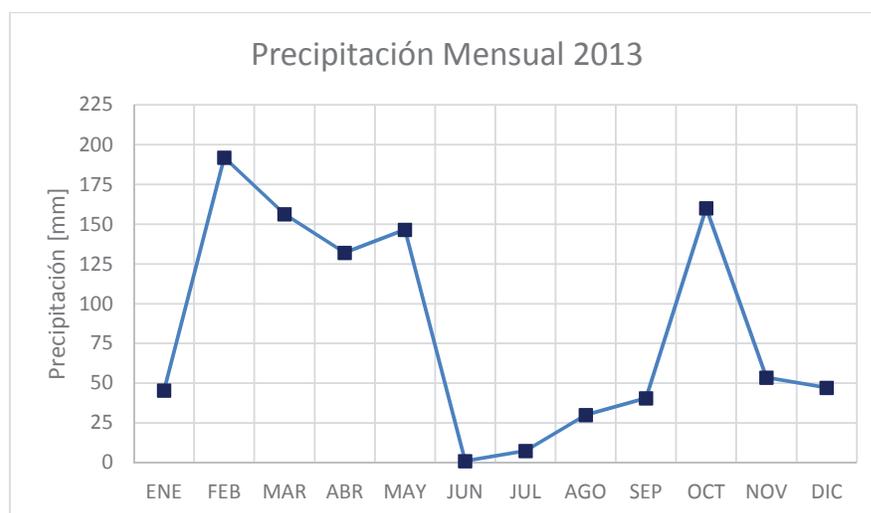
i=pendiente longitudinal, m/m

$$V = \frac{1}{0.054} * 0.41^{2/3} * 0.0132^{1/2} \quad (3.2)$$

$$V = 1.17 \text{ m/s}$$

3.8 PRECIPITACIÓN 2013

Se puede observar que de los meses de menor precipitación en el GRÁFICO 3.1 sigue la tendencia de la FIGURA 2.2 VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL, siendo en el 2013 de junio a septiembre. Según los datos de precipitación de la estación Meteorológica Quito Observatorio (M054) del año 2013.

GRÁFICO 3.1 PRECIPITACIÓN MENSUAL 2013

Elaborado por: Iván Reinoso

TABLA 3.12 PRECIPITACIÓN DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA QUITO OBSERVATORIO (M054) DEL AÑO 2013

Día	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	0	3,8	0	0,5	9,4	0	0,7	0,1	0	0	0	No hay
2	0	0	0	0	8,5	0	0	0	0	1,4	0	0
3	0,4	15,1	0	0	4,3	0	0	0	3,2	7,4	0	5,8
4	0	45,2	0,5	0	16,4	0	6,8	0	0	0	0	0,3
5	0	4,5	0	0,7	7	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0,2	6	0	12	0	0	0	0	0	0	4
7	0	0	0	0	11,4	0	0	0	0	0	0	13
8	0	14,8	0	0	2,4	0	0	17,8	8,7	0	7,4	9,6
9	0	2,4	0,7	0	0	0	0	0	0,3	0	16,2	1,1
10	0	20,4	58,9	0	4,5	0	0	0	0	6,9	0	0
11	0	52,9	0	24	0	0	0	0	0,7	22,2	0	0
12	21	0,4	0	0	0	0	0	1,5	1,4	8	0	0
13	0	11,4	0,6	0	0	0	0	0	4,3	26,7	0,9	0
14	0,7	0	0,3	0	0,4	0	0	0	0	8	2,3	No hay
15	3	0	20	0	0	0	0	0,4	0	0,2	0	No hay
16	3,7	1,4	8	3	0	0	0	0	0	13	0	No hay
17	0	4	1,3	8,1	0,9	0	0	0	0	0,4	3,6	4
18	0	2,3	15	5,8	0	0	0	0	0	9,4	1,3	0,4
19	0	0	26,4	30	0,4	0	0	0	0,1	0	0	7,4
20	0	0	4,2	8,4	2,3	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0,5	11,7	21,4	0	0	0	0	1,6	0,3	0
22	0	0	9,2	1,1	0	0	0	0	0	6,4	0,7	0
23	0,3	0	2,2	5,6	0	0	0	1,3	0	19	16,4	0
24	15,8	0	No hay	0	0	0	0	8,1	0	0	3,1	0
25	0	0	2,5	0	0	0	0	0	0	5,7	0	0
26	0	0	0	0	1,9	0	0	0,9	0	0	0	1,3
27	0	5,9	0	15,1	2,6	0,7	0	0	0	0	0	0
28	0	7,3	0	0,5	0	0	0	0	0,4	0,1	0	0
29	0		0	10,6	25,7	0	0	0	11	14,7	1,4	0,4
30	0		0	6,9	13,5	0,4	0	0	10,5	8,2	0	0
31	0,6		0		1,6		0	0		0,8		0
Σ	45,5	192	156,3	132	146,6	1,1	7,5	30,1	40,6	160,1	53,6	47,3

Fuente: Estación Meteorológica Quito Observatorio, 2013

3.9 MUESTREOS

Se realizaron 8 campañas de muestreos como se ve en la TABLA 3.13, en diferentes puntos de la zona de estudio como se aprecia en el MAPA 3.3, en los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre del 2013 (época de estiaje).

Las muestras se tomaron cercanas al medio día (12:00), hora del día a la que se presenta la mayor carga orgánica en las descargas. También se realizó un muestreo en la noche (00:00) en el punto final (46 km aguas abajo) para analizar si existe una contaminación crítica a esta hora, debido al tiempo de viaje de los contaminantes desde el punto inicial del análisis.

Se midieron los siguientes parámetros en las muestras: Demanda Química de Oxígeno, Coliformes Totales, Coliformes Fecales, Tensoactivos, Fenoles, Oxígeno Disuelto, pH, Turbiedad, Temperatura, Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Suspendidos Volátiles.

TABLA 3.13 CRONOGRAMA DE MUESTREO

	Fecha de Muestreo	Precipitación [mm]	Días sin precipitación
1	26 Junio 2013	0	26
2	5 de Julio 2013	0	1
3	8 de Julio 2013	0	4
4	12 de Julio 2013	0	8
5	22 de Julio 2013	0	18
6	23 de Julio 2013	0	19
7	28 de Agosto 2013	0	2
8	21 de Septiembre 2013	0	8

Elaborado por: Iván Reinoso

TABLA 3.14 UBICACIÓN DE LOS MUESTREOS

Lugar	Coordenadas UTM	
	X	Y
El Sena	776 988	9 974 559
San Francisco de Miravalle	781 988	9 977 167
Guápulo	782 091	9 978 437
Cumbayá	787 999	9 979 861
Guayllabamba	792 556	9 992 864
Reservorio Cumbayá	786 352	9 978 654
Pozo 1 Guayllabamba	792 407	9 993 078
Pozo 2 Guayllabamba	792 407	9 993 078
Descarga El Batán	778 716	9 975 060
Descarga La Tola Baja	782 048	9 978 455

Elaborado por: Iván Reinoso

TABLA 3.15 RESULTADOS MUESTREO 26 DE JUNIO

	Puente río Guayllabamba
Hora	12:00
DQO mg/l	52,5
Tensoactivos mg/l	0.22
Fenoles mg/l	< 0.02

Elaborado por: Iván Reinoso

TABLA 3.16 RESULTADOS MUESTREO 5 DE JULIO

	Descarga El Batán	Descarga Tola Baja
Hora	12:00	14:30
DQO mg/l	560	530
Caudal m ³ /s	2.7	0.8

Elaborado por: Iván Reinoso

TABLA 3.17 RESULTADOS MUESTREO 8 DE JULIO

	Descarga el Batán
Hora	12:30
DQO mg/l	587

Elaborado por: Iván Reinoso

TABLA 3.18 RESULTADOS MUESTREO 12 DE JULIO

	EL SENA	GUÁPULO	CUMBAYÁ	GUAYLLABAMBA	POZO
Hora	12:22	13:00	13:55	14:35	15:00
DQO mg/l	187,5	223	160	46	18
OD mg/l	4,78	6,35	6,11	6,63	0,87

Elaborado por: Iván Reinoso

TABLA 3.19 RESULTADOS MUESTREO 22 DE JULIO

	Descarga el Batán
DQO mg/l	570
pH	7,5
TURBIEDAD NTU	113
OD mg/l	0,85
Tensoactivos mg/l	6.240

Elaborado por: Iván Reinoso

TABLA 3.20 RESULTADOS MUESTREO 23 DE JULIO

	Sena	San Francisco de Miravalle	Reservorio Cumbayá	Cumbayá	Guayllabamba
HORA	11:55	12:30	13:10	13:20	
DQO mg/l	342	219	24	172	44
pH	9,4	7,2	7	7,3	7,5
TURBIEDAD NTU	120	90,7	9,23	179	15,2
OD mg/l	3,26	4,39	5,33	5,56	6,07
TEMP °C	18,4	18,6	17	19,5	20,3

Elaborado por: Iván Reinoso

TABLA 3.21 CONTINUACIÓN RESULTADOS MUESTREO 23 DE JULIO

	POZO	ASPERSIÓN
HORA	15:00	
DQO mg/l	11	18
pH	7,2	7,3
TURBIEDAD NTU	7,9	11,6
OD mg/l	8,4	6,63
TEMP °C	25,4	25,7
CT NMP/100ml		240000
CF NMP/100ml		3,6

Elaborado por: Iván Reinoso

TABLA 3.22 RESULTADOS MUESTREO 28 DE AGOSTO

	Guayllabamba	Cumbayá
HORA	16:50	18:00
DQO mg/l	32	160
pH	7,9	8,7
TURBIEDAD NTU	95,6	39,2
OD mg/l	6,11	6,48
TEMPERATURA °C	18,6	19,2
SST mg/l	119	171
SSV mg/l	19	112
CT NMP/100ml	2400	
CF NMP/100ml	930	

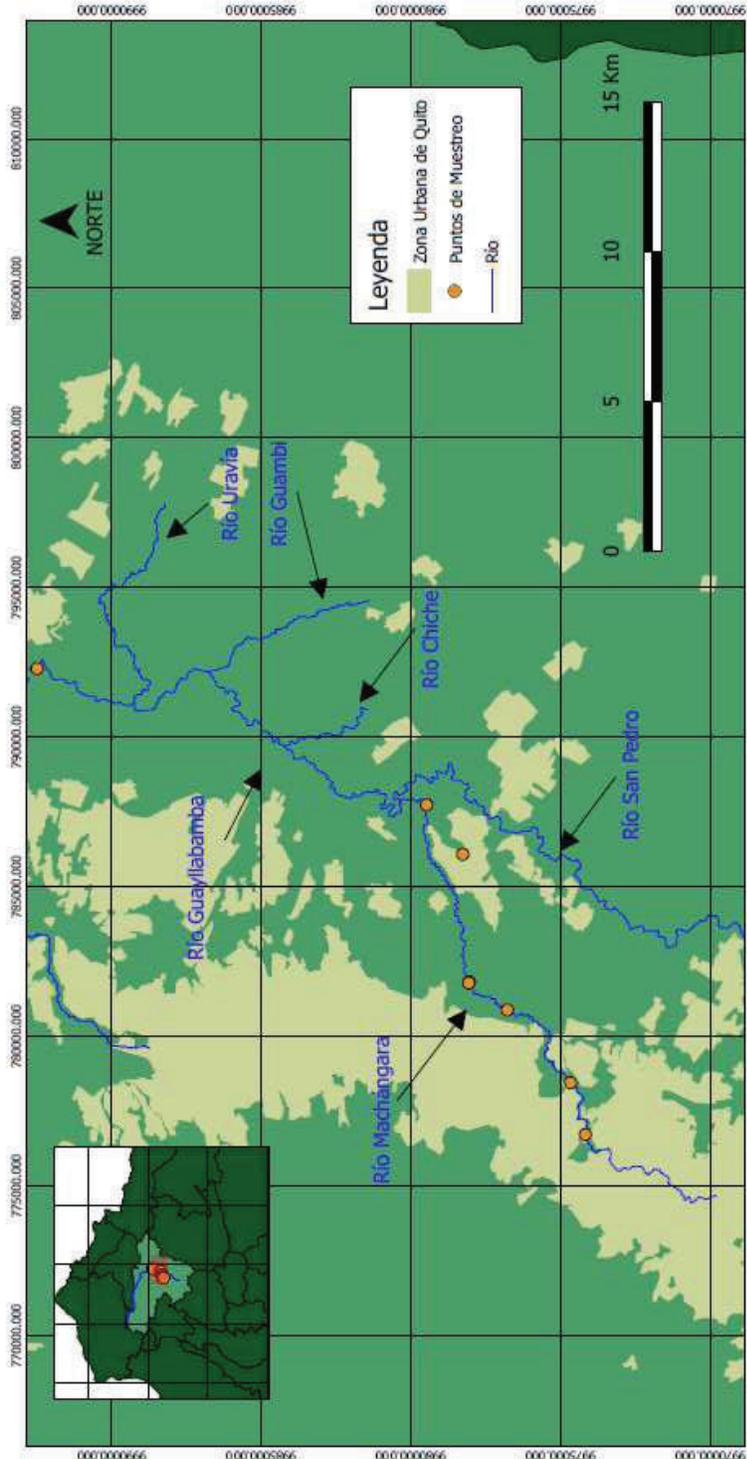
Elaborado por: Iván Reinoso

TABLA 3.23 RESULTADOS MUESTREO 21 DE SEPTIEMBRE (NOCHE)

	Cumbayá	Guayllabamba
HORA	00:10	01:10
DQO mg/l	126	46
pH	8,1	8
TURBIEDAD NTU	37,9	8,9
OD mg/l	6,99	7,12
TEMPERATURA °C	15,7	16,6
SST mg/l	447	83
SSV mg/l	159,3	26
CT NMP/100ml	24000000	
CF NMP/100ml	24000	
Tensoactivos mg/l	2,621	

Elaborado por: Iván Reinoso

MAPA 3.3 MAPA DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO



PROYECTO DE TITULACIÓN: ANÁLISIS AMBIENTAL DEL RÍO MACHÁNGARA	UBICACIÓN PUNTOS DE MUESTREO	
ELABORADO POR: IVÁN REINOSO	FECHA: MAYO 2014	
FUENTE: INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR	ESCALA: 1:200.000	
	LÁMINA N° 3	

3.9.1 RESUMEN PARÁMETROS

En las siguientes tablas se indican los resultados obtenidos para cada uno de los siguientes parámetros: coliformes, tensoactivos, fenoles, sólidos suspendidos, DQO y oxígeno disuelto.

TABLA 3.24 RESUMEN RESULTADOS COLIFORMES

Fecha	Lugar	Coliformes totales NMP/100ml	Coliformes fecales NMP/100ml
20 Septiembre	Cumbayá	24000000	24000
28 Agosto	Guayllabamba	2400	930
23 Julio	Aspersión	240000	3,6

Elaborado por: Iván Reinoso

TABLA 3.25 RESUMEN RESULTADOS TENSOACTIVOS

Fecha	Lugar	mg/l	% remoción
22. Jun	Colector	6,24	0
21. Sep	Cumbayá	2,621	58
26. Jun	Guayllabamba	0,22	96

Elaborado por: Iván Reinoso

TABLA 3.26 RESUMEN RESULTADOS FENOLES

Fecha	Lugar	mg/l
26. Jun	Guayllabamba	<0.02

Elaborado por: Iván Reinoso

TABLA 3.27 RESUMEN RESULTADOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS

Fecha	Lugar	Totales mg/l	Volátiles mg/l	Lugar	Totales mg/l	Volátiles mg/l
28. Ago	Guayllabamba	119	19	Cumbayá	447,0	159,3
20. Sep		83,3	26,4		170,6	111,8
		101,2	22,7		308,8	135,5

Elaborado por: Iván Reinoso

TABLA 3.28 RESUMEN RESULTADOS DQO mg/L

Sena	Miravalle	Guápulo	Cumbayá	Reservorio	Guayllabamba	Pozo	Aspersión	Batán	Tola
187,5	219	223	160	24	52,5	18	18	560	530
342			172		46	11		587	
			160		44			570	
			126		32				
					46				
264,8	219	223	154,5	24	44,1	14,5	18	572,3	530

Elaborado por: Iván Reinoso

TABLA 3.29 RESUMEN RESULTADOS OXÍGENO DISUELTO mg/L

Sena	Miravalle	Guápulo	Cumbayá	Reservorio	Guayllab	Pozo 1	Pozo 2	Aspersión	Batán
4,78	4,39	6,35	6,11	5,33	6,63	0,87	8,4	6,63	0,85
3,26			5,56		6,07				
			6,48		6,11				
			6,99		7,12				
4,02	4,39	6,35	6,29	5,33	6,48	0,87	8,4	6,63	0,85

Elaborado por: Iván Reinoso

CAPÍTULO 4

MODELO DE AUTODEPURACIÓN, PROPUESTAS DE TRATAMIENTO Y EVALUACIÓN AMBIENTAL

4.1 MODELO DE AUTODEPURACIÓN

La modelación se la realizará utilizando el modelo de Streeter y Phelps, para lo cual se ha dividido al río en 12 tramos. El río Machángara comprende del tramo 1 al 5 y el río Guayllabamba del tramo 6 al 12. Para cada tramo es necesario determinar las constantes K_1 (desoxigenación) y K_2 (oxigenación).

Debido a la ubicación de las estaciones de monitoreo (disponibilidad de información), se ha determinado las constantes K_1 y K_2 del modelo de Streeter y Phelps para los tramos 2, 3, 5 y 6; por lo que en el tramo 4 se utilizarán las constantes del tramo 3 y en los tramos 7, 8, 9, 10, 11 y 12 las del tramo 6.

La K_1 se la obtiene a partir del Método de Cálculo entre Tramos (Universidad del Valle, 2001), teniendo como datos la DBO última al inicio del tramo y la DBO última en otro punto del tramo ubicado aguas abajo. Posteriormente se determina la constante K_2 , reemplazando el valor de K_1 en la ecuación de Streeter y Phelps y resolviéndola por el Método Iterativo.

La constante K_2 se la determina por el Método Iterativo utilizando la hoja de cálculo Microsoft Excel, el programa realiza aproximaciones sucesivas (itera) hasta obtener la solución (valor de la constante). La solución es el valor de la constante que en la ecuación de Streeter y Phelps da como resultado valores de concentración de oxígeno disuelto aproximadamente iguales a los valores medidos en campo (estaciones de monitoreo).

Al inicio de cada tramo existe una descarga, considerando que existe una mezcla completa entre el río y la descarga, se calcularán los siguientes parámetros a través de un balance de masa: DBO_5 , DBO última (L_0), Oxígeno Disuelto (OD) y Déficit de Oxígeno Disuelto (Déficit₀).

Los valores de DBO_5 y concentración de oxígeno disuelto obtenidos de la modelación, en el punto final de un tramo, serán datos de partida para el tramo siguiente.

4.1.1 TRAMO 1

Esta comprendido entre la formación del río Machángara y la descarga 1 (El Recreo), con una longitud de aproximadamente de 2,88 km. Debido a que en este tramo no se encuentra ninguna estación de monitoreo (información disponible) la modelación se realizará a partir del Tramo 2.

4.1.2 TRAMO 2

Por la disponibilidad de datos de la estación hidrológica R. Mch. El Recreo, ubicada en el río Machángara a tan solo 37 m aguas arriba de la descarga 2, se empieza la modelación de la zona de estudio en este tramo.

El tramo inicia con la mezcla completa de la descarga 2 y el río Machángara (estación de Monitoreo R. Mch. El Recreo). Para determinar las constantes K_1 y K_2 se utilizan los datos de la estación de monitoreo R. Mch. El Sena ubicada a 3505 metros aguas abajo.

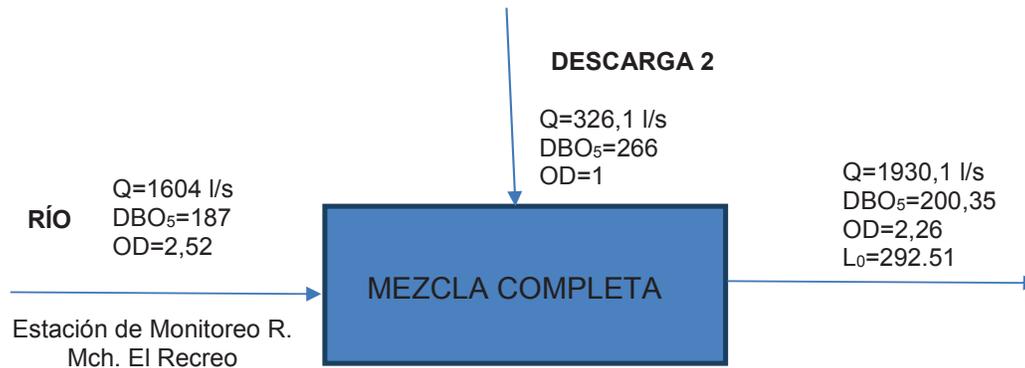
4.1.2.1 Balance DBO

TABLA 4.1 DATOS

Río Machángara (R. Mch. El Recreo)			
Caudal L/s	DBO ₅ mg/l	DBO última mg/l	OD mg/l
1604	187	273,02	2,52
Agua Residual (descarga 2)			
Caudal L/s	DBO ₅ mg/l	DBO última mg/l	OD mg/l
326,1	266	388,36	1

Elaborado por: Iván Reinoso

FIGURA 4.1 BALANCE DE MASA DE LA DBO



$$DBO_{última} = 1.46 DBO_5 \quad (4.1)$$

$$Q_{Río} * DBO_{Río} + Q_{AR} * DBO_{AR} = L_0 (Q_{Río} + Q_{AR}) \quad (4.2)$$

$$1604 \text{ l/s} * (273.02 \text{ mg/l}) + 326.1 \text{ l/s} * (388.36 \text{ mg/l}) = L_0 * \left(1930.1 \frac{\text{l}}{\text{s}}\right)$$

$$L_0 = 292.51 \text{ mg/l}$$

4.1.2.2 Balance OD

$$Q_{Río} * OD_{Río} + Q_{AR} * OD_{AR} = OD_{Mezcla} (Q_{Río} + Q_{AR}) \quad (4.3)$$

$$1604 \text{ l/s} * (2.52 \text{ mg/l}) + 326.1 \text{ l/s} * (1 \text{ mg/l}) = OD_{Mezcla} * (1930.1 \text{ l/s})$$

$$OD_{Mezcla} = 2.26 \text{ mg/l}$$

4.1.2.3 Déficit Inicial de oxígeno disuelto

$$\text{Déficit}_0 = OD_{\text{saturación}} - OD_{\text{Mezcla}} \quad (4.4)$$

$$\text{Déficit}_0 = 8.5 - 2.26 = 6.24 \text{ mg/l}$$

4.1.2.4 Determinación de la constante K_1

Utilizando el Método de Cálculo entre Tramos, se determina la constante K_1 en base 10. Para lo cual primero se determina el tiempo de viaje de la masa de agua.

TABLA 4.2 CÁLCULO DEL TIEMPO

Estación de Monitoreo	Distancia m	Velocidad m/s	Tiempo minutos	Tiempo días
R. Mch. El Sena	3505	1	58.42	0,04056

Elaborado por: Iván Reinoso

$$d = v * t \quad (4.5)$$

$$t = \frac{3505 \text{ m}}{1 \text{ m/s}}$$

$$t = 3505 \text{ s} = 0.04057 \text{ días}$$

TABLA 4.3 DATOS

Mezcla Completa (Inicio del Tramo 2)			
DBO ₅ mg/l	L ₀ mg/l	OD _{mezcla} mg/l	Déficit ₀ mg/l
200,35	292,51	2,26	6,24
R. Mch. El Sena (Aguas Abajo)			
DBO ₅ mg/l	L ₀ mg/l	OD _{mezcla} mg/l	Déficit ₀ mg/l
146	213,16	4,12	4,38

Elaborado por: Iván Reinoso

$$K_{1e} = \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{L_A}{L_B} \quad (4.6)$$

$$K_{1e} = \frac{1}{0.04057 \text{ días}} \ln \frac{292,51 \text{ mg/l}}{213,16 \text{ mg/l}} = 7,8 \text{ d}^{-1}$$

$$K_1 = \frac{K_{1e}}{2,3}$$

$$K_1 = \frac{7,8}{2,3} = 3,39 \text{ d}^{-1}$$

4.1.2.5 Determinación de la Constante K_2

Utilizando la ecuación de Streeter y Phelps y la constante K_1 obtenida en el inciso anterior, por el método iterativo se determina la constante K_2 en base 10.

$$D = \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} (10^{-K_1 t} - 10^{-K_2 t}) + D_0 10^{-K_2 t} \quad (4.7)$$

$$4,38 \text{ mg/l} = \frac{3.39 \text{ d}^{-1} (292,51) \text{ mg/l}}{K_2 - 3.39 \text{ d}^{-1}} (10^{-3.39 \text{ d}^{-1} * 0.04056 \text{ d}} - 10^{-K_2 * 0.04056 \text{ d}}) + 6.24 \text{ mg/l} * 10^{-K_2 * 0.04056 \text{ d}}$$

$$K_2 = 168,23 \text{ d}^{-1}$$

4.1.2.6 Modelo

Utilizando los valores de las constantes K_1 y K_2 obtenidas en el punto anterior, se determina el modelo para el tramo 2 con una longitud de aproximadamente 6 km.

$$D = \frac{3.39 \text{ d}^{-1} L_0}{168,23 \text{ d}^{-1} - 3.39 \text{ d}^{-1}} (10^{-3.39 \text{ d}^{-1} t} - 10^{-168,23 \text{ d}^{-1} t}) + D_0 10^{-168,23 \text{ d}^{-1} t}$$

TABLA 4.4 RESULTADOS DE OD Y DBO₅ A DIFERENTES DISTANCIAS

Lugar	Distancia km	Tiempo minutos	Déficit mg/l	OD mezcla mg/l	L mg/l	DBO ₅ mg/l
Descarga 2	0	0,00	6,24	2,26	292,51	200,35
	0,25	4,17	5,95	2,55	285,98	195,88
	0,5	8,33	5,77	2,73	279,60	191,51
	0,75	12,50	5,62	2,88	273,36	187,23
	1	16,67	5,49	3,01	267,26	183,05
	1,25	20,83	5,37	3,13	261,29	178,97
	1,5	25,00	5,25	3,25	255,46	174,98
	1,75	29,17	5,13	3,37	249,76	171,07
	1,94	32,36	5,04	3,46	245,48	168,13
Villaflora	2,25	37,50	4,91	3,59	238,74	163,52
	2,5	41,67	4,80	3,70	233,41	159,87
	2,75	45,83	4,69	3,81	228,20	156,30
	3	50,00	4,58	3,92	223,11	152,82
	3,25	54,17	4,48	4,02	218,13	149,41
El Sena	3,50	58,42	4,38	4,12	213,16	146,00
Muestreo 1	3,70	61,75	4,30	4,20	209,35	143,39
	4	66,67	4,19	4,31	203,85	139,63
	4,25	70,83	4,10	4,40	199,30	136,51
	4,5	75,00	4,00	4,50	194,86	133,46
	4,75	79,17	3,91	4,59	190,51	130,49
	5	83,33	3,83	4,67	186,26	127,57
	5,25	87,50	3,74	4,76	182,10	124,73
	5,5	91,67	3,66	4,84	178,04	121,94
	5,75	95,83	3,58	4,92	174,06	119,22
Descarga 3	6	100,00	3,50	5,00	170,18	116,56
	6,02	100,49	3,49	5,01	169,73	116,25

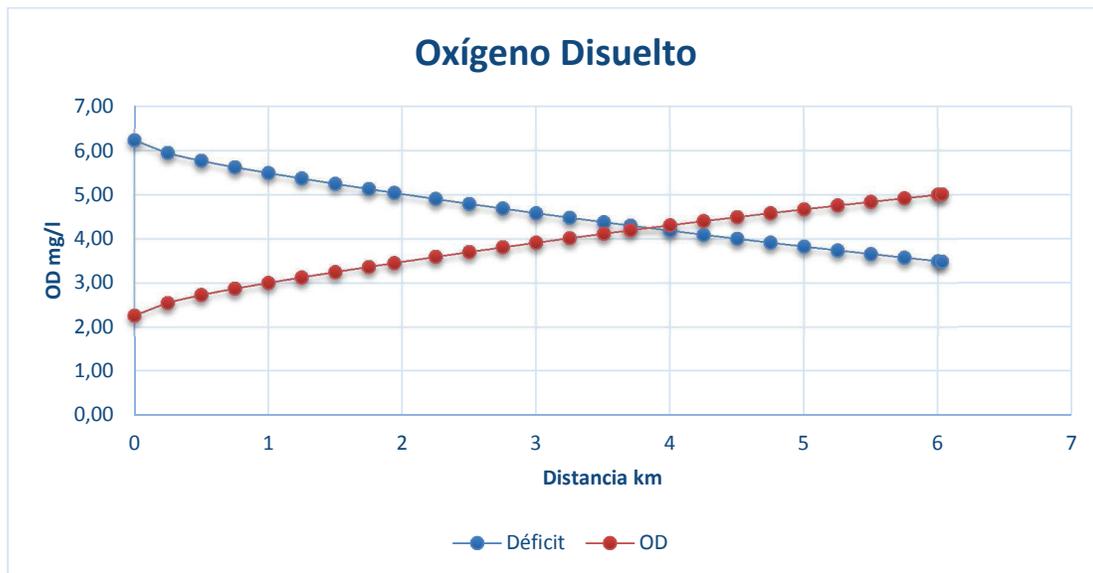
Elaborado por: Iván Reinoso

La eficiencia del tramo 2 en la remoción de la DBO₅ es de:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{200,35 - 116,25}{200,35} * 100 \quad (4.8)$$

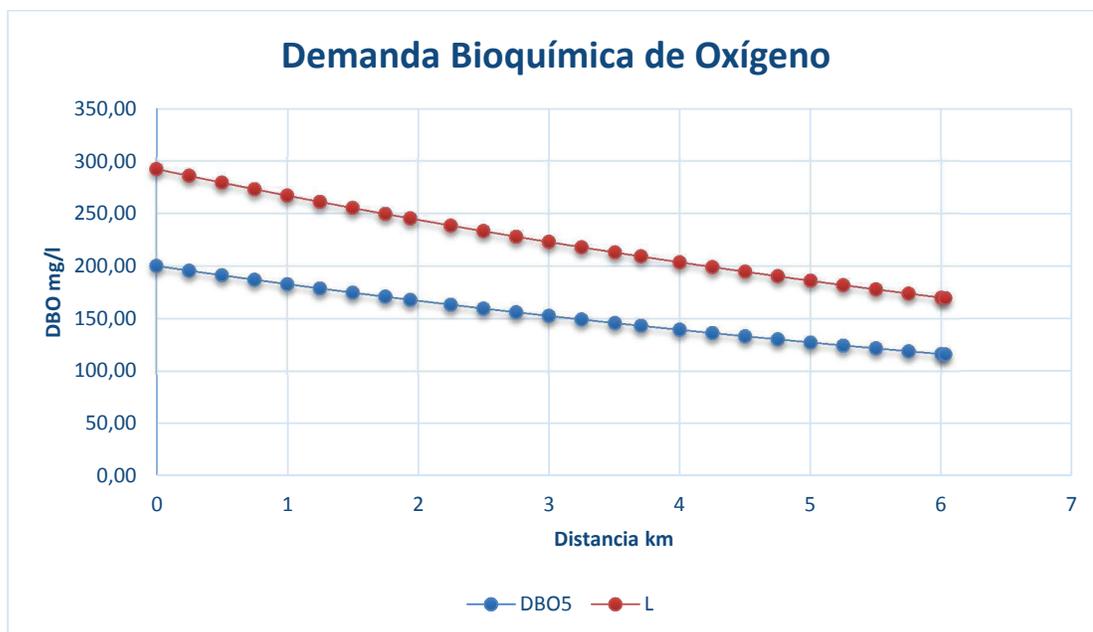
$$\% \text{ Remoción} = 41,97 \%$$

GRÁFICO 4.1 EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN OXÍGENO DISUELTO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA



Elaborado por: Iván Reinoso

GRÁFICO 4.2 EVOLUCIÓN DE LA DBO₅ EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA



Elaborado por: Iván Reinoso

4.1.3 TRAMO 3

Este tramo se encuentra ubicado entre la descarga 3 y la descarga 4, tiene una longitud de 4,31 km. Como datos de partida del río para el balance de masa, se utilizan los datos finales del tramo anterior y la descarga 3.

Para determinar las constantes K_1 y K_2 , se utilizarán los datos de la estación de monitoreo Las Orquídeas, ubicada a 2,27 km aguas abajo de la descarga 3.

4.1.3.1 Determinación de la constante K_1

Utilizando el Método de Cálculo entre Tramos, se determina la constante K_1 en base 10. Para lo cual primero se determina el tiempo de viaje de la masa de agua.

TABLA 4.5 CÁLCULO DEL TIEMPO

Estación de Monitoreo	Distancia m	Velocidad m/s	Tiempo minutos	Tiempo días
Las Orquídeas	2270,42	1	37,84	0,0263

Elaborado por: Iván Reinoso

TABLA 4.6 DATOS

Río Machángara (Final Tramo 2)			
Caudal L/s	DBO ₅ mg/l	DBO última mg/l	OD mg/l
1930,1	116,25	169,73	5,01
Agua Residual (descarga 3)			
Caudal L/s	DBO ₅ mg/l	DBO última mg/l	OD mg/l
712,7	240	350,4	1
Mezcla Completa (Inicio del Tramo 3)			
DBO ₅ mg/l	L ₀ mg/l	OD _{mezcla} mg/l	Déficit ₀ mg/l
149,63	218,45	3,93	4,57
Las Orquídeas (Aguas Abajo)			
DBO ₅ mg/l	L ₀ mg/l	OD _{mezcla} mg/l	Déficit ₀ mg/l
125,17	182,75	3,36	5,14

Elaborado por: Iván Reinoso

$$K_1 = \left(\frac{1}{\Delta t} \ln \frac{L_A}{L_B}\right) / 2,3$$

$$K_1 = 2,95 d^{-1}$$

4.1.3.2 Constante K₂

Utilizando a ecuación de Streeter y Phelps y la constante K₁ obtenida en el inciso anterior, por el método iterativo se determina la constante K₂ en base 10.

$$D = \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} (10^{-K_1 t} - 10^{-K_2 t}) + D_0 10^{-K_2 t}$$

$$K_2 = 107,82 d^{-1}$$

4.1.3.3 Modelo

Utilizando los valores de las constantes K₁ y K₂ obtenidas en el punto anterior, se determina el modelo para el tramo 3 con una longitud aproximada de 4,31 km.

$$D = \frac{2,95 d^{-1} * L_0}{107,82 d^{-1} - 2,95 d^{-1}} (10^{-2,95 d^{-1} * t} - 10^{-107,82 d^{-1} * t}) + D_0 * 10^{-107,82 d^{-1} * t}$$

TABLA 4.7 RESULTADOS DE OD Y DBO₅ A DIFERENTES DISTANCIAS

Lugar	Distancia km	Tiempo minutos	Déficit mg/l	OD mezcla mg/l	L mg/l	DBO ₅ mg/l
Descarga 3	0,000	0,00	4,57	3,93	218,45	149,63
El Trébol	0,366	6,10	5,42	3,08	212,26	145,38
	0,500	8,33	5,53	2,97	210,03	143,86
	0,750	12,50	5,61	2,89	205,95	141,06
	1,000	16,67	5,59	2,91	201,94	138,31
	1,250	20,83	5,53	2,97	198,01	135,62
	1,500	25,00	5,44	3,06	194,16	132,98
	1,750	29,17	5,34	3,16	190,38	130,40
	2,000	33,33	5,25	3,25	186,67	127,86
Las Orquídeas	2,270	37,84	5,14	3,36	182,75	125,17
	2,500	41,67	5,05	3,45	179,48	122,93
	2,750	45,83	4,95	3,55	175,99	120,54
	3,000	50,00	4,85	3,65	172,56	118,19
	3,250	54,17	4,76	3,74	169,20	115,89
	3,500	58,33	4,67	3,83	165,91	113,64
	3,750	62,50	4,58	3,92	162,68	111,43
	4,000	66,67	4,49	4,01	159,52	109,26
	4,250	70,83	4,40	4,10	156,41	107,13
Descarga 4	4,315	71,91	4,38	4,12	155,62	106,59

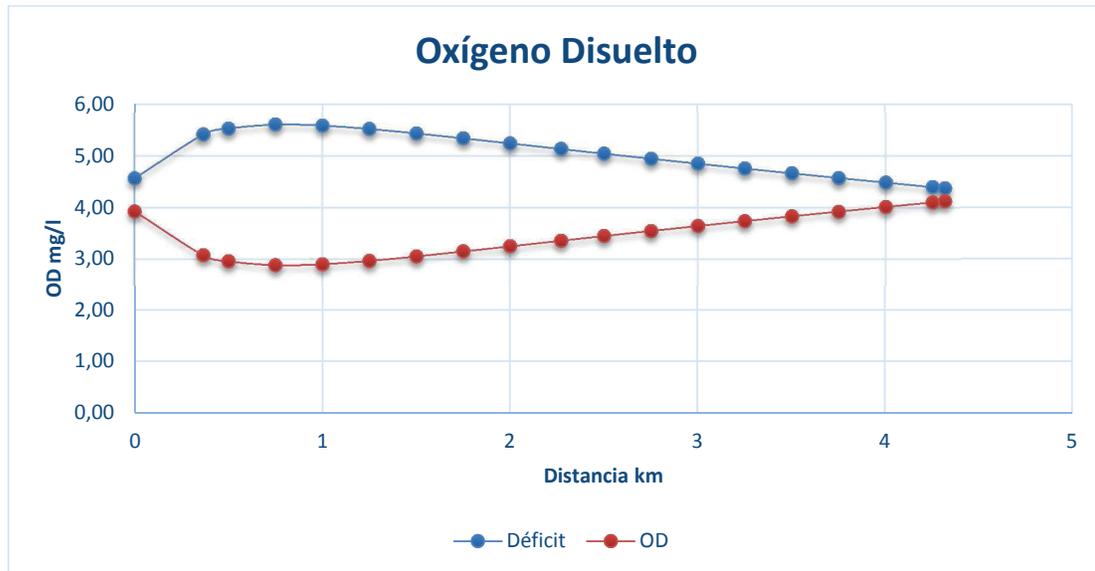
Elaborado por: Iván Reinoso

La eficiencia del tramo 3 en la remoción de la DBO₅ es de:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{149,63 - 106,59}{149,63} * 100$$

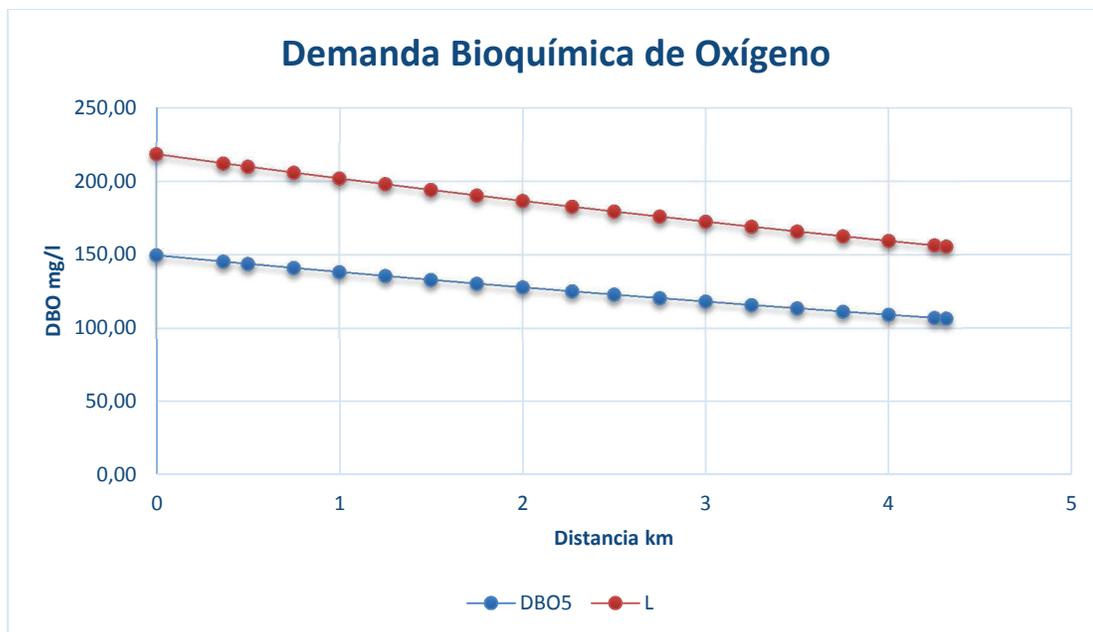
$$\% \text{ Remoción} = 28,76 \%$$

GRÁFICO 4.3 EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA



Elaborado por: Iván Reinoso

GRÁFICO 4.4 EVOLUCIÓN DE LA DBO₅ EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA



Elaborado por: Iván Reinoso

4.1.4 TRAMO 4

Este tramo se encuentra ubicado entre la descarga 4 y la descarga 5, tiene una longitud de 2,48 km. Como datos de partida del río para el balance de masa, se utilizan los datos finales del tramo anterior y la descarga 4.

Se utilizan para la modelación los valores de las constantes obtenidas en el tramo anterior, debido a que en este tramo no se encuentra ninguna estación de monitoreo (información disponible).

4.1.4.1 Modelo

Utilizando los valores de las constantes K_1 y K_2 obtenidas en el punto anterior, se determina el modelo para el tramo 4 con una longitud de aproximadamente 2,48 km.

TABLA 4.8 DATOS

Río Machángara (Final Tramo 3)					
Caudal L/s	DBO ₅ mg/l	DBO última mg/l	OD mg/l		
2642,80	106,59	155,62	4,12		
Agua Residual (descarga 4)					
Caudal L/s	DBO ₅ mg/l	DBO última mg/l	OD mg/l		
362,5	189	275,94	1		
Mezcla Completa (Inicio del Tramo 4)					
K_1 1/d	K_2 1/d	DBO ₅ mg/l	L_0 mg/l	OD _{mezcla} mg/l	Déficit ₀ mg/l
2,95	107,82	116,53	170,13	3,75	4,75

Elaborado por: Iván Reinoso

$$D = \frac{2,95 d^{-1} * L_0}{107,82 d^{-1} - 2,95 d^{-1}} (10^{-2,95 d^{-1} * t} - 10^{-107,82 d^{-1} * t}) + D_0 * 10^{-107,82 d^{-1} * t}$$

TABLA 4.9 RESULTADOS DE OD Y DBO₅ A DIFERENTES DISTANCIAS

Lugar	Distancia km	Tiempo minutos	Déficit mg/l	OD mezcla mg/l	L mg/l	DBO ₅ mg/l
Descarga 4	0,00	0,00	4,75	3,75	170,13	116,53
	0,25	4,17	4,68	3,82	166,82	114,26
Muestreo 2	0,46	7,75	4,61	3,89	164,03	112,35
	0,75	12,50	4,51	3,99	160,39	109,86
	1,00	16,67	4,42	4,08	157,27	107,72
	1,25	20,83	4,34	4,16	154,21	105,62
	1,50	25,00	4,25	4,25	151,21	103,57
	1,75	29,17	4,17	4,33	148,27	101,55
	2,00	33,33	4,09	4,41	145,38	99,58
Descarga 5	2,25	37,50	4,01	4,49	142,55	97,64
	2,48	41,27	3,94	4,56	140,04	95,92

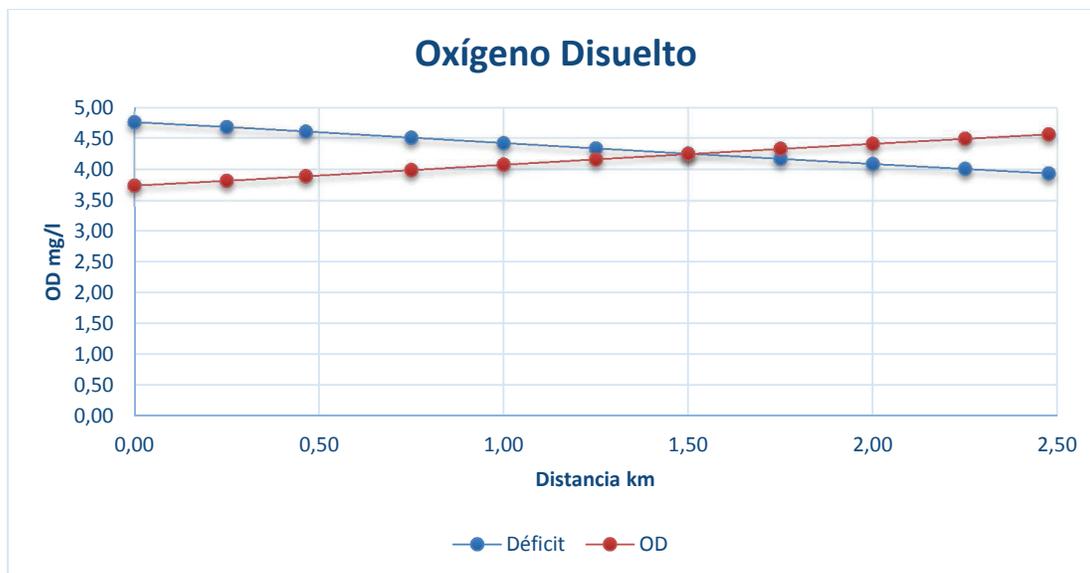
Elaborado por: Iván Reinoso

La eficiencia del tramo 4 en la remoción de la DBO₅ es de:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{116,53 - 95,92}{116,53} * 100$$

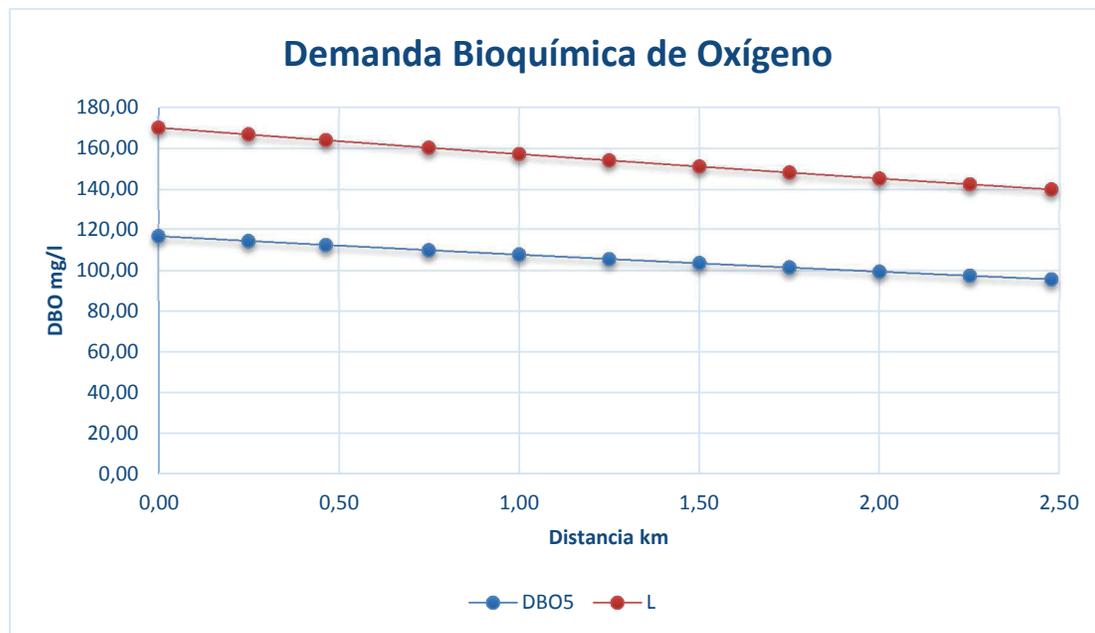
$$\% \text{ Remoción} = 17,69 \%$$

GRÁFICO 4.5 EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA



Elaborado por: Iván Reinoso

GRÁFICO 4.6 EVOLUCIÓN DE LA DBO₅ EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA



4.1.5 TRAMO 5

Este tramo se encuentra ubicado entre la descarga 5 y la confluencia con el río San Pedro, tiene una longitud de 9,72 km. Como datos de partida del río para el balance de masa, se utilizan los datos finales del tramo anterior y la descarga 5.

Para determinar las constantes K_1 y K_2 , se utilizarán los datos de la estación de monitoreo “R. Mch. El Tránsito”, ubicada a 8,167 km aguas abajo de la descarga 5.

4.1.5.1 Determinación de la constante K_1

Utilizando el Método de Cálculo entre Tramos, se determina la constante K_1 en base 10. Para lo cual primero se determina el tiempo de viaje de la masa de agua.

TABLA 4.10 CÁLCULO DEL TIEMPO

Estación Monitoreo	Distancia m	Velocidad m/s	Tiempo minutos	Tiempo días
El Traslase	8166,59	1	136,11	0,0945

Elaborado por: Iván Reinoso

TABLA 4.11 DATOS

Río Machángara (Final Tramo 4)			
Caudal L/s	DBO ₅ mg/l	DBO última mg/l	OD mg/l
3005,30	95,92	140,04	4,56
Agua Residual (descarga 5)			
Caudal L/s	DBO ₅ mg/l	DBO última mg/l	OD mg/l
2200,9	234	341,64	1
Mezcla Completa (Inicio del Tramo 5)			
DBO ₅ mg/l	L ₀ mg/l	OD _{mezcla} mg/l	Déficit ₀ mg/l
154,29	225,27	3,06	5,44
R. Mch. El Traslase (Aguas Abajo)			
DBO ₅ mg/l	L ₀ mg/l	OD _{mezcla} mg/l	Déficit ₀ mg/l
96	140,16	7,01	1,49

Elaborado por: Iván Reinoso

$$K_1 = \left(\frac{1}{\Delta t} \ln \frac{L_A}{L_B} \right) / 2,3$$

$$K_1 = 2,18 d^{-1}$$

4.1.5.2 Constante K_2

Utilizando la ecuación de Streeter y Phelps y la constante K_1 obtenida en el inciso anterior, por el método iterativo se determina la constante K_2 en base 10.

$$D = \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} (10^{-K_1 t} - 10^{-K_2 t}) + D_0 10^{-K_2 t}$$

$$K_2 = 207,21 \text{ d}^{-1}$$

4.1.5.3 Modelo

Utilizando los valores de las constantes K_1 y K_2 obtenidas en el punto anterior, se determina el modelo para el tramo 5 con una longitud de aproximadamente 9,72 km.

$$D = \frac{2,18 d^{-1} L_0}{207,21 d^{-1} - 2,18 d^{-1}} (10^{-2,18 d^{-1} * t} - 10^{-207,21 d^{-1} * t}) + D_0 * 10^{-207,21 d^{-1} * t}$$

TABLA 4.12 RESULTADOS DE OD Y DBO₅ A DIFERENTES DISTANCIAS

Lugar	Distancia km	Tiempo minutos	Déficit mg/l	OD mezcla mg/l	L mg/l	DBO ₅ mg/l
Descarga 5	0,000	0,00	4,67	3,83	225,27	154,29
DJ. Q Batán	0,247	4,12	2,94	5,56	222,05	152,09
Muestreo 3	0,298	4,96	2,79	5,71	221,40	151,64
	1,000	16,67	2,27	6,23	212,55	145,58
	1,500	25,00	2,20	6,30	206,46	141,41
	2,000	33,33	2,13	6,37	200,55	137,36
	2,500	41,67	2,07	6,43	194,81	133,43
	3,000	50,00	2,01	6,49	189,23	129,61
	3,500	58,33	1,95	6,55	183,81	125,90
	4,000	66,67	1,90	6,60	178,55	122,29
	4,500	75,00	1,84	6,66	173,44	118,79
	5,000	83,33	1,79	6,71	168,47	115,39
	5,500	91,67	1,74	6,76	163,65	112,09
	6,000	100,00	1,69	6,81	158,96	108,88
	6,500	108,33	1,64	6,86	154,41	105,76
	7,000	116,67	1,59	6,91	149,99	102,73
	7,500	125,00	1,55	6,95	145,69	99,79
El Trasvase	8,167	136,11	1,49	7,01	140,16	96,00
Captación Nayón	8,299	138,31	1,48	7,02	139,09	95,27
Muestreo 4	8,397	139,95	1,47	7,03	138,29	94,72
	9,000	150,00	1,42	7,08	133,53	91,46
	9,500	158,33	1,38	7,12	129,71	88,84
Río San Pedro	9,718	161,96	1,36	7,14	128,08	87,73

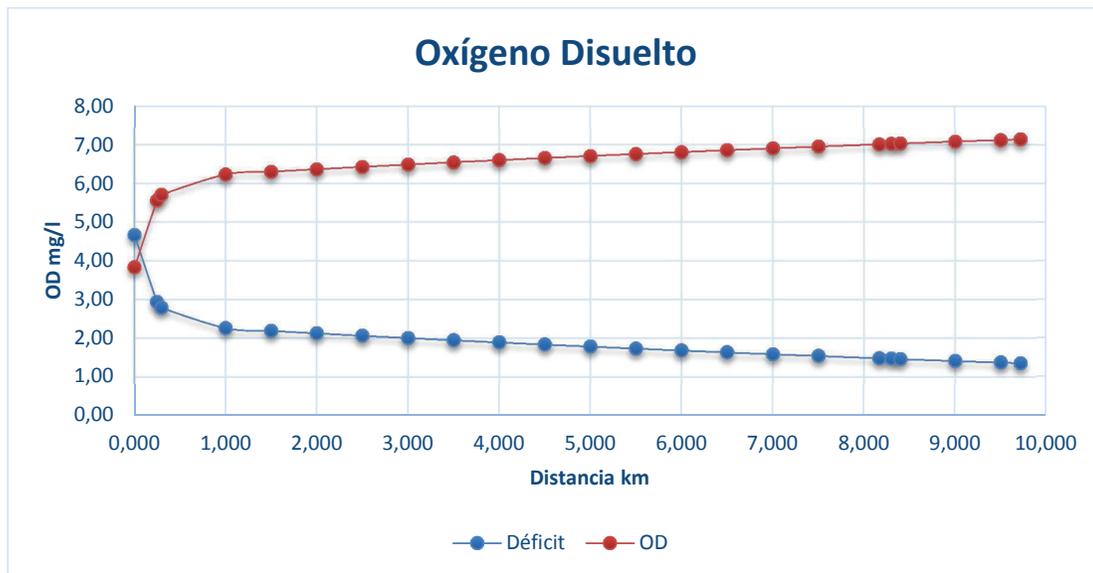
Elaborado por: Iván Reinoso

La eficiencia del tramo 5 en la remoción de la DBO₅ es de:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{154,29 - 87,73}{154,29} * 100$$

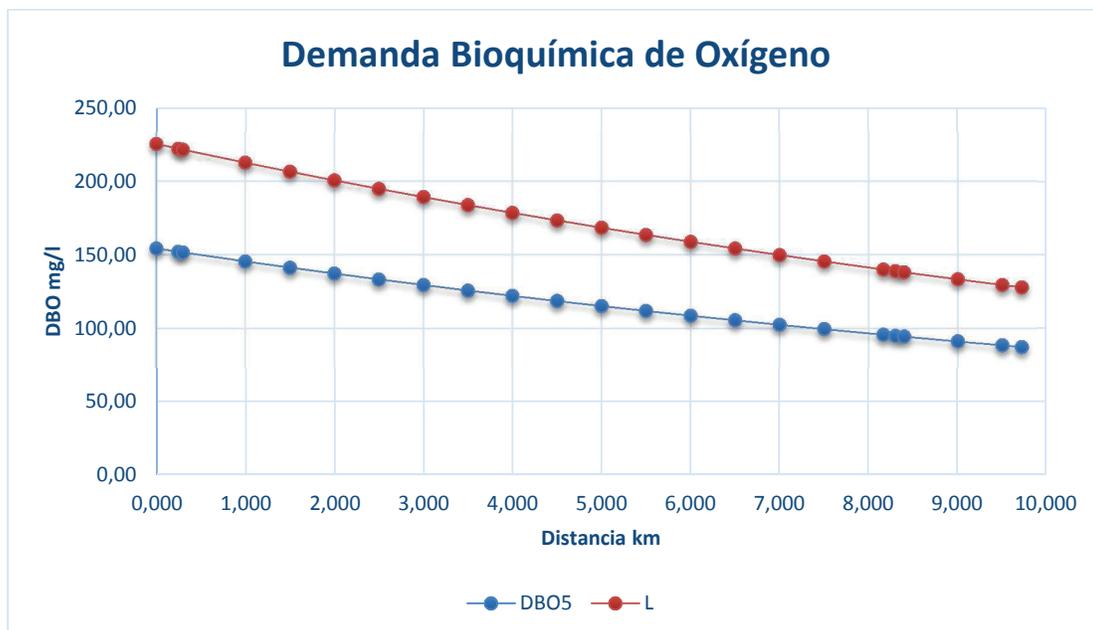
$$\% \text{ Remoción} = 43,14 \%$$

GRÁFICO 4.7 EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA



Elaborado por: Iván Reinoso

GRÁFICO 4.8 EVOLUCIÓN DE LA DBO₅ EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA



Elaborado por: Iván Reinoso

4.1.6 TRAMO 6

En este tramo se inicia el río Guayllabamba, se encuentra ubicado entre la confluencia del río Machángara con el río San Pedro y la descarga de la Central Hidroeléctrica Nayón, tiene una longitud de 3,84 km. Como datos de partida para el balance de masa, se utilizan los datos finales del tramo anterior y los de la estación de monitoreo San Pedro AJ Machángara.

Para determinar las constantes K_1 y K_2 , se utilizarán los datos de la estación de monitoreo Nayón RSP AJ Turb, ubicada a 3,80 km aguas abajo del inicio del tramo. Las constantes determinadas en este tramo se utilizaran para los demás tramos del río Guayllabamba.

Se utilizará un caudal de 416,5 l/s para el río Machángara, debido a que la captación de la Central Hidroeléctrica Nayón es el 92% del caudal del río (5203,2 l/s).

4.1.6.1 Determinación de la constante K_1

Utilizando el método de cálculo entre tramos, se determina la constante K_1 en base 10. Para lo cual primero se determina el tiempo de viaje de la masa de agua.

TABLA 4.13 CÁLCULO DEL TIEMPO

Estación Monitoreo	Distancia m	Velocidad m/s	Tiempo minutos	Tiempo días
Nayón, RSP AJ Turb	3799,91	1	63,33	0,0440

Elaborado por: Iván Reinoso

TABLA 4.14 DATOS

Río Machángara (Final Tramo 5)			
Caudal L/s	DBO ₅ mg/l	DBO última mg/l	OD mg/l
416,50	87,73	128,08	7,14
Río San Pedro			
Caudal L/s	DBO ₅ mg/l	DBO última mg/l	OD mg/l
1734,33	38,60	56,36	6,51
Mezcla Completa (Inicio del Tramo 6)			
DBO ₅ mg/l	L ₀ mg/l	OD _{mezcla} mg/l	Déficit ₀ mg/l
48,11	70,25	6,63	1,87
Estación de monitoreo Nayón, RSP AJ Turb			
DBO ₅ mg/l	L ₀ mg/l	OD _{mezcla} mg/l	Déficit ₀ mg/l
41,4	60,44	6,53	1,97

Elaborado por: Iván Reinoso

$$K_1 = \left(\frac{1}{\Delta t} \ln \frac{L_A}{L_B} \right) / 2,3$$

$$K_1 = 1,48 \text{ d}^{-1}$$

4.1.6.2 Constante K₂

Utilizando a ecuación de Streeter y Phelps y la constante K₁ obtenida en el inciso anterior, por el método iterativo se determina la constante K₂ en base 10.

$$D = \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} (10^{-K_1 t} - 10^{-K_2 t}) + D_0 10^{-K_2 t}$$

$$K_2 = 47,02 \text{ d}^{-1}$$

4.1.6.3 Modelo

Utilizando los valores de las constantes K₁ y K₂ obtenidas en el punto anterior, se determina el modelo para el tramo 6 con una longitud de aproximadamente 3,84 km.

$$D = \frac{1,48 \text{ d}^{-1} L_0}{47,02 \text{ d}^{-1} - 1,48 \text{ d}^{-1}} (10^{-1,48 \text{ d}^{-1} * t} - 10^{-47,02 \text{ d}^{-1} * t}) + D_0 * 10^{-47,02 \text{ d}^{-1} * t}$$

TABLA 4.15 RESULTADOS DE OD Y DBO₅ A DIFERENTES DISTANCIAS

Lugar	Distancia km	Tiempo minutos	Déficit mg/l	OD mezcla mg/l	L mg/l	DBO ₅ mg/l
	0,00	0,00	1,87	6,63	70,25	48,11
	0,25	4,17	1,96	6,54	69,55	47,64
	0,50	8,33	2,02	6,48	68,87	47,17
	0,75	12,50	2,06	6,44	68,19	46,71
	1,00	16,67	2,08	6,42	67,52	46,25
	1,25	20,83	2,09	6,41	66,86	45,79
	1,50	25,00	2,09	6,41	66,20	45,34
	1,75	29,17	2,09	6,41	65,55	44,90
	2,00	33,33	2,08	6,42	64,90	44,45
	2,25	37,50	2,07	6,43	64,26	44,02
	2,50	41,67	2,06	6,44	63,63	43,58
	2,75	45,83	2,04	6,46	63,01	43,16
	3,00	50,00	2,02	6,48	62,39	42,73
	3,25	54,17	2,01	6,49	61,77	42,31
	3,50	58,33	1,99	6,51	61,17	41,89
Nayón, RSP AJ Turb	3,80	63,33	1,97	6,53	60,44	41,40
Descarga Nayón (Nayón, D. Turbina)	3,84	64,01	1,96	6,54	60,35	41,33

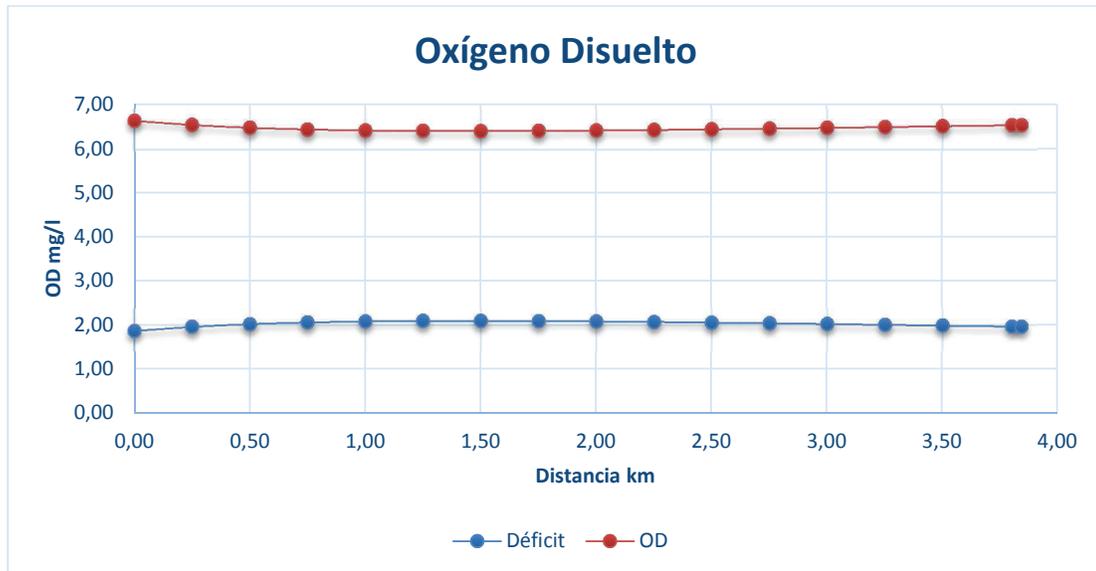
Elaborado por: Iván Reinoso

La eficiencia del tramo 6 en la remoción de la DBO₅ es de:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{48,11 - 41,33}{48,11} * 100$$

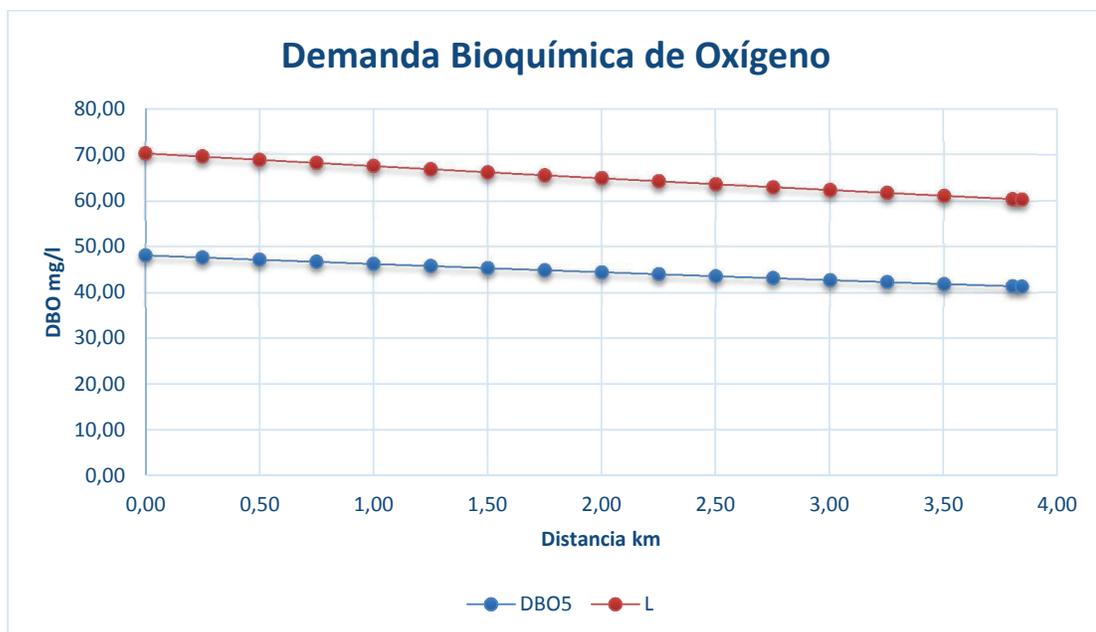
$$\% \text{ Remoción} = 14,09 \%$$

GRÁFICO 4.9 EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA



Elaborado por: Iván Reinoso

GRÁFICO 4.10 Evolución de la DBO₅ en función de la distancia



Elaborado por: Iván Reinoso

4.1.7 TRAMO 7

Este tramo se encuentra ubicado entre la descarga de la central Hidroeléctrica Nayón y la descarga 6 de agua residual, tiene una longitud de 1,74 km. Como datos de partida del río para el balance de masa, se utilizan los datos finales del tramo anterior y la descarga de la central Hidroeléctrica Nayón.

Se utilizan para la modelación los valores de las constantes obtenidas en el tramo 6, debido a que en este tramo no se encuentra ninguna estación de monitoreo (información disponible).

4.1.7.1 Modelo

Utilizando los valores de las constantes K_1 Y K_2 obtenidas en tramo 6, se determina el modelo para el tramo 7 con una longitud de aproximadamente 1,74 km.

TABLA 4.16 DATOS

Río Guayllabamba (Final Tramo 6)					
Caudal L/s	DBO ₅ mg/l	DBO última mg/l	OD mg/l		
2150,83	41,33	60,35	6,54		
Descarga Central Hidroeléctrica Nayón					
Caudal L/s	DBO ₅ mg/l	DBO última mg/l	OD mg/l		
9782,50	30,30	44,23	7,06		
Mezcla Completa (Inicio del Tramo 7)					
K_1 1/d	K_2 1/d	DBO ₅ mg/l	L_0 mg/l	OD _{mezcla} mg/l	Déficit _o mg/l
1,48	47,02	32,29	47,14	6,97	1,53

Elaborado por: Iván Reinoso

$$D = \frac{1,48d^{-1} L_0}{47,02 d^{-1} - 1,48 d^{-1}} (10^{-1,48 d^{-1}t} - 10^{-47,02 d^{-1}t}) + D_0 * 10^{-47,02 d^{-1}t}$$

TABLA 4.17 RESULTADOS DE OD Y DBO₅ A DIFERENTES DISTANCIAS

Lugar	Distancia km	Tiempo minutos	Déficit mg/l	OD mezcla mg/l	L mg/l	DBO ₅ mg/l
	0,00	0,00	1,53	6,97	47,14	32,29
	0,10	1,67	1,53	6,97	46,95	32,16
	0,20	3,33	1,52	6,98	46,77	32,03
	0,30	5,00	1,52	6,98	46,58	31,90
	0,40	6,67	1,51	6,99	46,40	31,78
	0,50	8,33	1,50	7,00	46,21	31,65
	0,60	10,00	1,50	7,00	46,03	31,53
	0,70	11,67	1,49	7,01	45,85	31,40
	0,80	13,33	1,49	7,01	45,67	31,28
	0,90	15,00	1,48	7,02	45,49	31,16
	1,00	16,67	1,48	7,02	45,31	31,03
	1,10	18,33	1,47	7,03	45,13	30,91
	1,20	20,00	1,46	7,04	44,95	30,79
	1,30	21,67	1,46	7,04	44,78	30,67
	1,40	23,33	1,45	7,05	44,60	30,55
	1,50	25,00	1,45	7,05	44,42	30,43
	1,60	26,67	1,44	7,06	44,25	30,31
Descarga 6	1,74	28,98	1,43	7,07	44,00	30,14

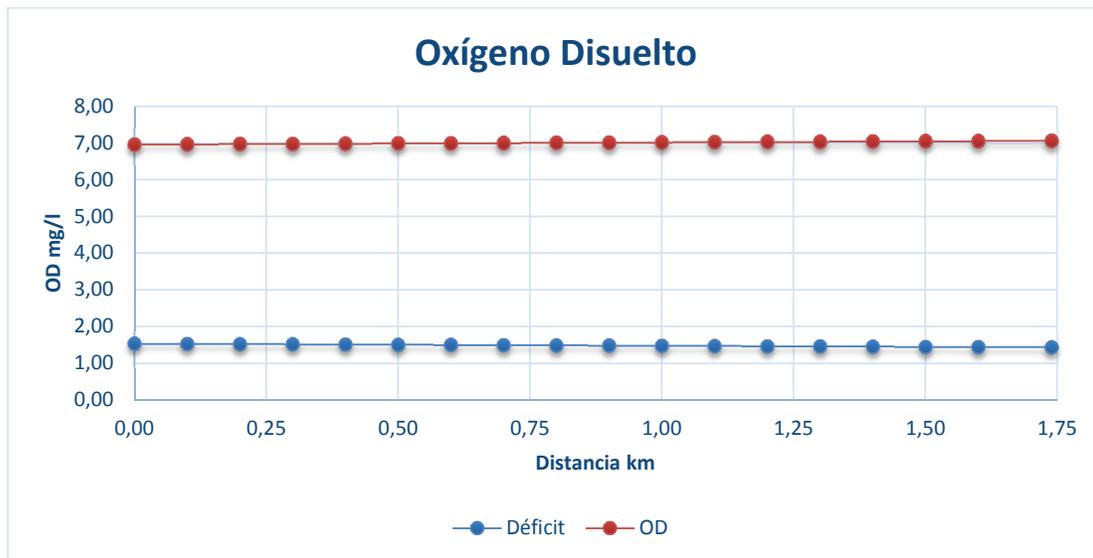
Elaborado por: Iván Reinoso

La eficiencia del tramo 4 en la remoción de la DBO₅ es de:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{32,29 - 30,14}{32,29} * 100$$

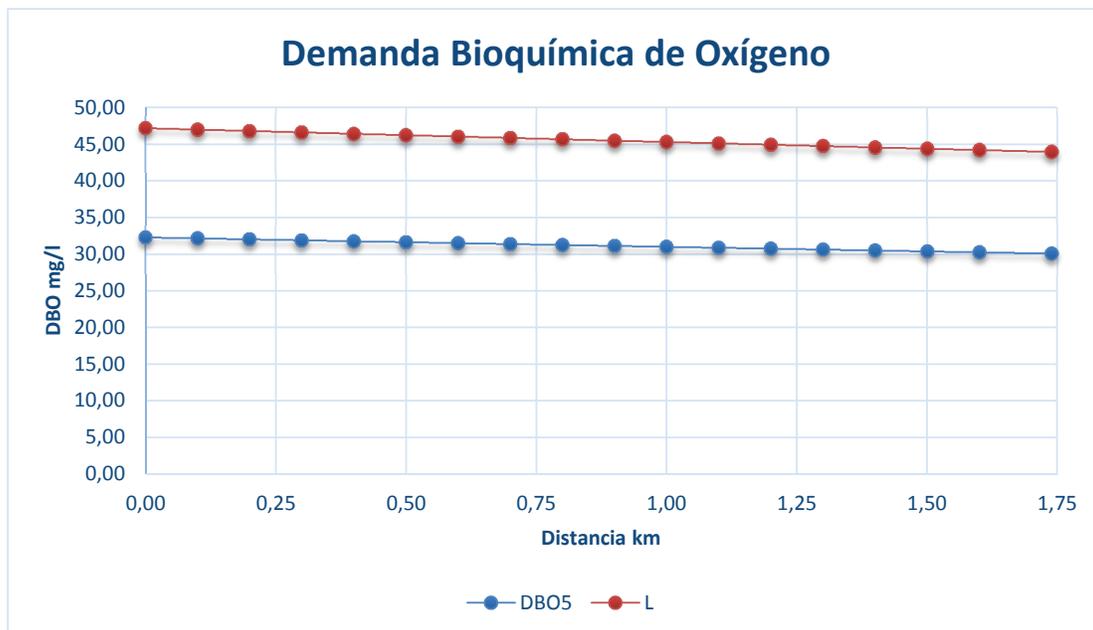
$$\% \text{ Remoción} = 6,13 \%$$

GRÁFICO 4.11 EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA



Elaborado por: Iván Reinoso

GRÁFICO 4.12 EVOLUCIÓN DE LA DBO₅ EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA



Elaborado por: Iván Reinoso

4.1.8 TRAMO 8

Este tramo se encuentra ubicado entre la descarga 6 y la confluencia con el río Chiche, tiene una longitud de 2 km. Como datos de partida del río para el balance de masa, se utilizan los datos finales del tramo anterior y la descarga 6.

Se utilizan para la modelación los valores de las constantes obtenidas en el tramo 6, debido a que en este tramo no se encuentra ninguna estación de monitoreo (información disponible).

4.1.8.1 Modelo

Utilizando los valores de las constantes K_1 Y K_2 obtenidas en tramo 6, se determina el modelo para el tramo 8 con una longitud de aproximadamente 2 km.

TABLA 4.18 DATOS

Río Guayllabamba (Final Tramo 7)					
Caudal L/s	DBO ₅ mg/l	DBO última mg/l	OD mg/l		
11933,33	30,14	44,00	7,07		
Agua Residual (descarga 6)					
Caudal L/s	DBO ₅ mg/l	DBO última mg/l	OD mg/l		
86,57	426	621,96	1		
Mezcla Completa (Inicio del Tramo 8)					
K_1 1/d	K_2 1/d	DBO ₅ mg/l	L_0 mg/l	OD _{mezcla} mg/l	Déficito mg/l
1,48	47,02	32,99	48,17	7,02	1,48

Elaborado por: Iván Reinoso

$$D = \frac{1,48 d^{-1} L_0}{47,02 d^{-1} - 1,48 d^{-1}} (10^{-1,48 d^{-1} * t} - 10^{-47,02 d^{-1} * t}) + D_0 * 10^{-47,02 d^{-1} * t}$$

TABLA 4.19 RESULTADOS DE OD Y DBO₅ A DIFERENTES DISTANCIAS

Lugar	Distancia km	Tiempo minutos	Déficit mg/l	OD mezcla mg/l	L mg/l	DBO ₅ mg/l
	0,00	0,00	1,48	7,02	48,17	32,99
	0,25	4,17	1,49	7,01	47,69	32,67
	0,50	8,33	1,49	7,01	47,22	32,35
	0,75	12,50	1,49	7,01	46,76	32,03
	1,00	16,67	1,48	7,02	46,30	31,71
	1,25	20,83	1,47	7,03	45,84	31,40
	1,50	25,00	1,47	7,03	45,39	31,09
	1,75	29,17	1,45	7,05	44,95	30,79
Río Chiche	2,00	33,40	1,44	7,06	44,50	30,48

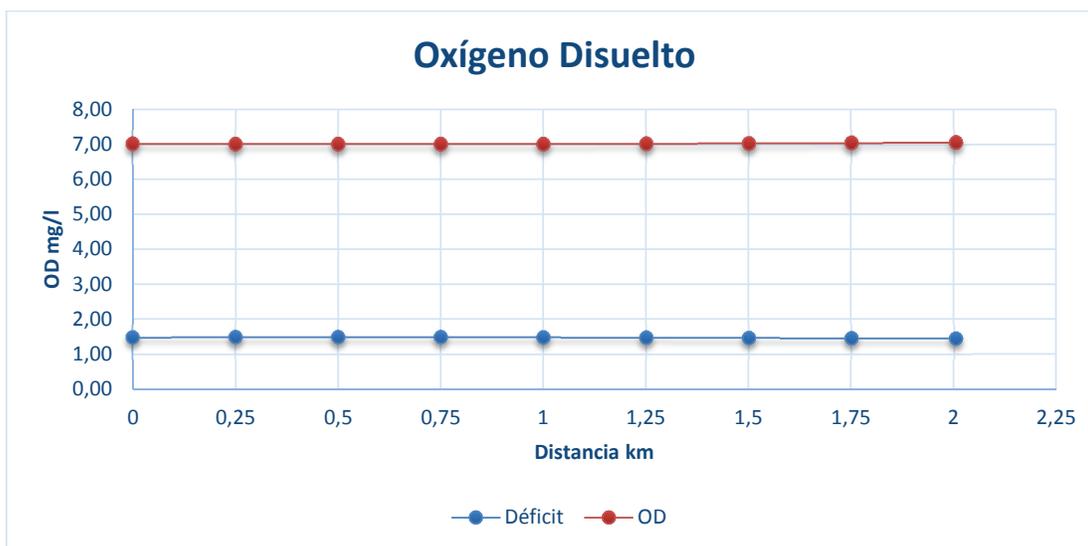
Elaborado por: Iván Reinoso

La eficiencia del tramo 8 en la remoción de la DBO₅ es de:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{32,99 - 30,48}{32,99} * 100$$

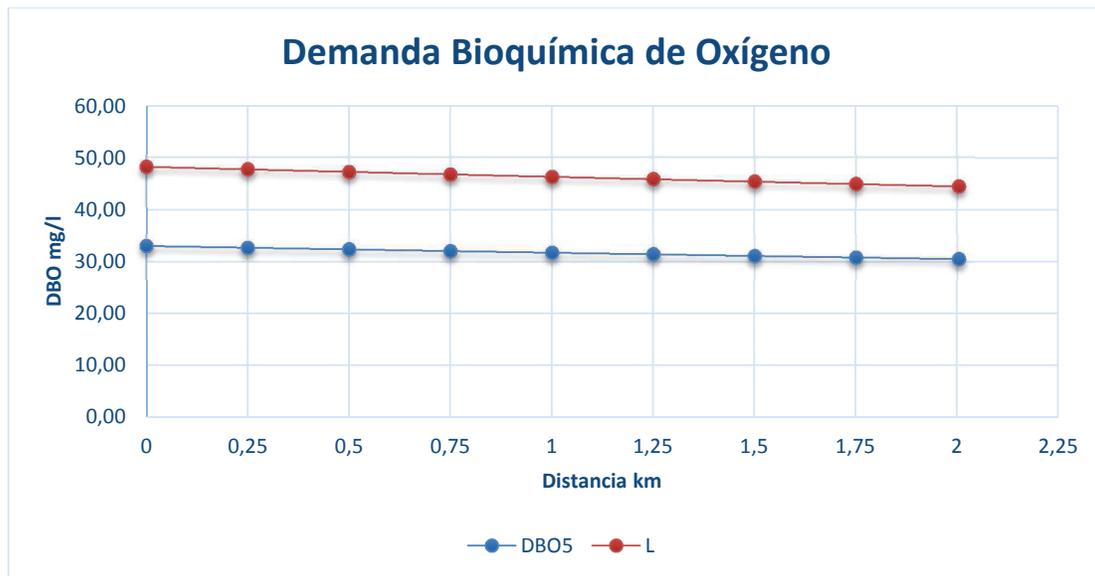
$$\% \text{ Remoción} = 7,62 \%$$

GRÁFICO 4.13 EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA



Elaborado por: Iván Reinoso

GRÁFICO 4.14 EVOLUCIÓN DE LA DBO₅ EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA



Elaborado por: Iván Reinoso

4.1.9 TRAMO 9

Este tramo se encuentra ubicado entre la confluencia con el río Chiche y la descarga 7, tiene una longitud de 2,11 km. Como datos de partida del río para el balance de masa, se utilizan los datos finales del tramo anterior y el río Chiche.

Se utilizan para la modelación los valores de las constantes obtenidas en el tramo 6, debido a que en este tramo no se encuentra ninguna estación de monitoreo (información disponible).

4.1.9.1 Modelo

Utilizando los valores de las constantes K_1 Y K_2 obtenidas en tramo 6, se determina el modelo para el tramo 9 con una longitud de aproximadamente 2,11 km.

TABLA 4.20 DATOS

Río Guayllabamba (Final Tramo 8)					
Caudal L/s	DBO ₅ mg/l	DBO última mg/l	OD mg/l		
12019,90	30,48	44,50	7,06		
Río Chiche					
Caudal L/s	DBO ₅ mg/l	DBO última mg/l	OD mg/l		
4026	15	21,9	6,5		
Mezcla Completa (Inicio del Tramo 9)					
K ₁ 1/d	K ₂ 1/d	DBO ₅ mg/l	L ₀ mg/l	OD _{mezcla} mg/l	Déficit mg/l
1,48	47,02	26,59	38,83	6,92	1,58

Elaborado por: Iván Reinoso

$$D = \frac{1,48d^{-1} L_0}{47,02 d^{-1} - 1,48 d^{-1}} (10^{-1,48 d^{-1} * t} - 10^{-47,02 d^{-1} * t}) + D_0 * 10^{-47,02 d^{-1} * t}$$

TABLA 4.21 RESULTADOS DE OD Y DBO₅ A DIFERENTES DISTANCIAS

Lugar	Distancia km	Tiempo minutos	Déficit mg/l	OD mezcla mg/l	L mg/l	DBO ₅ mg/l
	0,000	0,00	1,58	6,92	38,83	26,59
	0,250	4,17	1,48	7,02	38,45	26,33
	0,500	8,33	1,41	7,09	38,07	26,07
	0,750	12,50	1,35	7,15	37,69	25,82
	1,000	16,67	1,31	7,19	37,32	25,56
	1,250	20,83	1,27	7,23	36,95	25,31
	1,500	25,00	1,24	7,26	36,59	25,06
	1,750	29,17	1,22	7,28	36,23	24,82
	2,000	33,33	1,19	7,31	35,87	24,57
Descarga 7	2,114	35,23	1,19	7,31	35,71	24,46

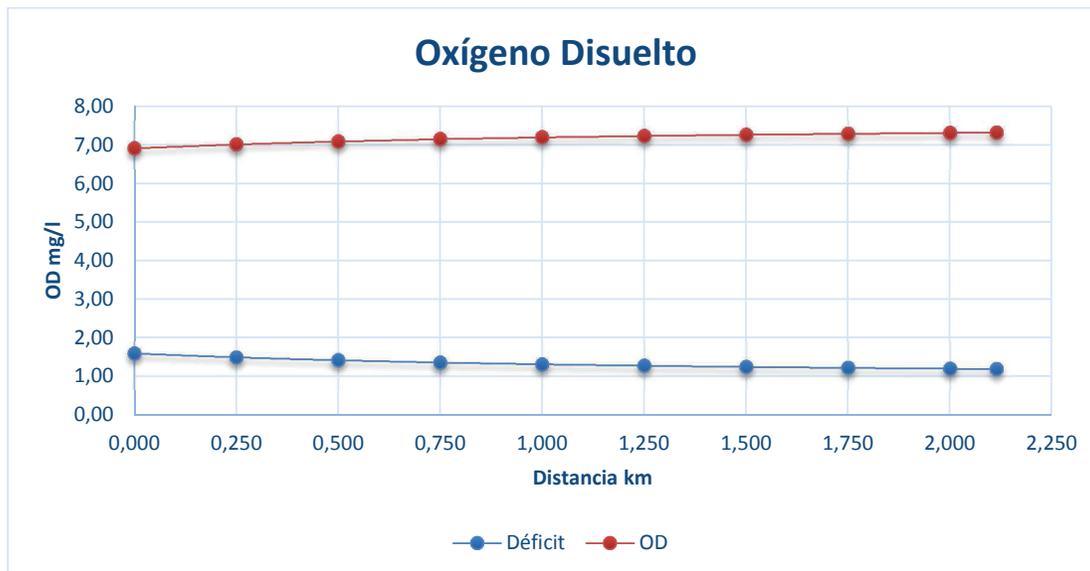
Elaborado por: Iván Reinoso

La eficiencia del tramo 9 en la remoción de la DBO₅ es de:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{26,59 - 24,46}{26,59} * 100$$

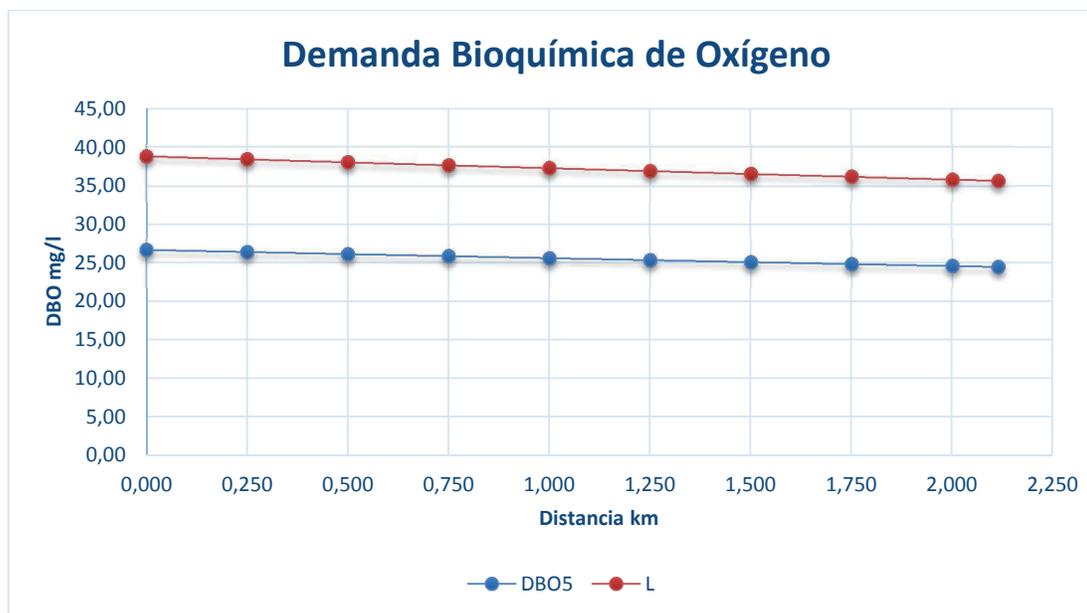
$$\% \text{ Remoción} = 8,02 \%$$

GRÁFICO 4.15 EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA



Elaborado por: Iván Reinoso

GRÁFICO 4.16 EVOLUCIÓN DE LA DBO₅ EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA



Elaborado por: Iván Reinoso

4.1.10 TRAMO 10

Este tramo se encuentra ubicado entre la descarga 7 y la confluencia con el río Guambi, tiene una longitud de 3,06 km. Como datos de partida del río para el balance de masa, se utilizan los datos finales del tramo anterior y la descarga 7.

Debido a que la descarga 7 y 8 se encuentran separadas por una corta distancia, se considera una sola descarga equivalente.

Se utilizan para la modelación los valores de las constantes obtenidas en el tramo 6, debido a que en este tramo no se encuentra ninguna estación de monitoreo (información disponible).

4.1.10.1 Modelo

Utilizando los valores de las constantes K_1 Y K_2 obtenidas en tramo 6, se determina el modelo para el tramo 10 con una longitud de aproximadamente 3,06 km.

TABLA 4.22 DATOS

Río Guayllabamba (Final Tramo 9)					
Caudal L/s	DBO ₅ mg/l	DBO última mg/l	OD mg/l		
16045,90	24,46	35,71	7,31		
Agua Residual (descarga 7+8)					
Caudal L/s	DBO ₅ mg/l	DBO última mg/l	OD mg/l		
696,33	723,15	1055,79	1,00		
Mezcla Completa (Inicio del Tramo 10)					
K_1 1/d	K_2 1/d	DBO ₅ mg/l	L_0 mg/l	OD _{mezcla} mg/l	Déficit ₀ mg/l
1,48	47,02	53,52	78,14	7,05	1,45

Elaborado por: Iván Reinoso

$$D = \frac{1,48d^{-1} L_0}{47,02 d^{-1} - 1,48 d^{-1}} (10^{-1,48 d^{-1}t} - 10^{-47,02 d^{-1}t}) + D_0 * 10^{-47,02 d^{-1}t}$$

TABLA 4.23 RESULTADOS DE OD Y DBO₅ A DIFERENTES DISTANCIAS

Lugar	Distancia km	Tiempo minutos	Déficit mg/l	OD mezcla mg/l	L mg/l	DBO ₅ mg/l
	0,000	0,00	1,45	7,05	78,14	53,52
	0,250	4,17	1,72	6,78	77,37	52,99
	0,500	8,33	1,91	6,59	76,61	52,47
	0,750	12,50	2,04	6,46	75,86	51,96
	1,000	16,67	2,13	6,37	75,11	51,45
	1,250	20,83	2,19	6,31	74,37	50,94
	1,500	25,00	2,23	6,27	73,64	50,44
	1,750	29,17	2,25	6,25	72,92	49,94
	2,000	33,33	2,26	6,24	72,20	49,45
	2,250	37,50	2,26	6,24	71,49	48,96
	2,500	41,67	2,26	6,24	70,78	48,48
	2,750	45,83	2,25	6,25	70,09	48,01
	3,000	50,00	2,24	6,26	69,40	47,53
Río Guambi	3,062	51,04	2,23	6,27	69,23	47,42

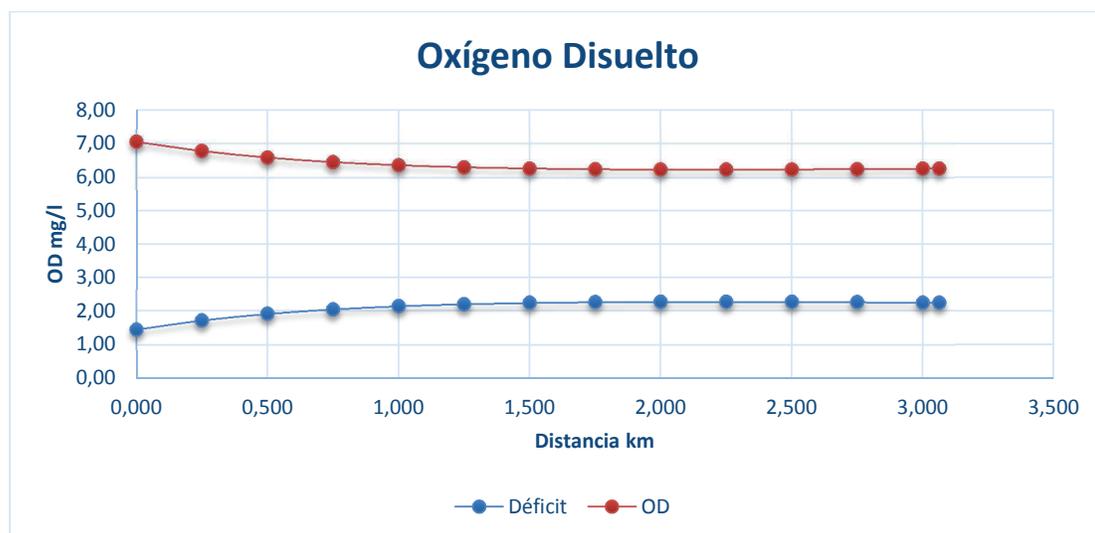
Elaborado por: Iván Reinoso

La eficiencia del tramo 10 en la remoción de la DBO₅ es de:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{53,52 - 47,42}{53,52} * 100$$

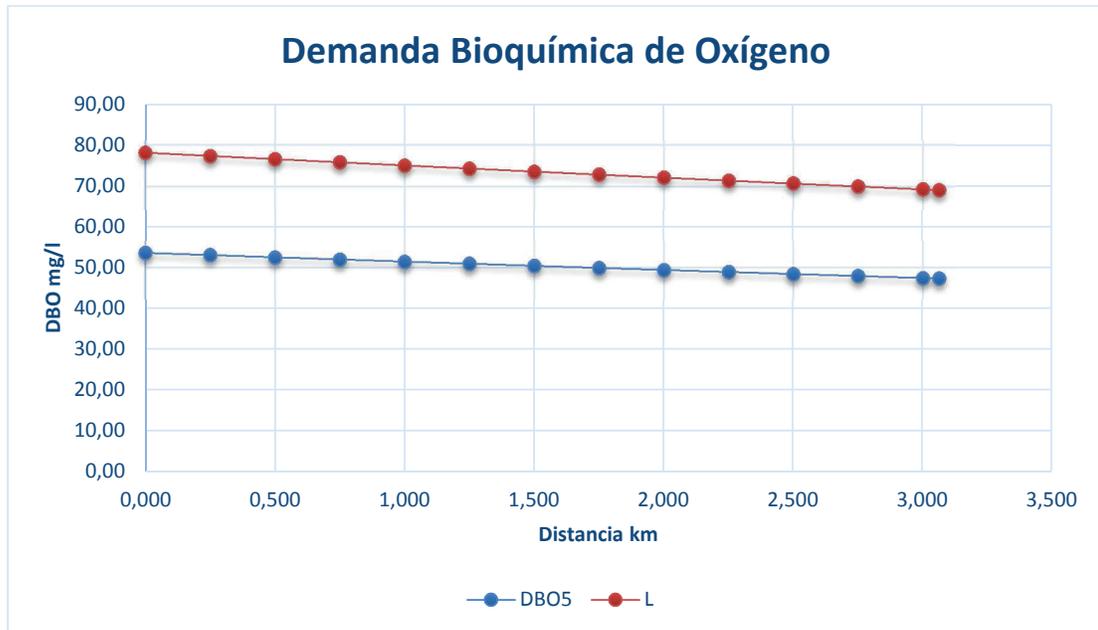
$$\% \text{ Remoción} = 11,41 \%$$

GRÁFICO 4.17 EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTOS EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA



Elaborado por: Iván Reinoso

GRÁFICO 4.18 EVOLUCIÓN DE LA DBO₅ EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA



Elaborado por: Iván Reinoso

4.1.11 TRAMO 11

Este tramo se encuentra ubicado entre la confluencia con el río Guambi y la confluencia con el río Uravía, tiene una longitud de 3,62 km. Como datos de partida del río para el balance de masa, se utilizan los datos finales del tramo anterior y el río Guambi.

Se utilizan para la modelación los valores de las constantes obtenidas en el tramo 6, debido a que en este tramo no se encuentra ninguna estación de monitoreo ((información disponible)).

4.1.11.1 Modelo

Utilizando los valores de las constantes K_1 Y K_2 obtenidas en tramo 6, se determina el modelo para el tramo 11 con una longitud de aproximadamente 3,62 km.

TABLA 4.24 DATOS

Río Guayllabamba (Final Tramo 10)					
Caudal L/s	DBO ₅ mg/l	DBO última mg/l	OD mg/l		
16742,23	47,07	68,72	6,28		
Río Guambi					
Caudal L/s	DBO ₅ mg/l	DBO última mg/l	OD mg/l		
1202	15	21,9	6,5		
Mezcla Completa (Inicio del Tramo 11)					
K ₁ 1/d	K ₂ 1/d	DBO ₅ mg/l	L ₀ mg/l	OD _{mezcla} mg/l	Déficit mg/l
1,48	47,02	44,92	65,58	6,29	2,21

Elaborado por: Iván Reinoso

$$D = \frac{1,48d^{-1} L_0}{47,02 d^{-1} - 1,48 d^{-1}} (10^{-1,48 d^{-1}t} - 10^{-47,02 d^{-1}t}) + D_0 * 10^{-47,02 d^{-1}t}$$

TABLA 4.25 RESULTADOS DE OD Y DBO₅ A DIFERENTES DISTANCIAS

Lugar	Distancia km	Tiempo minutos	Déficit mg/l	OD mezcla mg/l	L mg/l	DBO ₅ mg/l
	0,000	0,00	2,21	6,29	65,58	44,92
	0,250	4,17	2,17	6,33	64,93	44,48
	0,500	8,33	2,13	6,37	64,30	44,04
	0,750	12,50	2,10	6,40	63,66	43,60
	1,000	16,67	2,07	6,43	63,04	43,18
	1,250	20,83	2,05	6,45	62,42	42,75
	1,500	25,00	2,02	6,48	61,80	42,33
	1,750	29,17	2,00	6,50	61,19	41,91
	2,000	33,33	1,98	6,52	60,59	41,50
	2,250	37,50	1,96	6,54	60,00	41,09
	2,500	41,67	1,94	6,56	59,41	40,69
	2,750	45,83	1,92	6,58	58,82	40,29
	3,000	50,00	1,90	6,60	58,24	39,89
	3,250	54,17	1,88	6,62	57,67	39,50
	3,500	58,33	1,86	6,64	57,10	39,11
Río Uravía	3,619	60,31	1,85	6,65	56,84	38,93

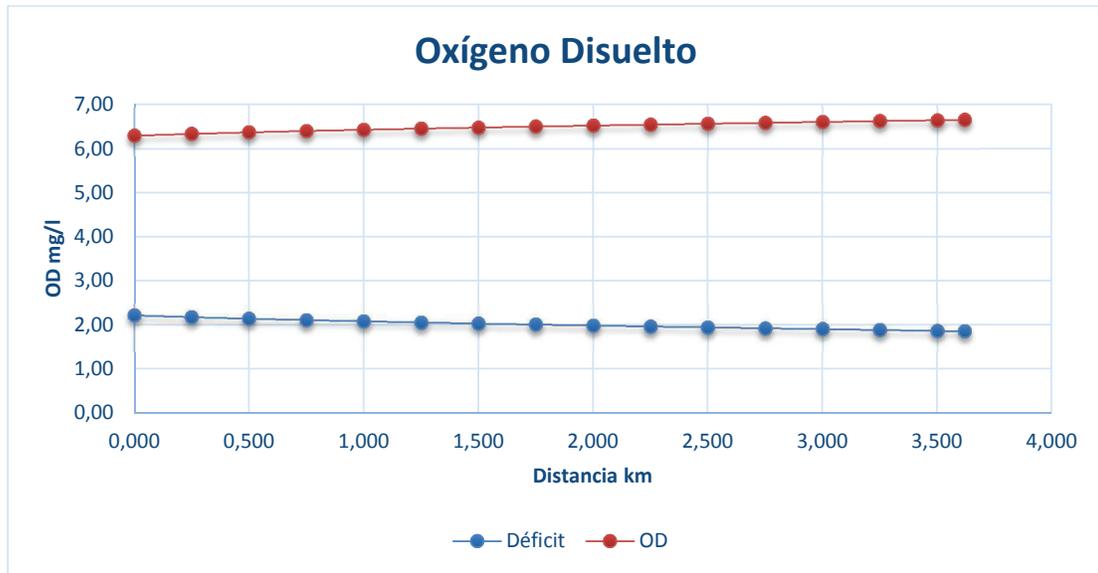
Elaborado por: Iván Reinoso

La eficiencia del tramo 11 en la remoción de la DBO₅ es de:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{44,92 - 38,93}{44,92} * 100$$

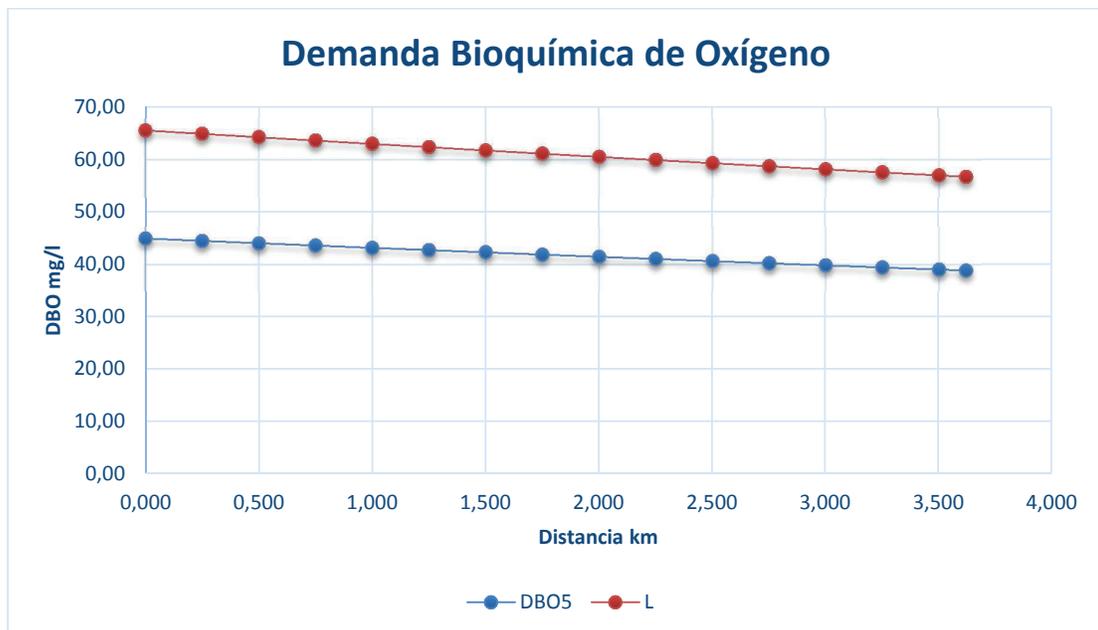
$$\% \text{ Remoción} = 13,33 \%$$

GRÁFICO 4.19 EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA



Elaborado por: Iván Reinoso

GRÁFICO 4.20 EVOLUCIÓN DE LA DBO₅ EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA



Elaborado por: Iván Reinoso

4.1.12 TRAMO 12

Este tramo se encuentra ubicado entre la confluencia con el río Uravía y el punto final de la zona de estudio (Guayllabamba), tiene una longitud de 4,45 km. Como datos de partida del río para el balance de masa, se utilizan los datos finales del tramo anterior y el río Uravía.

Se utilizan para la modelación los valores de las constantes obtenidas en el tramo 6, debido a que en este tramo no se encuentra ninguna estación de monitoreo.

4.1.12.1 Modelo

Utilizando los valores de las constantes K_1 Y K_2 obtenidas en tramo 6, se determina el modelo para el tramo 12 con una longitud de aproximadamente 4,45 km.

TABLA 4.26 DATOS

Río Guayllabamba (Final Tramo 11)					
Caudal L/s	DBO ₅ mg/l	DBO última mg/l	OD mg/l		
17944,23	38,93	56,84	6,65		
Río Uravía					
Caudal L/s	DBO ₅ mg/l	DBO última mg/l	OD mg/l		
2328	15	21,9	6,5		
Mezcla Completa (Inicio del Tramo 12)					
K_1 1/d	K_2 1/d	DBO ₅ mg/l	L_0 mg/l	OD _{mezcla} mg/l	Déficit ₀ mg/l
1,48	47,02	36,18	52,82	6,63	1,87

Elaborado por: Iván Reinoso

$$D = \frac{1,48d^{-1} L_0}{47,02 d^{-1} - 1,48 d^{-1}} (10^{-1,48 d^{-1}t} - 10^{-47,02 d^{-1}t}) + D_0 * 10^{-47,02 d^{-1}t}$$

TABLA 4.27 RESULTADOS DE OD Y DBO₅ A DIFERENTES DISTANCIAS

Lugar	Distancia km	Tiempo minutos	Déficit mg/l	OD mezcla mg/l	L mg/l	DBO ₅ mg/l
	0,000	0,00	1,87	6,63	52,82	36,18
	0,250	4,17	1,81	6,69	52,30	35,82
	0,500	8,33	1,77	6,73	51,79	35,47
	0,750	12,50	1,73	6,77	51,28	35,12
	1,000	16,67	1,70	6,80	50,78	34,78
	1,250	20,83	1,67	6,83	50,28	34,44
	1,500	25,00	1,64	6,86	49,78	34,10
	1,750	29,17	1,62	6,88	49,29	33,76
	2,000	33,33	1,60	6,90	48,81	33,43
	2,250	37,50	1,58	6,92	48,33	33,10
	2,500	41,67	1,57	6,93	47,85	32,77
	2,750	45,83	1,55	6,95	47,38	32,45
	3,000	50,00	1,53	6,97	46,91	32,13
	3,250	54,17	1,52	6,98	46,45	31,82
	3,500	58,33	1,50	7,00	46,00	31,50
	3,750	62,50	1,49	7,01	45,54	31,19
	4,000	66,67	1,47	7,03	45,09	30,89
	4,250	70,83	1,46	7,04	44,65	30,58
Muestreo 5	4,451	74,19	1,44	7,06	44,30	30,34

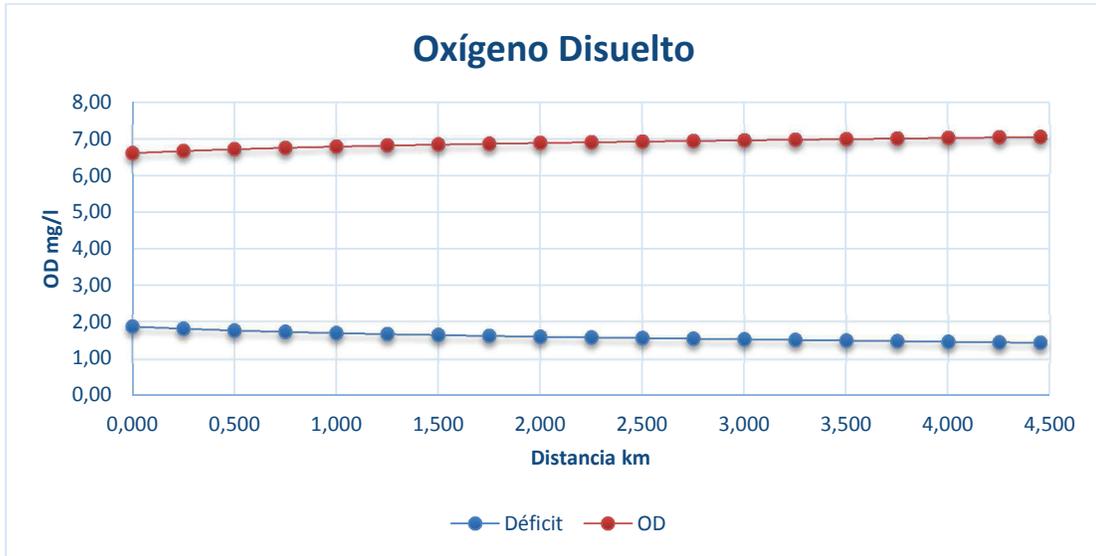
Elaborado por: Iván Reinoso

La eficiencia del tramo 12 en la remoción de la DBO₅ es de:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{36,18 - 30,34}{36,18} * 100$$

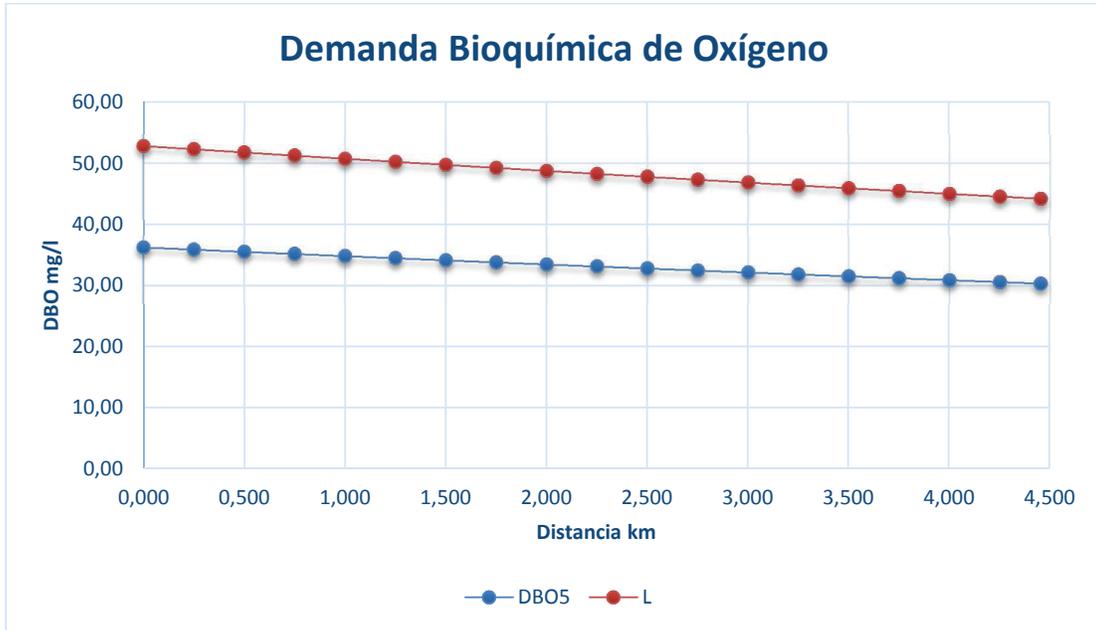
$$\% \text{ Remoción} = 16,14 \%$$

GRÁFICO 4.21 EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA



Elaborado por: Iván Reinoso

GRÁFICO 4.22 EVOLUCIÓN DE LA DBO₅ EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA



Elaborado por: Iván Reinoso

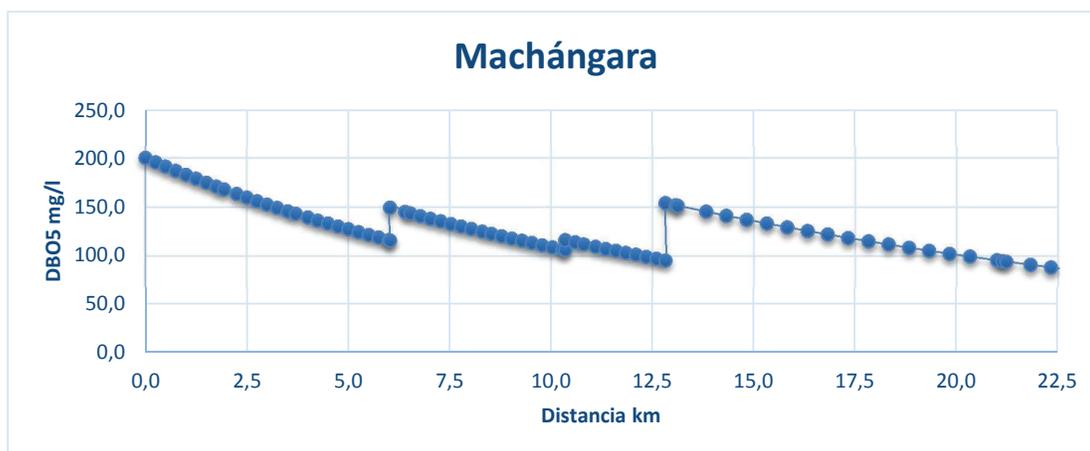
4.1.13 Resultados del Modelo de Autodepuración

Se indica la evolución de la DBO₅ a lo largo del tramo de estudio, que se encuentra dividido en dos partes, la primera parte que corresponde al río Machángara y la segunda al río Guayllabamba.

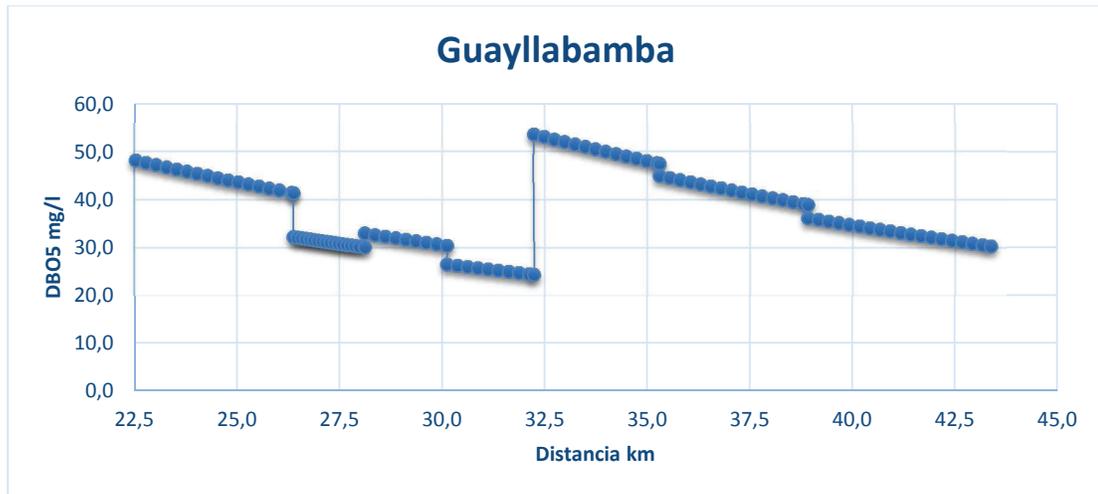
En el río Machángara se tiene un valor máximo de DBO₅ de 200 mg/l, llegando a un valor de 88 mg/l en el final del tramo con una longitud de 22,5 km, hay que tomar en cuenta que en este tramo solo existen descargas de agua residuales. En el punto final se tiene un caudal de 5,206 m³ con una DBO₅ de 88 mg/l y una concentración de oxígeno disuelto de 7,14 mg/l. Con un promedio de 32,89 % de remoción de la DBO₅.

En el río Guayllabamba parte de un valor de la DBO₅ de 48,1 mg/l llegando a un valor de 30 mg/l. En este tramo existen los aportes del río San Pedro, Chiche, Guambi y Uravía, con una longitud de 20,9 km. En el punto final se tiene un caudal de 20,272 m³ con una DBO₅ de 30,34 mg/l y una concentración de oxígeno disuelto de 7,06 mg/l. Con un promedio de 10,96 % de remoción de la DBO₅.

GRÁFICO 4.23 RESULTADO DBO₅ RÍO MACHÁNGARA

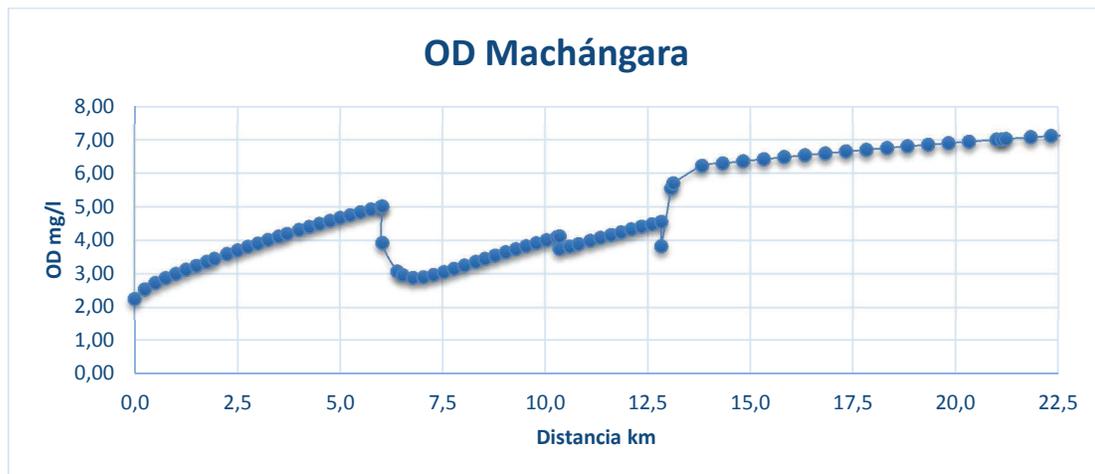


Elaborado por: Iván Reinoso

GRÁFICO 4.24 RESULTADO DBO₅ RÍO GUAYLLABAMBA

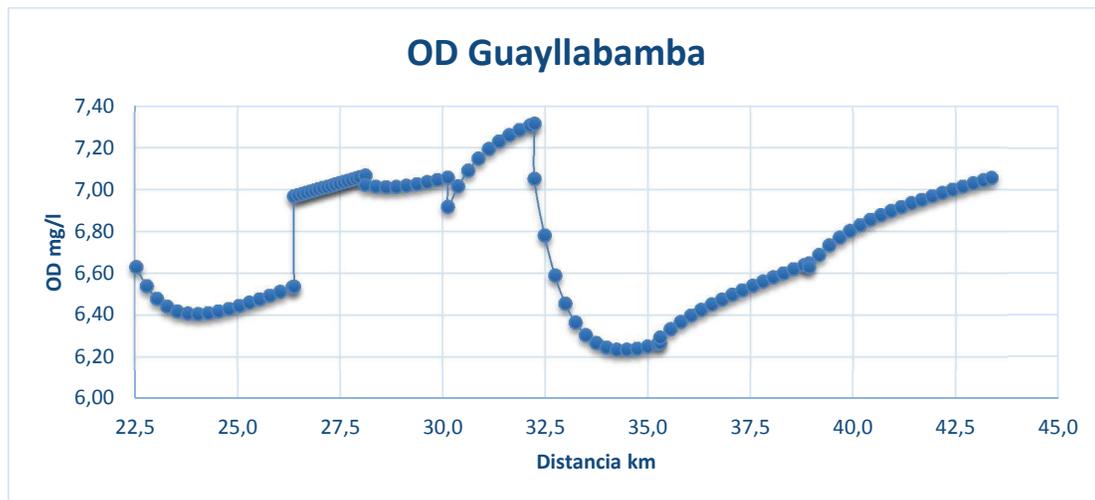
Elaborado por: Iván Reinoso

GRÁFICO 4.25 RESULTADO DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN EL RÍO MACHÁNGARA



Elaborado por: Iván Reinoso

GRÁFICO 4.26 RESULTADO DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN EL RÍO GUAYLLABAMBA



4.1.13.1 Constantes

Las constantes K_1 Y K_2 fueron obtenidas para los tramos 2, 3 y 5 del río Machángara, teniendo como promedio $K_1=2,84$ 1/d y $K_2= 161,09$ 1/d en base 10.

Para el río Guayllabamba se obtuvo las constantes $K_1=1,48$ Y $K_2=47,02$ para el tramo 6 y se utilizaron estas constantes para los demás tramos debido a que no existe información suficiente.

TABLA 4.28 RESULTADOS CONSTANTES K_1 Y K_2

Río	Tramo	Constante K_1 1/d	Constante K_2 1/d	% Remoción DBO_5	Longitud km
Machángara	Tramo 2	3,39	168,23	41,97	6,06
	Tramo 3	2,95	107,82	28,76	4,31
	Tramo 4			17,69	2,48
	Tramo 5	2,18	207,21	43,14	9,72
		2,84	161,09	32,89	
Guayllabamba	Tramo 6	1,48	47,02	14,09	3,84
	Tramo 7			6,13	1,74
	Tramo 8			7,62	2
	Tramo 9			8,02	2,11
	Tramo 10			11,41	3,06
	Tramo 11			13,33	3,62
	Tramo 12			16,14	4,45
		1,48	47,02	10,96	

Elaborado por: Iván Reinoso

Los valores promedios obtenidos de K_1 2,84 d^{-1} para el río Machángara y 1,48 d^{-1} para el río Guayllabamba están dentro de los valores referenciales detallados en la TABLA 2.5. Especialmente a los obtenidos en el estudio realizado en río San Pedro (Carrera G., 2011).

Los valores promedios obtenidos de K_2 161,09 d^{-1} para el río Machángara y 47,02 d^{-1} para el río Guayllabamba están dentro de los valores referenciales detallados en la TABLA 2.6. En especial el valor obtenido en el estudio de determinación de la constante reaireación en el río Machángara y Guayllabamba (Sarasti, 2001).

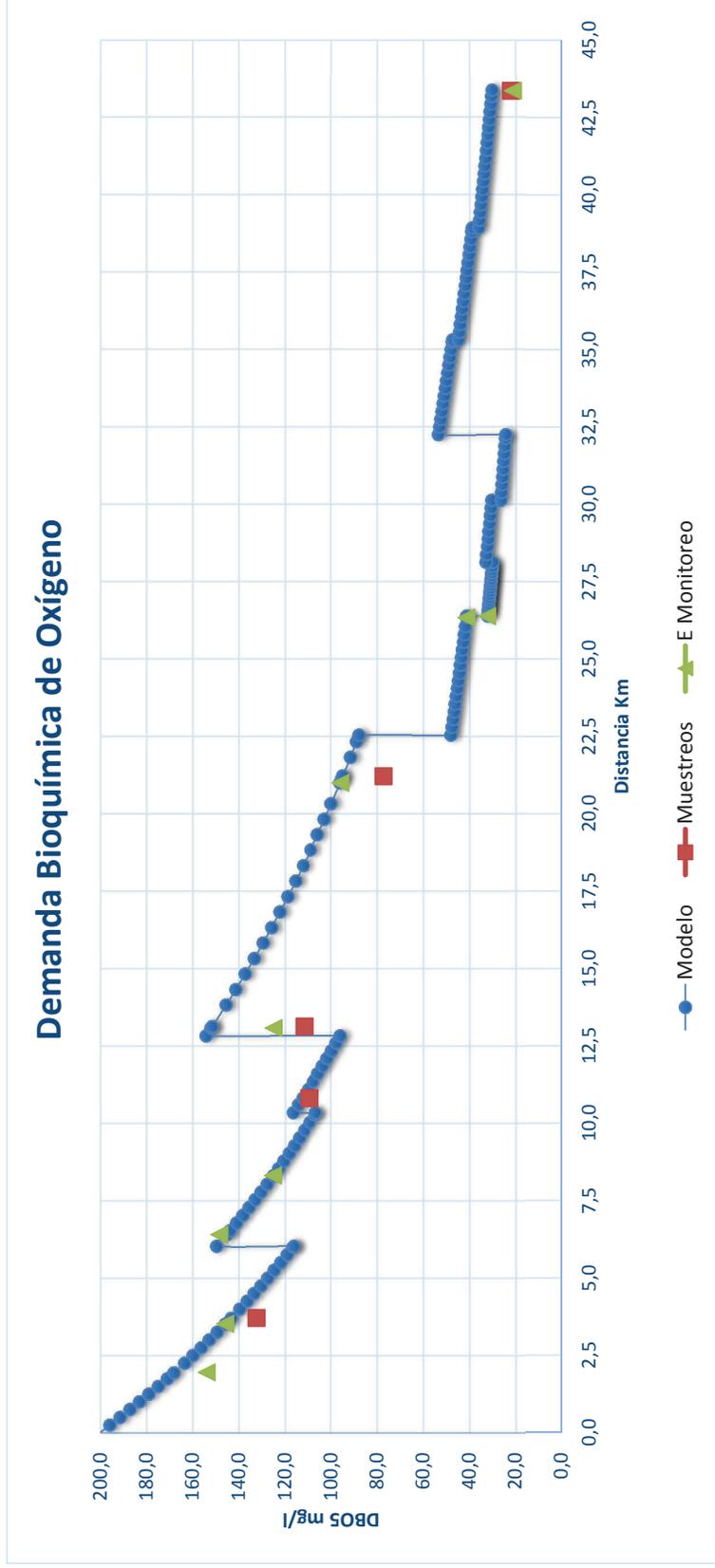
4.1.13.2 Verificación del Modelo

Para la verificación del modelo se utilizaron los resultados experimentales de los muestreos puntuales realizados en diferentes puntos representativos del tramo de estudio.

En el gráfico 4.28 de concentración de oxígeno disuelto obtenido del modelo de autodepuración se puede observar que los valores obtenidos del modelo son similares a los valores de campo (muestreos), verificándose la calibración del modelo para la concentración de oxígeno disuelto.

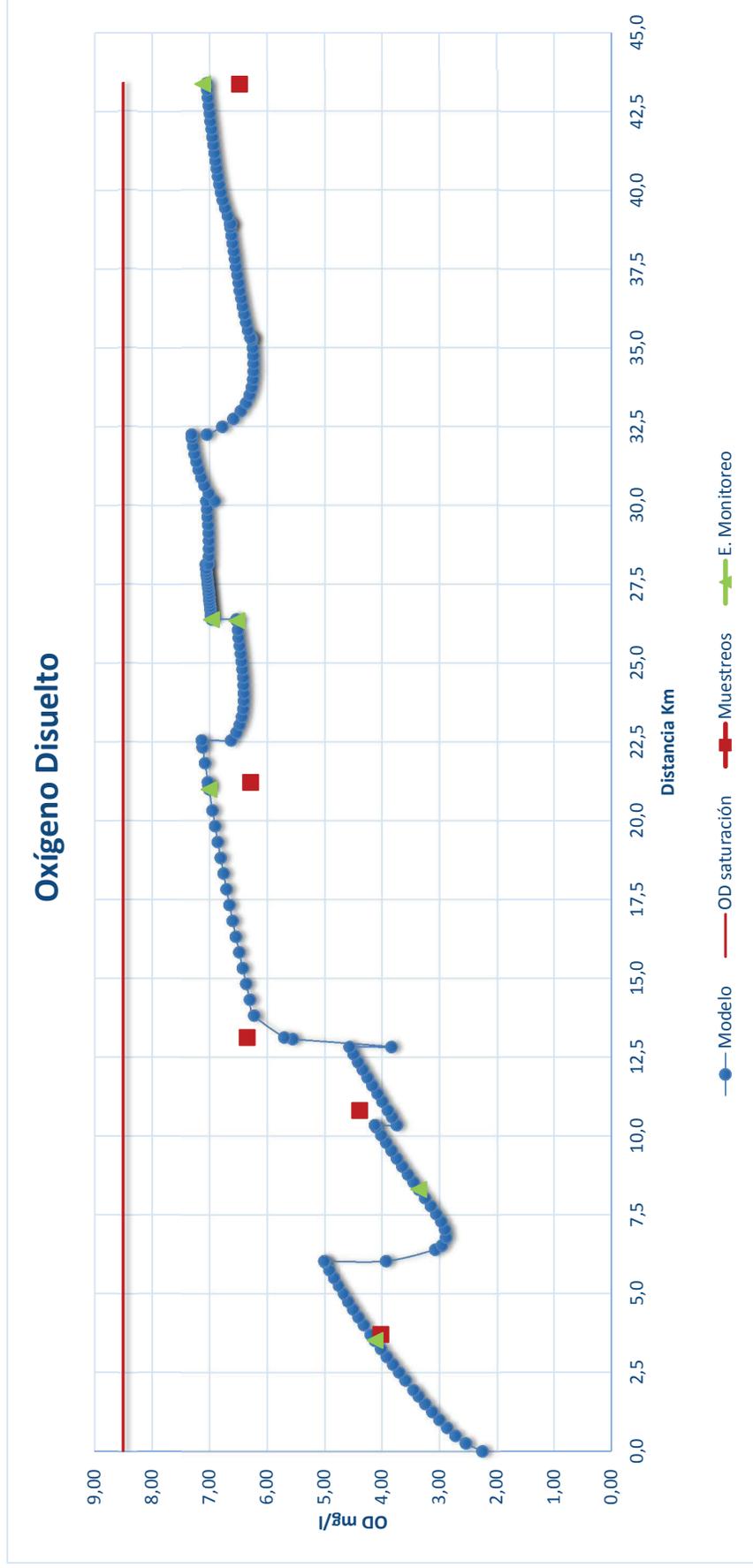
En el gráfico 4.27 de Demanda Bioquímica de Oxígeno observamos que los valores de campo (muestreo) siguen la tendencia de los valores obtenidos con el modelo. Para la verificación de la calibración del modelo para la DBO_5 , se consideró un valor aproximado de la $DBO_5 = DQO/2$ para los valores de DQO obtenidos en el muestreo.

GRÁFICO 4.27 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DE LA ZONA DE ESTUDIO



Elaborado por: Iván Reinoso

GRÁFICO 4.28 CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO DE LA ZONA DE ESTUDIO



Elaborado por: Iván Reinoso

4.2 TRATAMIENTO NO CONVENCIONAL

Se puede apreciar en el modelo de autodepuración que existe una considerable reducción de la carga orgánica (DBO_5) y reoxigenación del río, pero manteniéndose altos valores de coliformes hasta el punto final del presente proyecto como se aprecia en la TABLA 4.30, lo que limita los posibles usos del agua. Por lo que se propone el uso de ozono como proceso de desinfección y además afinación del proceso de autodepuración de las aguas residuales.

Se refiere a afinación del proceso de autodepuración de las aguas residuales, a la aplicación de ozono con lo que se reduce considerablemente la DQO, DBO, SST, turbidez, color, detergentes aniónicos y no aniónicos, pesticidas y fenoles. Además remueve otros microcontaminantes como los disruptores endocrinos y se alcanza niveles de oxígeno disuelto casi de saturación.

La propuesta de tratamiento tiene los siguientes componentes: captación, tamizado y ozonización. La captación a través de un azud que funciona como un dique vertedero, posteriormente el tamizado para disminuir la cantidad de sólidos suspendidos totales y finalmente la ozonización.

TABLA 4.29 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES COLIFORMES

Fuente		Coliformes totales NMP/100ml	Coliformes Fecales NMP/100ml
Tabla 1	Consumo humano	3000	600
Tabla 2	Consumo humano	50	20
Tabla 6	Agrícola	1000	No aplica
Tabla 8	Pecuario	5000	1000
	Uso Estético	No aplica	No aplica

Fuente: TULSMA, 2003

TABLA 4.30 VALORES DE COLIFORMES OBTENIDOS EN LOS MUESTREOS EN CUMBAYÁ Y GUAYLLABAMBA (PUNTO FINAL)

Fecha	Lugar	Coliformes totales NMP/100ml	Coliformes fecales NMP/100ml	Posible uso
23 Julio	Aspersión Guayllabamba	240000	3,6	Ninguno
28 Agosto	Guayllabamba	2400	930	Pecuario
20 Septiembre	Cumbayá	24000000	24000	Ninguno

Elaborado por: Iván Reinoso

Según los valores obtenidos de coliformes en la muestra tomada en el puente de Cumbayá y comparándolos con los límites máximos permisibles del TULSMA, al agua en este punto no se la puede dar un uso agrícola ni pecuario como se puede apreciar en la TABLA 4.29 y TABLA 4.30.

Para los valores obtenidos de coliformes en el puente de Guayllabamba y comparándolos con el TULSMA, al agua en este punto no se le puede dar un uso agrícola (no cumple con coliformes totales) pero si pecuario como se puede observar en la TABLA 4.29 y TABLA 4.30.

Según la muestra tomada en el sistema de regadío por aspersión en el sector de Guayllabamba y comparándolo con el TULSMA, al agua en este punto no se la puede dar un uso agrícola ni pecuario ya que presenta un valor alto en coliformes totales como se puede ver en la TABLA 4.29 y TABLA 4.30.

4.2.1 Elección del lugar para el tratamiento

Se elige el puente de Cumbayá de coordenadas UTM (787745, 9979488), debido a que se encuentra antes de la confluencia del río Machángara con el río San Pedro, para que no exista contaminación de los ríos que se encuentran aguas abajo (Chiche, Guambi y Uravía), cuyas aguas se encuentran relativamente limpias.

Hasta este punto el río Machángara tiene un caudal de 5206 l/s y ha recibido el 76,3% de aguas residuales del DMQ, que han sido autodepuradas por el río (reducción de las cargas contaminantes) como se puede observar en la TABLA 4.31, hay que tomar en cuenta que casi la totalidad del agua del río en los meses de estiaje son aguas residuales.

TABLA 4.31 DATOS DE CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO MACHÁNGARA EN CUMBAYÁ

Parámetro	Agua residual	Río Machángara (Puente Cumbayá)	Aumento/Reducción %
OD mg/l	1	7	Aumento 600%
DBO mg/l	223,8	95	Reducción 57,55%
DQO mg/l	529,4	154,5	Reducción 70,82%
SST mg/l	780	308,8	Reducción 60,41%
Coliformes Totales NMP/100ml	7,05 *10 ⁷	2,4*10 ⁷	Reducción 65,96%
Coliformes Fecales NMP/100ml	1,94*10 ⁷	2,4*10 ⁴	Reducción 99,88%
Tensoactivos mg/l	6,24	2,621	Reducción 58%

Elaborado por: Iván Reinoso

4.2.2 Tamizado

Es el proceso mecánico que retiene los sólidos al pasar el agua residual a través de un tamiz. Dependiendo del tamaño de los orificios del tamiz (Luz de paso) se pueden retener los sólidos suspendidos, sedimentables y flotantes. Al tamizado se lo puede considerar como un pretratamiento para proteger de atascos y daños las siguientes etapas de la planta de tratamiento.

FIGURA 4.2 TAMIZ DE PLACA PERFORADA



Fuente: <http://www.huber.es/es.html>

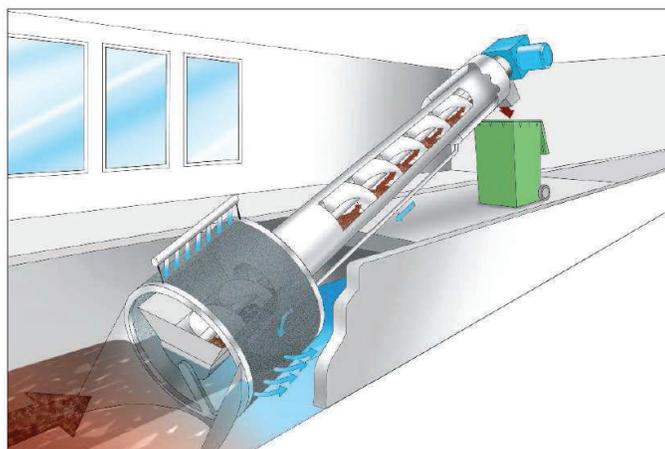
TABLA 4.32 TIPOS DE REJA SEGÚN EL TAMAÑO DE LA ABERTURA

Clasificación	Tamaño de abertura	Función	Comentario
Rejas gruesas	38 a 150 mm	Elimina objetos grandes para proteger el equipo	Primera línea de protección. Utilizada a menudo delante de otras rejas
Rejas medianas	6 a 38 mm	Elimina sólidos que pueden interferir con otros procesos de la planta	Usado tradicionalmente para el tamizado de aguas residuales previo al tratamiento
Rejas Finas	1 a 6 mm	Elimina sólidos pequeños, algo de DBO, y algunas bacterias	Usado como tratamiento de primera etapa o en vez de sedimentación
Militamices	0,2 a 1,5 mm	Elimina sólidos muy pequeños, también un 30% de DBO y bacterias	Puede ser utilizado para tratamiento primario o para pulido de efluente secundario
Microtamiz	0,01 a 0,3	Elimina pequeñas partículas de materia	Usado para pulir efluentes secundarios.

Fuente: Espinoza, 2010

En el caso de la ozonización se utilizará un tamiz con una luz de paso de 1 mm que permitirá reducir la cantidad de sólidos suspendidos totales, y además reducir la DQO y DBO como se observa en la tabla 4.32, por lo tanto la desinfección con ozono será más eficiente ya que los sólidos suspendidos afectan de una forma negativa e importante la ozonización, incrementándose la dosis de aplicación.

4.2.2.1 Tamiz de finos HUBER ROTAMAT® RoMem

FIGURA 4.3 ESQUEMA TAMIZ DE FINOS HUBER ROTAMAT® ROMEM

Fuente: Huber Technology, 2013

Datos técnicos

- Diámetro del elemento filtrante: de 780 a 3000 mm.
- Capacidad de tratamiento: hasta 3500 m³/h.
- Luz de paso: 1.0 mm en malla cuadrada.
- Autolimpiante.
- Retención del 80 al 90% de sólidos.

Es utilizado para el tamizado fino de grandes caudales, se logra una considerable reducción de la DBO y DQO entre el 20 y 30%, al retirar partículas sólidas finas de materia orgánica y además se lo puede instalar en un canal.

Se combina el tamizado, transporte, compactación, deshidratación y descarga del residuo en la misma unidad, por lo que los residuos retenidos pueden ser dispuestos directamente en un relleno sanitario.

El consumo de energía de los tamices es bajo (0,5 - 1,5 Wh por m³ de aguas residuales). El tamiz giratorio consume menos energía que los tamices estáticos con rastrillos de limpieza.

La planta se la diseñará para un caudal de 6 m³/s es decir 21 600 m³/h, por lo que serían necesarios 6 quipos para el tamizado ya que cada uno puede tratar 3500 m³/h.

El agua residual en el punto a tratar tiene un valor de 308.8 mg/l de SST como se ve en la TABLA 4.31, al ser retenido el 85% por los tamices se tendrá un valor de 46,32 mg/l.

$$308.8 \frac{mg}{l} SST * \frac{85}{100} = 46,32 \frac{mg}{l} SST$$

4.2.3 Ozonificación

Debido a que el ozono es un oxidante muy reactivo, la dosis dependerá de la calidad del agua (DBO, DQO, sólidos suspendidos) para que la desinfección sea satisfactoria con la requerida, pero hay que tomar en cuenta que además de la desinfección, el ozono elimina color, olor, aumenta el oxígeno disuelto.

Según estudios realizados de la aplicación de ozono en efluentes secundarios de plantas de tratamiento de aguas residuales, la dosis de ozono está en el rango de 8 a 17 mg/l y el tiempo de contacto de 1 a 2 minutos con lo que se produce la inactivación de las bacterias y la mayoría de contaminantes microbiológicos (Paraskeva P., 2002).

La dosis de ozono que se utilizará es de 15 mg/l con un tiempo de contacto de 2 minutos, ya que con esto se alcanza una concentración final de Coliformes Fecales menor a $1 \cdot 10^3$ NMP/100ml como se aprecia en la TABLA 4.33.

TABLA 4.33 ESTUDIO DE DESINFECCIÓN CON OZONO

Tipo de efluente	Dosis Ozono mg/l	Tiempo contacto	Microorganismo	Concentración Inicial	Concentración Final
Secundario	15	2	Coliformes Fecales	$1 \cdot 10^{4.3}$ - $1 \cdot 10^{6.5}$	$< 1 \cdot 10^3$
Secundario	4	2	Coliformes Fecales	$1 \cdot 10^{3.6}$ - $1 \cdot 10^{4.5}$	$< 1 \cdot 10^3$

Fuente: Janex et al, 1999

La cantidad de ozono depende del caudal instantáneo de agua residual, que es de aproximadamente 6000 l/s, por lo que es necesario generar 324 kg de ozono por hora.

$$\text{producción de ozono (kg/h)} = \text{dosis} * \text{caudal} \quad (4.9)$$

$$15 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 6000 \frac{\text{L}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hora}} = 324 \frac{\text{Kg ozono}}{\text{hora}}$$

4.2.4 Resultados esperados del tratamiento

La propuesta de tratamiento consiste en el tamizado y ozonización del agua del río Machángara a la altura del puente de Cumbayá, tomando en cuenta que en la época de estiaje casi la totalidad de sus aguas son aguas residuales. Para determinar la eficacia del tratamiento se utilizaron porcentajes de reducción de fuentes bibliográficas, obteniéndose los siguientes resultados:

TABLA 4.34 RESULTADOS ESPERADOS TRATAMIENTO NO CONVENCIONAL

Parámetro	Río Machángara (puente Cumbayá)	% eficiencia tamizado	Resultado	% eficiencia ozono	Resultado final
OD mg/l	7			Saturación	8.5
DBO mg/l	95	25	71.25	30	49.88
DQO mg/l	154,5	25	115.88	30	81.12
SST mg/l	308,8	85	46,32		<46,32
Coliformes Totales NMP/100ml	2,4*10 ⁷				< 1000
Coliformes Fecales NMP/100ml	2,4*10 ⁴				< 1000
Tensoactivos mg/l	2,621			80	0,52

Fuente: Paraskeva P., 2002

Con los resultados esperados el agua cumple con las normas para uso pecuario, agrícola y estético. Además, para que pueda ser descargada en un cuerpo de agua dulce como se ve en la TABLA 4.355.

TABLA 4.35 POSIBLES USOS DESPUÉS DEL TRATAMIENTO

Parámetro	Agrícola	Pecuario	Uso estético	Descarga cuerpo agua dulce
OD mg/l	No aplica	3	>6	No aplica
DBO mg/l	No aplica	No aplica	No aplica	100
DQO mg/l	No aplica	No aplica	No aplica	250
SST mg/l	No aplica	No aplica	No aplica	100
Coliformes Totales NMP/100ml	1000	5000	No aplica	No aplica
Coliformes Fecales NMP/100ml	No aplica	1000	No aplica	<3000
Tensoactivos mg/l	No aplica	No aplica	No aplica	0,5

Fuente: TULSMA, 2003

4.2.5 Estimación preliminar de costos

En la estimación preliminar de costos se los ha dividido en costos de inversión de capital y en costos anuales de operación.

4.2.5.1 Costos de Inversión de Capital

Los costos de inversión de capital incluyen el generador de ozono, la cámara de contacto y el sistema de alimentación de oxígeno. Estos costos dependen de muchos factores como el fabricante, ubicación del proyecto, capacidad de la planta, dosis de aplicación, entre otras.

En el caso de la planta de ozonización para el DMQ se estimará los costos en base a la capacidad de producción de ozono. Tomando en cuenta el estudio realizado en el año 2012 para la implementación de sistema de ozonización en la planta de tratamiento de la ciudad de Palo Alto - Estados Unidos (Carollo Engineers, 2012).

En el proyecto de Palo Alto se utilizó una dosis de 5 mg/l aplicada a un caudal de 34 mgd (millones de galones por día) con un requerimiento de 1 420 libras de ozono por día, dando un costo en equipos de 3 470 000.

TABLA 4.36 COSTO EQUIPOS PROYECTO PALO ALTO

Equipo	Costo
Sistema de Alimentación Oxígeno Líquido	460 000
Generador de Ozono y fuente de poder	2 440 000
Sistema de Inyección de ozono	570 000
	3 470 000

Elaborado por: Iván Reinoso

La planta de ozonización para el río Machángara necesita una capacidad de producción de ozono de 17 107,2 libras por día de ozono, por lo que se necesitaría una planta aproximadamente 12 veces mayor al proyecto de Palo Alto, con un costo aproximado de capital de 41 804 214 millones de dólares. Hay que tomar en cuenta que con la economía de escala y la ubicación del proyecto este costo probablemente será menor.

TABLA 4.37 COSTOS DE INVERSIÓN DE CAPITAL

Proyecto	Caudal mgd	Dosis mg/l	Ozono lb	Costo dólares
Palo Alto	34	5	1420	3 470 000
Quito	137	15	17 107	41 804 214

Elaborado por: Iván Reinoso

4.2.5.2 Costo anual de operación

Para estimar el costo anual de operación se tomará en cuenta el consumo de energía eléctrica necesaria para la generación del ozono, debido a que es el principal insumo para la operación de la planta. El rango de consumo es de 8 a 14 kWh por kilogramo de ozono (Gottschalk, 2010). Se utilizará un valor medio de 11 kWh/kg ozono y un precio de la energía eléctrica en Ecuador aproximado de 0.10 dólares/kWh. Sumado el costo de operación del tamizado y el del ozonificador el costo anual de operación sería de 3 140 985,6 dólares.

Tamizado

TABLA 4.38 DATOS CONSUMO DE ENERGÍA TAMIZADO

Parámetro	Valor
Energía Tamizado	1 Wh/ m ³
Precio Energía Eléctrica (Ecuador)	0.10 dólares/kWh.

Elaborado por: Iván Reinoso

$$6 \frac{m^3}{s} * \frac{1 Wh}{m^3} * \frac{KWh}{1000 Wh} * \frac{3600 s}{h} = 21,6 KWh * \frac{0.10 dolares}{kWh}$$

$$= 2,16 \frac{dolares}{hora} * \frac{24 horas}{1 día} * \frac{365 días}{1 año} = \mathbf{18\ 921,6} \frac{dolares}{año}$$

Ozonificador

TABLA 4.39 CONSUMO DE ENERGÍA OZONIFICADOR

Parámetro	Valor
Dosis de Ozono	15 mg/l
Energía Producción de Ozono	11 KWh/Kg Ozono
Precio Energía Eléctrica (Ecuador)	0.10 dólares/kWh.

Elaborado por: Iván Reinoso

$$6 \frac{m^3}{s} * \frac{1000 l}{m^3} * 15 \frac{mg\ ozono}{L} * \frac{1 kg}{10^6 mg} * \frac{3600 s}{1 hora} = 324 \frac{Kg\ ozono}{hora} * 11 \frac{KWh}{Kg\ ozono}$$

$$= 3\ 564 KWh * \frac{0.10 dolares}{kWh} = 356,4 \frac{dolares}{hora} * \frac{24 horas}{1 día} * \frac{365 días}{1 año}$$

$$= \mathbf{3\ 122\ 064} \frac{dolares}{año}$$

4.3 TRATAMIENTO CONVENCIONAL

4.3.1 Descripción

Para la propuesta de tratamiento convencional se describe el proyecto para la descontaminación de los ríos de Quito, que consiste en un Sistema de intercepción y tratamiento centralizados (lodos activados) para un caudal de aguas residuales de 7,49 m³/s. El proyecto tendrá un costo de 566 millones dólares e incluye los siguientes componentes:

TABLA 4.40 COMPONENTES DEL PROYECTO

	Millones \$
Interceptores	31
Emisarios, estaciones de bombeo y líneas de impulsión	146
PTAR Vindobona	286,6
PTAR El Beaterio	17,1
PTAR Quitumbe	12,3
PTARs pequeñas para Parroquias dispersas	37
Central Hidroeléctrica 19,2 MW	36
	566

Fuente: EPMAPS, 2011

TABLA 4.41 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

	Tipo	Qm m ³ /s	Área necesaria ha
Vindobona	Lodos Activados convencional	7,49	63
El Beaterio	Lodos Activados Aireación Extendida	0,350	6
Quitumbe	Lodos Activados Aireación Extendida	0,110	1,5

Fuente: EPMAPS, 2011

TABLA 4.42 EMISARIOS A LA PTAR PRINCIPAL

	Longitud Km
San Antonio-Vindobona	2,4
Tola -Vindobona	34

Fuente: EPMAPS, 2011

TABLA 4.43 SISTEMAS DE IMPULSIÓN

	Q l/s	Estaciones de bombeo	Potencia MW	Total MW	Longitud Km	Diámetro mm
Cumbayá	1 000	4	1,26	5,04	4,15	900
Conocoto	2 200	5	2,8	14	12,1	1 200

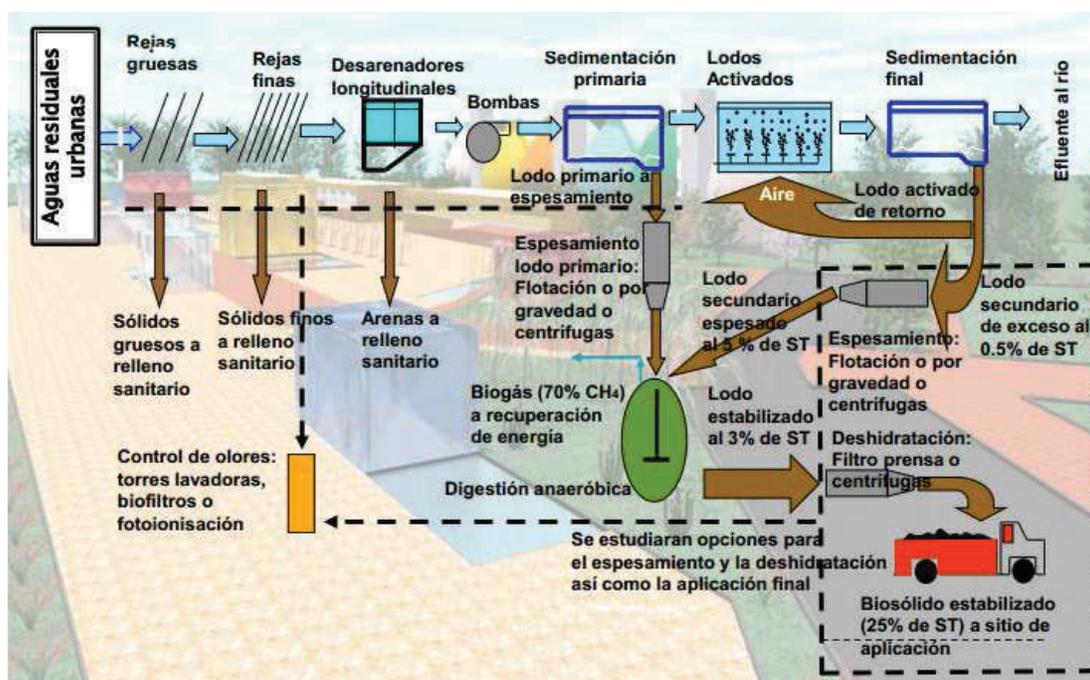
Fuente: EPMAPS, 2011

4.3.2 Planta de tratamiento

La planta principal de tratamiento de aguas residuales depurará un caudal de 7,49 m³/s por medio de lodos activados.

Los lodos activados es el proceso mediante el cual los microorganismos degradan la materia orgánica del agua residual en un medio aerobio (mínimo 2mg/l), posteriormente pasan a un decantador secundario para retirar los flóculos biológicos y descargar el agua tratada. Una parte del lodo del decantador es recirculada y el exceso se la lleva a un tratamiento para lodos como se puede apreciar en la FIGURA 4.4.

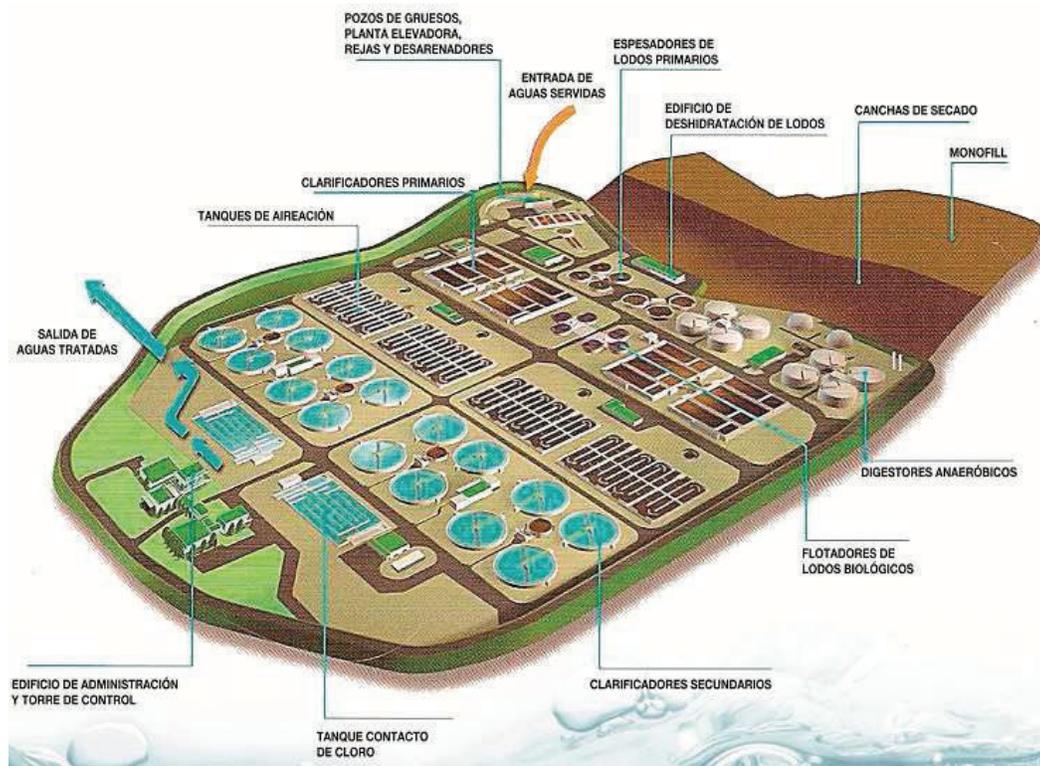
FIGURA 4.4 ESQUEMA GENERAL DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES URBANAS CON LODOS ACTIVADOS



Fuente:

http://envscibcc.wikispaces.com/file/view/Ch+17.+PRESENTACION_Plan_descontaminacion_rios_de_Quito.pdf

FIGURA 4.5 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES VINDOBONA



Fuente: <http://www.aguaquito.gob.ec/urgente/se-firman-estudios-de-factibilidad-para-la-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-de>

La planta de tratamiento de tendrá las siguientes operaciones para el tratamiento del agua residual:

TABLA 4.44 OPERACIONES PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

	Operación
Pretratamiento	Rejas
	Desarenadores
Tratamiento Primario	Clarificadores primarios
Tratamiento Secundario	Tanques de aireación
	Clarificadores secundarios
Tratamiento Terciario	Cloración

Elaborado por: Iván Reinoso

La planta de tratamiento tendrá las siguientes operaciones para el tratamiento de lodos, provenientes de los clarificadores primarios y secundarios:

TABLA 4.45 OPERACIONES TRATAMIENTO DE LODOS

Operación	Descripción
Espesador de lodos	Reducción del volumen
Deshidratación de lodos	Reducción del volumen
Digestores anaeróbicos	Estabilización de la materia orgánica
Lechos de secado	Eliminación de agua

Elaborado por: Iván Reinoso

4.3.3 Resultados Esperados

El tratamiento convencional de lodos activados tiene las siguientes eficiencias:

TABLA 4.46 EFICIENCIA TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS

Parámetro	Agua residual	% Eficiencia	Resultado Efluente
DBO mg/l	223,8	90	22,38
DQO mg/l	529,4	90	52,94
SST mg/l	780	85	117
Coliformes Totales NMP/100ml	$7,05 \cdot 10^7$	90	$7,05 \cdot 10^6$
Coliformes Fecales NMP/100ml	$1,94 \cdot 10^7$	90	$1,94 \cdot 10^6$

Fuente: CONAMA, Tecnología de Lodos Activados

Elaborado por: Iván Reinoso

Hay que tomar en cuenta el bajo abatimiento bacteriológico, por lo general del 90% equivalente a un ciclo logarítmico, por lo que es necesario realizar adicionalmente desinfección al efluente como se ve en la TABLA 4.46.

4.3.4 Estimación preliminar de costos

4.3.4.1 Costos de Inversión de Capital

La planta principal de tratamiento de aguas residuales para un caudal de 7,49 m³/s tendrá un costo aproximado de 286 563 767 millones de dólares.

TABLA 4.47 COSTO PLANTA PRINCIPAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Componente	Dólares
Obras Civiles	94 798 880
Equipamiento	191 764 887
Total	286 563 767

Elaborado por: Iván Reinoso

4.3.4.2 Costo anual de operación

Para estimar el costo anual de operación se tomará en cuenta el consumo de energía eléctrica necesaria para la aireación del sistema convencional de lodos activados. Para fines de comparación con la propuesta de tratamiento no convencional se calcula el costo de operación anual para un caudal de 6 m³/s.

TABLA 4.48 DATOS CONSUMO DE ENERGÍA TRATAMIENTO CONVENCIONAL

Parámetro	Valor
DBO ₅ Agua Residual	224 mg/l
Consumo oxígeno Lodos Activados convencional	1,5 Kg OD/1 Kg DBO ₅
Energía producción oxígeno	1 HP-hora/kg OD
Precio Energía Eléctrica (Ecuador)	0.10 dólares/kWh.

Elaborado por: Iván Reinoso

$$\begin{aligned}
 & 6 \frac{m^3}{s} * \frac{1000 l}{m^3} * \frac{224 mg}{l} * \frac{1 g}{1000 mg} * \frac{1 kg}{1000 g} * \frac{3600 s}{hora} = 4\,838,4 \frac{kg\ DBO_5}{hora} * \frac{1,5 kg\ OD}{1 kg\ DBO_5} \\
 & = 7\,257,6 \frac{kg\ OD}{hora} * \frac{1 HP}{kg\ OD} = 7\,257,6\ HPh * \frac{0,746 KW}{1 HP} \\
 & = 5\,414,17\ KWh * \frac{0,1\ dólar}{1 KWh} = 541,42 \frac{dólar}{hora} * \frac{24 h}{día} * \frac{365 días}{año} \\
 & = 4\,742\,812,57 \frac{dólares}{año}
 \end{aligned}$$

4.4 EVALUACIÓN AMBIENTAL

Se evaluará los principales impactos ambientales con la implementación de las propuestas de tratamiento convencional (lodos activados) y no convencional (ozonificación).

4.4.1 Tratamiento no convencional

El tratamiento no convencional consiste en no interceptar las aguas residuales y utilizar el río como un sistema natural de depuración de aguas residuales, por lo que se analizará los impactos del funcionamiento del río en las condiciones actuales.

La evaluación ambiental se realizará a través de observaciones de campo, encuestas a personas que residen en las zonas aledañas del río y la superposición de mapas en un Sistema de Información Geográfica (QGIS) utilizando la información geográfica disponible.

4.1.1.1 Observaciones de Campo

Según las observaciones de campo del tramo comprendido entre El Sena ubicado en el centro sur del DMQ y Cumbayá, el agua del río Machángara se encuentra turbia con gran cantidad de espuma y en algunos lugares incluso hay presencia de residuos sólidos (basura), sin embargo no se perciben malos olores. En el puente de Guayllabamba (río Guayllabamba), punto final de la zona de estudio, no hay indicadores de contaminación a simple vista ni presencia de malos olores.

Además se pudo observar que el río se encuentra encañonado en gran parte de su trayecto, y que existe mucha turbulencia por la presencia de gran cantidad de rocas y alta velocidad del agua.

TABLA 4.49 LUGARES Y FECHAS DE LAS OBSERVACIONES DE CAMPO

Fecha	El Sena	San Francisco de Miravalle	Guápulo	Cumbayá	Guayllabamba
26 de junio 2013					X
12 de Julio 2013	X		X	X	X
23 de julio 2013	X	X		X	X
28 de agosto 2013				X	X
21 de septiembre 2013				X	X

Elaborado por: Iván Reinoso

FOTOGRAFÍA 4.1 EL SENA

Elaborado por: Iván Reinoso

FOTOGRAFÍA 4.2 SAN FRANCISCO DE MIRAVALLE



Elaborado por: Iván Reinoso

FOTOGRAFÍA 4.3 GUÁPULO



Elaborado por: Iván Reinoso

FOTOGRAFÍA 4.4 CUMBAYÁ



Elaborado por: Iván Reinoso

FOTOGRAFÍA 4.5 RÍO GUAYLLABAMBA



Elaborado por: Iván Reinoso

4.1.1.2 Encuestas

Se realizaron encuestas a personas que residen o trabajan en zonas cercanas al río para determinar los principales impactos del río en las zonas aledañas. Se determinó la distancia entre la vivienda y el río utilizando Q-GIS.

TABLA 4.50 RESUMEN ENCUESTAS

Sector	Tiempo de Residencia años	Distancia a la que se encuentra el río Metros	Coordenadas UTM	
			X	Y
Guápulo	14	120	781 121	9 977 406
Vicentina	2	1000	779 431	9 976 127
San Pablo	4	300	779 873	9 975 681
Luluncoto	10	120	777 395	9 974 251
Bolívar Rodríguez	3	300	779 061	9 974 950

Elaborado por: Iván Reinoso

TABLA 4.51 RESUMEN ENCUESTAS IMPACTOS DEL RÍO

Distancia Metros	Impacto	Frecuencia	Intensidad	Observaciones
120	Malos Olores Presencia Roedores	Muy Frecuente	Alto	En época de lluvia se acentúan los olores
1000	Ninguno	-----	-----	-----
300	Moscas	Rara Vez	Bajo	No está seguro de su procedencia
120	Malos Olores Presencia Roedores	Rara Vez	Bajo	Olor fuerte en verano y cuando sopla el viento
300	Ninguno	-----	-----	-----

Elaborado por: Iván Reinoso

Según las encuestas, el principal impacto del río en las condiciones actuales sobre las zonas aledañas son los malos olores. En la aparición de malos olores el parámetro crítico es la cantidad de oxígeno disuelto, debido a que en concentraciones reducidas de oxígeno disuelto en el agua se generan gases como el sulfuro de hidrógeno que producen olores desagradables.

Por lo tanto se divide al río en tramos, según la cantidad de oxígeno disuelto obtenida en la modelación. Se utilizó los criterios de calidad para el oxígeno disuelto de los Estudios de Factibilidad y Diseños Definitivos del Plan de Descontaminación de los ríos de Quito (FICHTNER/Hidroestudios, 2009).

TABLA 4.52 CRITERIO DE CALIDAD SEGÚN LA CANTIDAD DE OXÍGENO DISUELTO

% OD saturación	Rango mg/l	
>80 %	6,8-8,5	Contaminación Baja
>60%	5,1-6,8	Contaminación Moderada
>40%	3,4-5,1	Contaminación Alta
<40%	0-3,4	Contaminación Severa

Fuente: FICHTNER/Hidroestudios, 2009

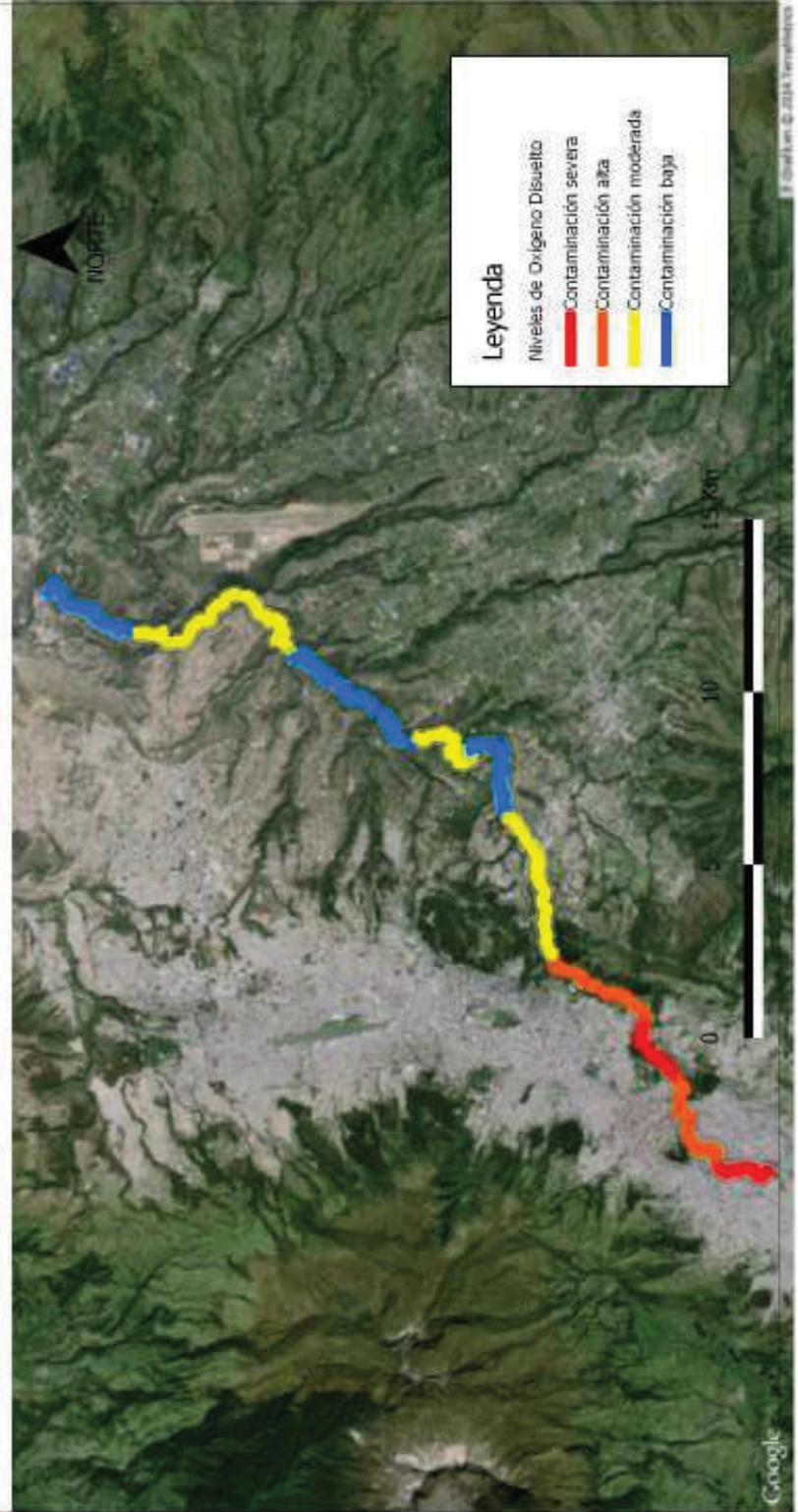
4.1.1.3 Determinación de la Población Afectada

Para determinar la población afectada, se realizó una sobreposición de mapas en QGIS entre el mapa de las zonas pobladas con el mapa del río segmentado según la cantidad de oxígeno disuelto como se puede apreciar en el mapa 4.1. Se determinó a través de las encuestas que la zona de influencia es de 300 metros alrededor del río, por lo que el área de influencia del río sería de 2 825 Ha.

El tramo de estudio se ha dividido en cinco zonas, según el grado de afectación, para poder visualizar más detalladamente las zonas afectadas.

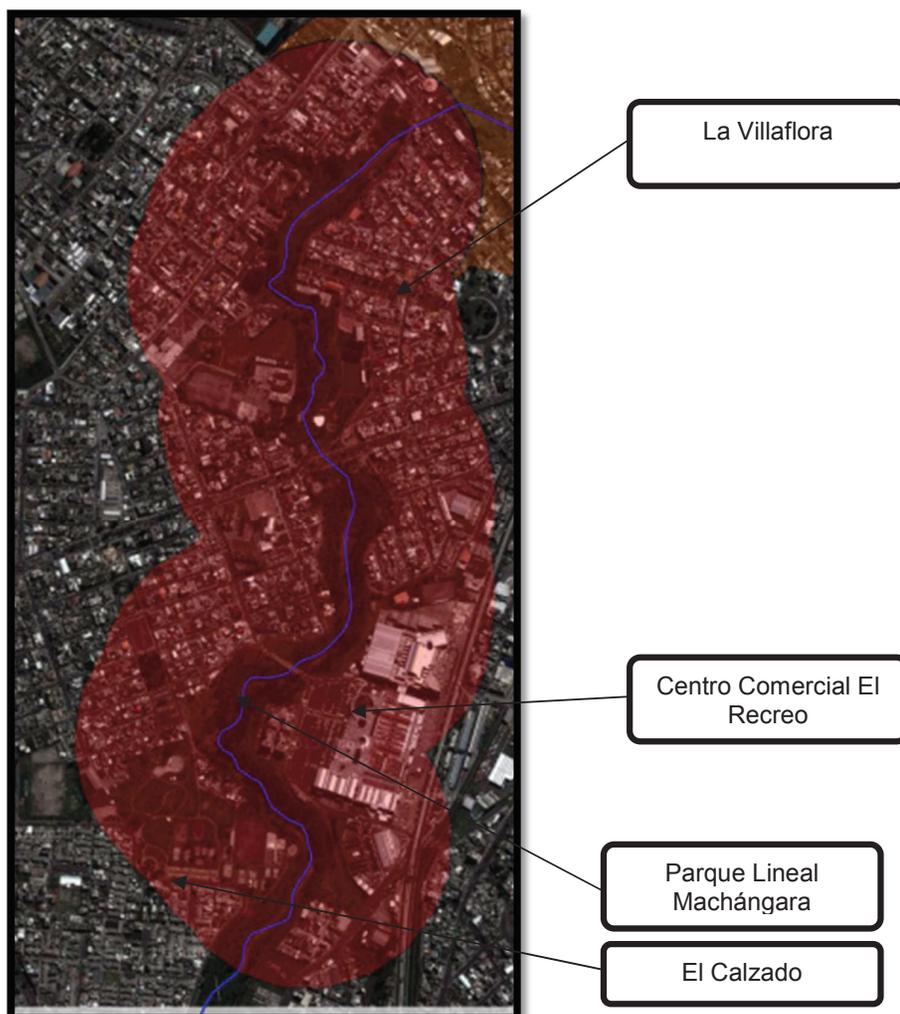
Utilizando el Mapa de Densidad Poblacional se determinó la población afectada en cada una de las zonas y que la población total afectada es de aproximadamente 63 686 personas.

MAPA 4.1 MAPA IMPACTO AMBIENTAL A LA POBLACIONES



PROYECTO DE TITULACIÓN: ANÁLISIS AMBIENTAL DEL RÍO MACHÁNGARA	Impacto Ambiental a las Poblaciones
ELABORADO POR: IVÁN REINOSO	FECHA: JULIO, 2014
FUENTE: GOOGLE EARTH	ESCALA: 1:185.000
	LÁMINA N° 5

FIGURA 4.6 ZONA 1



Área Afectada: 126 Ha

Densidad Poblacional: 136,64 habitantes/Ha

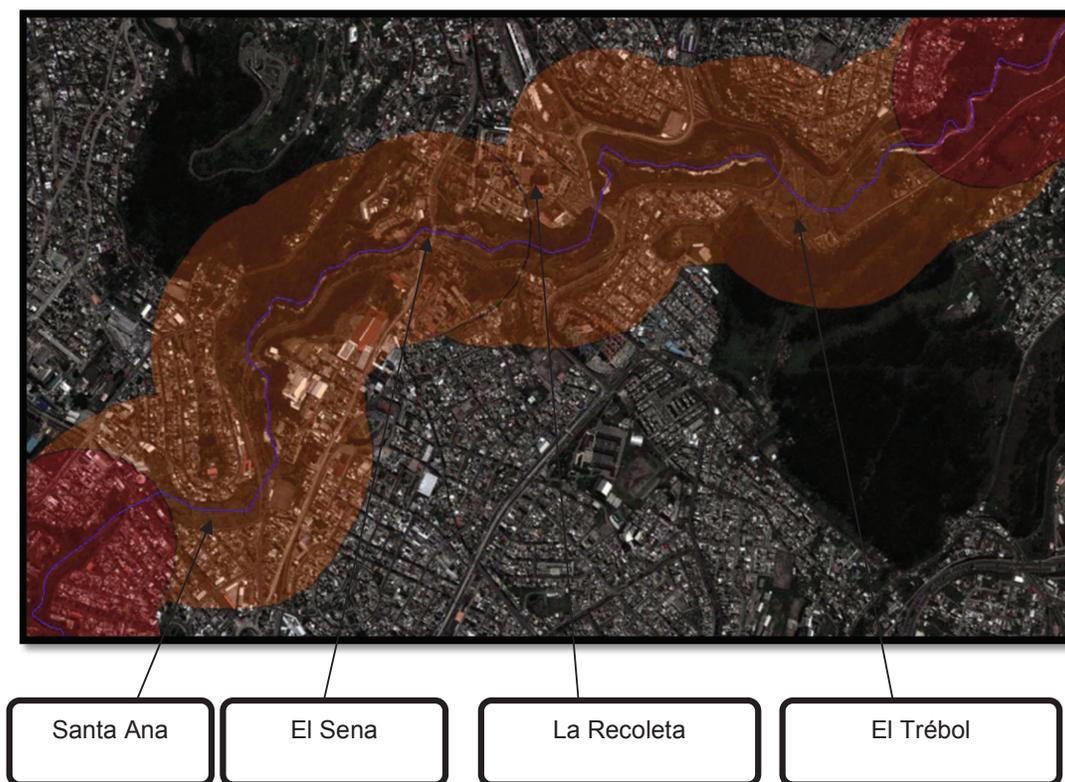
Población Afectada: 17 239 habitantes

Barrios Afectados: El Calzado, El Recreo, La Villaflora

Impacto: Alto

Se puede observar que es una zona densamente poblada y además que el nivel de oxígeno disuelto es muy bajo (0-3,4 mg/l) por lo que es muy probable que se generen malos olores.

FIGURA 4.7 ZONA 2



Área Afectada: 292 Ha

Densidad Poblacional: 100,58 habitantes/Ha

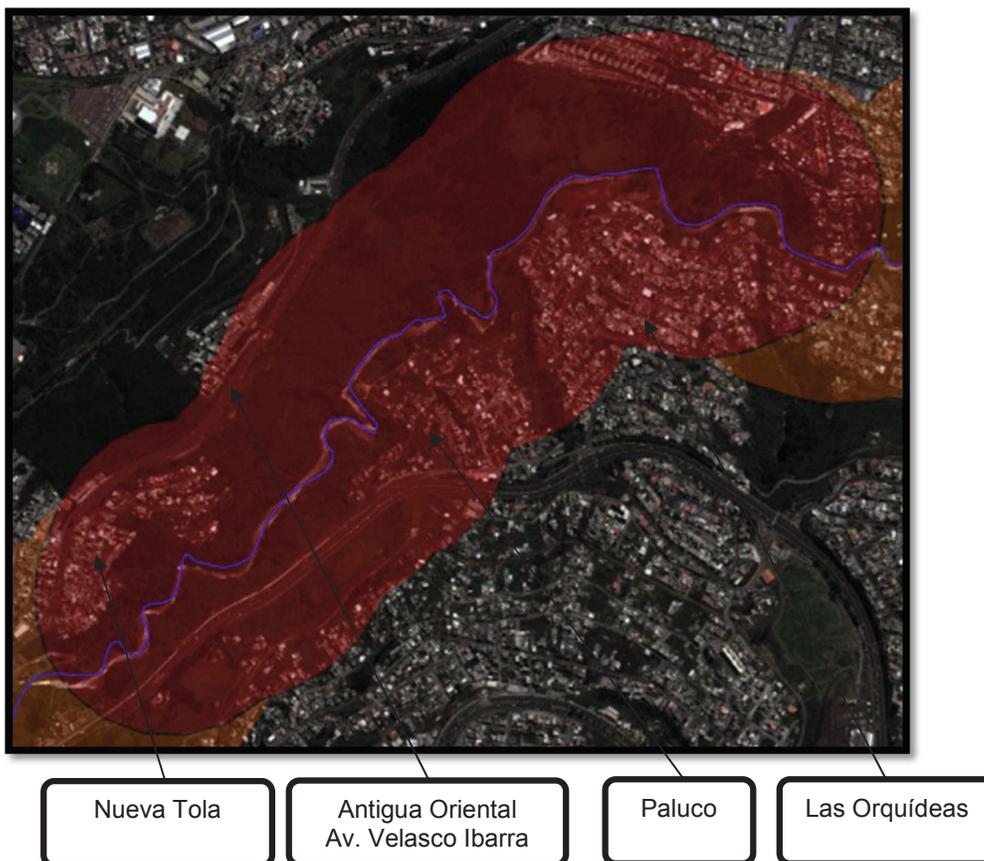
Población Afectada: 29 341 habitantes

Barrios Afectados: Santa Ana, El Sena, La Recoleta.

Impacto: Medio-Alto

Se puede observar que esta zona está densamente poblada, sin embargo las viviendas mantienen una distancia de amortiguamiento con el río. En esta zona el nivel de oxígeno disuelto es bajo (3,4-5,1 mg/l) por lo que es probable que se generen malos olores.

FIGURA 4.8 ZONA 3



Área Afectada: 139 Ha

Densidad Poblacional: 49,68 habitantes/Ha

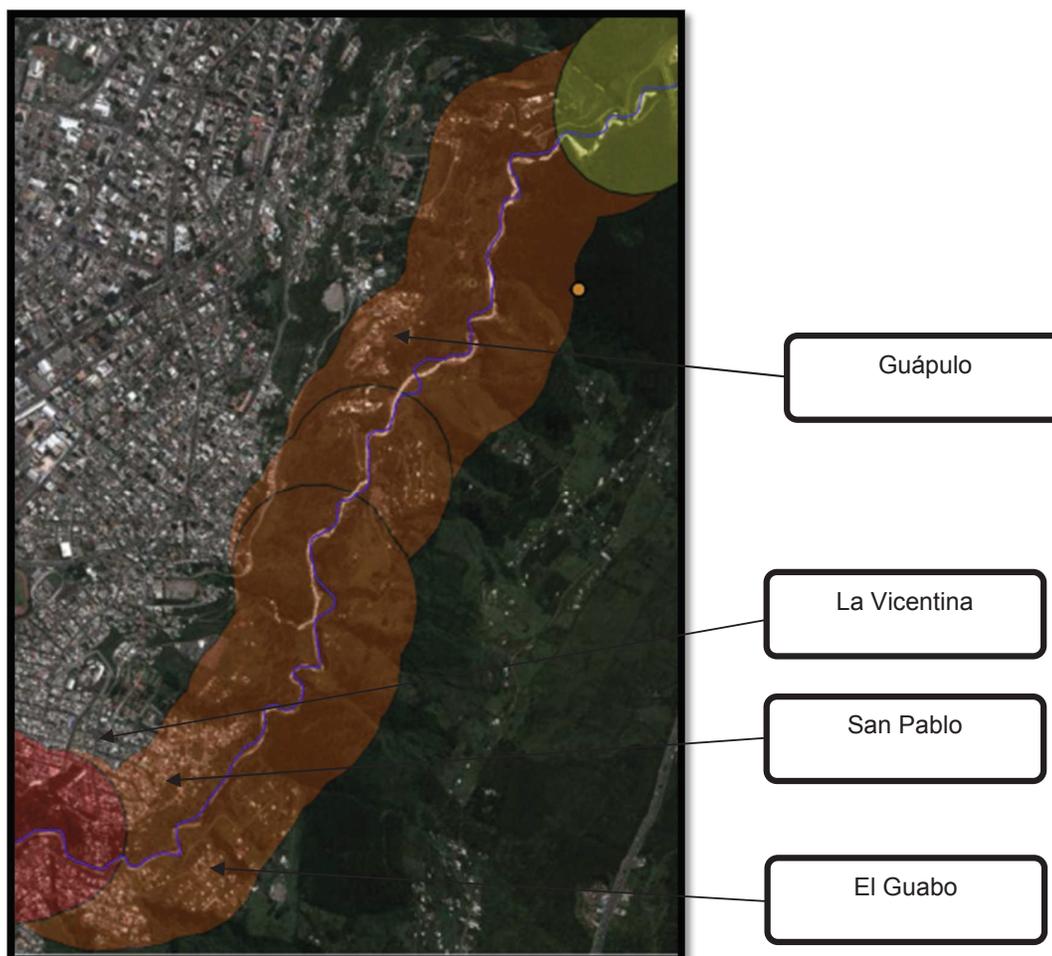
Población Afectada: 6 928 habitantes

Barrios Afectados: Nueva Tola, Paluco, Las Orquídeas.

Impacto: Alto

Se puede observar que en esta zona existen solo ciertos sectores poblados, sin embargo el impacto es alto debido a que en esta zona el nivel de oxígeno disuelto es muy bajo (0-3,4 mg/l) por lo que es muy probable que se generen malos olores y que ciertos sectores se encuentran ubicados muy cerca del río.

FIGURA 4.9 ZONA 4



Área Afectada: 326 Ha

Densidad Poblacional: 33,38 habitantes/Ha

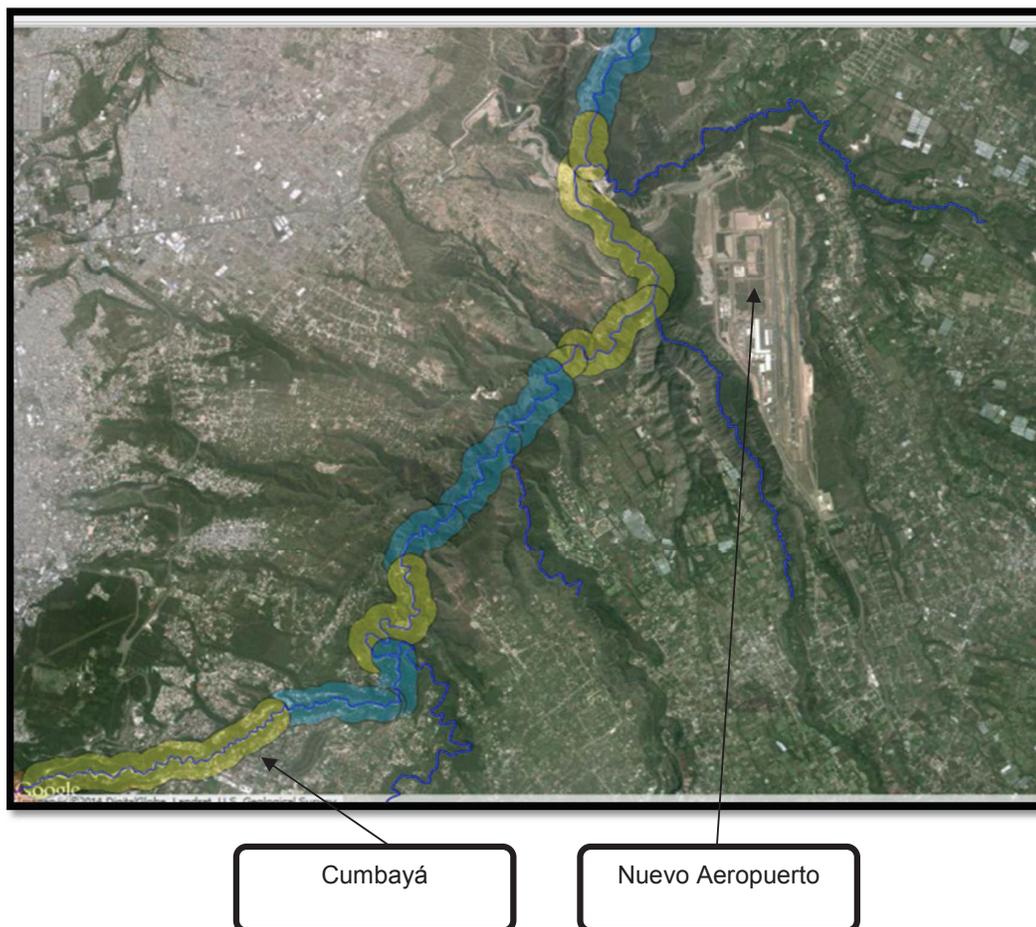
Población Afectada: 3 265 habitantes

Barrios Afectados: El Guabo, San Pablo, Guápulo.

Impacto: Medio-Alto

Se puede observar que esta zona se encuentra poco poblada sin embargo el oxígeno disuelto es bajo (3,4-5,1 mg/l) por lo que es probable que se generen malos olores.

FIGURA 4.10 ZONA 5



Área Afectada: 1 941 Ha

Población Afectada: 6 912 habitantes

Sector Afectado: Cumbayá

Impacto: Medio-Bajo a Bajo

Se puede observar que esta zona se encuentra casi despoblada, excepto en la zona de Cumbayá

En las zonas de color verde el impacto es Medio-Bajo, debido a que en esta zona el nivel de oxígeno disuelto es relativamente alto (5,1-6,8 mg/l) por lo que es poco probable que se produzcan malos olores.

En las zonas de color azul el impacto es Bajo, debido a que en esta zona el nivel de oxígeno disuelto es alto (6,8-8,5 mg/l) por lo que no se producirían malos olores.

4.1.1.4 Usos del Agua

TABLA 4.53 CONCESIONES DE AGUA DE LOS RÍOS MACHÁNGARA Y GUAYLLABAMBA

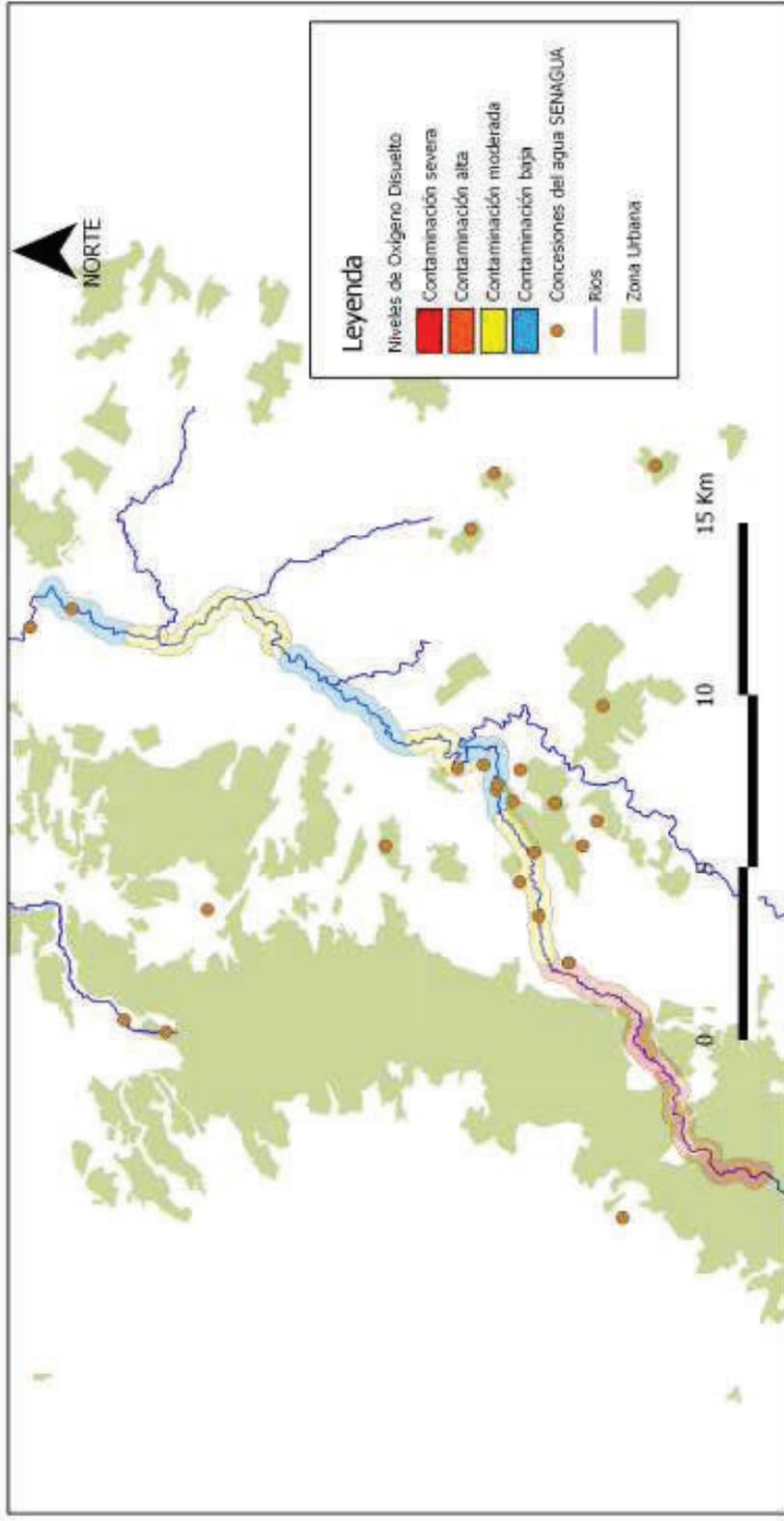
Río	Usos Concesionados	Número de Concesiones	Caudal Total Concesionado (L/s)
Machángara	Abrevadero	4	1.67
	Hidroelectricidad	1	2 100
	Industria	1	98
	Riego	54	922.49
	SUBTOTAL	61	3 133.31
Guayllabamba	Industria	1	12.06
	Riego	38	662.26
	Uso Doméstico	1	0.04
	SUBTOTAL	40	674.36

Fuente: SENAGUA

Según la tabla 4.53 se puede notar que el caudal concesionado del río Machángara es mayor al del río Guayllabamba. El principal uso del río Machángara es la hidroelectricidad seguido del riego. Cabe destacar que el río Guayllabamba a pesar de su longitud y gran caudal tiene un uso muy limitado.

Como se puede ver en el mapa 4.2 la mayoría de concesiones de agua se ubican en el tramo final del río Machángara, en donde existe una contaminación moderada a baja con respecto al nivel de oxígeno disuelto, sin embargo el valor de coliformes sigue siendo alto limitando sus posibles usos.

MAPA 4.2 MAPA DE CONCESIONES DEL AGUA



PROYECTO DE TITULACIÓN: ANÁLISIS AMBIENTAL DEL RÍO MACHÁNGARA	CONCESIONES AGUA SENAGUA	
ELABORADO POR: IVÁN REINOSO	FECHA: JULIO 2014	
FUENTE: IGM	ESCALA: 1:184.979	LÁMINA Nº 7

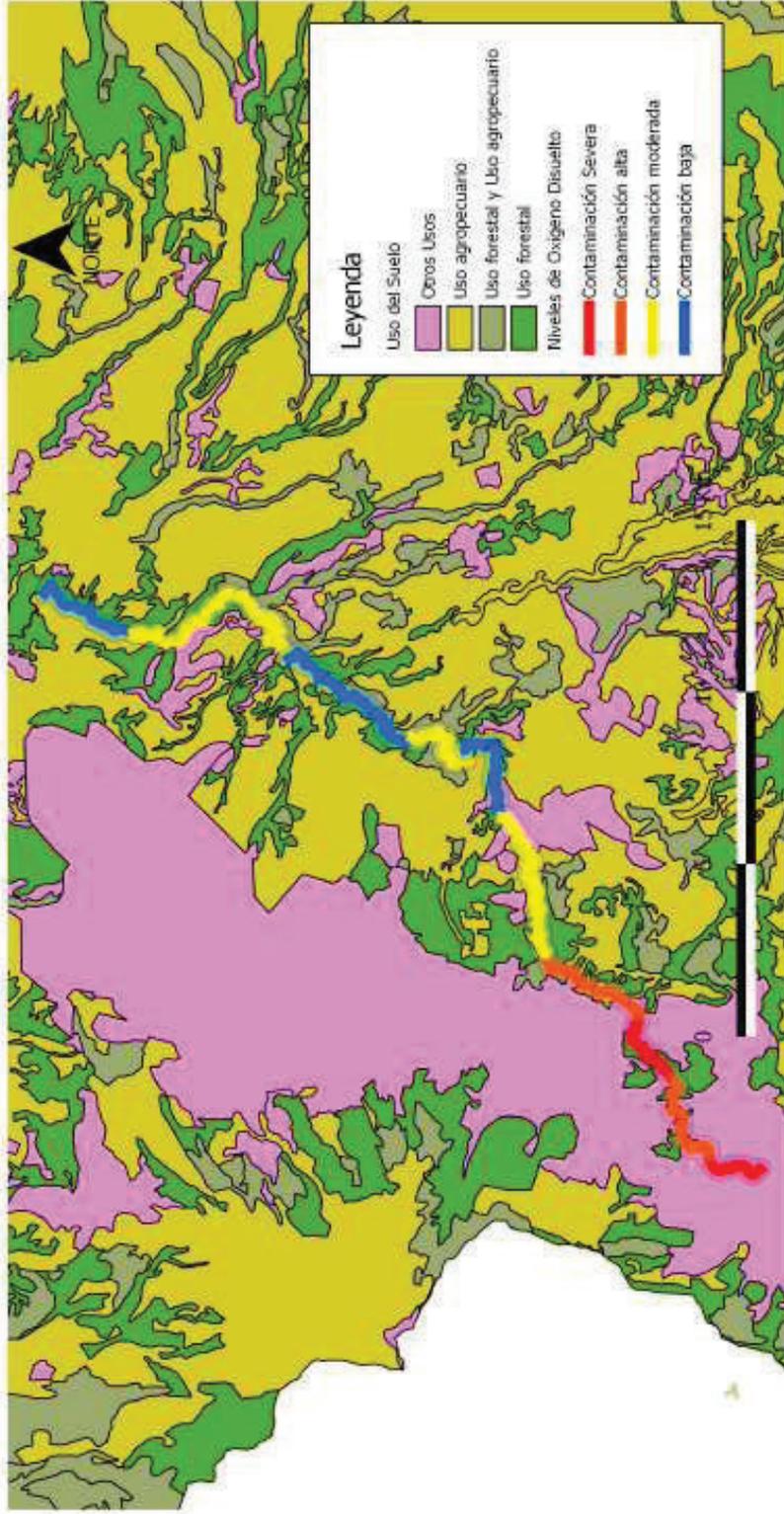
4.1.1.5 Uso del Suelo

Según el mapa 4.3 de uso del suelo, en la zona del proyecto se puede observar que los principales usos son:

- Uso agropecuario
- Uso Residencial
- Uso Forestal

Además se puede observar que en los lugares donde el suelo tiene un uso agropecuario, el agua del río tiene una contaminación moderada a baja con respecto al nivel de oxígeno disuelto.

MAPA 4.3 MAPA DE USO DEL SUELO



PROYECTO DE TITULACIÓN: ANÁLISIS AMBIENTAL DEL RÍO MACHÁNGARA	USO DE SUELO	
ELABORADO POR: IVÁN REINOSO	FECHA: JULIO 2014	
FUENTE: IGM	ESCALA: 1:184.579	LÁMINA N° 6

4.4.2 Tratamiento convencional

4.4.2.1 Usos posibles del Agua

Con la intercepción y el tratamiento convencional de las aguas residuales (lodos activados), existirá una mejora en el calidad del agua, por lo que los posibles usos del agua del río Machángara y Guayllabamba podrán ser los que se indican a continuación en la TABLA 4.54 y TABLA 4.55.

TABLA 4.54 USOS A PRESERVARSE EN EL RÍO GUAYLLABAMBA

Tramo del río	Uso y calidad del agua	Criterios
Confluencia río San Pedro/Machángara-Puente Viejo (Amarillo)	Contaminación Moderada Uso Recreativo sin contacto Directo	DBO ₅ : 19 mg/l N-NH ₄ : 2,5 mg/l Coli.Tot:1*10 ⁵ NMP/100ml
Puente Viejo-Río Monjas (Amarillo)	Contaminación Moderada Uso Recreativo sin contacto Directo	DBO ₅ : 16 mg/l N-NH ₄ : 2 mg/l Coli.Tot:9*10 ⁴ NMP/100ml
Río Monjas-Perucho (Amarillo)	Contaminación Moderada Uso Recreativo sin contacto Directo	DBO ₅ : 15 mg/l N-NH ₄ : 2 mg/l Coli.Tot:5*10 ⁴ NMP/100ml
Perucho –Cochapata (Amarillo)	Contaminación Moderada Uso Recreativo sin contacto Directo	DBO ₅ : 15 mg/l N-NH ₄ : 1,5 mg/l Coli.Tot:4*10 ⁴ NMP/100ml
Cochapata-Río Alambí (Amarillo)	Contaminación Moderada Uso Recreativo sin contacto Directo	DBO ₅ : 12 mg/l N-NH ₄ : 1,5 mg/l Coli.Tot:2*10 ⁴ NMP/100ml
Río Alambí-Río San Dimas (Azul)	Contaminación baja. Uso Recreativo sin contacto Directo. Apto para Riego. Preservación de la vida Acuática	DBO ₅ : 7 mg/l N-NH ₄ : 1 mg/l Coli.Tot:5*10 ³ NMP/100ml
Río San Dimas-Las Golondrinas (Azul)	Contaminación baja. Uso Recreativo sin contacto Directo. Apto para Riego. Preservación de la vida Acuática	DBO ₅ : 7 mg/l N-NH ₄ : 1 mg/l Coli.Tot:500 NMP/100ml

Fuente: FICHTNER/Hidroestudios, Informe 3, 2009

TABLA 4.55 USOS A PRESERVARSE EN EL RÍO MACHÁNGARA

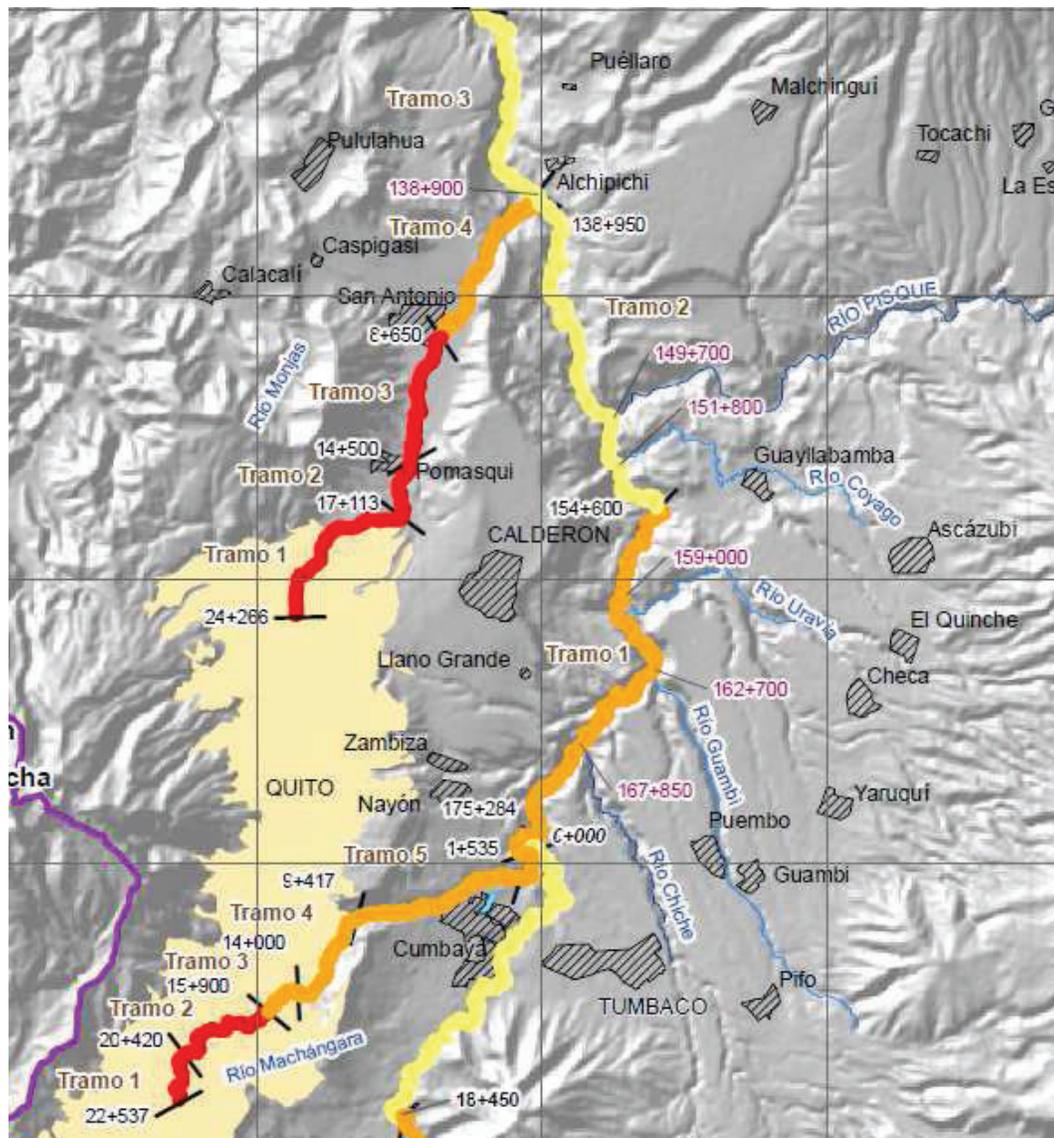
Tramo del río	Uso y calidad del agua	Criterios
Quito Sur-Villaflora (Rojo)	Contaminación Severa Usos restringidos	DBO ₅ : 48 mg/l N-NH ₄ : 5,5 mg/l Coli.Tot:5E+06 NMP/100ml
Villaflora-El Trébol (Rojo)	Contaminación Severa Usos restringidos	DBO ₅ : 40 mg/l N-NH ₄ : 5 mg/l Coli.Tot:2E+05 NMP/100ml
El Trébol-Las Orquídeas (Naranja)	Contaminación Alta Uso Recreativo sin contacto Directo	DBO ₅ : 36 mg/l N-NH ₄ : 4,5 mg/l Coli.Tot:1E+04 NMP/100ml
Las Orquídeas-Puente Guápulo (Amarillo)	Contaminación Moderada Uso Recreativo sin contacto Directo	DBO ₅ : 30 mg/l N-NH ₄ : 4,2 mg/l Coli.Tot:8E+02 NMP/100ml
Puente Guápulo -Trasvase Cumbayá (Amarillo)	Contaminación Moderada Uso Recreativo sin contacto Directo	DBO ₅ : 20 mg/l N-NH ₄ : 3,5 mg/l Coli.Tot:22 NMP/100ml

Fuente: FICHTNER/Hidroestudios, Informe 3, 2009

El río Guayllabamba tendrá como uso posible el uso recreativo sin contacto directo hasta el río Alambí (100 km aguas abajo), posteriormente a este punto será apto para riego y preservación de la vida acuática. El río Machángara tendrá como uso posible el uso recreativo sin contacto directo.

El principal factor limitante de los posibles usos del agua es el alto contenido de coliformes totales.

FIGURA 4.11 IMPACTO TRATAMIENTO CONVENCIONAL, CAUDAL MÍNIMO DE 7 DÍAS Y PERÍODO DE RETORNO DE 10 AÑOS



Fuente: FICHTNER/Hidroestudios, Informe 3, 2009

4.4.2.2 Otros Impactos

- Por la intercepción de las aguas residuales se reducen los caudales de los ríos, en el caso del Río Machángara es crítico ya que en época de estiaje la mayor parte de su caudal son aguas residuales.
- Tanto en el río Machángara como en el río Guayllabamba el factor limitante de los posibles usos del agua es el alto contenido de coliformes Totales. Hay que tomar en cuenta que la presencia de coliformes, es uno de los principales parámetros para medir la calidad del agua, debido a que indica la presencia de enfermedades en el agua.
- El tratamiento convencional (lodos activados) no resuelve la presencia de microcontaminantes como los Disruptores endócrinos.
- La eliminación de Fósforo y Nitrógeno en el tratamiento convencional (lodos activados) es reducida por lo que hay que analizar posibles procesos de Eutrofización en los embalses de los futuros proyectos de centrales hidroeléctricas en el río Guayllabamba.
- EL uso de cloro para la desinfección, posterior al tratamiento convencional (lodos activados), no es adecuado para aguas residuales, ya que debido a la presencia de materia orgánica se producen compuestos que son nocivos para el ambiente y la salud de las personas.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se determinó que el período de estiaje del río Machángara y Guayllabamba se encuentra entre los meses de junio y noviembre, especialmente julio y agosto. En el período de estiaje se desarrollan las condiciones críticas del río debido a que las precipitaciones son casi nulas y por lo tanto se registran caudales mínimos que casi en su totalidad son aguas residuales.
- La modelación del río Machángara determinó que el río tiene un nivel mínimo de oxígeno disuelto de 2,26 mg/l y promedio de 5 mg/l, por lo que funciona como un sistema aerobio (oxígeno disuelto > 2 mg/l).
- El río Machángara funciona como un sistema de depuración de aguas residuales con tratamiento secundario, debido a su gran capacidad de oxigenación y a que en promedio reduce el 32,89 % de la DBO₅ en un tramo de 22,5 kilómetros, siendo necesario posteriormente tan solo un tratamiento de afinamiento.
- El tratamiento no convencional propuesto, consiste en la captación, tamizado y ozonificación del agua del río Machángara en el sector de Cumbayá (posterior a su autodepuración). El principal objetivo de este tratamiento es la desinfección, sin embargo también se podría reducir considerablemente la DQO, DBO, SST, turbidez, color, detergentes aniónicos y no aniónicos, pesticidas y fenoles.
- La cloración no es adecuada para la desinfección de las aguas residuales ya que debido a la presencia de materia orgánica se producen compuestos que son nocivos para el ambiente y la salud de las personas, por lo que es necesario utilizar sistemas de desinfección alternativos.
- Según la normativa establecida en el TULSMA para oxígeno disuelto y coliformes, los posibles usos del agua del río Machángara posterior al tratamiento no convencional podrían ser agrícola, pecuario y estético.

- El tratamiento convencional de aguas residuales (lodos activados) no soluciona los problemas de nutrientes (nitrógeno y fósforo), microcontaminantes orgánicos persistentes, detergentes y sobretodo coliformes, por lo que la propuesta de tratamiento no convencional podría ser una alternativa viable.
- El tratamiento no convencional tiene como ventajas principales: la no producción de lodos, no es necesario la intercepción de las aguas residuales, es más eficaz y menos tóxico que la desinfección con cloro, remueve detergentes y microcontaminantes como los disruptores endócrinos.
- En la propuesta de tratamiento no convencional no se interceptan las aguas residuales por lo que existiría un normal funcionamiento de la central hidroeléctrica de Nayón y de las demás concesiones que utilizan las aguas del río Machángara.
- La inversión necesaria para implementar un sistema de tratamiento convencional (lodos activados) es mayor que el tratamiento no convencional; debido a que, además de la planta de tratamiento de aguas residuales, son necesario trabajos complementarios de interceptores, emisarios, estaciones de bombeo y líneas de impulsión.
- El uso de energía del tratamiento convencional (lodos activados) es ligeramente mayor al tratamiento no convencional (ozonificación).
- Actualmente el uso del agua del río Machángara y Guayllabamba es mínimo, según las concesiones de uso del agua de la SENAGUA, están concesionados 3,1 m³/s en el río Machángara (2,1 m³/s Hidroelectricidad) y tan solo 0,7 m³/s en el río Guayllabamba.
- El principal impacto del río en las zonas aledañas, son los malos olores que emana el río. Dichos olores se acentúan en la época de lluvia.
- Los principales sectores afectados por el río Machángara son: El Calzado, El Recreo, La Villaflora, Santa Ana, El Sena, La Recoleta, Nueva Tola, Paluco, Las Orquídeas, El Guabo, San Pablo, Guápulo y Cumbayá. Con una población afectada de aproximadamente 63 686 personas.

- Con la actual calidad del agua del río Machángara no existen problemas significativos en el funcionamiento de la central hidroeléctrica de Nayón, por lo que un posible uso del agua es la generación de energía hidroeléctrica.

5.2 RECOMENDACIONES

- Es necesario implementar un Plan de Capacitación en la Gestión de Residuos Sólidos a los habitantes de las zonas aledañas a ríos y quebradas, para solucionar la presencia de basura sobre todo en el río Machángara.
- Para mitigar el impacto de malos olores en las zonas aledañas a los ríos, se pueden crear “Barreras Verdes” (árboles y arbustos), que además mejorarían el Paisaje.
- La presencia de nitratos y fosfatos en el agua del río se pueden considerar como nutrientes para el uso agrícola, sin embargo hay que realizar un estudio del grado de afectación que tendrían en los proyectos futuros en el río Guayllabamba de centrales hidroeléctricas con embalse.
- Una alternativa para el uso directo del agua de los ríos, es utilizando al suelo como un filtro biológico, por medio de la construcción de pozos que se recarguen con las aguas del río.
- Existe información limitada del río Guayllabamba por lo que es necesario implementar una red de monitoreo.
- Analizar más detalladamente las causas de la generación de malos olores en los ríos y sus posibles soluciones.
- Realizar una planta a escala de laboratorio, del tratamiento no convencional (ozonificación), para determinar las eficiencias específicas en las aguas del río Machángara.
- No permitir la construcción de viviendas en las zonas aledañas de ríos y quebradas, no solo por la posible presencia de malos olores sino por el riesgo de derrumbes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agencia Alemana de Cooperación (GTZ), (1991), Proyecto de Saneamiento del río Machángara.
2. Arias M., (2010), Estudio Hidrológico
3. Barajas M., (2002), Eliminación biológica de nutrientes en un reactor biológico secuencial.- Caracterización y estimulación de las fuentes de carbono del agua residual urbana, Universidad Politécnica de Cataluña.
4. Barrera M., (2010), Aplicación del modelo ISC- AERMOD para la estimación de Dispersión de olores. Caso estudio: Planta de tratamiento de Aguas servidas la Farfana, Universidad de Chile.
5. Bataller M., (2005), Determinación de Parámetros de Diseño Y Desinfección con Ozono de un Efluente Municipal, Centro de Investigaciones de Ozono, Cuba
6. Bell K., (2013), PAA- An alternative for wastewater Desinfection: Engineering and Cost Considerations, Water Environment Federation.
7. Bell K., Da Silva A., (2013), Innovations in Wastewater Desinfection Technology, CDM Smith.
8. Canter L., (1998), Manual de Evaluación de Impacto Ambiental, McGraw Hill, Madrid.
9. Carollo Engineers, (2012), City of Palo Alto Long Range Facilities Plan for the RWQCP.
10. Carrera G., (2011), 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, Escuela Politécnica del Ejército
11. Carrión X., (2004), Ozonólisis para el control de fenoles en aguas servidas y en efluentes de pinturas industriales, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador.

12. Chang Y., (2008), Evaluation of Dynamic Energy Consumption of advanced Water and Wastewater Treatment Technologies, Awwa Research Foundation.
13. CONAMA, Tecnología de Lodos Activados, Chile
14. EPA, (1999), Folleto Informativo de Tecnología de Aguas Residuales: Desinfección con Ozono, USA.
15. EPMAPS, (2011), Programa para la descontaminación de los ríos de Quito y del DMQ.
16. FICHTNER/Hidroestudios, (2009), Estudios de Factibilidad y Diseños Definitivos del Plan de Descontaminación de los ríos de Quito. Informe 1: Revisión de la Información Existente y Diagnóstico.
17. FICHTNER/Hidroestudios, (2009), Estudios de Factibilidad y Diseños Definitivos del Plan de Descontaminación de los ríos de Quito. Informe 3: Implementación de Modelos de Simulación y Formulación de Alternativas de Intercepción/tratamiento
18. Gélvez R., (2008), Metodología para estimar la tasa de reaeración con trazadores volátiles, Universidad Nacional de Colombia.
19. Gonzales A., Gilmer A., Foley R., Aplicación de los Sistemas de Información Geográficos en la Evaluación Ambiental Estratégica y su contribución a la toma de decisiones.
20. Gottschalk C., (2010), Ozonation of Water and Waste Water, Second Edition.
21. Huber Technology, (2013), Tamiz de finos HUBER ROTAMAT® RoMem, Madrid-España.
22. Janex M., (1999), Ozonation as a Wastewater Desinfection Process to Meet Reuse Standards
23. Janex M., (2000), Ozone for Urban Wastewater Desinfection: A new efficient Alternative Solution
24. Lahnsteiner J., Oxidationsverfahren in der Wasseraufbereitung und Abwasserreinigung, VA TECH WABAG

25. León G., (1995), Tratamiento de aguas residuales; objetivos y selección de Tecnologías en función al tipo de Reuso, CEPIS/OPS.
26. Madigan M., (1997), Biology of Microorganisms, Prentice Hall, USA
27. Muñoz M., (2005), Rehabilitación y Reforzamiento Puente Machángara
28. Ocampo A., (2013), Operación y Mantenimiento de Plantas de tratamiento de aguas residuales con el proceso de Lodos Activados, Comisión Estatal del Agua de Jalisco.
29. Paraskeva P., (2002), Ozonation of Municipal Wastewater Effluents
30. Pinto S., (2007), Valoración de Impactos Ambientales, INERCO, Sevilla.
31. Rodríguez J., (2010), Estudio comparativo de diferentes tecnologías de higienización de lodos de depuradora con fines para su reutilización, Universidad Politécnica de Madrid.
32. Rodríguez J., Tratamiento anaerobio de Aguas Residuales, Universidad el Valle, Colombia.
33. Roesner L., Monser J., Evenson D., (1977), User's Manual for Stream Quality Model (QUAL-II), U.S. Environmental Protection Agency.
34. Sarasti E., (2001), Determinación experimental de coeficientes de reaireación y otros parámetros hidráulicos en los ríos Machángara y Guayllabamba, Escuela Politécnica Nacional.
35. TULSMA (Texto unificado de legislación secundaria, medio ambiente) , (2003), Libro VI, Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes: Recurso Agua
36. Universidad del Valle, (2001), Modelación Matemática del río Cauca, Colombia.
37. US Army Corps of Engineers, (2010), User's Manual HEC-RAS River Analysis System

ANEXOS

ANEXO N° 1

REGISTRO FOTOGRÁFICO MUESTREOS

Registro fotográfico de los muestreos realizados el 26 de Junio; el 5, 8, 12, 22 y 23 de Julio y el 28 de Agosto del 2013.



Colector El Batán (Agua Residual)



Río Machángara (Puente El Sena)



Río Machángara (Guápulo)



Río Machángara (Cumbayá)



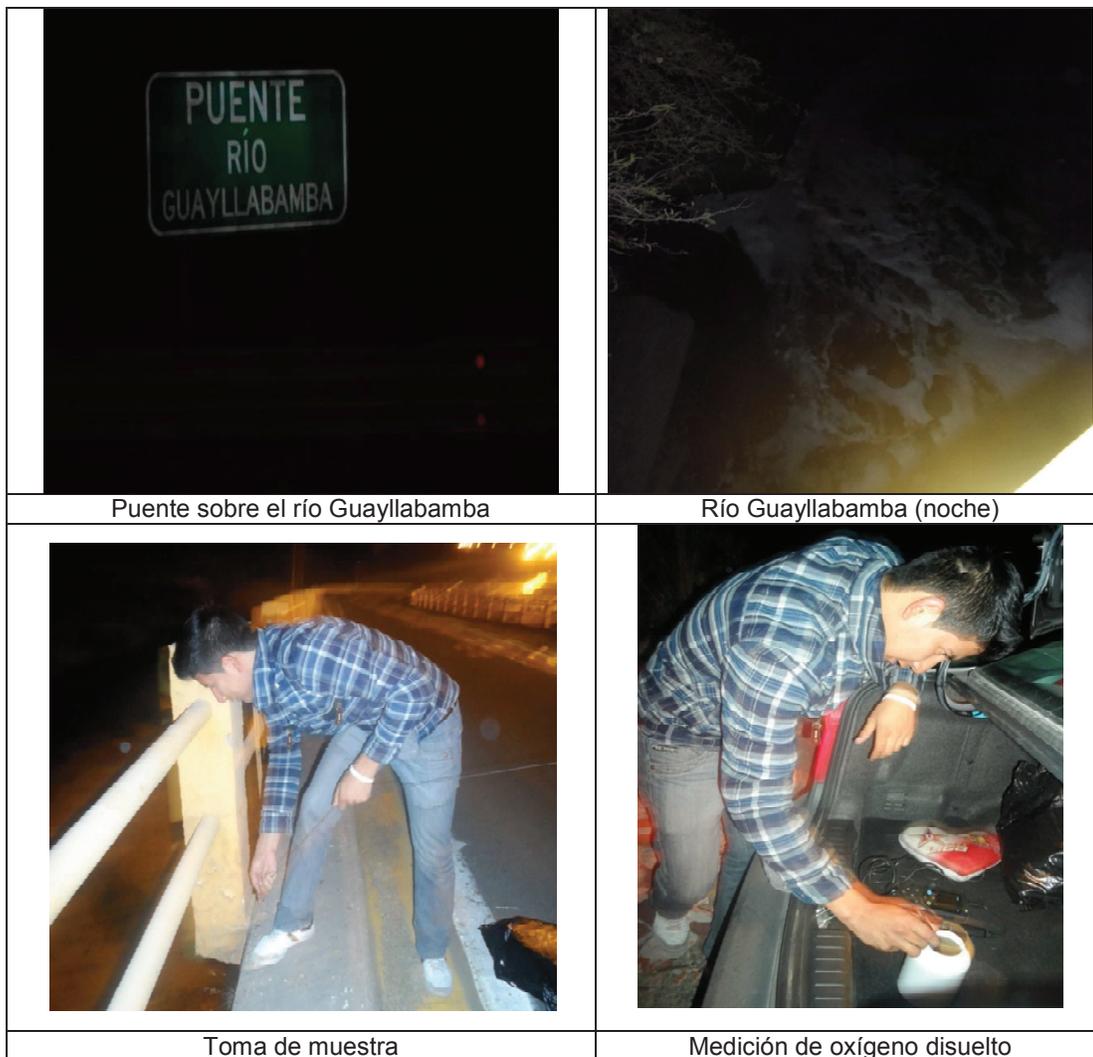
Río Machángara (San Francisco de Miravalle)



Río Guayllabamba (Puente Panamericana)

Elaborado por: Iván Reinoso

Registro fotográfico del muestreo realizado en la noche del 21 de Septiembre del 2013.



Elaborado por: Iván Reinoso

ANEXO N° 2

DATOS ESTACIONES DE MONITOREO

Para la determinación de la DBO₅ en los diferentes puntos, se utilizan datos de las estaciones de monitoreo de la EPMAPS del mes de julio (mes crítico) del año 2002 al 2007.

DBO₅ EL RECREO

Fecha	Caudal m ³ /s	Temperatura °C	DBO ₅ mg/l	DQO mg/l
2002-07-15	1,205	19,9	236	632
2002-07-16	1,587	19	369	736
2003-07-21	1,926	22,1	199	480
2003-07-22	2,276	15,8	149	320
2004-07-19	1,557	15,8	206	650
2004-07-20	1,511	15,4	120	442
2005-07-18	1,138	18,2	147	538
2005-07-19	1,099	14,5	80	366
2006-07-17	1,527	19,2	256	467
2006-07-18	2,214	13,4	169	322
2007-07-16		15,5	122	404
Promedio	1,604	17,2	187	487

DBO₅ VILLAFLORE

Fecha	Temperatura	DBO ₅	DQO
2002-07-16	16,2	154	165
2003-07-22	16,1	163	309
2005-07-19	16,7	101	377
2006-07-18	17,5	213	491
2007-07-16	16,4	138	391
Promedio	16,6	154	346,6

DBO₅ EL SENA

Fecha	Temperatura	DBO ₅	DQO
2002-07-16	18,1	176	481
2003-07-22	17,6	170	245
2004-07-20	15,2	114	484
2005-07-19	15,7	114	344
2006-07-18	14,6	176	395
2007-07-16	17,4	127	358
Promedio	16,4	146	384,5

DBO₅ EL TRÉBOL

Fecha	Temperatura	DBO ₅	DQO
2002-07-16	18,4	141	187
2003-07-22	16,1	177	331
2005-07-19	17,9	96	330
2006-07-18	19,5	159	394
2007-07-16	17,6	170	386
Promedio	17,9	148,6	325,6

DBO₅ LAS ORQUÍDEAS

Fecha	Temperatura	DBO ₅	DQO
2002-07-16	19,2	160	292
2003-07-22	18,3	157	426
2004-07-20	17	36	266
2005-07-19	17,6	63	321
2006-07-18	16	147	261
2007-07-16	18,3	188	366
Promedio	17,73333333	125,2	322

DBO₅ DJ. Q BATÁN

Fecha	Temperatura	DBO ₅	DQO
2002-07-16	20	106	170
2003-07-22	20,7	110	160
2004-07-20	17,9	89	408
2005-07-19	18,1	105	404
2006-07-18	20,4	215	453
2007-07-16	18,3	171	397
2007-07-17	15,7	79	210
Promedio	18,7285714	125	314,571429

DBO₅ R. MCH. EL TRASVASE

Fecha	Temperatura	DBO ₅	DQO
2002-07-16	14,7	84	112
2003-07-22	18	83	666
2004-07-20	19	66	317
2005-07-19	19,3	63	266
2006-07-18	21	168	374
2007-07-17	16,6	112	221
Promedio	18,1	96	326

DBO₅ SAN PEDRO AJ MACHÁNGARA

Fecha	Temperatura	DBO ₅	DQO
2002-07-17	21,7	100	225
2003-07-23	18,8	24	91
2005-07-20	20,3	6,4	26
2007-07-18	24,8	24	42
Promedio	21,4	38,6	96

DBO₅ NAYÓN, RSP AJ TURB

Fecha	Temperatura	DBO ₅	DQO
2002-06-19	21	4	45
2002-08-21	18,3	5	94
2003-07-22		17	85
2004-07-20		12	119
2006-07-18	21	169	237
Promedio	20,1	41,4	116

DBO₅ NAYÓN, D. TURBINA

Fecha	Temperatura	DBO ₅	DQO
2002-06-19	17,2	20	86
2002-07-17	21,4	7	26
2002-08-21	22,5	30	165
2003-07-22		45	155
2004-07-20		28	110
2006-07-18	20,5	77	197
2007-07-17	17,9	19	50
Promedio	19,9	32,3	112,714286

DBO₅ R.GY PUENTE PANAMERICANA

Fecha	Temperatura	DBO ₅	DQO
2002-07-18		16	215
2003-07-24	19,7	10	48
2004-07-22	20,3	10	94
2005-06-23	17,3	28	59
2005-07-21	16,8	22	39
2005-08-25	17,9	19	87
2007-06-21	15,7	42	104
2007-07-19	18,6	22	81
Promedio	18,0428571	21,1	90,875

Para la determinación del oxígeno disuelto se utilizarán los datos de los meses de junio, julio y agosto del 2006 y 2007, meses considerados de estiaje.

OD EL RECREO

Fecha	Temperatura	OD	CT (NMP/100ml)	CF (NMP/100ml)
2006-06-19	19,2	3,2	2,60E+07	9,10E+06
2006-06-20	19,1	1,9	2,80E+07	8,00E+06
2006-07-17	19,2	1,5	6,10E+07	1,80E+07
2006-07-18	13,4	3,1	6,50E+07	1,60E+07
2007-07-16	15,5	2,63	4,60E+07	1,80E+07
2007-08-20	16,4	2,78		
Promedio	17,1	2,52	4,52E+07	1,38E+07

OD EL SENA

Fecha	Temperatura	OD	CT (NMP/100ml)	CF (NMP/100ml)
2006-06-20	17,1	3,7	2,60E+07	8,20E+06
2006-07-18	14,6	4,2	4,60E+07	1,80E+07
2007-06-18	16,5	4,34	4,60E+07	2,00E+07
2007-07-16	17,4	4,34	5,90E+07	1,50E+07
2007-08-20	17,2	4,01		
Promedio	16,6	4,12	4,43E+07	1,53E+07

OD LAS ORQUÍDEAS

Fecha	Temperatura	OD
2003-06-17	14	5,67
2006-06-20	17,3	3,4
2006-07-18	16	2,7
2007-06-18	18,4	2,85
2007-07-16	18,3	2,97
2007-08-20	18,6	2,58
Promedio	17,100	3,36

OD R. MCH. EL TRASVASE

Fecha	Temperatura	OD	CT (NMP/100ml)	CF (NMP/100ml)
2006-06-20	18,3	7,2	4,10E+07	7,00E+06
2006-07-18	21	6,3	2,90E+07	7,00E+06
2007-06-19	16,2	7,03	1,50E+07	6,30E+06
2007-07-17	16,6	7,53	1,10E+07	1,10E+06
2007-08-21	16,9	6,97		
Promedio	17,8	7,01	2,40E+07	5,35E+06

OD SAN PEDRO AJ MACHÁNGARA

Fecha	Temperatura	OD
2006-06-21	13,5	7,1
2006-07-19	16,4	7,4
2007-06-20	22,4	5,73
2007-08-22	21	5,8
Promedio	18,325	6,51

OD NAYÓN, RSP AJ TURB

Fecha	Temperatura	OD
2006-06-20	19	6,3
2006-07-18	21	6,1
2007-06-19	18,2	6,8
2007-07-17	18,1	6,97
2007-08-21	18,4	6,5
Promedio	18,94	6,53

OD NAYÓN, D. TURBINA

Fecha	Temperatura	OD
2006-06-20	17,8	7
2006-07-18	20,5	6,8
2007-06-19	16,1	7,21
2007-07-17	17,9	6,53
2007-08-21	17,3	7,3
Promedio	17,92	6,97

OD R.GY PUENTE PANAMERICANA

Fecha	OD
2007-06-21	7,97
2007-07-19	7
2007-08-23	6,4
Promedio	7,123

ANEXO N° 3

RESULTADOS ENCUESTAS

ENCUESTA

1. Nombre: *Karen Vera*
2. Edad: *22 años*
3. Dirección exacta de la vivienda (Sector, Barrio, Calles, N° de casa):
Manuel Cajías N23-26 y la Condamine Sector Vicentino
4. Tiempo de Residencia en el sector: *2 años*
5. Piensa que su residencia ha sido afectada de alguna de las siguientes maneras por la cercanía del Río Machángara:

Malos olores	
Presencia de mosquitos	
Presencia de Roedores	
Daña el Paisaje entorno a su Residencia	
Otros _____	

6. Con que frecuencia se presentan los impactos señalados anteriormente:

Muy Frecuente	
Frecuente	
Rara vez	
_____	X

7. Como califica la intensidad del impacto (la mayoría de veces):

Alto	
Medio	
Bajo	
_____	X

8. Comentario u Aclaración

Siendo sincera en mi sector no me siento afectada por ninguno de los factores señalados.

ENCUESTA

1. Nombre: *Nelson Chaves Aguirre*
2. Edad: *44 años*
3. Dirección exacta de la vivienda (Sector, Barrio, Calles, N° de casa):
La Esleta N26-210y avenida de los Conquistadores, Guápulo
4. Tiempo de Residencia en el sector: *14 años*
5. Piensa que su residencia ha sido afectada de alguna de las siguientes maneras por la cercanía del Río Machángara:

Malos olores	<input checked="" type="checkbox"/>
Presencia de mosquitos	<input type="checkbox"/>
Presencia de Roedores	<input checked="" type="checkbox"/>
Daña el Paisaje entorno a su Residencia	<input type="checkbox"/>
Otros _____	<input type="checkbox"/>

6. Con que frecuencia se presentan los impactos señalados anteriormente:

Muy Frecuente	<input checked="" type="checkbox"/>
Frecuente	<input type="checkbox"/>
Rara vez	<input type="checkbox"/>
_____	<input type="checkbox"/>

7. Como califica la intensidad del impacto (la mayoría de veces):

Alto	<input checked="" type="checkbox"/>
Medio	<input type="checkbox"/>
Bajo	<input type="checkbox"/>
_____	<input type="checkbox"/>

8. Comentario u Aclaración

Sobre todo en época de lluvia se ocutia los malos olores.

ENCUESTA

1. Nombre: RICARDO CEDEÑO
2. Edad: 24 AÑOS
3. Dirección exacta de la vivienda (Sector, Barrio, Calles, N° de casa):
AUTONIO SIERRA Y VERDE CRUZ, SECTOR SAN PABLO CONDOMINIO BELALCAZAR, CASA II.
4. Tiempo de Residencia en el sector: 4 AÑOS
5. Piensa que su residencia ha sido afectada de alguna de las siguientes maneras por la cercanía del Río Machángara:

Malos olores	
Presencia de mosquitos	
Presencia de Roedores	
Daña el Paisaje entorno a su Residencia	
Otros _____	X

6. Con que frecuencia se presentan los impactos señalados anteriormente:

Muy Frecuente	
Frecuente	
Rara vez	X

7. Como califica la intensidad del impacto (la mayoría de veces):

Alto	
Medio	
Bajo	X

8. Comentario u Aclaración

EN REALIDAD HE NOTADO LA PRESENCIA DE MOSCAS PERO NO ESTOY SEGURO DE SU PROCEDENCIA, LA MAYORIA DE VECES HA SIDO POR LA DEGRADACION DE LA BASURA.

ENCUESTA

1. Nombre: Ximena Navarrete
2. Edad: 40
3. Dirección exacta de la vivienda (Sector, Barrio, Calles, N° de casa):
Las Encinas, Calle García y Luis Ruiz (frente a la iglesia)
4. Tiempo de Residencia en el sector: 10 años
5. Piensa que su residencia ha sido afectada de alguna de las siguientes maneras por la cercanía del Río Machángara:

Malos olores	<input checked="" type="checkbox"/>
Presencia de mosquitos	<input type="checkbox"/>
Presencia de Roedores	<input checked="" type="checkbox"/>
Daña el Paisaje entorno a su Residencia	<input type="checkbox"/>
Otros _____	<input type="checkbox"/>

6. Con que frecuencia se presentan los impactos señalados anteriormente:

Muy Frecuente	<input type="checkbox"/>
Frecuente	<input type="checkbox"/>
Rara vez	<input checked="" type="checkbox"/>
_____	<input type="checkbox"/>

7. Como califica la intensidad del impacto (la mayoría de veces):

Alto	<input type="checkbox"/>
Medio	<input type="checkbox"/>
Bajo	<input checked="" type="checkbox"/>
_____	<input type="checkbox"/>

8. Comentario u Aclaración

Los olores son fuertes en temporada de verano y
cuando sopla el viento

ENCUESTA

1. Nombre: María Fernanda Benítez
2. Edad: 27 años
3. Dirección exacta de la vivienda (Sector, Barrio, Calles, N° de casa):
Monjas, Ciudadela Orquídeas, Barrio Bolívar Rodríguez, Calle E12, casa 51-112 y calle A.
4. Tiempo de Residencia en el sector: 3 años
5. Piensa que su residencia ha sido afectada de alguna de las siguientes maneras por la cercanía del Río Machángara:

Malos olores	
Presencia de mosquitos	
Presencia de Roedores	
Daña el Paisaje entorno a su Residencia	
Otros _____	

6. Con que frecuencia se presentan los impactos señalados anteriormente:

Muy Frecuente	
Frecuente	
Rara vez	

7. Como califica la intensidad del impacto (la mayoría de veces):

Alto	
Medio	
Bajo	

8. Comentario u Aclaración

En el lugar donde resido no existe impacto palpable provocado por la cercanía al río Machángara.

ANEXO N° 4

RESULTADOS ANÁLISIS DE LABORATORIO



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL CENTRO DE INVESTIGACIONES Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (00593-2) 2 507 144 Ext.: 2623 • Telefax: (00593-2) 2 221 306 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicamepn@gmail.com
Quito – Ecuador



LABORATORIO
ENSAYOS
N° OAE LE 2C 04

INFORME DE RESULTADOS

Quito, 30 de julio de 2013

EMPRESA

Solicitado por: ING. MARCELO MUÑOZ

Atención:

Dirección: Urbanización María Gabriela

Identificación de la muestra (cliente): ninguna

Fecha de recolección: 22 de junio de 2013

Responsable de toma de muestra: cliente

No. IR131040

Ref. ST13213

Teléfono: 3340096

Fax:

Origen: colector El Batán

Tipo de muestra: puntual

Tipo de envase: plástico

Llegó refrigerada: no

Se utilizó preservante: no

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M-1040

Fecha de ingreso al Laboratorio: 22 de julio de 2013

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	***LÍMITE Alcantarillado	***LÍMITE Cauce de agua	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
*Tensoactivos (detergentes aniónicos)	mg/L	6,240	0,5	0,5	23/07/2013	APHA 5540 C Colorimétrico / Anionic Surfactants as MBAS (PE/CICAM/03)

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

*El Centro de Investigaciones y Control Ambiental está acreditado por el OAE en estos parámetros.

***Límites máximos permisibles por cuerpo receptor, según ordenanza 213, Tabla B.1: TODOS LOS SECTORES PRODUCTIVOS, EXCEPTUANDO AL SECTOR TEXTIL Y AL SECTOR DE BEBIDAS GASEOSAS, EMBOTELLADORAS CERVECERÍA.

Realizado por: Quim. Anita Lucía Velasco
RESPONSABLE TECNICO



Revisado por: Ing. Carola Fierro
DIRECTOR DE CALIDAD



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y CONTROL AMBIENTAL
 Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
 Tel.: (00593-2) 2 507 144 Ext.: 2623 • Telefax: (00593-2) 2 221 306 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicamepn@gmail.com
 Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 31 de julio de 2013

EMPRESA

Solicitado por: ING. MARCELO MUÑOZ

Atención:

Dirección: Urbanización María Gabriela

Identificación de la muestra (cliente): ninguna

Fecha de recolección: 23 de julio de 2013

Responsable de toma de muestra: cliente

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M-1051

Fecha de ingreso al Laboratorio: 23 de julio de 2013

No. IR131051

Ref. ST13219

Teléfono: 3340096

Fax: *3340096*

Origen: pozo junto al Río Guayllabamba

Tipo de muestra: puntual

Tipo de envase: plástico

Llegó refrigerada: no

Se utilizó preservante: no

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	***LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	***FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Coliformes fecales	NMP/100mL	3,6	600	25/07/2013	APHA 9222 D
Coliformes totales	NMP/100mL	2,4x10 ⁵	3000	23/07/2013	APHA 9222 C

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

***Límites máximos permisibles de acuerdo al Texto Unificado de Legislación Ambiental, Tabla 1 (para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional)

Anita Lucía Velasco

Realizado por: Quim. Anita Lucía Velasco
RESPONSABLE TECNICO



Carola Fierro

Revisado por: Ing. Carola Fierro
DIRECTOR DE CALIDAD



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL CENTRO DE INVESTIGACIONES Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (00593-2) 2 507 144 Ext.: 2623 • Telefax: (00593-2) 2 221 306 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicamepn@gmail.com
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 3 de septiembre de 2013

No. IR131232

EMPRESA

Ref. ST13260

Solicitado por: ING. MARCELO MUÑOZ

Atención:

Teléfono: 3340096

Dirección: Urbanización María Gabriela

Fax:

Identificación de la muestra (cliente): ninguna

Origen: Río Guayllabamba

Fecha de recolección: 28 de agosto de 2013

Tipo de muestra: puntual

Responsable de toma de muestra: cliente

Tipo de envase: plástico

Llegó refrigerada: no

Se utilizó preservante: no

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M-1232

Fecha de ingreso al Laboratorio: 29 de agosto de 2013

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	***LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	***FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Coliformes fecales	NMP/100mL	930	600	30/08/2013	APHA 9222 D
Coliformes totales	NMP/100mL	2400	3000	29/08/2013	APHA 9222 C

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

***Límites máximos permisibles de acuerdo al Texto Unificado de Legislación Ambiental, Tabla 1 (para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional)

Anita Lucía Velasco

Realizado por: Quim. Anita Lucía Velasco
RESPONSABLE TECNICO



Carola Fierro

Revisado por: Ing. Carola Fierro
DIRECTOR DE CALIDAD



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

CENTRO DE INVESTIGACIONES Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (00593-2) 2 507 144 Ext.: 2623 • Telefax: (00593-2) 2 221 306 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicamepn@gmail.com
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 2 de octubre de 2013

EMPRESA

Solicitado por: ING. MARCELO MUÑOZ

Atención:

Dirección: Urbanización María Gabriela

Identificación de la muestra (cliente): ninguna

Fecha de recolección: 21 de septiembre de 2013

Responsable de toma de muestra: cliente

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M-1373

Fecha de ingreso al Laboratorio: 23 de septiembre de 2013

No.IR131373

Ref. ST13293

Teléfono: 3340096

Fax:

Origen: río Machángara

Tipo de muestra: puntual

Tipo de envase: plástico

Llegó refrigerada: no

Se utilizó preservante: no

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	***LÍMITE Alcantarillado	***LÍMITE Cuerpo de agua dulce	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Coliformes fecales	NMP/100mL	24000		<3000	25/09/2013	APHA 9222 D
Coliformes totales	NMP/100mL	24000000			23/09/2013	APHA 9222 C
*Tensoactivos (detergentes aniónicos)	mg/L	2,621	2,0	0,5	27/09/2013	APHA 5540 C Colorimétrico / Anionic Surfactants as MBAS (PE/CICAM/03)

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

*El Centro de Investigaciones y Control Ambiental está acreditado por el OAE en estos parámetros.
***Límites máximos permisibles de acuerdo al Texto Unificado de Legislación Ambiental, Tablas 11 y 12

Anita Velasco

Realizado por: Quím. Anita Lucía Velasco
RESPONSABLE TECNICO



Carola Fierro

Revisado por: Ing. Carola Fierro
DIRECTOR DE CALIDAD