

# **ESCUELA POLITECNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE INGENIERIA**

### **ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL COLECTOR NORTE, EN LA CIUDAD DE PUYO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO  
AMBIENTAL**

**VERONICA PAULINA BARBECHO MARTÍNEZ  
CARMEN VERÓNICA BÓSQEZ GARCÍA**

**DIRECTOR: PROF. ING. MARCELO MUÑOZ**

**Quito, Febrero 2008**

## DECLARACION

Nosotras Verónica Barbecho y Verónica Bósquez, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra auditoria; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

---

Barbecho Verónica

---

Bósquez Verónica

## **CERTIFICACION**

Certifico que el trabajo fue desarrollado por Verónica Barbecho y Verónica Bósquez, bajo mi supervisión.

---

**PROF. ING. MARCELO MUÑOZ**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## AGRADECIMIENTOS

A Dios... por habernos dado la fortaleza, salud y la luz para recorrer nuestro camino a lo largo de estos años, para superar todas las dificultades y no renunciar a nuestro sueño.

A nuestros padres y hermanos... por haber sido un pilar fundamental para lograr nuestra meta.

Al Proyecto GLOWS que nos proporcionó el financiamiento económico para la realización de nuestra tesis y de manera muy especial a Elizabeth Anderson representante de GLOWS.

Al Señor Alcalde Oscar Ledesma, a los Ingenieros Fausto Espín y Javier Cuzme, y a todos los funcionarios del Municipio de Pastaza, por la apertura dada para la realización de nuestro proyecto en la Ciudad de Puyo, además de haber aportado con su experiencia y apoyo incondicional.

De manera muy especial al Ingeniero Marcelo Muñoz, por su sustento, paciencia, tiempo y guía, sobretodo por sus consejos de vida y amistad que nos ha dado.

Al Dr. Remigio Galárraga por su valioso aporte tanto como gestor para conseguir el proyecto como por sus conocimientos y experiencia brindados.

De igual forma al Ing. Luis Jaramillo y a la Dra. Ana Lucía Balarezo por sus valiosos aportes.

Expresamos además gratitud a todos nuestros profesores por habernos formado profesionalmente, con ética, honradez y respeto.

Al Ing. César Narváez por ser la persona que formó nuestra carrera y permitirnos cumplir con nuestro sueño.

Al Ing. Byron Arregui nuestro querido Super Zen Zei Saya Yin, por su cariño y paciencia para ayudarnos con la edición de nuestra tesis.

Además, queremos agradecer al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y a Fundación Natura, por facilitarnos la información necesaria y prestar su colaboración desinteresada.

A la Srta. Cristina por el cariño, amistad y cuidado que nos proporcionó en los años nuestra formación profesional.

A nuestras queridas amigas y compañeras Carla, Cata, Ceci, Diana y Majito, que junto a nosotras iniciaron la carrera de Ingeniería Ambiental, compartiendo los mismos anhelos y miedos, permitiéndonos formar parte de su vida y mostrarnos cada una algo nuevo y diferente que aprender; de igual manera aquellos que llegaron despuesito de nosotras Homer, Dani, Raúl (las “nenas masculinas”) por brindarnos su amistad, momentos de peleas, organización como carrera y dar un eje diferente a la misma.

A todos los ambientalitos por formar parte de esta gran familia por el empeño, ganas y corazón puesto, por ese gran espíritu de sacar siempre adelante a la carrera. De manera especial queremos reconocer el apoyo de Luís D. por habernos facilitado mucha de la bibliografía utilizada en esta investigación.

Agradecimientos especiales merecen: Francisco, Manu, Melly, Mary, Pato; por su amistad sincera y todos aquellos momentos compartidos.

## DEDICATORIA

A mis queridos padres Anita y Ángel, por ser mi mano amiga, mi refugio y mi apoyo; pero por sobretodo por confiar en mi y darme el amor y las pautas necesarias para forjarme un camino correcto.

A mis abuelitos Natividad y Carlos que han estado estos años conmigo y que me han brindado su cariño y apoyo.

A mi amiga y compañera de tesis Vero a quien guardo un profundo afecto por todo lo que ha sido en mi vida.

A Piedad porque gracias a ella también pude lograr mi meta.

A mis amigos incondicionales Andrés y Milton a quienes conozco desde el propedéutico y nunca han dejado de darme su amistad sincera.

A mi querido padrino Ing. Héctor Fuel, que ha sido un valioso aporte en mi existencia.

A mis amigas de siempre con quienes he compartido mis alegrías y tristezas, a las que aprecio y considero como un tesoro muy valioso: Majito, Catita, Carlita y Anita.

*Verónica Barbecho Martínez*

A mis padres, por la paciencia, apoyo incondicional e infinito amor brindado a lo largo de todos estos años de esfuerzo y lucha constante, sobre todo por haber puesto alas a mi vida y enseñarme a usarlas; los mejores padres: Alfonso y Alicia.

A mi abuluchis bella por ser como mi mamá, tener la paciencia, dedicarme su tiempo y ayudar a convertirme en la persona que ahora soy.  
Mariana

A mis cuatro hermanas por todos los momentos compartidos, por estar juntas y tener las palabras adecuadas en los momentos buenos y malos; Miry, Eby, Pao y Nena.

A esa persona travieza y comprensiva, que supo darle un giro total a mi vida llenándola de amor y paciencia; Francisco.

*Verónica Bósquez G.*

## CONTENIDO

DECLARACION .....	I
CERTIFICACION .....	II
AGRADECIMIENTOS .....	III
DEDICATORIA.....	V
LISTA DE TABLAS.....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.II</b>
LISTA DE FIGURAS .....	XV
TABLA DE ANEXOS .....	XVII
ABREVIACIONES Y SIGLAS.....	XVIII
RESUMEN.....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.X</b>
ABSTRACT.....	XXII
PRESENTACION .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.IV</b>
CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.2 OBJETIVOS .....	4
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
1.3 ALCANCE .....	4
1.4 DEFINICIONES.....	4



1.4.1	AGUAS PLUVIALES .....	4
1.4.2	AGUAS RESIDUALES .....	5
1.4.3	CAPACIDAD DE ASIMILACIÓN .....	5
1.4.4	CARGA PROMEDIO .....	5
1.4.5	CARGA MÁXIMA PERMISIBLE .....	5
1.4.6	CARGA CONTAMINANTE .....	5
1.4.7	CUERPO RECEPTOR O CUERPO DE AGUA.....	5
1.4.8	DEPURACIÓN.....	5
1.4.9	DESCARGAR .....	6
1.4.10	EFLUENTE .....	6
1.4.11	OXÍGENO DISUELTO.....	6
1.4.12	TRATAMIENTO CONVENCIONAL PARA EFLUENTES, PREVIA A LA DESCARGA A UN CUERPO RECEPTOR.....	6
1.4.13	TRATAMIENTO PRIMARIO .....	6
1.4.14	TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	6
1.5	UBICACIÓN Y ACCESO .....	7
CAPITULO 2 INVESTIGACION BIBLIOGRAFICA .....		9
2.1	INTRODUCCION.....	9
2.2	VARIACIONES DE LOS CONSTITUYENTES Y CAUDAL EN LA RED DE ALCANTARILLADO.....	9
2.3	CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	10
2.3.1	MICROORGANISMOS.....	11
2.3.2	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN.....	12
2.3.3	MATERIA ORGÁNICA .....	12
2.3.4	COMPONENTES INORGÁNICOS .....	13
2.3.5	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS .....	13
2.4	EFFECTO DE LOS CONTAMINANTES DEL AGUA RESIDUAL EN EL CUERPO RECEPTOR FRENTE LA AUTODEPURACION .....	14

2.5	PARÁMETROS PARA DESCARGA, ESTIPULADOS EN EL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA DEL MEDIO AMBIENTE .....	17
2.6	TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES .....	21
2.6.1	PROCESOS DE TRATAMIENTOS.....	21
2.6.1.1	...Procesos físicos	22
2.6.1.2	...Procesos biológicos	22
2.6.2	MÉTODOS DE TRATAMIENTO.....	24
2.6.3	MÉTODOS POR APLICACIÓN SUPERFICIAL AL TERRENO.....	25
2.6.4	SISTEMAS DE EMBALSES.....	27
2.6.5	SISTEMAS ANAEROBIOS (REACTORES) .....	28
2.6.6	SISTEMAS CON PLANTAS ACUÁTICAS.....	29
2.6.7	SISTEMAS DE TRATAMIENTO MEDIANTE HUMEDALES.....	30
	CAPITULO 3 METODOLOGIA.....	32
3.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	32
3.1.1	CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS .....	32
3.1.1.1	...Morfología	32
3.1.1.2	...Hidrología	32
3.2	CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS .....	32
3.2.1	PLUVIOSIDAD .....	33
3.2.2	TEMPERATURA.....	34
3.2.3	EVAPORACIÓN POTENCIAL .....	35
3.3	CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS .....	36
3.3.1.1	...Dinámica poblacional	36
3.3.1.2	...Crecimiento poblacional	36
3.3.2	EMIGRACIÓN.....	37
3.3.3	ASPECTOS SOCIALES .....	37
3.3.3.1	...Educación	37
3.3.3.2	...Salud	39
3.3.4	ASPECTOS ECONÓMICOS .....	39

3.3.4.1...Visión general de la economía	39
3.3.5 SERVICIOS BÁSICOS .....	40
3.4 PARAMETROS DE DISEÑO .....	40
3.4.1 POBLACIÓN DE DISEÑO .....	41
3.4.2 PERIODO DE DISEÑO .....	42
3.4.3 CAUDAL DE DISEÑO.....	43
3.4.3.1...Contribución per cápita de agua residual doméstica (CPARD)	43
3.4.4 CARGA ORGÁNICA (CO).....	43
3.5 PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS .....	45
3.5.1 ALTERNATIVA 1: PROPUESTA DEL DR. LAVIGNE: FOSA SÉPTICA + PANTANO SECO ARTIFICIAL (PULIDO Y LIJADO)+ LECHO DE JUNQUILLOS.....	45
3.5.1.1...Características de diseño de los PSA	46
3.5.1.2...Parámetros de análisis.	47
3.5.2 ALTERNATIVA 2: PRETRATAMIENTOS + REACTOR ANAEROBIO + LAGUNAS DE MADURACIÓN DE BAJO CALADO + GESTIÓN DE LODOS .....	51
3.5.2.1...DISEÑO	52
3.5.2.2...Parámetros de análisis.	56
3.5.3 ALTERNATIVA 3: PRETRATAMIENTOS + REACTOR ANAEROBIO + INFILTRACIÓN RÁPIDA + GESTIÓN DE LODOS .....	58
3.5.3.1...DISEÑO	58
3.5.4 ALTERNATIVA 4: PRETRATAMIENTOS + REACTOR ANAEROBIO + LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN CONVENCIONALES + GESTIÓN DE LODOS .....	59
3.5.4.1...DISEÑO	60
3.5.4.2...Parámetros de análisis.	62
3.5.5 ALTERNATIVA 5: PRETRATAMIENTOS + REACTOR ANAEROBIO + PANTANO ARTIFICIAL + GESTIÓN DE LODOS .....	64
3.5.5.1...DISEÑO	65
3.5.5.2...Parámetros de análisis.	67
3.5.6 RESUMEN DE LAS ALTERNATIVAS ANALIZADAS .....	70

3.6	CARACTERIZACIÓN DEL CUERPO RECEPTOR .....	73
3.6.1	CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL RÍO PUYO .....	73
3.6.2	ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DEL RÍO .....	74
	3.6.2.1...Caudales máximos y mínimos en el Río Puyo.	74
	3.6.2.2...Autodepuración de un río.	75
	3.6.2.3...Determinación de la autodepuración del Río Puyo.	81
	3.6.2.4...Gráficas de autodepuración del Río Puyo	86
CAPITULO 4 EVALUACION DE ALTERNATIVAS.....		88
4.1	INTRODUCCION .....	88
4.2	DECLARATORIA AMBIENTAL .....	89
4.2.1	VALORACIÓN DE IMPACTOS .....	89
4.2.2	METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS.....	89
4.2.3	SIGNIFICANCIA DE LOS IMPACTOS.....	91
4.2.4	FACTORES AMBIENTALES.....	92
4.2.5	ACCIONES ANALIZADAS.....	92
4.2.6	IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS.....	93
	4.2.6.1...Impactos sobre el medio físico	93
	4.2.6.2...Impactos sobre el medio biótico	94
	4.2.6.3...Impacto sobre el componente socioeconómico	94
	4.2.6.4...Impacto sobre la estética y paisaje	95
4.2.7	EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS .....	96
	4.2.7.1...Alternativa sin proyecto.	96
	4.2.7.2...Alternativa 1	97
	4.2.7.3...Alternativa 2.	100
	4.2.7.4...Alternativa 3.	104
	4.2.7.5...Alternativa 4.	104
	4.2.7.6...Alternativa 5.	107
CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		110
5.1	CONCLUSIONES.....	110

5.2	RECOMENDACIONES .....	114
	CAPITULO 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	115
	ANEXOS.....	118

## LISTA DE TABLAS

TABLA 2.1.- COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICA NO TRATADA. ....	14
TABLA 2.2.- LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE .....	17
TABLA 2.3.- CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA FLORA Y FAUNA EN AGUAS DULCES, FRÍAS O CÁLIDAS. ....	18
TABLA 2.4.- CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA AGUAS DE USO AGRÍCOLA .....	19
TABLA 2.5.- CRITERIOS DE CALIDAD PARA AGUAS DESTINADAS PARA FINES RECREATIVOS (CONTACTO PRIMARIO) .....	20
TABLA 2.6.- CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA FINES RECREATIVOS MEDIANTE CONTACTO SECUNDARIO .....	20
TABLA 2.7.- CARACTERÍSTICAS DE EMPLAZAMIENTO PARA DEPURACIÓN MEDIANTE APLICACIÓN AL TERRENO.....	26
TABLA 2.8.- COMPARACIÓN DE LA CALIDAD ESPERADA DEL AGUA TRATADA PROCEDENTE DE PROCESOS DE APLICACIÓN AL TERRENO .....	26
TABLA 3.1.- PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL DE PUYO.....	33
TABLA 3.2.- TEMPERATURA MEDIA ANUAL DE PUYO .....	34
TABLA 3.3.- EVAPORACIÓN POTENCIAL MEDIA ANUAL .....	35

TABLA 3.5.- COBERTURA DE SERVICIOS (2001).....	40
TABLA 3.6.- CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	41
TABLA 3.7.- COSTOS DE LA ALTERNATIVA 1 .....	49
TABLA 3.8.- COSTOS DE LA ALTERNATIVA 2.....	57
TABLA 3.9.- COSTOS DE LA ALTERNATIVA 4.....	63
TABLA 3.10.- COSTOS DE LA ALTERNATIVA 5.....	69
TABLA 3.11.- RESUMEN ALTERNATIVAS ANALIZADAS.....	71
TABLA 3.12.- CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PUYO.....	73
TABLA 3.13.- CUMPLIMIENTO DE LA NORMA TÉCNICA (TULAS) DE LAS AGUAS DEL RÍO PUYO.....	74
TABLA 3.14.- CAUDALES DEL RIO PUYO (M <sup>3</sup> /S).....	76
TABLA 3.15.- DÉFICIT DE OXÍGENO DEL RÍO PUYO.....	86
TABLA 4.1.- VALORES DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS IMPACTOS.....	90
TABLA 4.3.- FACTORES AMBIENTALES .....	92

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1.- DESCARGA DE LAS AGUAS RESIDUALES A LOS CUERPOS HÍDRICOS.....	3
FIGURA 1.2.- MAPA DE UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	8
FIGURA 2.1.- VARIACIONES HORARIAS EN LA CONCNTRACIÓN DE DBO Y SST EN LAS REDES DE ALCANTARILLADO.....	11
FIGURA 2.2.- EFECTOS DE LA DESCARGA ORGÁNICA SOBRE UN RÍO Y SU RECUPERACIÓN.....	15
FIGURA 2.3.- POBLACIONES Y DIVERSIDAD DE ORGANISMOS AGUAS ABAJO DE UN VERTIDO ORGÁNICO. ....	16
FIGURA 3.1.- PRECIPITACIÓN MEDIA ANUALDE PUYO.....	33
FIGURA 3.2.- TEMPERATURA MEDIA ANUAL DE PUYO .....	34
FIGURA 3.3.- EVAPORACIÓN MEDIA ANUAL .....	35
FIGURA 3.4.- CRECIMIENTO POBLACIONAL DEL CANTÓN PASTAZA .....	37
FIGURA 3.5.- BDO Y GRADO DE DILUCIÓN .....	44
FIGURA 3.6.- ESQUEMA DE LA ALTERNATIVA DE PANTANOS SECOS ARTIFICIALES (PSA).....	47
FIGURA 3.7- ESQUEMA DE LA ALTERNATIVA 2 PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL .....	52



FIGURA 3.8.- ESQUEMA REPRESENTATIVO DE LA ALTERNATIVA 3 DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	59
FIGURA 3.9.- ESQUEMA DE LA ALTERNATIVA 4 PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL .....	61
FIGURA 3.10.- ESQUEMA DE LA ALTERNATIVA 5 PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL .....	67
FIGURA 3.11.- CURVA DE LA DBO .....	78
FIGURA 3.12.- CURVAS DE AUTODEPURACIÓN DEL RÍO PUYO.....	86
FIGURA 4.1.- AFECTACIÓN DE LOS FACTORES AMBIENTALES SIN PROYECTO .....	97
FIGURA 4.2.- AFECTACION TOTAL POR FACTOR DE LA ALTERNATIVA 1 ...	98
FIGURA 4.3.- AFECTACION TOTAL POR ACTIVIDAD DE LA ALTERNATIVA	199
FIGURA 4.4.- SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS DE LA ALTERNATIVA 1.....	100
FIGURA 4.5.- AFECTACION TOTA POR FACTOR DE LA ALTERNATIVA 2..	101
FIGURA 4.6.- AFECTACION TOTALPOR FACTOR DE LA ALTERNATIVA 2..	102
FIGURA 4.7.- SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS DE LA ALTERNATIVA 2.....	103
FIGURA 4.8.- AFECTACION TOTAL POR FACTOR DE LA ALTERNATIVA 4 .	106
FIGURA 4.9.- AFECTACION TOTAL POR ACTIVIDADES DE LA ALTERNATIVA 4 .....	106
FIGURA 4.10.- SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS DE LA ALTERNATIVA 4.....	107

FIGURA 4.11.- AFECTACION TOTAL POR FACTOR DE LA ALTERNATIVA 5 .....	108
FIGURA 4.12.- AFECTACION TOTAL POR ACTIVIDADES DE LA ALTERNATIVA 5 .....	109
FIGURA 4.13.- SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS DE LA ALTERNATIVA 5.....	109

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO N° 1: AREA APORTANTE DEL COLECTOR NORTE DE LA CIUDAD DE PUYO .....	119
ANEXO N° 2: PRECIOS REFERENCIALES DE MATERIALES, SEGÚN LA EMAAP-Q Y LA CÁMARA DE CONSTRUCCIÓN DE QUITO.....	121
ANEXO N° 3: DATOS DE LA ESTACIÓN HIDROLÓGICA H798.- PASTAZA AJ. ENCANTO (INAMHI) .....	132
AREAS APORTANTES PARA LA DETERMINACIÓN DE CAUDALES DEL RÍO PUYO .....	134
ANEXO N° 4: MATRICES DE IDENTIFICACIÓN, EVALUACIÓN Y SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS, PARA LA ALTERNATIVA 1 ...	136
ANEXO N° 5: MATRICES DE IDENTIFICACIÓN, EVALUACIÓN Y SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS, PARA LA ALTERNATIVA 2 ...	144
ANEXO N° 6: MATRICES DE IDENTIFICACIÓN, EVALUACIÓN Y SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS, PARA LA ALTERNATIVA 4 ...	154
ANEXO N° 7: MATRICES DE IDENTIFICACIÓN, EVALUACIÓN Y SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS, PARA LA ALTERNATIVA 5 ...	164

## ABREVIACIONES Y SIGLAS

COT= Carbono Orgánico Total

CT= Carbono Total.

CPARD= Contribución Percápita de Agua Residual Doméstica.

CO= Carga Orgánica.

DBO<sub>5</sub>= Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días.

DBO<sub>U</sub>= Demanda Bioquímica de Oxígeno última.

DQO= Demanda Química de Oxígeno.

INEC= Instituto Nacional de Censos.

INAMNI= Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

LS= Carga orgánica Superficial.

LSmax= Carga Orgánica máxima.

NTU=Unidades Nefelométricas de Turbidez.

OD= Oxígeno Disuelto.

PSA= Pantanos Secos Artificiales.

SS= Sólidos Suspendidos.

SST= Sólidos Suspendidos Totales.

SIISE= Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador.

$\gamma$ = Peso Específico.

## RESUMEN

Las aguas residuales urbanas representan un potencial peligro de contaminación. Este problema básicamente es debido a las actividades antrópicas resultado de la expansión humana en las ciudades.

En el presente trabajo se analizan cinco alternativas a nivel de prefactibilidad, para el tratamiento de las aguas residuales en la Ciudad de Puyo, evaluadas desde el punto de vista técnico, ambiental y socioeconómico.

La alternativa uno está conformada por seis tanques sedimentadores, doce pantanos secos de pulido y de lijado y tres reeds beeds. La alternativa dos comprende pretratamientos, tres reactores anaerobios más una laguna de maduración de bajo calado y tres lechos de secado. La alternativa tres está compuesta por pretratamientos, tres reactores anaerobios más infiltración rápida en el suelo y tres lechos de secado. La cuarta opción tiene los siguientes elementos, tres reactores anaerobios, con cuatro lagunas convencionales y tres lechos de secado y como última alternativa se presentan tres reactores anaerobios, más tres pantanos artificiales y tres lechos de secado.

La caracterización de las aguas del Río Puyo, arrojó como resultado un buen cumplimiento de la Norma Ambiental Ecuatoriana especificado en el Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), sin embargo el único parámetro que sobrepasa ligeramente la norma, es el valor de la  $DBO_5$  con un valor 40%.

Además, se analizan las curvas de concentración de oxígeno disuelto del proceso de autodepuración del Río puyo, con tres condicionantes: la primera es descargando el agua residual al Río sin ningún tratamiento, la otra es descargar un efluente bajo norma de tal manera que el oxígeno disuelto en el Río sea de 4.6 mg/l, para lo cual es necesario un sistema de tratamiento con una eficiencia del

70% (esto se logra con un reactor anaerobio) y la última es enviar una descarga al Río Puyo con una eficiencia del 85% de depuración que se consigue con el sistema de lagunas de bajo calado.

Finalmente para la evaluación socioeconómica y ambiental se utilizó una matriz de causa-efecto, también conocida como matriz de Leopold Modificada, calificando actividades como: localización, construcción, mantenimiento, eficiencia, operación y gestión de lodos, luego de lo cual se concluye que la mejor opción para el tratamiento de aguas residuales en el Río Puyo, es la segunda alternativa.

## ABSTRACT

Urban waste waters represent a potential risk of contamination. This problem is basically due to anthropogenic activities result of the expansion in human cities. The present evaluation analyzes five alternatives of pre-feasibility level for the treatment of wastewaters at the city of Puyo; the evaluation was made from a technical, environmental and social-economic point of view.

The first alternative consists of six settlers tanks, twelve dry polishing and sandingmarshes, and three reeds beds. The second alternative includes pre-treatments, three anaerobic reactors plus a low draught maturation lagoon and three drying beds; The third alternative is composed of pre-treatments, three anaerobic reactors plus faster infiltration in the soil and three drying beds; The fourth alternative is composed by the following elements: three anaerobic reactors including four conventional lagoons and three drying beds ; and the last alternative includes three anaerobic reactors plus three artificial marshs and three drying beds.

The waters characterization of Puyo river, resulted in a good performance of the Ecuadorian Environmental Standard, which are specified in the Unified Secondary Environmental Legislation Text (TULAS), although there is only one parameter which slightly exceeds the norm, which is the value of DBO5 with 40%.

In addition, we analyze dissolved oxygen concentration curves in the process of self-purification of Puyo River with three conditions: the first is discharging wastewaters from the River without any treatment, the second one is to download a low effluent standard so that the oxygen dissolved in the river is 4.6 mg / l, which requires a treatment system with an efficiency of 70% (this is accomplished with an anaerobic reactor) and the latter is to send a water discharge to Puyo River

with a purification efficiency of 85 % which is achieved by the system of low draught lagoons.

Finally for the socio-economic and environmental assessment, a cause and effect matrix was used, also known as Leopold Modified matrix, qualifying activities such as: location, construction, maintenance, efficiency, operation and management of sludge, after which it is concluded that the best option for the treatment of sewage at Puyo River, is the second alternative.



## **PRESENTACION**

El Gobierno Municipal de la Ciudad de Puyo, conciente de su responsabilidad con el medio ambiente y buscando declarar a la Provincia de Pastaza como Patrimonio Natural de la Humanidad, está inquiriendo una posible solución al problema de contaminación de las aguas superficiales que atraviesan la ciudad, como es el Río Puyo, debido a las descargas sin tratamiento de las aguas residuales sobre el mismo.

Este trabajo está constituido por cinco capítulos; los dos primeros dan a conocer los justificativos, alcance, objetivos del trabajo, ubicación de la zona y lineamientos teóricos del tratamiento de las aguas residuales domésticas, respectivamente.

En el tercer, se da a conocer la metodología aplicada para definir el prediseño de las alternativas, definiéndose cinco posibles soluciones para la depuración de las aguas residuales de la ciudad de Puyo. Además, se dan parámetros para la evaluación y análisis de las mismas.

En el cuarto capítulo se presenta la evaluación de las cinco alternativas, desde el punto de vista técnico, ambiental, social y económico; estableciéndose criterios positivos y negativos de las mismas. Para la evaluación se utilizó la matriz de Leopold modificada, escogiéndose los factores ambientales del área del proyecto y las actividades que generan o podrían generar impactos a los factores analizados.

En el quinto capítulo se presenta las conclusiones del proyecto y las recomendaciones derivadas del análisis final de las diferentes alternativas evaluadas.

## **CAPITULO 1**

### **INTRODUCCIÓN**

Una de las problemáticas medioambientales más importantes a nivel mundial es la contaminación de los ríos por vertidos de aguas residuales domésticas, que son descargados en los sitios más cercanos como son los cuerpos hídricos.

Mauren Ballesteros en una entrevista a la BBC, afirma que América Latina es una región rica en agua, que cuenta con las mayores reservas hídricas del mundo, esto no quiere decir que se haya sabido aprovechar el recurso de manera eficiente. De hecho, es mucha el agua que se ha perdido y su calidad deja mucho que desear.

Los ríos en nuestro país se han convertido en cloacas, donde se acumulan los desechos sólidos y donde se vierten las aguas residuales sin tratar., siendo esta una de las causas del deterioro de la calidad de vida de millones de habitantes de la región. Revertir esta situación, según Ballesteros, cuesta cantidades enormes de dinero a las economías de los países latinoamericanos [1].

El impacto y los riesgos que esto tiene en la salud y el medio ambiente son muy grandes, por ello se deben buscar mecanismos que ayuden a resolver esta problemática, construyendo sistemas de tratamiento de aguas que tengan una evaluación técnica, social, ambiental y económica, que logren ayudar a resolver estos inconvenientes.

Ecuador tiene pocas ciudades con sistemas de tratamiento de aguas residuales, como: Portoviejo, Jipijapa, Shushufindi y Cuenca, la mayoría de ellas son pequeñas a excepción de Cuenca que es la tercera ciudad más grande del país.

En el país, en las ciudades de menor población, algunos parámetros que repercuten para contribuir con efluentes de mala calidad sobre el medio ambiente son: falta de planificación, escasa o inexistente legislación para descargas líquidas, falta de personal técnico especializado, pocos recursos económicos y una mala gestión en la construcción y explotación de plantas de depuración, lo cual puede producir deterioros en el medio ambiente.

Hoy en día el Gobierno Municipal de la Ciudad de Puyo, conciente de su responsabilidad con el medio ambiente y buscando declarar a la Provincia de Pastaza como Patrimonio Natural de la Humanidad, está inquiriendo una posible solución al problema de contaminación de las aguas superficiales que atraviesan la ciudad, solución que no genere complicaciones ambientales y sociales.

## **1.1 JUSTIFICACIÓN**

Pastaza es la Provincia más grande de Ecuador (en área) y la más rica en biodiversidad, lo cual constituye una excelente oportunidad para el turismo en la selva tropical, aproximadamente el 95% de la flora provincial es bosque húmedo tropical, debido a la pluviosidad anual que varía entre 2.000 y 4.000 milímetros [2].

La ciudad de Puyo es la capital provincial de Pastaza con una población aproximada de 32.000 habitantes en el año 2007, actualmente tiene un gran potencial de crecimiento urbano y turístico. La ciudad esta compuesta por tres sectores: el norte, el centro y el sur, que poseen sistemas de alcantarillado combinados y separados. Las áreas de asentamiento más antiguas (en especial el centro y sus alrededores) cuentan con el sistema de alcantarillado combinado, mientras que las zonas de reciente creación (a partir de 1990) poseen sistemas separados.

Desde su creación, las aguas residuales de la ciudad han sido y siguen siendo vertidas directamente al Río Puyo y al Río Pindo Grande, como se identifica en las fotografías (figura 1.1), lo que ha generado problemas de contaminación de las

aguas en éstos ríos, deteriorando su calidad y afectando a los usos aguas abajo, tales como consumo humano y uso doméstico, preservación de flora y fauna, agrícola, pecuario, y recreativo (por contacto directo e indirecto).

Actualmente la ciudad tiene instalados dos colectores interceptores de aguas combinadas (residuales y pluviales), uno al norte que vierte las aguas al Río Puyo y otro al sur que descarga al Río Pindo Grande, los cuales fueron parte de una propuesta de depuración de las aguas que consistía en la implementación de dos plantas de tratamiento con pantanos secos artificiales ubicadas al final de dichos colectores.

Con esto se puede ver que la Municipalidad tiene interés para sanear las aguas de los ríos que cruzan la ciudad; sin embargo estos proyectos no han podido ser implementados.

Por lo tanto este proyecto pretende dar una solución a las aguas residuales recolectadas por el colector norte, y que son descargadas directamente al Río Puyo. Se espera que el mismo sirva como plan piloto para que a futuro se implemente el tratamiento de las aguas del colector NORTE.

#### **FIGURA 1.1.- DESCARGA DE LAS AGUAS RESIDUALES A LOS CUERPOS HÍDRICOS.**



## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo general**

- Definir las mejores alternativas desde el punto de vista técnico, social ambiental y económico, para el tratamiento de las aguas residuales del colector Norte descargadas al Río Puyo.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Definir el área de aporte de agua residual para el tratamiento.
- Determinar las características físico- químicas de las aguas residuales.
- Analizar las condiciones climáticas de la zona.
- Evaluar las alternativas de depuración de aguas.
- Definir la alternativa óptima de tratamiento desde el punto de vista técnico, social ambiental y económico.

## **1.3 ALCANCE**

El presente trabajo evaluará a nivel de pre-factibilidad algunas alternativas para el tratamiento de aguas residuales descargadas en el Río Puyo provenientes del colector Norte, analizando para el efecto los aspectos técnicos, económicos, ambientales y sociales.

## **1.4 DEFINICIONES**

### **1.4.1 Aguas pluviales**

Aquellas que provienen de lluvias, se incluyen las que provienen de nieve y granizo.

#### **1.4.2 Aguas residuales**

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original.

#### **1.4.3 Capacidad de asimilación**

Propiedad que tiene un cuerpo de agua para recibir y depurar contaminantes sin alterar sus patrones de calidad, referido a los usos para los que se destine.

#### **1.4.4 Carga promedio**

Es el producto de la concentración promedio por el caudal promedio, determinados para un sitio determinado

#### **1.4.5 Carga máxima permisible**

Es el límite de carga que puede ser aceptado en la descarga a un cuerpo receptor o a un sistema de alcantarillado.

#### **1.4.6 Carga contaminante**

Cantidad de un contaminante aportada en una descarga de aguas residuales, expresada en unidades de masa por unidad de tiempo.

#### **1.4.7 Cuerpo receptor o cuerpo de agua**

Es todo río, lago, laguna, aguas subterráneas, cauce, depósito de agua, corriente, zona marina, estuarios, que sea susceptible de recibir directa o indirectamente la descarga de aguas residuales.

#### **1.4.8 Depuración**

Es la remoción de sustancias contaminantes de las aguas residuales para disminuir su impacto ambiental.

#### **1.4.9 Descargar**

Acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor o a un sistema de alcantarillado en forma continua, intermitente o fortuita.

#### **1.4.10 Efluente**

Líquido proveniente de un proceso de tratamiento, proceso productivo o de una actividad.

#### **1.4.11 Oxígeno disuelto**

Es el oxígeno libre que se encuentra en el agua, vital para las formas de vida acuática y para la prevención de olores.

#### **1.4.12 Tratamiento convencional para efluentes, previa a la descarga a un cuerpo receptor.**

Es aquel que está conformado por tratamiento primario y secundario, incluye desinfección.

#### **1.4.13 Tratamiento primario**

Contempla el uso de operaciones físicas tales como: Desarenado, mezclado, floculación, flotación, sedimentación, filtración y el desbaste (principalmente rejas, mallas, o tamices) para la eliminación de sólidos en suspensión, sedimentables y flotantes presentes en el agua residual.

#### **1.4.14 Tratamiento secundario**

Contempla el empleo de procesos biológicos y químicos para remoción principalmente de compuestos orgánicos biodegradables y sólidos suspendidos.

Estas definiciones fueron tomadas del TULAS (Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Medio Ambiente, 2003).

## 1.5 UBICACIÓN Y ACCESO

La ciudad de Puyo es cabecera cantonal de la Provincia de Pastaza y está situada al oeste de la misma, tiene una extensión de 104 Km<sup>2</sup>, por tanto concentra todas las dependencias del gobierno (Gobernación, Consejo Provincial, dependencias de los distintos Ministerios), se encuentran organizaciones indígenas y campesinos, que trabajan no sólo en la provincia sino en el resto de la Amazonía.

Según Ledesma (2004) los límites son:

- Al Norte: Parroquia Fátima
- Al Sur: Parroquias Tarqui y Madre Tierra.
- Al Este: Parroquias Diez de Agosto y Veracruz.
- Al Oeste: Parroquia Shell.

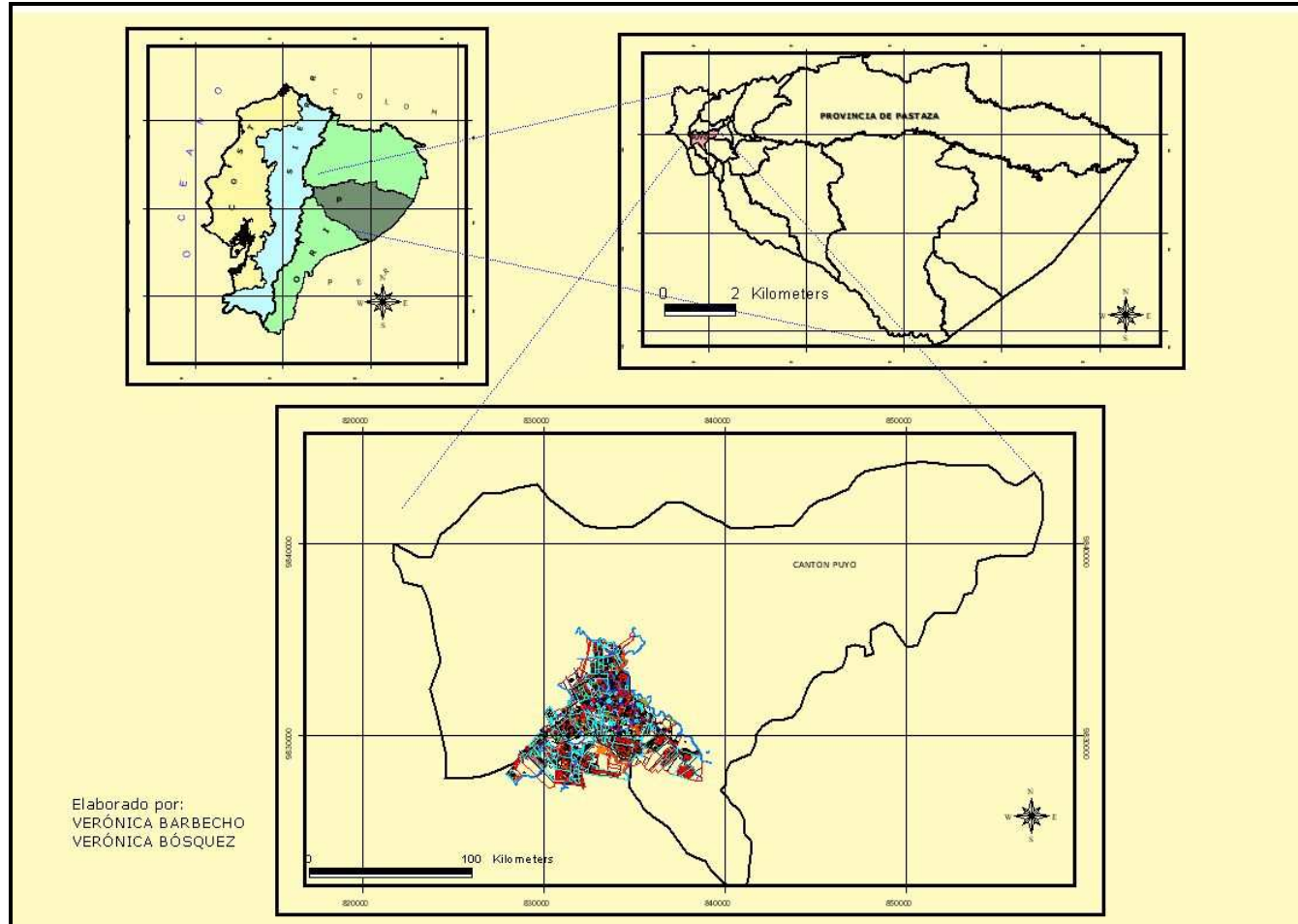
Las principales vías para llegar al Puyo, desde la Capital del Ecuador (Quito), la constituyen las vías: Quito- Ambato-Baños- Puyo y las vía Quito-Baeza-Tena-Puyo. Con la carretera Puyo- Baños, la población puede conectarse con Ambato y desde allí con Guayaquil, Quito y Cuenca.

Desde Puyo se puede acceder a varias de las capitales de las provincias amazónicas por las carreteras marginales de la ciudad, como las carreteras Puyo-Macas y Puyo-Tena, aunque al momento se encuentran en malas condiciones.

En la figura 1.2, se presenta un mapa de ubicación general de la zona de estudio, en función de la división territorial.



**FIGURA 1.2.- MAPA DE UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**



## **CAPITULO 2**

### **INVESTIGACION BIBLIOGRAFICA**

#### **2.1 INTRODUCCION**

En el transcurso de la historia las aguas residuales se han considerado como un problema ambiental y de salud pública, las mismas que deben eliminarse de la forma menos costosa y ofensiva posible, lo cual equivalía a emplear sistemas de disposición final en el sitio y de descarga directa a cuerpos de agua superficiales, sin tratamiento alguno. En el siglo pasado y en la actualidad se reconoce que estas formas de resolver el problema de las aguas residuales tienen efectos indeseables sobre el medio ambiente.

Todo esto a provocado que en la actualidad se tenga diversidad de técnicas de sistemas de tratamiento de aguas residuales, las mismas que son el tema central de este capítulo, en el cual se da a conocer de manera resumida algunos de los sistemas de depuración de aguas residuales y sus principios de funcionamiento.

#### **2.2 VARIACIONES DE LOS CONSTITUYENTES Y CAUDAL EN LA RED DE ALCANTARILLADO.**

La capacidad de un sistema de tratamiento normalmente se estima en base al caudal diario promedio correspondiente al periodo de diseño, sin embargo debe tomarse en cuenta para el diseño condiciones críticas de operación causadas por variaciones de caudal, incorporación de aguas lluvias, concentración de contaminantes y combinaciones de éstos (carga másica), caudales pico y cargas pico de contaminantes en los diversos procesos de tratamiento (Tchobanoglous, 2000).

Según Crites y Tchobanoglous (2000), las causas principales por las cuales se generan las variaciones en las concentraciones de los constituyentes de las aguas residuales son:

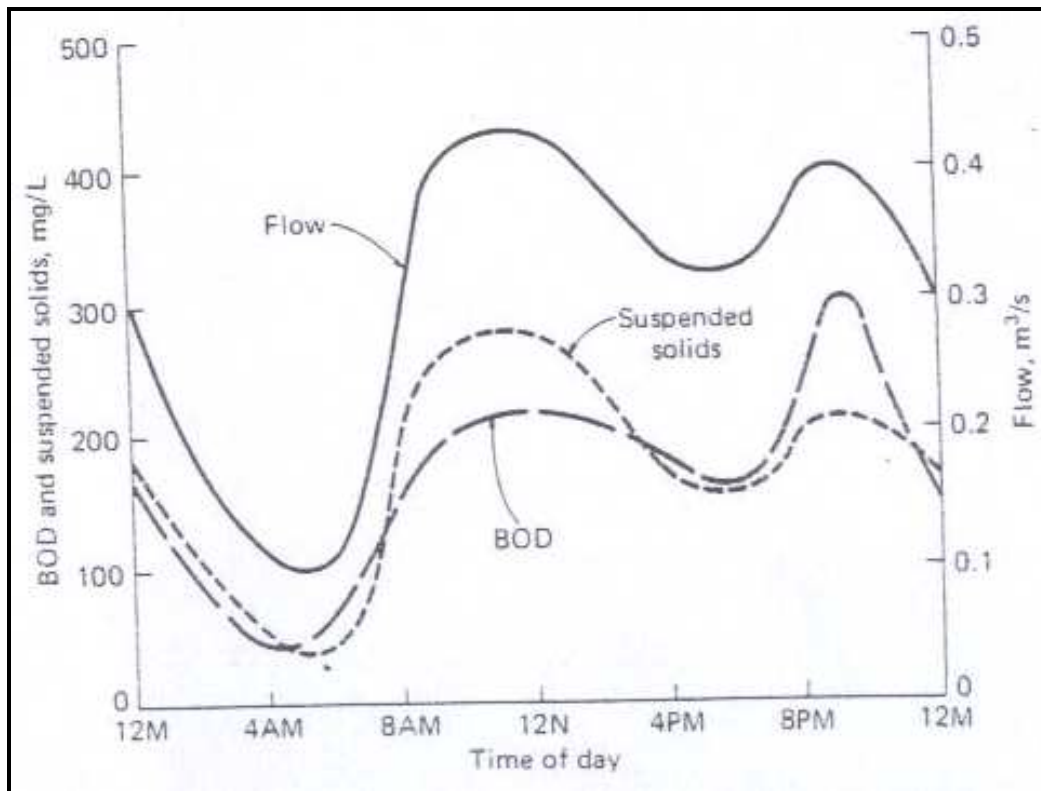
- Costumbres de la población, producen variaciones a corto plazo (horario, diario y semanal).
- Condiciones relacionadas con las estaciones, que producen variaciones a corto y largo plazo.
- Descargas de origen diferente al doméstico, las mismas que pueden generar variaciones tanto de corto como de largo plazo por ejemplo aguas lluvias.

La presencia de aguas de infiltración y las fugas en la red de alcantarillado genera descensos en la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y los sólidos suspendidos totales (SST). Por otro lado tanto en sistemas de alcantarillado combinado como separados, las variaciones en la concentración de DBO y SST como consecuencia de las estaciones, son función de la cantidad de agua de escorrentía que ingresa al sistema. El agua residual proveniente de sistemas combinados contiene, por lo general, menor concentración de materia orgánica debido a la mayor dilución que ocurre por el ingreso de aguas lluvias al sistema, respecto al agua transportada en redes sanitarias. Las variaciones horarias típicas del agua residual doméstica se pueden apreciar en la figura 2.1.

### **2.3 CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES**

Las aguas residuales son una mezcla de agua (99%) y contaminantes orgánicos e inorgánicos (1%), en suspensión o disueltos, los mismos que se presentan en pequeñas concentraciones (Henry & Heinke, 1996).

**FIGURA 2.1.- VARIACIONES HORARIAS EN LA CONCENTRACIÓN DE DBO Y SST EN LAS REDES DE ALCANTARILLADO.**



Fuente: Crites & Tchobanoglous, 2000; Metcalf, 1979

### 2.3.1 Microorganismos

Donde exista alimento adecuado, nutrientes, humedad suficiente y temperatura idónea, los microorganismos pueden prosperar, por esto las aguas residuales proporcionan un ambiente ideal para la proliferación de los mismos, sobre todo bacterias y protozoarios.

Por otro lado éstas aguas pueden contener también patógenos (organismos causantes de enfermedades), provenientes de los excrementos de las personas con enfermedades infecciosas susceptibles de transmitirse en las aguas contaminadas (Henry & Heinke, 1996).

Los microorganismos que contienen éstas aguas se clasifican en tres grupos: aerobios, anaerobios y facultativos (pueden vivir en condiciones con y sin oxígeno) (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1998).

### **2.3.2 Sólidos en suspensión**

Son importantes ya que pueden ocasionar situaciones desagradables como depósitos de lodos, olores, demanda de oxígeno (pueden generar condiciones anaerobias) y problemas de estética (Corbitt, 1999).

Un metro cúbico de agua residual pesa aproximadamente 1.000.000 g y contiene alrededor de 500 g de sólidos; la mitad están disueltos y los restantes están insolubles; de los cuales 125 g permanecen en suspensión durante largos periodos de tiempo (SS) y el resto se sedimentan (Mackenzie y Masten, 2004).

### **2.3.3 Materia orgánica**

Las proteínas, carbohidratos y lípidos constituyen el 90% de la materia orgánica de las aguas residuales domésticas, los cuales son fácilmente biodegradados en un medio acuático, consumiendo oxígeno disuelto. Por esto es muy fácil disminuir el contenido de oxígeno de una corriente (pudiéndose cambiar a condiciones anaerobias) si no se controla el vertido de estas sustancias orgánicas. La mayor parte de las sustancias también pueden degradarse bajo condiciones anaerobias, proceso generalmente más lento y produce malos olores, principalmente cuando los sistemas no operan adecuadamente ((Henry & Heinke, 1996; Corbitt, 1999).

Se utilizan diversos parámetros como medida de la concentración orgánica de la aguas residuales, como: carbono orgánico total (COT) que se basa en la cantidad de carbono orgánico presente en los residuos; otros métodos se basan en la cantidad de oxígeno que se necesita para convertir el material oxidable en productos finales estables, los dos métodos de uso mas frecuente son las pruebas de la demanda química de oxígeno (DQO) y para material biodegradable la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (Henry & Heinke, 1996).

#### 2.3.4 Componentes inorgánicos

Estos elementos son macro y micro nutrientes para los microorganismos en el medio ambiente, pero los más importantes en el tratamiento del agua residual son el carbonato, nitrógeno y fósforo. En el agua residual doméstica se encuentra más carbono que nitrógeno y más nitrógeno que fósforo (Corbitt, 1999).

Los componentes inorgánicos comunes de las aguas residuales se detallan a continuación (Henry & Heinke, 1996):

- **Cloruros y sulfatos:** presentes normalmente en el agua y en los residuos generados por la población.
- **Nitrógeno y fósforo:** en formas orgánicas e inorgánicas, presente en los residuos de los seres humanos y fósforo adicional en los detergentes.
- **Carbonatos y bicarbonatos:** normalmente presentes en el agua en forma de sales de calcio y magnesio.

Además de éstos componentes la concentración de gases disueltos, en especial de oxígeno, y la concentración de iones hidrógeno (expresado como pH) son parámetros de interés en las aguas residuales, ya que influyen en la eficiencia de los sistemas de tratamiento de las mismas.

#### 2.3.5 Características físicas

Generalmente las aguas residuales envejecidas y sépticas son ofensivas al sentido del olfato y presentan un color negro, mientras que las aguas frescas y aeróbicas tienen un olor característico a tierra recién revuelta y tienen un color gris. Las temperaturas oscilan entre 10 y 20° C, siendo en general la temperatura del agua residual mayor que la del suministro de agua, debido a la adición de agua tibia de los hogares y al calentamiento dentro del sistema de drenaje (Mackenzie y Masten, 2004). En la tabla 2.1, se presenta la composición típica de las aguas residuales domésticas, en función a su concentración.

**TABLA 2.1.- COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICA NO TRATADA.**

Constituyente	Concentración		
	Alta	Media	Baja
Sólidos totales	1.200	720	350
Disueltos totales	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
En suspensión totales	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	165	80
Sólidos Sedimentables (ml/l)	220	10	5
DBO, a 5 días y a 20° C	400	220	110
COT	290	160	80
DQO	1000	500	250
Nitrógeno (total como N)	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniaco libre	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo (total como P)	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	200	100	50
Grasa	150	100	50

Todos los valores excepto los sólidos sedimentables se expresan en mg/l.

Fuente: Sans & Ribas, 1999; Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1998.

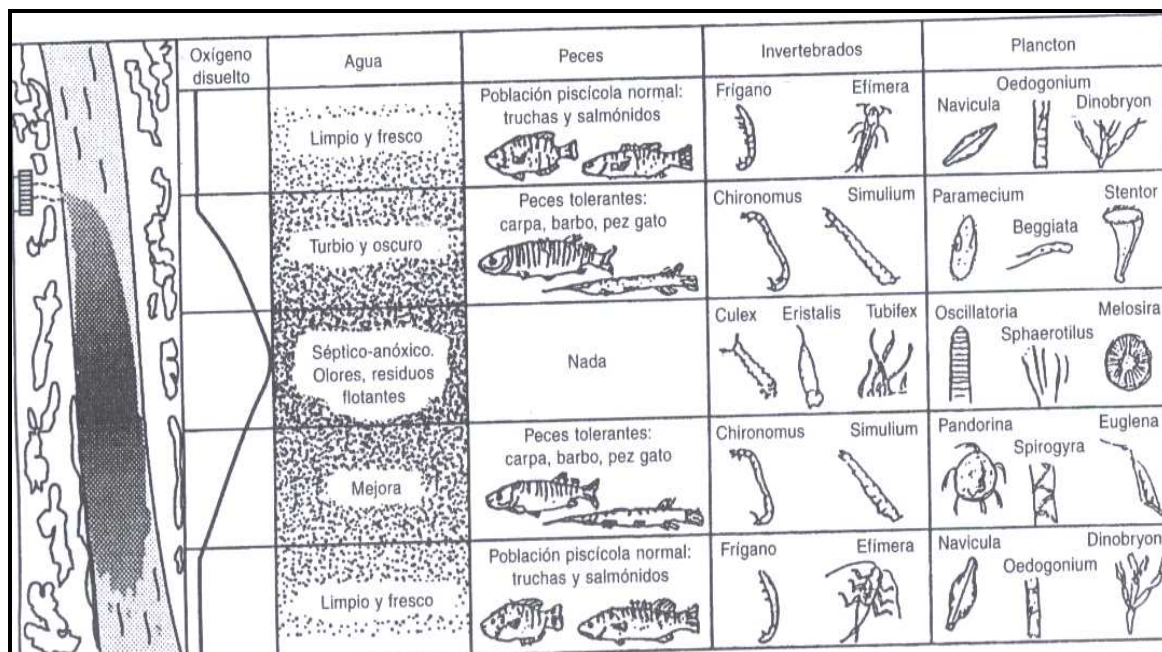
## **2.4 EFECTO DE LOS CONTAMINANTES DEL AGUA RESIDUAL EN EL CUERPO RECEPTOR FRENTE LA AUTODEPURACION**

Los diferentes efectos de los contaminantes sobre los ecosistema acuáticos están en función de la cantidad, naturaleza de los contaminantes introducidos y de la

características de medio acuático (caudal, velocidad, pendiente, etc.). Así por ejemplo, si se introduce una pequeña cantidad de un compuesto biodegradable en una corriente caudalosa, puede degradarse de manera rápida y causará poco o ningún efecto; sin embargo, si se introduce una gran cantidad de ese mismo compuesto, se puede causar una gran caída de la población de organismos y una disminución del oxígeno disuelto. Así pues, cuando los niveles de un contaminante biodegradable (carga orgánica) son altos, su velocidad de digestión también lo es. Según disminuye la carga y se estabilizan las fuentes de energía por transformación a productos estables, la velocidad de la degradación microbiana también disminuye (Corbitt, 1999).

Durante la descomposición aerobia, los microorganismos usan todo el oxígeno que sea necesario, por lo que si la carga orgánica no es compatible con la capacidad de asimilación de la corriente del cuerpo receptor se produce una disminución en la curva de oxígeno disuelto como se puede apreciar en la figura 2.2.

**FIGURA 2.2.- EFECTOS DE LA DESCARGA ORGÁNICA SOBRE UN RÍO Y SU RECUPERACIÓN**



Fuente: Corbitt, 1999



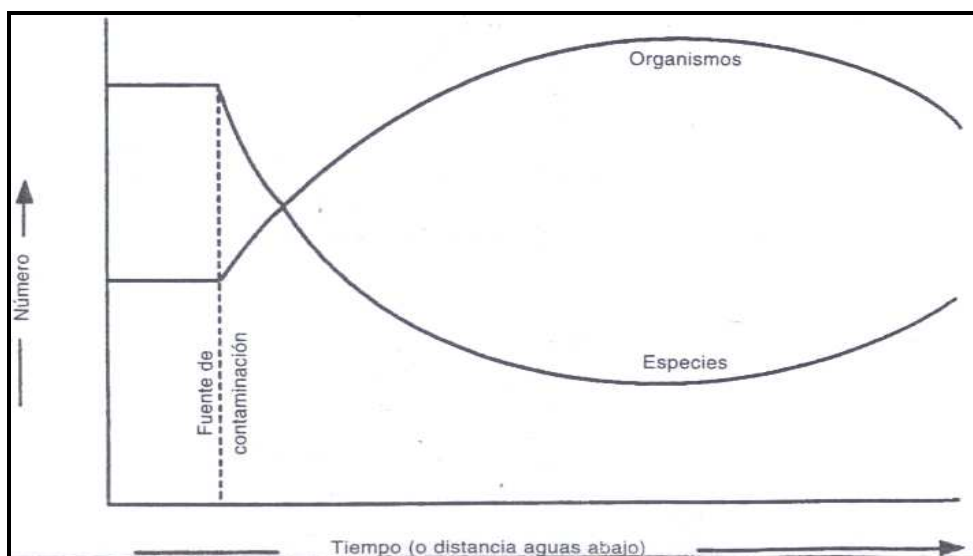
Se puede observar que cuando las aguas residuales son vertidas a los cuerpos hídricos, existen afectaciones sobre la fauna acuática, debido a que las condiciones de oxígeno disminuyen sobre el cuerpo receptor.

En la figura 2.3 se muestra la relación entre los organismos consumidores de materia orgánica y los efectos ambientales (disminución) sobre las especies aguas abajo de un vertido orgánico.

Por lo tanto para la autodepuración de un río se utiliza la cantidad de oxígeno disuelto del mismo, los procesos están gobernados por el consumo de oxígeno dado por las bacterias, y la reoxigenación del río debido principalmente a la turbulencia del mismo.

Otros de los problemas que se genera en el ecosistema es la generación de malos olores (en condiciones anaerobias), la generación de bancos de lodo (cuando existe la presencia de sólidos), lo cual reduce la penetración de la luz; los nutrientes en exceso produce un crecimiento de plantas y algas lo cual unido a lo antes mencionado y con el avance del tiempo puede generar eutrofización del cuerpo receptor.

**FIGURA 2.3.- POBLACIONES Y DIVERSIDAD DE ORGANISMOS AGUAS ABAJO DE UN VERTIDO ORGÁNICO.**



Fuente: Corbitt, 1999

## 2.5 PARÁMETROS PARA DESCARGA, ESTIPULADOS EN EL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA DEL MEDIO AMBIENTE

Se toma en consideración el Libro VI, anexo 1 que define la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes para el recurso agua; en la cual se especifica los parámetros que debe cumplir las aguas de acuerdo a sus usos, y las normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua receptor, para agua dulce y agua marina. En la tabla 2.2 se muestra los parámetros estipulados en la legislación ambiental nacional, para descargas de efluentes a un cuerpo receptor de agua dulce.

**TABLA 2.2.- LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE**

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloruros	Cl-	mg/l	1 000
Coliformes Fecales	NMP/100 ml		1Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub> .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0
Nitrógeno Total	N	mg/l	15
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	mg/l	1000
Sulfitos	SO <sub>3</sub>	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35

Fuente: TULAS, 2003

Por otro lado es importante considerar los parámetros establecidos para los usos de las aguas en el cuerpo receptor. En el caso de la ciudad del Puyo, el agua del Río Puyo como el Río Pindo Grande, tienen algunos usos corriente abajo. En las tablas 2.3; 2.4; 2.5; 2.6 se presentan los criterios de calidad de agua establecidos de acuerdo a los usos.

**TABLA 2.3.- CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA FLORA Y FAUNA EN AGUAS DULCES, FRÍAS O CÁLIDAS.**

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible	
			Agua fría dulce	Agua cálida dulce
Oxígeno Disuelto	OD.	mg/l	No menor al 80% y no menor a 6 mg/l	No menor al 60% y no menor a 5 mg/l
Potencial de hidrógeno	pH		6, 5-9	6, 5-9
Sulfuro de hidrógeno ionizado	H <sub>2</sub> S	mg/l	0,0002	0,0002
Amoniaco	NH <sub>3</sub>	mg/l	0,02	0,02
Cloro residual	Cl	mg/l	0,01	0,01
Fenoles monohídricos	Expresado como fenoles	mg/l	0,001	0,001
Grasas y aceites	Sustancias solubles en	mg/l	0,3	0,3

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible	
			Agua fría dulce	Agua cálida dulce
	hexano			
Hierro	Fe	mg/l	0,3	0,3
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,5	0,5
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	Concentración total de HAPs	mg/l	0,0003	0,0003
Manganeso	Mn	mg/l	0,1	0,1
Materia flotante	visible		Ausencia	Ausencia
Plaguicidas organoclorados totales	Concentración de órgano clorados totales	µg/l	10,0	10,0
Plaguicidas organofosforados totales	Concentración de órgano fosforados totales	µg/l	10,0	10,0
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5
Temperatura	°C		Condiciones naturales + 3 Máxima 20	Condiciones naturales + 3 Máxima 32
Coliformes Fecales	NMP/100 ml		200	200

Fuente: TULAS, 2003

**TABLA 2.4.- CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA AGUAS DE USO AGRÍCOLA**

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Materia flotante	Visible		Ausencia
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Organofosforados (totales)	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Sólidos disueltos totales		mg/l	3 000,0
Aceites y grasa	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Coliformes Totales	NMP/100 ml		1. 000
Huevos de parásitos		Huevos por litro	Cero

Fuente: TULAS, 2003

**TABLA 2.5.- CRITERIOS DE CALIDAD PARA AGUAS DESTINADAS PARA FINES RECREATIVOS (CONTACTO PRIMARIO)**

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Coliformes fecales	NMP/100 ml		200
Coliformes totales	NMP/100 ml		1 .000
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,002
Oxígeno disuelto	OD.	mg/l	No menor al 80% de Concentración de saturación y no menor a 6 mg/l
Materia flotante	visible		Ausencia
Potencial de hidrógeno	pH		6,5 – 8,5
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,2 (para cada compuesto detectado)
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno.	mg/l	0,5
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Relación hidrógeno, fósforo orgánico			15:1

Fuente: TULAS, 2003

**TABLA 2.6.- CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA FINES RECREATIVOS MEDIANTE CONTACTO SECUNDARIO**

Parámetros	Expresado	Unidad	Valor máximo permisible
Coliformes totales	NMP/100 ml		4 000
Coliformes fecales	NMP/100 ml		1 000
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,002
Oxígeno disuelto	OD.	mg/l	No menor al 80% de Concentración de saturación
Potencial de hidrógeno	pH		6,5 – 8,5
Organoclorados (totales)	Concentración de	mg/l	0,2

Parámetros	Expresado	Unidad	Valor máximo permisible
	organoclorados totales.		
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno.	mg/l	0,5
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Sólidos flotantes	visible		Ausencia
Relación hidrógeno, fósforo orgánico			15:1

Fuente: TULAS, 2003

### **Criterios de calidad para aguas de uso estético**

- Las aguas que sean usadas para uso estético, tendrán que cumplir con los siguientes criterios de calidad:
- Ausencia de material flotante y de espumas provenientes de la actividad humana.
- Ausencia de grasas y aceites que formen película visible.
- Ausencia de sustancias productoras de color, olor, sabor, y turbiedad no mayor a 20 UTN.
- El oxígeno disuelto será no menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6 mg/l.

## **2.6 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES**

### **2.6.1 Procesos de tratamientos**

Los contaminantes en suspensión, coloidales y disueltos sean orgánicos e inorgánicos en las aguas residuales, pueden ser separados físicamente, transformarse por medios biológicos, o someterse a transformaciones químicas, en general los contaminantes de las aguas residuales se eliminan en orden de dificultad creciente; así, primero se retiraran objetos grandes (trapos, palos, etc.), después, se separa la arena y arenilla todo esto con el objeto de proteger del desgaste a los subsiguientes equipos de tratamiento. En este punto la mayor parte de los sólidos pequeños todavía están en suspensión y la parte

sedimentable (alrededor del 50%) se pueden tratar en procesos primarios (de sedimentación); este efluente pasa a un tratamiento secundario y luego si es necesario a un terciario (Henry & Heinke, 1996).

#### **2.6.1.1 *Procesos físicos***

Son todos aquellos procesos en los cuales se utilizan las fuerzas físicas para el tratamiento. Son procesos comúnmente utilizados para pre-tratamiento, tales como rejas, desarenador y posteriormente tratamiento primario de las aguas residuales (Sans & Ribas, 1999).

Según Henry & Heinke (1996), la sedimentación por gravedad es el proceso físico mas común para separar los sólidos en suspensión de las aguas, ayuda a separar la arenilla, clarificar las aguas y concentrar los sólidos sedimentados (lodos crudos o primarios), clarificar suspensiones biológicas y concentrar los flóculos sedimentables (lodos biológicos o secundarios).

Con los procesos físicos y en especial la sedimentación, se puede separar de las aguas residuales sin tratar alrededor del 99% de la arena, el 40-60% de los SS del líquido que entra y el 30% de la DBO<sub>5</sub> (contenida en el lodo sedimentado), es importante mencionar que esto dependerá del tiempo de retención y de la velocidad y caudal del flujo de aguas sin tratar (Henry & Heinke, 1996).

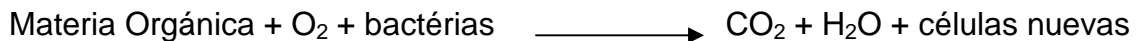
Otro proceso físico muy utilizado es la filtración, que permite la eliminación de SS, procedentes de las aguas luego del tratamiento y sedimentación biológica (Sans & Ribas, 1999).

#### **2.6.1.2 *Procesos biológicos***

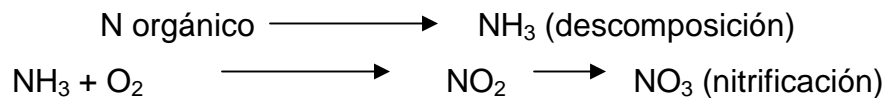
Generalmente usados en tratamientos secundarios, el objetivo es la eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables en la decantación primaria; así como también la estabilización de la materia orgánica soluble.

La mayor parte de los componentes orgánicos de las aguas residuales sirven como alimento o sustrato que proporciona energía para el crecimiento microbiano, este es el principio utilizado en los tratamientos biológicos aerobios de los residuos, en donde ciertos microorganismos, principalmente bacterias, transforman el sustrato orgánico en dióxido de carbono, agua y células nuevas. (Henry & Heinke, 1999).

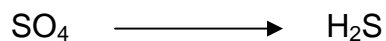
**Procesos aeróbios/anóxicos:** las bacterias en presencia de oxígeno oxidan alrededor de un tercio de la materia orgánica coloidal y disuelta a productos finales estables y los dos tercios restantes se transforman en nuevas células microbianas susceptibles de eliminarse de las aguas por sedimentación.



En condiciones aeróbicas ininterrumpidas, las bacterias autótrofas (que obtienen carbono de compuestos inorgánicos) convierten el nitrógeno de los compuestos orgánicos en nitratos de acuerdo con las siguientes ecuaciones:



En condiciones anóxicas ininterrumpidas, los sulfatos presentes se reducen a sulfuro de hidrógeno gaseoso (olor desagradable), de acuerdo con la siguiente ecuación:



El tratamiento aerobio ha predominado en su uso debido a su estabilidad, eficiencia y rápida conversión de los contaminantes en células microbianas su operación libre de malos olores.

**Procesos Anaeróbios:** en ausencia de oxígeno, las bacterias heterótrofas convierten más del 90% de la materia orgánica presente primero en productos



finales parcialmente estabilizados que incluyen ácidos orgánicos y alcoholes (productos intermedios); y después en metano y dióxido de carbono gaseosos:

1<sup>era</sup> fase: Materia orgánica  $\longrightarrow$  Ácidos orgánicos + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>

2<sup>da</sup> fase: Ácidos orgánicos  $\longrightarrow$  CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>S

Estos procesos generan energía útil en forma de metano además la producción de lodos es solo el 10% respecto a los procesos aerobios, para la misma cantidad de materia orgánica.

### 2.6.2 Métodos de tratamiento

Se distinguen distintos grados de tratamientos, que son considerados a continuación:

**Pretratamientos:** usados para la eliminación de los elementos como residuos sólidos, arenas, grasas y otros sólidos flotantes o sedimentables. Situados en la cabecera del sistema de tratamiento para proteger a los equipos en las siguientes etapas del proceso. Los más usados son las rejillas, los tamices, cámaras de grasa y desarenadores aireados y de flujo horizontal.

**Tratamientos primarios:** destinados para eliminar los sólidos en suspensión, generalmente son tratamientos físicos y físico-químicos, estos tratamientos consiguen porcentajes de eliminación de SS del 60-80%, coliformes fecales de 70-85% y de DBO<sub>5</sub> y DQO de 30-50% (MAPA, 1998).

**Tratamientos secundarios o tratamientos biológicos:** utilizados para eliminar porcentajes elevados (85%) de materia orgánica, en estos se utilizan microorganismos para llevar a cabo la digestión de la materia orgánica. Los procesos que se pueden utilizar son: lagunas de estabilización, lagunas aireadas, sistema de lodos activados, sistemas de película biológica y sistemas anaerobios.

Adicionalmente se requiere de algún tipo de tratamiento para la eliminación de contaminación bacteriana representada por los coliformes fecales.

**Tratamientos terciarios:** usados para la eliminación de sustancias que no pueden ser eliminadas con los tratamientos primarios y secundarios como son los nutrientes (nitratos, fosfatos), amoníaco, metales pesados entre otros.

**Tratamientos de lodos:** todo sistema biológico genera cierta cantidad de lodos, los mismos que deben ser manejados apropiadamente, se puede recurrir a estabilización biológica, deshidratación y destino final.

### 2.6.3 Métodos por aplicación superficial al terreno

La superficie y el perfil del suelo pueden proporcionar el tratamiento adicional de las aguas residuales domésticas y a la vez ser un hábitat para microorganismos y realizar procesos físicos, químicos y biológicos. La carga de materia orgánica debe ser intermitente, para permitir la entrada de aire en el suelo y así poder tener una oxidación aerobia. Previo a la utilización de métodos de aplicación al terreno se requiere por lo menos un proceso de decantación primaria para eliminar los sólidos en suspensión, siendo preferible la aplicación de estos métodos como sistemas subsiguientes de un tratamiento secundario (Collado, 1992).

La utilización de estos métodos depende de las características del agua residual a tratar, disponibilidad del terreno, presencia de núcleos urbanos, cantidad de agua residual, climatología, niveles de la capa freática, permeabilidad del suelo y presencia de aguas subterráneas. En la tabla 2.7 se puede observar las características del sitio de emplazamiento para la depuración de las aguas con estos tipos de tratamiento.

Los tipos de tratamientos mas utilizados son:

- Riego o sistemas de baja velocidad
- Infiltración rápida

- Circulación superficial en lámina o flujo en superficie

**TABLA 2.7.- CARACTERÍSTICAS DE EMPLAZAMIENTO PARA DEPURACIÓN MEDIANTE APLICACIÓN AL TERRENO**

Condición	Baja velocidad	Infiltración rápida	Flujo en superficie
Pendiente	Inferior al 20% en tierra cultivada, menor del 40% en tierra no cultivada	No critica,	Baja pendiente 2- 8%
Permeabilidad del suelo	Moderadamente baja a moderadamente rápida	Rápida	Baja (arcillas, lodos y suelos con barreras impermeables)
Distancia al nivel freático	0,6 a 1 m	1m en inundación; 1,5 a 3 en ciclos secos	No critico
Restricciones climáticas	Almacenamiento durante el frío y en extensas precipitaciones	Ninguna	Almacenamiento durante el frío

Fuente: Corbitt (1999); Crites y Tchobanoglous (2000); Collado (1992)

La capa superior del suelo elimina la mayor parte de los contaminantes, las bacterias del suelo rompen cadenas moleculares y tienen lugar reacciones de nitrificación y desnitrificación. La matriz del suelo elimina sólidos y patógenos; los metales son eliminados mediante intercambio con arcillas; además cierta cantidad del agua se pierde por transpiración y evaporación, pero la mayoría se reincorpora al agua a través de la precolación del suelo. El efluente puede descargarse a aguas superficiales o percolar hasta el agua subterránea. En la tabla 2.8 se presenta una comparación de la calidad esperada del agua tratada procedente de procesos de aplicación al terreno (Corbitt, 1999).

**TABLA 2.8.- COMPARACIÓN DE LA CALIDAD ESPERADA DEL AGUA TRATADA PROCEDENTE DE PROCESOS DE APLICACIÓN AL TERRENO**

Constituyente	Riego (a)		Infiltración Rápida (b)		Circulación superficial en lamina (c)	
	Media	Máxima	Media	Máxima	Media	Máxima
DBO <sub>5</sub>	< 2	< 5	2	< 5	10	< 15
Sólidos en suspensión	< 1	< 5	2	< 5	10	< 20
Nitrógeno amoniacal como N	< 0,5	< 2	0,5	< 2	0,8	< 2

Constituyente	Riego (a)		Infiltración Rápida (b)		Circulación superficial en lamina (c)	
	Media	Máxima	Media	Máxima	Media	Máxima
Nitrógeno total como N	3	< 8	10	< 20	3	< 5
Fósforo total como P	< 0,1	< 0,3	1	< 5	4	< 6
a) Precolación del efluente primario o secundario a través de 1,5 m de suelo b) Precolación del efluente primario o secundario a través de 4,5 m de suelo c) Precolación del efluente primario o secundario a través de 45 m de suelo						

Fuente: Sans y Ribas (1999)

Una variación de estos sistemas es la depuración con aplicación subsuperficial al terreno que requieren un tratamiento previo, normalmente fosa séptica, tanque Imhoff (Collado, 1992). El fundamento de estos sistemas consiste en introducir el agua residual en el terreno por debajo de su superficie, previamente tratada a nivel primario. Los sistemas de uso más frecuente son: zanjas filtrantes, lechos filtrantes, pozos filtrantes y filtros intermitentes de arena.

#### 2.6.4 Sistemas de embalses

Las aguas residuales pueden ser retenidas en embalses que van desde pantanos naturales a estanques de oxidación; hasta complejas lagunas aireadas.

Los procesos de lagunaje tanto artificiales como naturales se han usado durante muchos años, en especial como alternativas en pequeñas comunidades, éstos están expuestos al aire libre y se producen reacciones biológicas, químicas y físicas para la estabilización del agua residual. Estos procesos pueden ocurrir de manera simultánea, e incluyen fenómenos tales: sedimentación, aireación, evaporación, corrientes térmicas, filtración, etc.

Estos sistemas admiten variaciones de caudal y carga, sin embargo necesitan grandes superficies de terreno y se pueden generar malos olores cuando se llegue a condiciones anaerobias incompletas.

Según Mackenzie (2004), la clasificación más utilizada para este tipo de tratamientos es:

- Estanques aerobios
- Estanques facultativos
- Estanques de maduración o terciarios
- Lagunas aireadas

### 2.6.5 Sistemas anaerobios (Reactores)

Son procesos biológicos en los cuales los microorganismos transforman los compuestos orgánicos en metano, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), materia celular y otros compuestos orgánicos. Actualmente son muy utilizados para tratar efluentes con cargas orgánicas elevadas, dado su gran potencial de producción de energía y la baja tasa de producción de lodo.

Entonces el tratamiento anaerobio es la conservación de los compuestos orgánicos en  $\text{CO}_2$ , metano y material celular, en el caso de los compuestos nitrogenados, el rendimiento celular neto (porción de compuestos orgánicos transformados) oscila entre el 5 por 100 para ácidos grasos, hasta el 20 por 100 para hidratos de carbono (Corbitt, 1999).

La producción de metano es dependiente del valor de pH y la alcalinidad, ya que dióxido de carbono es parcialmente soluble en el agua. Algunos de los parámetros a tomar en cuenta para el diseño y funcionamiento de estos métodos de tratamiento son los siguientes:

- **Requerimientos de pH y alcalinidad:** el rango de pH óptimo para la fermentación de metano esta entre 7 y 8, aunque las bacterias metanogénicas no se desactivan hasta que el pH desciende de 6; cuanto menor sea el pH y mayor el tiempo en que permanece en un nivel bajo, más difícil será que las bacterias vuelvan a la actividad. Por esta razón es recomendable que el pH de los digestores se mantenga en 6,5. Por otro lado se debe cuidar la

alcalinidad ya que esta en relación con el pH, así, si la alcalinidad es menor que 500mg/l, el pH descenderá cerca de 6.

- **Requerimientos de nutrientes:** los microorganismos anaerobios requieren nutrientes para sustentar su crecimiento, así, los requerimientos en fósforo y nitrógeno de las bacterias anaerobias son un 20 por 100 inferiores a los de las bacterias aerobias. Además de estos se requiere azufre, hierro, potasio, calcio, magnesio y sodio.
- **Temperatura:** cuando mayor sea la temperatura del sistema más rápido transcurrirá la degradación y se producirá antes la muerte celular, generalmente los reactores anaerobios trabajan en el rango mesofílico (25 a 40°C) o en el termofílico (50 a 70°C), los segundos sistemas requieren reactores mas pequeños que los primeros, sin embargo debido al bajo rendimiento celular, los procesos termofílicos arrancan muy lentamente y no toleran variaciones de carga.
- **Toxicidad:** las bacterias pueden ser sensibles a la toxicidad de algunos elementos sean cationes o aniones, siendo los primeros mas toxicas, todo dependerá de las concentraciones presentes en el agua a ser tratada. La toxicidad además depende del pH del agua, así por ejemplo a pH elevado predomina la forma  $\text{HS}^-$  (menos tóxica), y a pH bajos predomina la forma  $\text{H}_2\text{S}$  (tóxica); a un pH neutro existirá concentraciones equivalentes de ambas especies.

#### 2.6.6 Sistemas con plantas acuáticas

Consisten de uno o más estanques poco profundos en los cuales crecen una o varias especies de plantas vasculares que pueden ser flotantes o de raíces suspendidas. En los sistemas acuáticos el agua es tratada mediante metabolismo bacteriano y sedimentación física. Estas plantas tienen los mismos requerimientos nutricionales básicos que las plantas que crecen en el suelo y responden a los mismos factores ambientales.

Estos sistemas se dividen en dos categorías:

**Plantas acuáticas flotantes.-** Tienen su sistema fotosintético en la superficie del agua o en la parte inmediatamente inferior, estas plantas captan el oxígeno y dióxido de carbono directamente de la atmósfera, mientras que los minerales y nutrientes los reciben del agua por medio de las raíces, que son un medio excelente para la filtración/adsorción de los sólidos en suspensión y para el crecimiento bacteriano. El desarrollo del sistema radicular es función de la disponibilidad de nutrientes del agua y de la demanda de la planta.

Con la presencia de plantas flotantes se reduce la cantidad de luz del sol que penetra en el agua, disminuyendo los intercambios gaseosos con la atmósfera; pudiéndose generar condiciones anaerobias o anóxicas en función de los parámetros de diseño, tipo de especies seleccionadas y la densidad de recubrimiento de las plantas. En estos sistemas es importante considerar parámetros como la temperatura (del aire y del agua), viento y pH, los cuales influyen en el desarrollo de las plantas.

**Sistemas de plantas sumergidas.-** Las plantas sumergidas pueden clasificarse entre las suspendidas en la columna de agua y las que se enraízan en los sedimentos del fondo. El proceso de fotosíntesis se da bajo el agua ya que estas plantas tienen la capacidad de absorber el oxígeno, dióxido de carbono y los minerales de la columna de agua. Por esto se inhiben el crecimiento cuando la turbidez del agua es elevada. El uso de estos sistemas es reducido ya que estas plantas tienen la tendencia a ser desplazadas por el crecimiento de algas, además de intolerancia a las condiciones anaerobias.

#### **2.6.7 Sistemas de tratamiento mediante humedales.**

El tratamiento en humedales se produce mediante metabolismo bacteriano y sedimentación física; los sistemas de tratamiento mediante humedales artificiales varían desde la creación de un pantano en una zona natural hasta una

construcción extensa que requiera una importante movilización de tierras, obras, construcción de barreras.

Los humedales se clasifican en función del régimen de caudal predominante, por encima y por debajo del suelo (Corbitt, 2003), teniendo:

- Sistemas de agua superficial libre con vegetación emergente, consiste en estanques o canales, tienen poca profundidad y baja velocidad.
- Sistemas de caudal bajo la superficie con vegetación emergente, consiste en una red de trincheras o lechos de drenaje, requieren bajas velocidades.

Algunas de las consideraciones que se deben tomar en cuenta son:

- Proximidad a una instalación de pretratamiento y a un punto de descarga.
- Potencial de restaurar un hábitat húmedo degradado
- Identificación de la comunidad vegetal
- Determinación de las características topográficas en especial las pendientes.
- Características hidrológicas y factores anuales del clima
- Características del suelo como la composición mineral, contenido de materia orgánica, régimen de humedad y temperatura, composición química y profundidad.



## **CAPITULO 3**

### **METODOLOGIA**

#### **3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO**

##### **3.1.1 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS**

###### **3.1.1.1 *Morfología***

El Puyo se desarrolla sobre un relieve ligeramente ondulado, de suaves pendientes con varios esteros y ríos, ríos que descienden desde la cordillera de los Andes arrastrando sedimentos, debido a la erosión de materiales. Estos ríos poco a poco pierden velocidad debido al cambio de pendiente.

###### **3.1.1.2 *Hidrología***

Los ríos más importantes de la ciudad de Puyo son el Río Puyo y el Río Pindo, que nacen en las estribaciones de la cordillera central, no son muy caudalosos, pero por sus condiciones topográficas favorables, se han asentado en sus cercanías los principales centros poblados de colonos e indígenas. Son utilizados para balnearios, paseos turísticos, entre otros usos.

#### **3.2 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS**

Según la estación meteorológica ordinaria Puyo (código M008) del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) los parámetros de precipitación, temperatura y evaporación potencia para el periodo de 1999 a 2005.

### 3.2.1 Pluviosidad

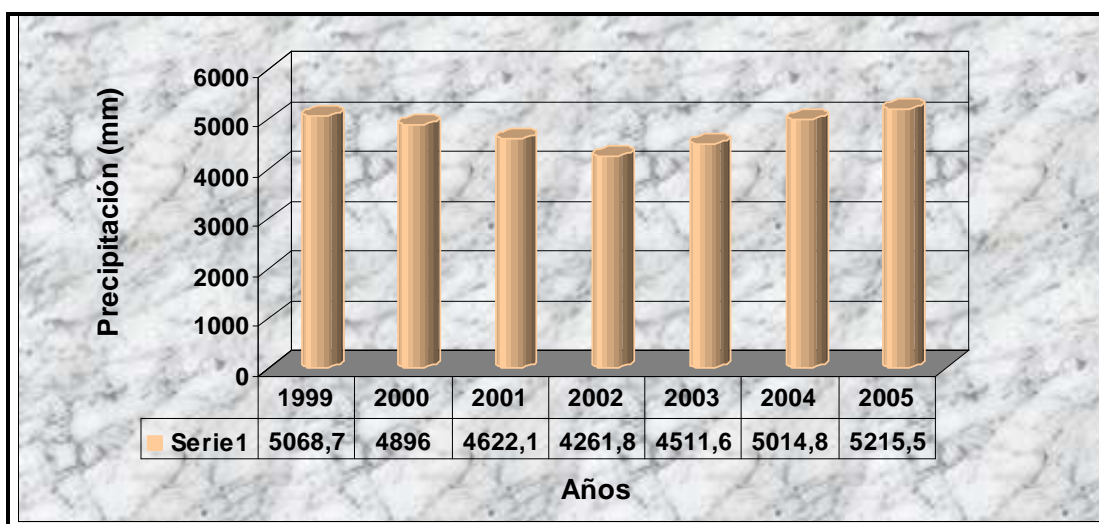
La ciudad de Puyo tiene una pluviosidad media anual de 4800 mm, presentando un pico mínimo en el año 2002, a partir del cual tiene grandes incrementos en los valores de precipitación. Los valores de precipitación media anual son presentados en la tabla 3.1 y figura 3.1.

**TABLA 3.1.- PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL DE PUYO**

AÑO	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)
1999	5068,7
2000	4896
2001	4622,1
2002	4261,8
2003	4511,6
2004	5014,8
2005	5215,5

Fuente: INAMI Estación Puyo (M008), Anuarios Meteorológicos (1999-2005).

**FIGURA 3.1.- PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL DE PUYO**



### 3.2.2 Temperatura

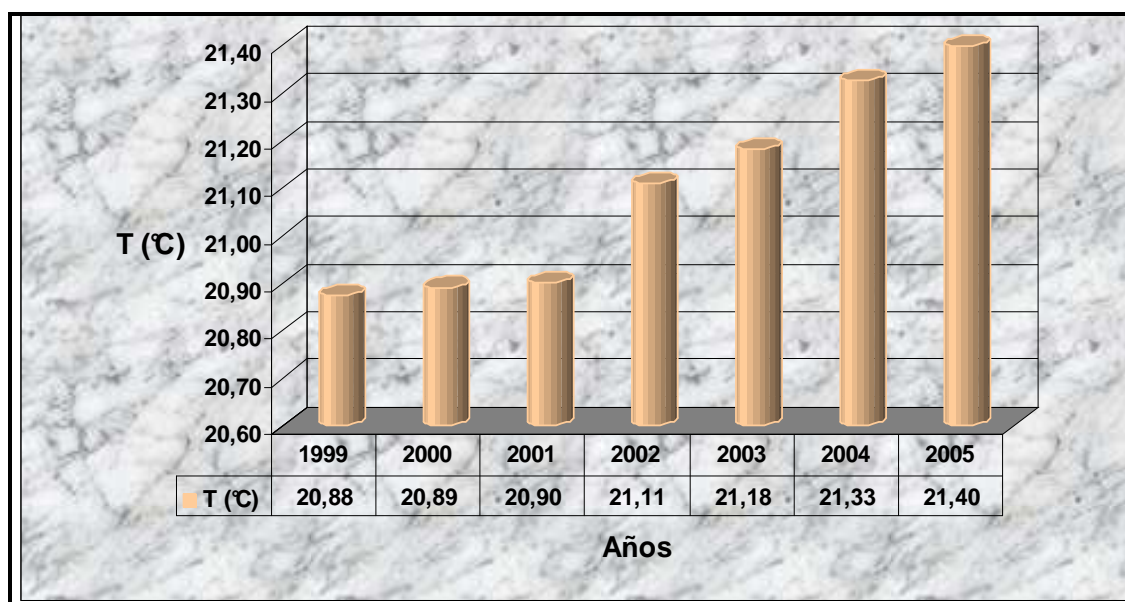
La temperatura media de la ciudad de Puyo es de 21°C. Los valores de temperatura presentan una tendencia exponencial a partir del año 2001, con un incremento en la zona de estudio. En la tabla 3.2 y figura 3.2 se da a conocer la media anual de temperatura de Puyo.

**TABLA 3.2.- TEMPERATURA MEDIA ANUAL DE PUYO**

AÑOS	TEMPERATURA °C
1999	20,88
2000	20,89
2001	20,90
2002	21,11
2003	21,18
2004	21,33
2005	21,40

Fuente: INAMI Estación Puyo (M008),  
Anuarios Meteorológicos (1999-2005)

**FIGURA 3.2.- TEMPERATURA MEDIA ANUAL DE PUYO**



### 3.2.3 Evaporación potencial

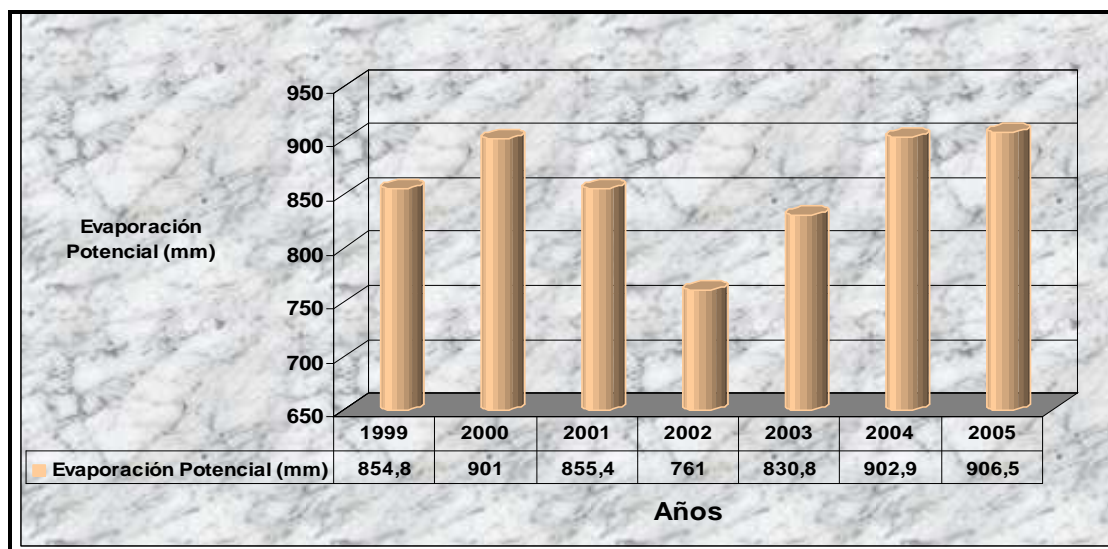
La ciudad de Puyo presenta una evaporación potencial media anual de 859 (mm), los valores de la evaporación potencial media anual, son presentados en la tabla 3.3 y figura 3.3.

**TABLA 3.3.- EVAPORACIÓN POTENCIAL MEDIA ANUAL**

AÑOS	EVAPORACION POTENCIAL (mm)
2000	901
2001	855,4
2002	761
2003	830,8
2004	902,9
2005	906,5

Fuente: INAMI Estación Puyo (M008), Anuarios Meteorológicos (1999-2005)

**FIGURA 3.3.- EVAPORACIÓN MEDIA ANUAL**



Además, según Ledesma (2004),

- El promedio anual de nubosidad en Puyo es de 7octas.
- Las horas de sol es del 23% = 1.017 horas al año promedio.
- La humedad estimada es del 89%.

### **3.3 CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS**

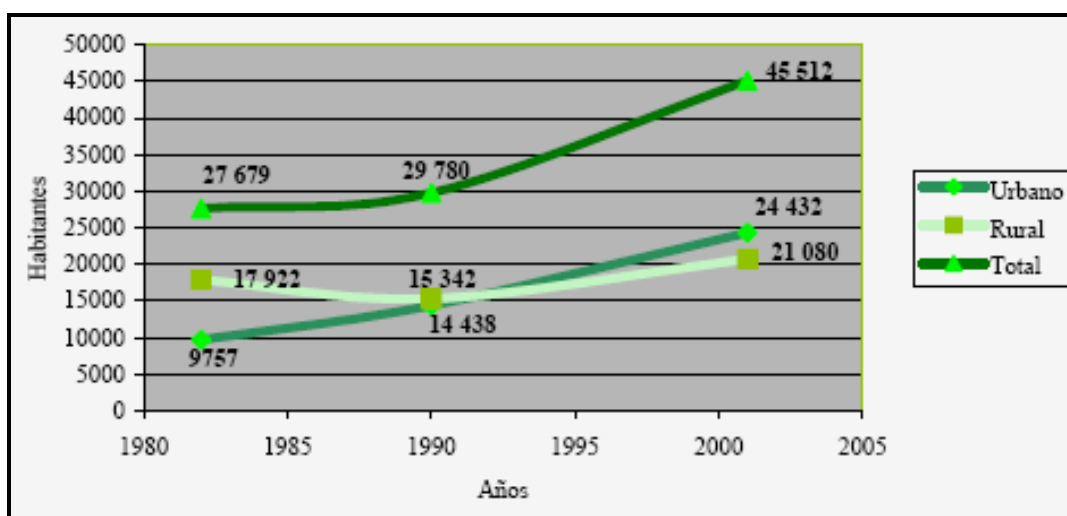
#### ***3.3.1.1 Dinámica poblacional***

Según el censo del 2001, el Cantón Pastaza cuenta con 45.512 habitantes. La zona que concentra la mayor cantidad de la población se encuentra en las estribaciones de la cordillera oriental, es decir en Puyo (25.965 habitantes, lo que representa el 57% de la población cantonal en solamente el 0.05% de su superficie) y en las parroquias aledañas.

#### ***3.3.1.2 Crecimiento poblacional***

El crecimiento poblacional del cantón ha tenido un comportamiento distinto desde 1982, en relación a los años anteriores; en el período 1982-1990 la población cantonal creció a un ritmo menor que el nacional (0.9% y 2.2% respectivamente), la población urbana creció a una tasa sostenida (4.9%), mientras que la zona rural decreció (-1.9%). A partir de 1990, tanto las zonas urbanas como rurales han crecido, aunque, en la zona urbana el crecimiento ha sido mayor (4.8% contra 2.8%), con una media cantonal de (3.8%), más fuerte que la nacional (2.1%). En el figura 3.4, se presenta la tendencia del crecimiento poblacional urbano y rural para el Cantón Pastaza.

La ciudad de Puyo tiene una densidad poblacional de aproximadamente 2.531 hab/km<sup>2</sup> (SISTEMA INTEGRADO DE INDICADORES SOCIALES DEL ECUADOR: SIISE 3.5), una de las razones de esta alta concentración es la falta de políticas para estimular a la población a quedarse en las zonas rurales; existencia de servicios de salud o educación y las facilidades para el comercio (bancos), son el atractivo de la zona urbana.

**FIGURA 3.4.- CRECIMIENTO POBLACIONAL DEL CANTÓN PASTAZA**

Fuente: INEC, Censos de Población 1982, 1990, 2001

### 3.3.2 Emigración

Según la encuesta CIUDAD-LaSUR hecha en diciembre 2002, 843 personas salieron del cantón Pastaza para vivir en el extranjero durante el periodo 1997 al 2000, representando el 1.9% de la población en el 2001. La emigración se generó en los grupos de edad laboralmente más productivos (53% de 20-29 años y 26% de 30-39 años).

Los principales motivos registrados para emigrar son: buscar trabajo (74%); mejorar sus ingresos (17%); mejorar su nivel de educación (3%) y motivos familiares (3%).

### 3.3.3 Aspectos sociales

#### 3.3.3.1 Educación

Según el censo del 2001, el 10% de nivel de analfabetismo del Cantón Pastaza, es casi igual al promedio nacional (9%), sin embargo, se halla una marcada diferencia entre la zona urbana y rural, la tasa de analfabetismo desde el censo de 1990 hasta el del 2001, en la zona rural ha disminuido considerablemente, de

24% a 17.6%, mientras que en la zona urbana solo se ha dado una mejora del 0.5%, bajando a 4.5%.

De acuerdo al Sistema Nacional de Estadísticas Educativas del Ecuador del Ministerio de Educación, el 70% de los estudiantes del Cantón Pastaza estudian en la cabecera cantonal, por la cercanía con Puyo. En el período 1999 al 2000, existía un total de 225 establecimientos educativos, entre pre-primarios, primarios y secundarios, tanto privados como públicos. En la tabla 3.4, se presenta porcentajes de distribución de la población de diferentes comunidades del Cantón Pastaza, de acuerdo al lugar de estudio.

En la ciudad de Puyo funcionan un total de 7 extensiones universitarias: Universidad de los Andes (Uniandes), Universidad Salesiana, Escuela Politécnica Tecnológica Equinoccial, Escuela Politécnica Javeriana, Universidad Estatal de Bolívar, Universidad Indígena Amazónica y Universidad particular de Loja. Además está la Universidad Escuela Politécnica del Ejército que funciona en el cantón Shell a 1 Km de Puyo.

**TABLA 3.4.- DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN DEL CANTÓN PASTAZA POR LUGAR DE ESTUDIO.**

	¿Donde estudia?			
	Cabecera cantonal	Esta parroquia	Otra ciudad	A distancia
Puyo	91,4%	0,4%	6,8%	1,3%
10 de Agosto	72,7%	27,3%	-	-
Fátima	56,8%	17,2%	-	26%
Veracruz	43,2%	25,3%	63%	25,3%
Tarqui	23,5%	71,8%	4,7%	-
El Triunfo	15,4%	61,4%	15,4%	7,9%
Tnte. Hugo Ortiz	10%	67%	-	23%
Canelos	5,8%	88,6%	2,8%	2,8%
Simón Bolívar	3%	91,9%	-	5,1%
Pomona	-	90,8%	9,2%	-
Total	70,3%	20,2%	5,9%	3,5%

Fuente: Encuesta CIUDAD-LaSUR, Diciembre 2002

### **3.3.3.2 Salud**

Según Ledesma (2004), el porcentaje de desnutrición crónica de los niños menores de 5 años del Cantón Pastaza es 41.8%, menor al 45.1% del nivel nacional; sin embargo a nivel rural el 44.5% casi alcanza este último.

Según las estadísticas nacionales, en el cantón hay pocos establecimientos públicos de salud que internan pacientes (3 por 10.000 hab. frente a los 330 por 10 000 hab. a escala nacional). Sin embargo, el índice de oferta en salud del cantón supera ligeramente al de la provincia (53,5 para 53,1). Lamentablemente no se tiene este dato desagregado territorialmente, por lo que no se puede afirmar que esta atención esté ubicada solamente en la zona urbana.

A su vez, la tasa de mortalidad infantil refleja los bajos grados de asistencia médica en la zona urbana y rural; así, la zona urbana presenta una tasa de 31.6‰, mientras que en la zona rural ésta tasa se duplica, ubicándose en el 63.2‰. De modo general, de cada 1.000 nacidos vivos en el cantón, 50 mueren antes de cumplir un año (Ledesma, 2004).

Según el Plan de Desarrollo Urbano de Pastaza (PLADESUP), los problemas fundamentales del área de salud son: limitada focalización de infraestructura y equipamiento, baja calidad y cobertura de los servicios y limitados niveles de capacitación, promoción y educación.

### **3.3.4 Aspectos económicos**

#### **3.3.4.1 Visión general de la economía**

Puyo, además de ser una ciudad administrativa, donde se ubican todo tipo de instituciones, es el centro de la actividad comercial y bancaria del cantón Pastaza y de la Provincia, concentrándose la mayor parte de la infraestructura turística y una diversidad de servicios como: comercio, manufactura y construcción; lo que se refleja en una capacidad relativamente alta de generar empleo en estos sectores.



### 3.3.5 Servicios básicos

En la tabla 3.5, se da a conocer los porcentajes de cobertura de servicios básicos como: obtención de agua, red de alcantarillado, recolección de basura y servicio eléctrico, para el año 2001, del Cantón Pastaza en la zona urbana y rural.

**TABLA 3.5.- COBERTURA DE SERVICIOS (2001)**

Servicio	Cantón	Urbano	Rural
Obtención de agua por tubería	45,8%	66,7%	13,7%
Red de alcantarillado	48,2%	75,4%	6,5%
Servicio de recolección de basura	54%	87%	3%
Servicio eléctrico	76%	96%	46%

Fuentes de los datos: INEC, VI Censo de Población y V Censo de Vivienda 2001; Encuesta CIUDAD-LaSUR (diciembre 2002); ODEPLAN-SIISE-PRODEPINE, V Censo de población de 1990, proyección a 1995 (SIISE, versión 3.5, 2003); Estadísticas de recursos y actividad de salud, ERAS, del INEC; PNUD IDH 1999; INFOPLAN 1999. Fuente de las mapas: SIISE-INFOPLAN, elaborado en el software cartográfico Savane por Tania Serrano, Equipo de investigación CIUDAD-LaSUR.

## 3.4 PARAMETROS DE DISEÑO

lo primero que se realizó como parte del proyecto de tesis, es el muestreo compuesto de dos descargas a cuerpos receptores superficiales afluentes del Río Puyo, durante un día, a intervalos de media hora, tomando medio litro de agua residual en cada uno. Los resultados de los análisis de laboratorio se encuentran en la tabla 3.6

Estos valores no son representativos, ya que el sistema de alcantarillado de la ciudad es combinado y la toma de muestras fue en época lluviosa, por lo cual las aguas residuales presentan un alto porcentaje de dilución, por lo cual no son usados para el diseño de las alternativas.

**TABLA 3.6.- CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES**

PARAMETROS	UNIDAD	VALOR
Alcalinidad	mgCaCO <sub>3</sub> /l	163
DQO	mgO <sub>2</sub> /l	116
DBO <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /l	44,23
Fósforo Total	mg/l	4,04
Nitrógeno Total	mg/l	7,2
Ph		6,7
Sólidos Totales	mg/l	204
Sólidos Volátiles	mg/l	94
Sólidos Sedimentables	mg/l mg/l	110
Coliformes fecales	NMP /100ml	3,4 x 10 <sup>3</sup>

Fuente: Laboratorio de Ciencias Químicas de la UC

### 3.4.1 Población de diseño

Para determinar la población de diseño del tratamiento de las aguas residuales, se consideró los datos de los Censos realizados por el INEC, en los años: 1974, 1982, 1990 y 2001, considerando un modelo de crecimiento exponencial o geométrico ya que se acopla a las condiciones de crecimiento en la zona.

$$Pf = Po(1 + i)^n$$

donde,

$Pf$ = Población futura

$Po$ = Población inicial

$i$ =Tasa anual de crecimiento geométrico

$n$ = Numero de años

Para determinar la población actual (año 2007) en la ciudad de Puyo se tomó en cuenta el censo realizado en el año 2001, con una población de 24.432 habitantes y la tasa de crecimiento anual determinado en el periodo 1990- 2001.

$$Pf_{(2007)} = 24.432(1 + 0,048)^6$$

$$Pf_{(2007)} = 32.400 \text{ habitantes}$$

Con ésta población actual de la ciudad de Puyo y con los datos del área total de la ciudad y el área aportante al colector norte, obtenidos en el Departamento de Avalúos y Catastros del Municipio de Pastaza, se determinó la población al 2007 para el área de influencia del mencionado colector de la ciudad.

$A_{CN}$  = Área aportante al colector Norte: 269 ha

Área Total de la ciudad: 1.000 ha

Con esto se obtiene que la densidad poblacional total:

$$DP_{2007} = \frac{Pf}{Area_{total}} = 32,4 \text{ hab / ha}$$

$$Po_{(2007)} = DP_{(2007)} \times A_{CN}$$

$$Po_{(2007)} = 8.716 \text{ hab.}$$

Por otro lado se tiene que en el área de interés existen aproximadamente 2.800 predios, si en cada predio habitan 5 personas, la población de saturación es de 14.000 habitantes. El diseño de las alternativas se realizará para una población de 15.000 habitantes considerando un factor de seguridad. En el anexo 1 se presenta el esquema de la ciudad de Puyo y el área aportante del colector norte.

### 3.4.2 Periodo de diseño

Este no es relevante ya que se asume un área y densidad poblacional ya definida, lo que nos da la población futura de saturación de la zona de interés.

Sin embargo de acuerdo a la población actual y la futura de saturación de 15.000 habitantes se establece que el periodo de diseño es:

$$n = \frac{\ln\left(\frac{P_f}{P_o}\right)}{\ln(1+i)}$$

$$n = 12 \text{ años}$$

Si existiera un cambio en la población futura, se puede modificar con la construcción de sistemas de tratamiento modulares paralelos.

### 3.4.3 Caudal de diseño

#### 3.4.3.1 Contribución per cápita de agua residual doméstica (CPARD)

Se toma la dotación de agua potable por habitante en la ciudad, proporcionada en el Municipio de Pastaza, y el factor de retorno de agua residual a la red de alcantarillado.

$$CPARD = (220 \text{ l / hab.dia}) \times (0,8)$$

$$CPARD = 176 \text{ l / hab.dia}$$

Caudal de aguas residuales domésticas es:

$$Q = (P_f) \times (CPARD)$$

$$Q = (15.000 \text{ hab}) \times \left( \frac{176 \text{ l / hab dia}}{1.000} \right)$$

$$Q = 2.640 \text{ m}^3 / \text{día}$$

Este es el caudal neto de agua residual; sin embargo, siempre hay la contribución de agua lluvia, lo cual produce una dilución de las aguas residuales domesticas.

### 3.4.4 Carga orgánica

Es función de la carga orgánica per cápita y el número de habitantes, la primera según Collado (1995) es de 50 g DBO<sub>5</sub> / habt. día:

$$CO = COP \times P_f$$

$$CO = (50 \text{ g } DBO_5 / \text{ día}) \times (15.000 \text{ hab})$$

$$CO = 750 \text{ kg } DBO_5 / \text{ día}$$

En consecuencia la concentración de la  $DBO_5$  es:

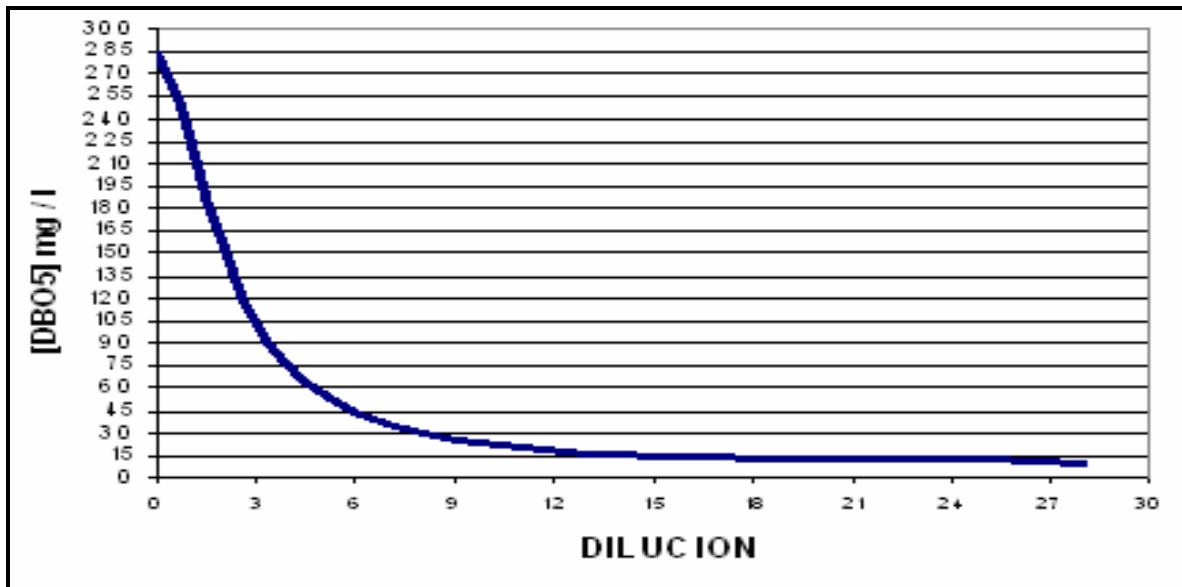
$$[DBO_5] = \frac{CO}{Q}$$

$$[DBO_5] = \frac{750 \text{ Kg} / \text{ día}}{2640 \text{ m}^3 / \text{ día}}$$

$$[DBO_5] = 0,284 \text{ Kg} / \text{ m}^3 = 284 \text{ mg} / \text{ l}$$

Es de anotar que la concentración de  $DBO_5$  se ve afectada por la dilución que puede generar la introducción de agua lluvia al sistema de alcantarillado. En la figura 3.5, se presenta la concentración de la  $DBO_5$  en función del grado de dilución.

**FIGURA 3.5.- BDO Y GRADO DE DILUCIÓN**



Como se puede observar la carga orgánica que genera la población de Puyo es la misma para cualquiera que sea la dilución que genera la inclusión de las aguas

lluvias; en consecuencia el sistema de tratamiento debe ser diseñado para la condición mas crítica; que es la época de estiaje. Esta condición es la siguiente:

$$[DBO_5] = 284 \text{ mg / l}$$

$$Q_m = 2.640 \text{ m}^3 / \text{ día}$$

$$CO = 750 \text{ Kg } DBO_5 / \text{ día}$$

Para evitar la entrada de exceso de caudal de aguas lluvias al sistema de tratamiento se debe prever la instalación de aliviaderos para evacuar éste caudal.

### **3.5 PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS**

Previamente a la descripción de las propuestas que son planteadas en el presente trabajo, se describirá la alternativa de tratamiento presentada ante la Municipalidad de Pastaza, en el 2005, por fundador y gerente, Dr. Ronald Lavigne, de New England System Inc; una compañía que genera ciencia y tecnología en el área ambiental y sanitaria; quién propone un sistema de tratamiento de aguas residuales a través de pantanos secos artificiales, los cuales son como filtros biológicos. Este tipo de tratamiento ha sido implementado desde hace ocho años en la ciudad de Shushufindi; además, en la ciudad de Puyo, esta siendo implementado en conjuntos habitacionales pequeños.

#### **3.5.1 ALTERNATIVA 1: Propuesta del Dr. Lavigne: Fosa Séptica + Pantano Seco Artificial (Pulido y Lijado)+ Lecho de Junquillos.**

La población servida es de 15.000 habitantes, presentando un diseño y construcción en una sola etapa. Cada batería de tratamiento se compone de un tanque sedimentador de  $250 \text{ m}^3$  y de dos lechos de pantanos secos artificial (PSA), uno de lijado y otro de pulido, para una población de servicio es de 2.500 habitantes. Para la población de diseño requerirá un total de seis baterías de tratamiento.

Según esta propuesta los parámetros que utiliza para el dimensionamiento son:  
Caudal de aguas servidas,  $3.000 \text{ m}^3 / \text{día}$  (dotación de agua  $200 \text{ l/hab.día}$ ).  
 $\text{DBO}_5$  del agua residual =  $250 \text{ mg/l}$ .

### **3.5.1.1 Características de diseño de los PSA**

El tiempo de retención estimado para el tratamiento es de 3 días, área total requerida,  $30.000 \text{ m}^2$  (3 ha, lo que equivale a  $2 \text{ m}^2$  por persona) de los 12 pantanos (requiriendo  $2.500 \text{ m}^2$  cada uno); una altura efectiva de los lechos de  $0,75\text{m}$ . Planteando que si el sistema crece será necesario un aumento de área en el rango de 2 ha por cada  $10.000$  habitantes. En la figura 3.6, se presenta el esquema de conformación de la alternativa de tratamiento de aguas residuales, con pantanos secos artificiales

#### **Tanques para sedimentación**

El tratamiento comprende la utilización de seis tanques de sedimentación con un tiempo de retención de 0,5 días (12 horas), cada tanque ocupa un área de  $50 \text{ m}^2$  y un volumen total de  $1.500 \text{ m}^3$ .

#### **Tratamiento de los lodos residuales.**

Prevé la utilización de cuatro lechos de junquillos (reed beds) que ocupan un área aproximada de  $3.000 \text{ m}^2$ . El agua producto de la deshidratación de los lodos son recirculados por medio de tuberías a los tanques de sedimentación.

Además, es necesario colocar una capa impermeabilizante de arcilla roja compactada de  $15 \text{ cm}$  de espesor (material común en la zona), también se requieren capas de grava gruesa y fina para la protección de las tuberías perforadas de distribución del agua. Las plantas a utilizarse son Pasto Alemán (*echinoquia polistachyos*). Todo el sistema de tratamiento tiene una cuneta revestida de hormigón para proteger de la acción de la escorrentía y un cerramiento de postes de madera y alambres de púas para evitar el ingreso de personas y animales al sistema de tratamiento.

### 3.5.1.2 Parámetros de análisis.

#### Área total utilizada para el tratamiento (AT)

AT= Área tanques sedimentadores + Áreas (PSA lijado y PSA Pulido) + Área tratamiento de lodos.

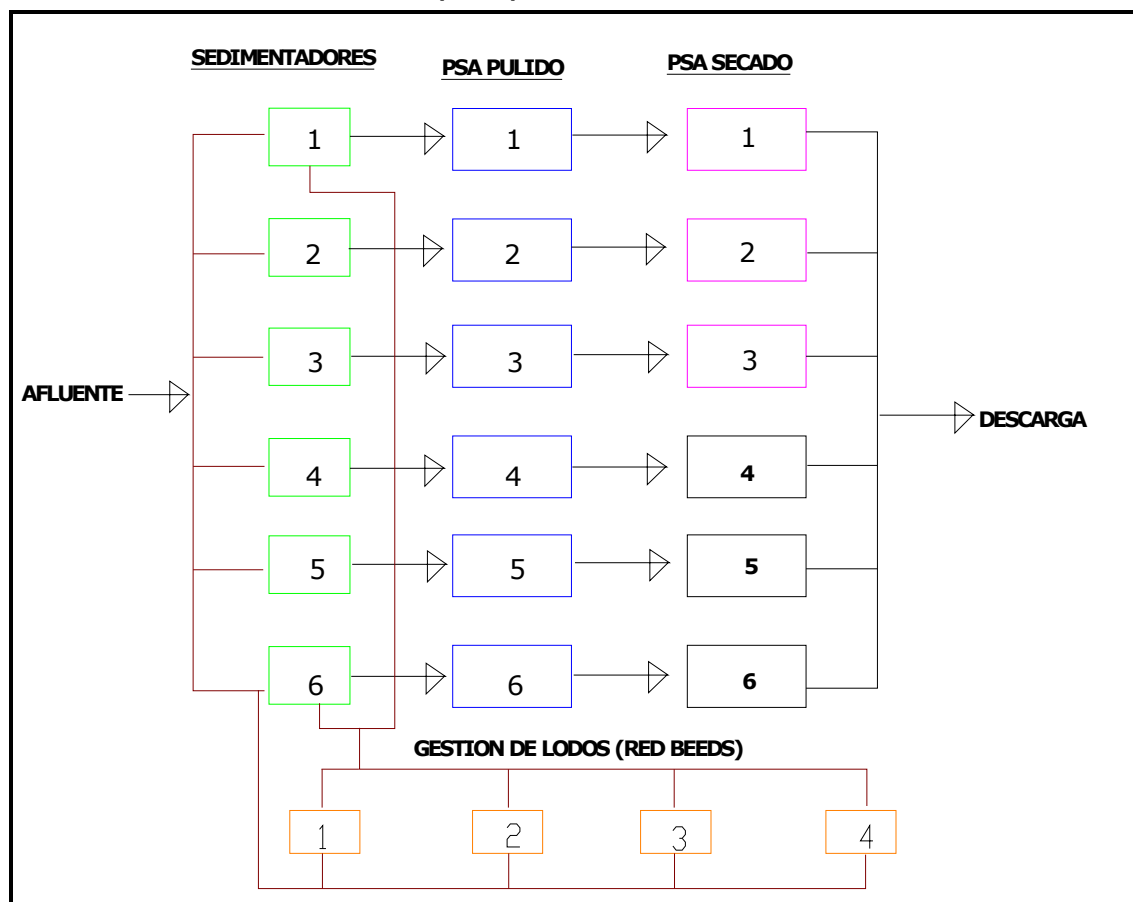
$$AT = (300 + 30.000 + 3.000) m^2$$

$$AT = 33.300 m^2 = 3,33 ha$$

Del área calculada se necesita del 10 % adicional (0,33 ha) para circulación, con lo que el área total será:

$$AT = 3,66 ha$$

**FIGURA 3.6.- ESQUEMA DE LA ALTERNATIVA DE PANTANOS SECOS ARTIFICIALES (PSA)**





### **Volumen de relleno de los PSA**

$$ARCILLA = (AT) \times (e)$$

$$ARCILLA = (30.000 \text{ m}^2 \times 0,15) = 4.500 \text{ m}^3$$

$$GRAVA \text{ y } ARENA = (30.000 \times 0,75) = 22.500 \text{ m}^3$$

donde,

e= espesor de relleno de los PSA

### **Eficiencia del sedimentador**

La eficiencia de los tanques sedimentadores es baja, oscilando entre el 30 y 40 % para la eliminación de DBO<sub>5</sub> y DQO y 60% de los SS (Metcalf, 1996 y Collado, 1992).

### **Pretratamientos**

La mencionada propuesta de tratamiento no hace mención de la utilización de pretratamientos, como rejillas y desarenadores.

### **Humedales**

Según Metcalf (1996) y Hammer (1989), la máxima carga orgánica que soportan los sistemas de tratamiento de humedales sin aireación es de 110 Kg/ha.día, para evitar la presencia de malos olores y obstrucciones del proceso de tratamiento.

### **Costos**

Para la determinación de los costos de todas las alternativas, se utilizó como referencia de precios unitarios los establecidos por la Cámara de la Construcción de Quito y la Empresa Metropolitana de Agua Potable y Alcantarillado de Quito (EMAAP-Q), que son presentados en el Anexo 2.

En la tabla 3.7, se presenta el aproximado de los costos de construcción de la alternativa 1. Los costos están determinados considerando las áreas y volúmenes

totales dadas por el Dr. Ronald Lavigne, por lo tanto no reflejan los presentados por el autor, ante la Municipalidad de Pastaza.

**TABLA 3.7.- COSTOS DE LA ALTERNATIVA 1**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT	PRECIO TOTAL
			(USD)	(USD)
<b>1. PLANTA DE TRATAMIENTO</b>				
Limpieza superficial del terreno	m <sup>2</sup>	33.300	0,51	16.983
Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	33.300	0,77	25.641
TOTAL 1:				42.624
<b>2. CERRAMIENTO</b>				
Excavación manual a 2m	m <sup>3</sup>	88	3,49	307,12
Hormigón simple f'c=180Kg/cm2	m <sup>3</sup>	40,3	66,22	2.668,7
Malla de cerramiento 50/10 20m/200cm	Roll	37	180,88	6.692,5
Tubo de hierro galv. 11/2" L=2,60@3,0m	M	486,6	5,14	2.501,1
Puerta vehicular	m <sup>2</sup>	12	35,75	429
Desalojo	m <sup>3</sup>	51,84	3,46	179,4
TOTAL 2:				12777,8
<b>3. SEDIMENTADORES</b>				
Excavación 4-6m a máquina	m <sup>3</sup>	1500	6,22	9.330
Hormigón f'c=210Kg/cm2 + replantillo	m <sup>3</sup>	360,1	253,66	91.342,9
Acero de refuerzo	Kg	10.870,9	1,25	13.588,6
Desalojo	m <sup>3</sup>	1500	3,46	5.190
TOTAL 3:				119.451,6
<b>4. PANTANOS</b>				
Excavación 4-6m a máquina	m <sup>3</sup>	30.000	6,22	186.600
Desalojo	m <sup>3</sup>	15.000	3,46	51.900
Grava	m <sup>3</sup>	22.500	15,95	358.875
Relleno con mat. común compact. del sitio	m <sup>3</sup>	4.500	4,96	22.320
TOTAL 4:				619695
<b>5. LECHOS DE JUNQUILLOS</b>				
Excavación a 2 m. a maquina	m <sup>3</sup>	3.000	5,24	15.720
Desalojo	m <sup>3</sup>	3.000	3,46	10.380
Gravilla	m <sup>3</sup>	2.250	15,95	7.177,5
Relleno con mat. Común compact. del sitio	m <sup>3</sup>	450	4,96	2232
TOTAL 5:				26.100
<b>TOTAL: 1+2+3+4+5</b>				820.648,4
<b>VARIOS (15% DEL TOTAL)</b>				87.817,3
			<b>COSTO</b>	908.465,7

### Carga orgánica superficial

La carga orgánica superficial se estima primeramente con los datos proporcionados en la memoria técnica del proyecto del autor:

$$DBO_5 = 250 \text{ mg/l}$$

$$Q = 3.000 \text{ m}^3 / \text{día}$$

$$CO = (3.000) \times (250 / 1.000)$$

$$CO = 750 \text{ kg} / \text{día}$$

Área Total de los pantanos primarios =  $6 \times 0,25 = 1,5 \text{ ha}$

$$LS = \frac{CO}{Area}$$

$$LS = \frac{750 \text{ kg} / \text{día}}{1,5 \text{ ha}}$$

$$LS = 500 \text{ kg} / \text{día ha}$$

### Condiciones Reales

De acuerdo a la dotación de agua potable, proporcionada por el Municipio de Pastaza y la carga orgánica per cápita, la  $DBO_5$  es alrededor de 284 mg/l.

Eficiencia del sedimentador: 40%

Concentración  $DBO_5$  que llega a cada pantano: 170 mg / l.

Caudal total:  $3.000 \text{ m}^3 / \text{día}$

Hectáreas totales de pantanos primarios: 1,5 ha

$CO =$  Carga orgánica.

$$Co = DBO_5 \times Q$$

$$CO = 0,17 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 3.000 \text{ m}^3 / \text{día}$$

$$CO = 510 \text{ kg} / \text{día}$$

$$LS = \frac{CO}{A}$$

$$LS = \frac{510 \text{ kg} / \text{día}}{1,5 \text{ ha}}$$

$$LS = 340 \text{ kg} / \text{ha.día}$$

### **Lecho de junquillos**

Debido a que el sedimentador no digiere lodos, éstos se evacuan sin digestión al sistema de gestión de lodos, lo cual puede generar condiciones anaerobias en el tratamiento.

### **Operación y Mantenimiento**

Está centrado en el adecuado manejo del sedimentador primario, el mismo que involucra la eliminación diaria de los lodos y la prevención de malos olores, para lo cual se debe controlar el pH en la misma. Además de evitar que el agua de salida arrastre natas y espumas, ya que puede causar problemas en los pantanos.

### **3.5.2 ALTERNATIVA 2: Pretratamientos + Reactor anaerobio + lagunas de maduración de bajo calado + Gestión de lodos**

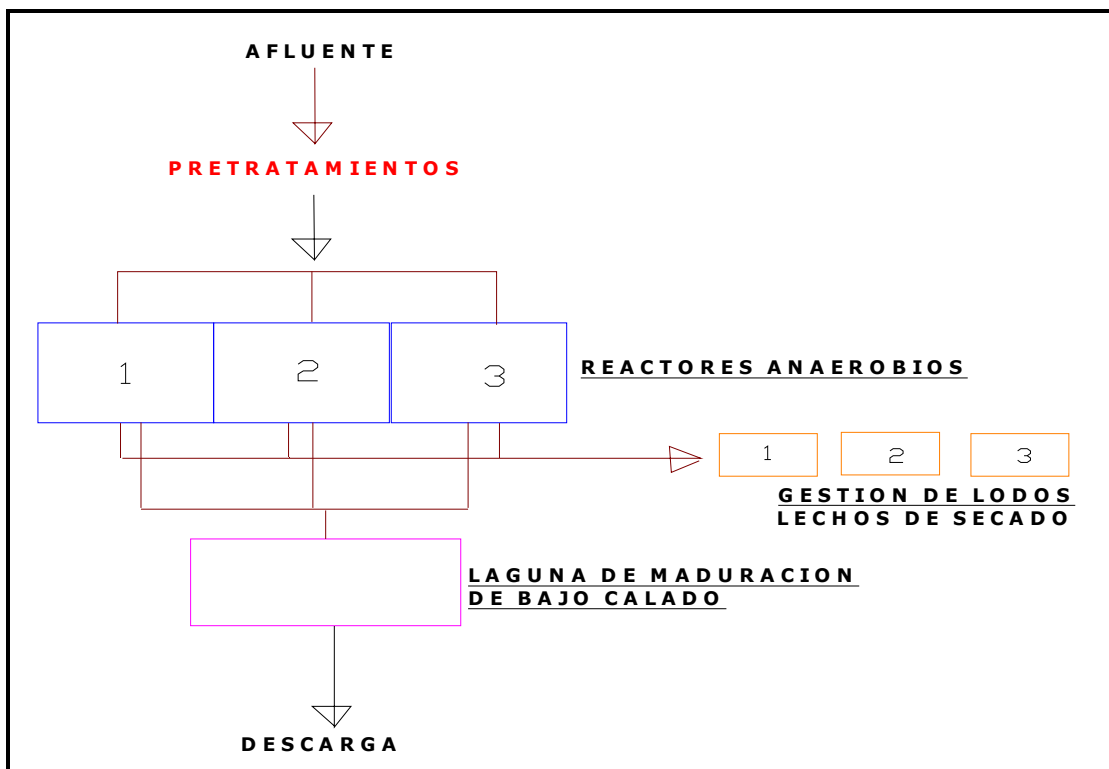
La propuesta contempla como pretratamiento la utilización de rejilla y desarenador, además para evacuar el exceso de caudal se implementarán aliviaderos.

Los reactores anaerobios son unidades en los que el flujo tiene una trayectoria desde la parte inferior a la parte superior del tanque con lo cuál se genera una mayor eficiencia en la sedimentación y retención de los sólidos, además de la formación de una capa bacteriana uniforme que tienen mayor tiempo de contacto con el agua a tratar.

Según Muñoz, Cabrera y Villacrés (2000), las lagunas de maduración de bajo calado con profundidades de 0,20 y 35 cm, permiten la penetración total de la radiación solar, obteniéndose una adecuada mortalidad de organismos patógenos de tal manera que la concentración de coliformes fecales en el efluente para las condiciones más críticas de un día de tiempo de retención, de 460 y 750 CF /100ml respectivamente.

Los lodos que se drenan del reactor son estables y altamente digeridos, por esto son tratados por medio de deshidratación al aire libre, la instalación será cubierta con una estructura tipo invernadero debido a la pluviosidad de la zona. La figura 3.7, presenta el esquema de la alternativa descrita.

**FIGURA 3.7- ESQUEMA DE LA ALTERNATIVA 2 PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL**



### 3.5.2.1 DISEÑO

#### Reactor anaerobio

Volumen:

$$V_t = Q \times \theta_H$$

$$V_t = 2.640 \text{ m}^3 / \text{día} \times 0,5 \text{ días}$$

$$V_t = 1.320 \text{ m}^3$$

$\theta_H$ = Tiempo de retención hidráulico

$V_t$ = Volumen total

En esta propuesta la distribución del volumen será en tres reactores por facilidades de manejo y construcción de los mismos, además deberán ser cerrados para la captación de biogás y posterior gestión. Cada reactor tendrá un volumen de  $440 \text{ m}^3$ , ocupando un área total de  $300 \text{ m}^2$ .

### Laguna de maduración de bajo calado

Se contempla la construcción de una laguna tipo flujo pistón.

#### Carga Orgánica:

Eficiencia de los reactores: 70%

$\text{DBO}_5$  afluente promedio al reactor:  $284 \text{ mg / l}$

$\text{DBO}_5$  efluente del reactor:  $85 \text{ mg / l}$

$$CO = \text{DBO}_5 \times Q$$

$$CO = 0,085 \text{ kg / m}^3 \times 2.640 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

$$CO = 225 \text{ kg / dia}$$

#### Área y Volumen:

$\theta_H$ = Tiempo de retención hidráulico = 1 día

$$V_t = Q \times \theta_H$$

$$V_t = 2.640 \text{ m}^3 / \text{día} \times 1 \text{ día}$$

$$V_t = 2.640 \text{ m}^3$$

$h = 0,35 \text{ m}$  = altura de la laguna

$$\text{Area} = \frac{V_t}{h}$$

$$\text{Area} = \frac{2640 \text{ m}^3}{0,35 \text{ m}}$$

$$\text{Area} = 7543 \text{ m}^2$$

Se adopta un área de la laguna de una hectárea.

$$LS = \frac{CO}{A}$$

$$LS = \frac{225 \text{ kg / día}}{1 \text{ ha}}$$

$$LS = 225 \text{ kg DBO}_5 / \text{ha.día}$$

Por la gran precipitación existente en la zona se construirá un vertedero cuyas dimensiones estén en función de la precipitación, de esta forma se prevendrá la inundación de la laguna.

### **Gestión de lodos**

Según datos de Jipijapa, ciudad en la cual se están tratando las aguas bajo este sistema, la tasa de generación de lodos es de: 0,1 Kg ss / kg DQO (M. Muñoz, comentarios personales).

### **Carga orgánica de los lodos en función de la DQO:**

Considerando una relación típica en aguas residuales que es  $DQO / DBO_5 = 2$ , la DQO de esta agua residual sería:

$$DQO = (2) \times (284 \text{ mg / l})$$

$$DQO = 568 \text{ mg / l}$$

$$CODQO = (2.640 \text{ m}^3 / \text{día}) \times (0,568 \text{ kg / m}^3)$$

$$CODQO = 1.500 \text{ kg / día}$$

donde,

CODQO = carga orgánica de la DQO

### **Producción de lodo diario:**

$$PL = CODQO \times \text{tasageneración}$$

$$PL = (1.500 \text{ kg DQO} / \text{día}) \times (0,1 \text{ kg SS} / \text{kg DQO})$$

$$PL = 150 \text{ kg SS} / \text{día}$$

### **Volumen de lodo:**

Los lodos en Jipijapa tienen un peso específico de  $1,02 \text{ Kg} / \text{m}^3$ ; contenido de sólidos: 8%.

$$V = \frac{PL}{\gamma \times CS}$$

$$V = \frac{150 \text{ kg SS} / \text{día}}{1.000 \times 1,02 \times 0,8}$$

$$V = 1,84 \text{ m}^3 / \text{día}$$

$$V_{mes} = 55,14 \text{ m}^3$$

donde,

CS= contenido de sólidos del lodo.

Para la deshidratación de los lodos se considera una altura (z) efectiva de lodos en los lechos de 0,25 m cada mes. Lo cual garantiza un buen funcionamiento de los lechos de secado.

$$A = \frac{V_{mes}}{z}$$

$$A = \frac{55,14 \text{ m}^3}{0,25 \text{ m}^2}$$

$$A = 220 \text{ m}^2$$

Por lo tanto el área total es de aproximadamente  $300 \text{ m}^2$ , debido a esto la propuesta es la construcción de 3 lechos de secado de  $100 \text{ m}^2$  cada uno, incorporando estructuras tipo invernadero para favorecer la deshidratación de los lodos.



### 3.5.2.2 Parámetros de análisis.

#### Área Total (AT):

Área Neta = Área pretratamiento + Área reactor + Área laguna + Área lechos de secado

$$A_{\text{neto}} = (50 + 300 + 10.000 + 300) \text{ m}^2$$

$$A_{\text{neto}} = 10.650 \text{ m}^2$$

AT = Área Neta + 10% circulación

$$AT = 10.650 + 1.060$$

$$AT = 11.710 \text{ m}^2 = 1,2 \text{ ha}$$

#### Eficiencia del reactor

A diferencia de la primera alternativa de tratamiento analizada anteriormente, en los reactores anaerobios con distribución de flujo vertical la eficiencia es del 70%.

#### Carga Orgánica de la laguna

Duncan Mara (Muñoz, 1985), estableció la siguiente fórmula para determinar la carga superficial máxima que pueden soportar las lagunas:

$$LS_{\text{max}} = (20) \times (T - 120)$$

T = temperatura media de la zona = 20<sup>0</sup> C

$$LS_{\text{max}} = (20) \times (24) - 120$$

$$LS_{\text{max}} = 360 \text{ kg / ha.día}$$

La fórmula permite comprobar la máxima carga soportable en este tipo de tratamientos. Para el caso del Puyo la carga orgánica de funcionamiento es del 63% en relación de la máxima (225 Kg /ha día).

## Costos

En la tabla 3.8 se presenta el costo individual y total para la implementación de la alternativa 2 de tratamiento de aguas residuales domésticas.

**TABLA 3.8.- COSTOS DE LA ALTERNATIVA 2**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT	PRECIO TOTAL
			(USD)	(USD)
<b>1. PLANTA DE TRATAMIENTO</b>				
Limpieza superficial del terreno	m <sup>2</sup>	11.660,00	0,51	5.946,60
Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	11.660,00	0,77	8.978,20
TOTAL 1:				14.924,80
<b>2. CERRAMIENTO</b>				
Excavación a 2m a mano	m <sup>3</sup>	51,84	3,49	180,92
Hormigón simple f'c=180Kg/cm2	m <sup>3</sup>	26,90	66,22	1.781,32
Malla de cerramiento 50/10 20m/200cm	roll	22,00	180,88	3.979,36
Tubo de hierro galv. 11/2" L=2,60@3,0m	m	288,00	5,14	1.480,32
Puerta vehicular	m <sup>2</sup>	12,00	35,75	429,00
Desalojo	m <sup>3</sup>	51,84	3,46	179,37
TOTAL 2:				8.030,29
<b>3. PRETRATAMIENTOS</b>				
Rejas				500,00
Desarenador				
Desalojo	m <sup>3</sup>	4,00	3,46	13,84
Hormigón	m <sup>3</sup>	2,00	3,49	6,98
Hierro	kg	260,00	1,25	325,00
TOTAL 3:				845,82
<b>4. REACTORES</b>				
Excavación 4-6m a máquina	m <sup>3</sup>	1.320,00	6,22	8.210,40
Hormigón f'c=210Kg/cm2 + replantillo	m <sup>3</sup>	282,00	253,66	71.532,12
Acero de refuerzo	Kg	28.200,00	1,25	35.250,00
Desalojo	m <sup>3</sup>	1320,00	3,46	4.567,20
TOTAL 4:				119.559,72
<b>5. LAGUNAS DE TRATAMIENTO</b>				
Excavación a 2m a máquina	m <sup>3</sup>	4.149,00	5,24	21.740,76
Desalojo	m <sup>3</sup>	2000,00	3,46	6.920,00
TOTAL 5:				28.660,76
<b>6. LECHOS DE SECADO</b>				
Excavación a 2 m. a máquina	m <sup>3</sup>	300,00	5,24	1.572,00
Hormigón f'c=210Kg/cm2 + replantillo	m <sup>3</sup>	9,00	253,66	2.282,94
Acero de refuerzo	Kg	720,00	1,25	900,00
Ladrillos	m <sup>2</sup>	300,00	12,15	3.645,00
Desalojo	m <sup>3</sup>	300,00	3,46	1.038,00
TOTAL 6:				8.399,94
<b>TOTAL: 1+2+3+4+5+6</b>				<b>180.421,33</b>
<b>VARIOS: 15% (DEL TOTAL)</b>				<b>27.063,20</b>
			<b>Costo</b>	<b>207.484,52</b>

### **Gestión de lodos**

Los lodos digeridos no requieren de un proceso de digestión posterior, lo cual facilita el manejo.

### **3.5.3 ALTERNATIVA 3: Pretratamientos + Reactor Anaerobio + Infiltración Rápida + Gestión de Lodos**

En esta propuesta el reactor anaerobio tiene las mismas características y funcionamiento que la alternativa anterior (alternativa 2). De igual manera la gestión de lodos.

La infiltración rápida en el terreno es un método natural que trata de aprovechar la permeabilidad del suelo. El agua se depura por infiltración a través del terreno, genera en los diferentes estratos la degradación tanto biológica como físico química de la materia orgánica así como la mortalidad de los organismos patógenos. El grado de tratamiento del agua depende de la permeabilidad del suelo, tasa de aplicación y de la profundidad. (Muñoz y Romero, 1996). En la figura 3.8 se muestra el esquema de diseño de la alternativa 3.

#### **3.5.3.1 DISEÑO**

##### **Reactor Anaerobio**

Especificado en la ALTERNATIVA 2.

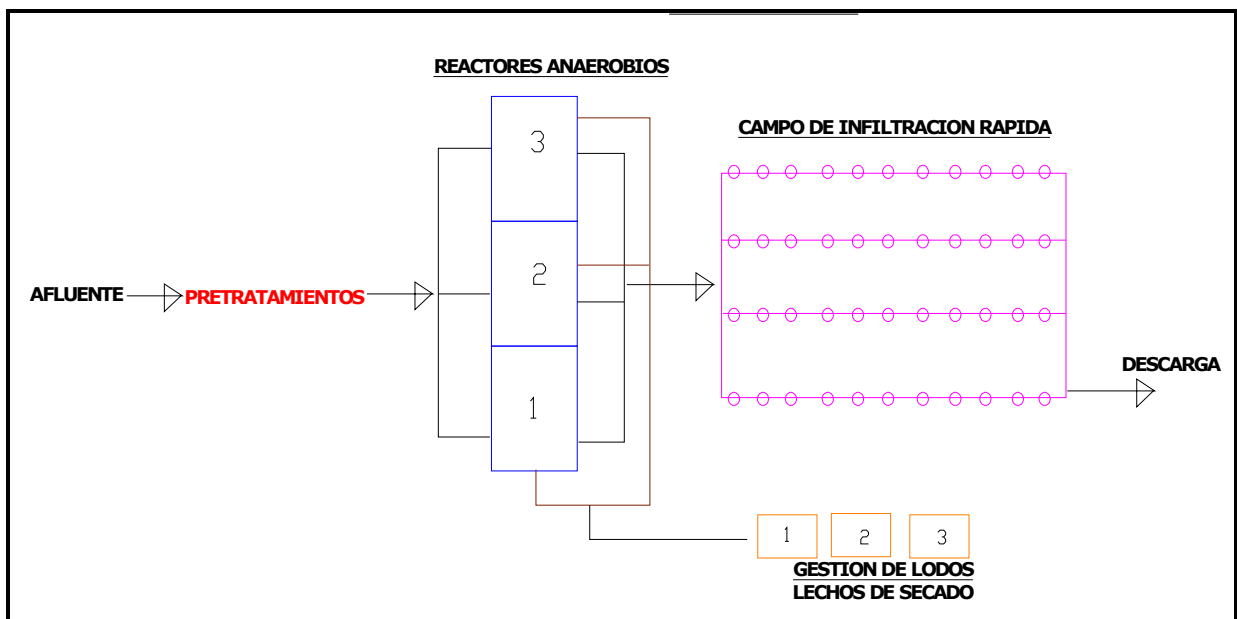
##### **Infiltración rápida**

En la memoria del diseño definitivo del Alcantarillado Sanitario para la Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza (ECCOL AMBIENTEC, 1995), se presenta un valor de permeabilidad del suelo (k) de  $2,21 \times 10^{-5}$  cm/s (0,79 mm/h) para la zona de interés.

Según Metcalf y Eddy (1996), para que un sistema de infiltración rápida funcione correctamente, es necesario que la permeabilidad del terreno sea superior a 25 mm/h, según Collado (1992) se requiere una permeabilidad mínima de 50 mm/h. y Muñoz M & Romero P (1996) indican para el caso de Ecuador una infiltración de 14mm/h.

Con los datos anteriormente expuestos se concluye que estos métodos de aplicación natural al suelo, en los cuales la depuración de las aguas depende de la permeabilidad del mismo, para la zona de estudio no pueden ser aplicados, debido a la baja permeabilidad de la zona, lo cual prevería la necesidad de un área para el tratamiento de 18 hectáreas. Por lo cual no se realizará la evaluación económica ni ambiental.

**FIGURA 3.8.- ESQUEMA REPRESENTATIVO DE LA ALTERNATIVA 3 DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**



### 3.5.4 ALTERNATIVA 4: Pretratamientos + Reactor Anaerobio + Lagunas de Estabilización Convencionales + Gestión de Lodos

En esta propuesta, el reactor anaerobio tiene las mismas características y funcionamiento que la alternativa anterior (alternativa 2). De igual manera la gestión de lodos.

Las lagunas de maduración son usadas fundamentalmente para la eliminación de organismos patógenos, las cargas orgánicas superficiales debe estar dentro de un valor adecuado, donde el tiempo de retención y la tasa de mortalidad de los coliformes fecales son los parámetros de diseño utilizados. En la figura 3.9 se presenta el esquema de diseño de la alternativa 4 para el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

### 3.5.4.1 DISEÑO

#### Reactor anaerobio

Especificado en la ALTERNATIVA 2.

#### Lagunas de maduración

Número de lagunas requeridas:

$$\frac{N_e}{N_o} = \frac{1}{(1 + kb \times \theta_{H1}) \times (1 + kb \times \theta_{H2}) \dots (1 + kb \times \theta_{Hn})^n}$$

donde,

$N_e$ = Número de coliformes fecales del efluente

$N_o$ = Número de coliformes fecales del afluente

$kb$ = coeficiente de mortalidad de coliformes fecales

$\theta_H$ = Tiempo de retención hidráulico = 2 días

$n$ = Número de lagunas

$$kb = 2,6 \times (1,07)^{T-20}$$

$$kb = 2,6 \times (1,07)^{24-20}$$

$$kb = 3,4$$

Entonces:

Coliformes fecales del agua residual cruda =  $1 \times 10^7$  CF /100ml

Coliformes fecales en el efluente del reactor anaerobio = 80 % de los coliformes en el agua cruda =  $8 \times 10^6$  CF / 100 ml

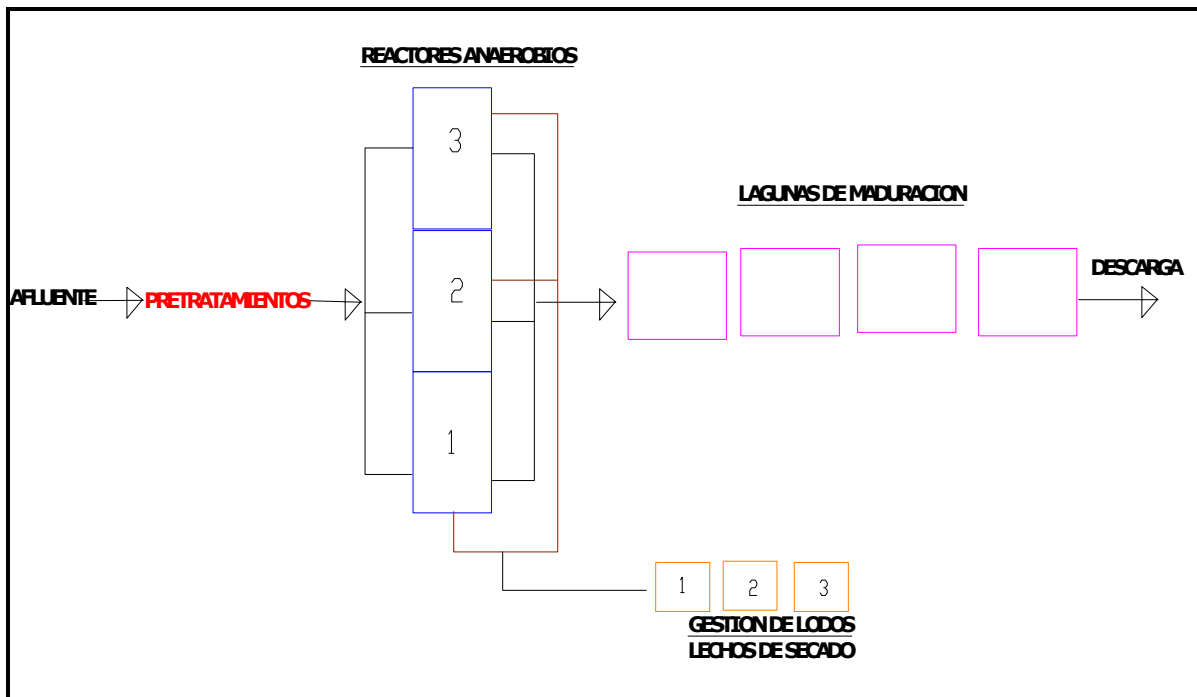
Coliformes fecales para efluente de las lagunas = 1.000 CF /100ml

$$\frac{1.000}{8000.000} = \frac{1}{(1 + 3,4 \times 2)^n}$$

$$1,25 \times 10^{-4} = \frac{1}{7,8^n}$$

$$n = 4$$

**FIGURA 3.9.- ESQUEMA DE LA ALTERNATIVA 4 PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL**



**Volumen de cada laguna**

$$V = Q \times \theta_H$$

$$V = (2.640) \times (2 \text{ días})$$

$$V = 5.280 \text{ m}^3$$

Si se considera altura (h) de un metro:

$$Area = \frac{5.280}{1}$$

$$Area = 5.280 \text{ m}^2 = 0,53 \text{ ha}$$

### **Gestión de lodos**

Especificado en la ALTERNATIVA 2.

#### **3.5.4.2 Parámetros de análisis.**

#### **Área Total (AT):**

Área Neta = Área de pretratamiento + Área reactor + Área lagunas de maduración  
+ Área lechos de secado

$$A_{\text{neto}} = (50 + 300 + 4(5.280) + 300) \text{ m}^2$$

$$A_{\text{neto}} = 21.778 \text{ m}^2$$

$$AT = A_{\text{neto}} + 10\%$$

$$AT = 21.778 + 2.170$$

$$AT = 23.940 \text{ m}^2 = 2,4 \text{ ha}$$

#### **Eficiencia de la laguna de maduración**

La laguna es diseñada para obtener un valor de 1000CF / 100ml en el efluente

#### **Costos**

En la tabla 3.9 se presenta los costos de implementación de la alternativa 4, para el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

TABLA 3.9.- COSTOS DE LA ALTERNATIVA 4

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT	PRECIO TOTAL
			(USD)	(USD)
<b>1. PLANTA DE TRATAMIENTO</b>				
Limpieza superficial del terreno	m <sup>2</sup>	23.890	0,51	12.183,9
Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	23.890	0,77	18.395,3
TOTAL 1:				30.579,2
<b>2. CERRAMIENTO</b>				
Excavación manual de 2m	m <sup>3</sup>	74,2	3,49	258,9
Hormigón simple f'c=180Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	36,9	66,2	2.443,5
Malla de cerramiento 50/10 20m/200cm	roll	31	180,9	5.607,3
Tubo de hierro galv. 1 1/2" L=2,60@3,0m	m	412	5,14	2.117,7
Puerta vehicular	m <sup>2</sup>	12	35,8	429
Desalojo	m <sup>3</sup>	51,84	3,5	179,4
TOTAL 2:				11.035,8
<b>3. PRETRATAMIENTOS</b>				
Rejas				500
Desarenador				
Desalojo	m <sup>3</sup>	4	3,5	13,8
Hormigón	m <sup>3</sup>	2	3,5	6,9
Hierro	kg	260	1,3	325
TOTAL 3:				845,8
<b>4. REACTORES</b>				
Excavación 4-6m a máquina	m <sup>3</sup>	1.320	6,2	8.210,4
Hormigón f'c=210Kg/cm <sup>2</sup> + replantillo	m <sup>3</sup>	282	253,7	71.532,1
Acero de refuerzo	Kg	28.200	1,3	35.250
Desalojo	m <sup>3</sup>	1.320	3,5	4567,2
TOTAL 4:				119.559,7
<b>5. LAGUNAS CONVENCIONALES</b>				
Excavación a 2m a máquina	m <sup>3</sup>	10.560	5,2	55.334,4
Desalojo	m <sup>3</sup>	10.560	3,5	36.537,6
TOTAL 5:				91.872
<b>6. LECHOS DE SECADO</b>				
Excavación a 2 m. a maquina	m <sup>3</sup>	300	5,2	1.572
Hormigón f'c=210Kg/cm <sup>2</sup> + replantillo	m <sup>3</sup>	9	253,7	2.282,9
Acero de refuerzo	Kg	720	1,3	900
Ladrillos	m <sup>2</sup>	300	12,2	3.645
Desalojo	m <sup>3</sup>	300	3,5	1.038
TOTAL 6:				8.399,9
<b>TOTAL: 1+2+3+4+5+6</b>				<b>262.292,5</b>
<b>VARIOS: 15% (DEL TOTAL)</b>				<b>39.343,9</b>
			<b>COSTO</b>	<b>301.636,4</b>



### **Operación y Mantenimiento**

Este parámetro es similar en las tres alternativas anteriormente mencionadas, los principales puntos de análisis son: las rejillas para el pretratamiento que deben ser limpiadas de una a dos veces al día, dependiendo del material flotante retenido.

En el reactor anaerobio el funcionamiento y mantenimiento del mismo, es debido al drenaje y manejo de lodos, así se estima que cuando el nivel esté a unos 0,60m del cajón de salida (MIDUVI, SSA, USAID, 1995), este debe ser drenado, para las alternativas del presente trabajo se estima el drenaje una vez al mes.

Por otro lado en la laguna es importante evitar la generación de zonas muertas o cortocircuitos, controlar los niveles del agua, además hay que mantener los taludes libres de crecimiento de plantas, y la superficie sin presencia de natas.

#### **3.5.5 ALTERNATIVA 5: Pretratamientos + Reactor Anaerobio + Pantano Artificial + Gestión de Lodos**

En esta propuesta el reactor anaerobio tiene las mismas características y funcionamiento que la alternativa anterior (alternativa 2). De igual manera la gestión de lodos.

Los humedales artificiales como tratamiento de aguas residuales, son sistemas que pueden oscilar desde la creación de un pantano en una zona natural hasta una construcción extensa que requiere un importante movimiento de obras y construcción de barreras.

En esta propuesta se trata de mejorar la ALTERNATIVA 1, la cual puede producir condiciones anaerobias en los pantanos artificiales, debido a la baja eficiencia del sedimentador (fosa séptica). Demostrándose anteriormente que los mismos presentan una mayor carga orgánica.

Por tal motivo en esta última alternativa se propone el cambio de la fosa séptica, por un reactor anaerobio, el cual tiene una mayor eficiencia de depuración como

tratamiento primario. En la figura 3.10 se muestra el esquema representativo de la alternativa 5, para el tratamiento de aguas residuales domésticas

### 3.5.5.1 *DISEÑO*

#### 3.5.5.1.1 Reactor anaerobio

Especificado en la ALTERNATIVA 2.

#### 3.5.5.1.2 Pantano artificial

#### **Tiempo de residencia**

$C_o$ = Concentración a la entrada de  $DBO_5$  en mg/l (salida del reactor anaerobio)

$C_t$ = Concentración de  $DBO_5$  en mg/l, esperada en el pantano.

$K$ = Constante de reacción asumida en  $1,2 d^{-1}$ . (Valor usado por Lavigne en el Ecuador)

$t$ = Tiempo de residencia en día

$$t = -\frac{\ln\left(\frac{C_t}{C_o}\right)}{k}$$

$$t = -\frac{\ln\left(\frac{10 \text{ mg/l}}{85,2 \text{ mg/l}}\right)}{1,2 d^{-1}}$$

$$t = 1,78 \text{ dias} = 2 \text{ dias}$$

#### **Volumen y Área**

$$Q \times t = A^2 \times h \times n$$

donde,

$A$ = Área requerida para los pantanos

$n$ = Porosidad del medio (la porosidad promedio para el funcionamiento es de 0,4; lo cual se obtiene en un medio de grava y arena)

$h$ = profundidad efectiva (0,75 m, debido al diseño y conformación del material pétreo de relleno).

$$A = \frac{Q \times t}{h \times f}$$

$$A = \frac{2.640 \text{ m}^3 / \text{dia} \times 2 \text{ dias}}{0,75 \text{ m} \times 0,4}$$

$$A = 17.600 \text{ m}^2$$

Aproximadamente  $1,17 \text{ m}^2 / \text{hab.}$

El volumen total requerido para el tratamiento es:

$$V = A \times h$$

$$V = 13.200 \text{ m}^3$$

La alternativa contempla la construcción de 3 pantanos artificiales con un volumen de  $44.00 \text{ m}^3$  y un área de ocupación de  $5.500 \text{ m}^2$  cada uno.

Cada pantano contiene 0,3 m de arena, 0,35 m de grava y 0,1 m de gravilla. Debido a que la carga orgánica en el pantano es bajo (menor a la norma) y la capacidad de infiltración que presenta el terreno; no es necesario impermeabilizar la base.

### **Carga orgánica superficial**

De acuerdo a la dotación de agua potable, proporcionada por el Municipio de Pastaza y la carga orgánica per cápita, la  $\text{DBO}_5$  es alrededor de 284 mg/l.

Eficiencia del sedimentador: 70%

Concentración  $\text{DBO}_5$  que llaga a cada pantano: 85,2 mg / l.

Caudal total:  $3.000 \text{ m}^3 / \text{día}$

Hectaras total de pantanos primarios: 1,5 ha

$CO$ = Carga orgánica.

$$CO = DBO_5 \times Q$$

$$CO = (0,085 \text{ kg} / \text{m}^3) \times (2.640 \text{ m}^3 / \text{día})$$

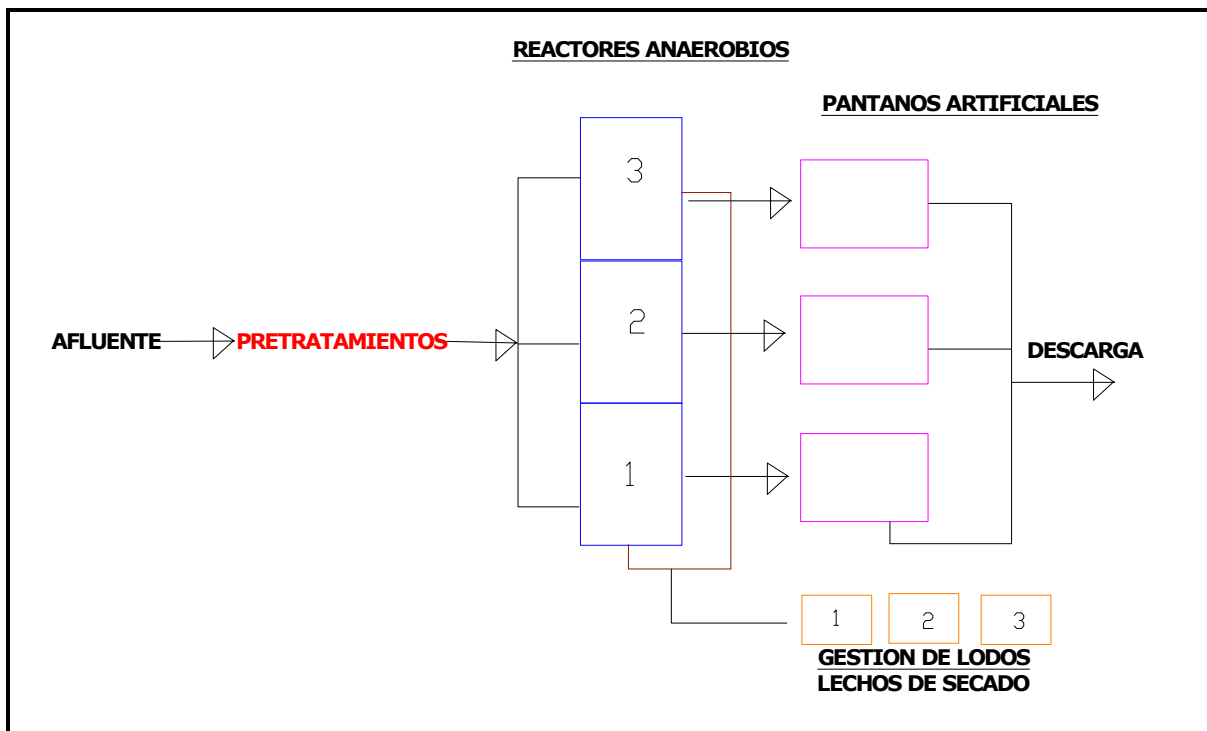
$$CO = 225 \text{ kg} / \text{hadía}$$

$$LS = \frac{CO}{Area}$$

$$LS = \frac{225 \text{ kg} / \text{dia}}{1,76 \text{ ha}}$$

$$LS = 128 \text{ kg} / \text{diaha}$$

**FIGURA 3.10.- ESQUEMA DE LA ALTERNATIVA 5 PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL**



### Gestión de lodos

Especificado en la ALTERNATIVA 2.

#### 3.5.5.2 Parámetros de análisis.

**Área Total (AT):**

Área Neta = Área de pretratamiento + Área reactor + Área pantanos artificiales +  
Área lechos de secado.

$$A_{\text{reaneta}} = (50 + 300 + 17.600 + 300)m^2$$

$$A_{\text{reaneta}} = 18.250 m^2$$

$$AT = A_{\text{reaneta}} + 10\% \text{ circulación}$$

$$AT = 18.250 + 1.825$$

$$AT = 20.075 m^2 = 2 \text{ ha}$$

### **Volumen de relleno de los PSA**

$$GRAVA \text{ y } ARENA = (17.600 \times 0,75) = 13.200 m^3$$

### **Pretratamientos**

La mencionada propuesta de tratamiento no hace mención de la utilización de pretratamientos, como desarenadores y rejillas.

### **Humedales**

Según Metcalf (1996) y Hammer(1989); la máxima carga orgánica que pueden soportar los sistemas de tratamiento de humedales sin aireación, es de 110 Kg /ha/día a 133 Kg /ha/día, para evitar la presencia de malos olores y obstrucciones del proceso de tratamiento.

### **Costos**

En la tabla 3.10 se detalla los costos para la implementación de la alternativa 5 de tratamiento de aguas servidas domésticas.

TABLA 3.10.- COSTOS DE LA ALTERNATIVA 5

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT	PRECIO TOTAL
			(USD)	(USD)
<b>1. PLANTA DE TRATAMIENTO</b>				
Limpieza superficial del terreno	m <sup>2</sup>	20.000	0,51	10.200
Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	20.000	0,77	15.400
TOTAL 1:				25.600
<b>2. CERRAMIENTO</b>				
Excavación a 2m a mano	m <sup>3</sup>	67,88	3,49	236,9012
Hormigón simple f'c=180Kg/cm2	m <sup>3</sup>	34,3	66,22	2.271,346
Malla de cerramiento 50/10 20m/200cm	roll	28	180,88	5.064,64
Tubo de hierro galv. 1 1/2" L=2,60@3,0m	m	377	5,14	1.937,78
Puerta vehicular	m <sup>2</sup>	12	35,75	429
Desalojo	m <sup>3</sup>	67,88	3,46	234,8648
TOTAL 2:				10.174,532
<b>3. PRETRATAMIENTOS</b>				
Rejas				500
Desarenador				
Desalojo	m <sup>3</sup>	4	3,46	13,84
Hormigón	m <sup>3</sup>	2	3,49	6,98
Hierro	kg	260	1,25	325
TOTAL 3:				845,82
<b>4. SEDIMENTADORES</b>				
Excavación 4-6m a máquina	m <sup>3</sup>	1.320	6,22	8.210,4
Hormigón f'c=210Kg/cm2 + replantillo	m <sup>3</sup>	282	253,66	71.532,12
Acero de refuerzo	Kg	28.200	1,25	35.250
Desalojo	m <sup>3</sup>	1.320	3,46	4567,2
TOTAL 4:				119.559,72
<b>5. PANTANOS</b>				
Excavación 4-6m a máquina	m <sup>3</sup>	17.600	6,22	109.472
Desalojo	m <sup>3</sup>	8.800	3,46	30.448
Grava +arena	m <sup>3</sup>	13.200	15,95	210.540
TOTAL 5:				350.460
<b>6. LECHOS DE SECADO</b>				
Excavación a 2 m. a maquina	m <sup>3</sup>	300	5,24	1.572
Hormigón f'c=210Kg/cm2 + replantillo	m <sup>3</sup>	9	253,66	2.282,94
Acero de refuerzo	Kg	720	1,25	900
Ladrillos	m <sup>2</sup>	300	12,15	3.645
Desalojo	m <sup>3</sup>	300	3,46	1.038
TOTAL 6:				8.399,94
<b>TOTAL: 1+2+3+4+5+6</b>				<b>515.040,012</b>
<b>VARIOS: 15% (DEL TOTAL)</b>				<b>77.256,0018</b>
			<b>COSTO</b>	<b>592.296,0138</b>

Para que cualquiera de las alternativas funcione hidráulicamente se requiere de una carga mínima de 2 m.

### **3.5.6 RESUMEN DE LAS ALTERNATIVAS ANALIZADAS**

En la tabla 3.11 se da a conocer un resumen de los principales parámetros de análisis de las alternativas evaluadas en este trabajo, tales como área, volumen, costos, eficiencia, caudal de diseño, población servida, concentración de  $\text{DBO}_5$  y carga orgánica.

**TABLA 3.11.- RESUMEN ALTERNATIVAS ANALIZADAS**

Características	Alternativas				
	1	2	3	4	5
DESCRIPCION	6 Tanques de sedimentación + 6 Pantanos de Lijado + 6 Pantanos Pulido + 3 Red beeds	Pretratamientos + 3 Reactores anaerobio + laguna de maduración de bajo calado + 3 lechos de secado	Pretratamientos + 3 Reactores anaerobio + infiltración Rápida + 3 lechos de secado	Pretratamientos + 3 Reactores anaerobio + 4 lagunas convencionales + 3 lechos de secado	Pretratamientos + 3 Reactores anaerobio + 3 pantanos artificiales + 3 lechos de secado
AREA (m <sup>2</sup> )	Tratamiento Primario = 300  Tratamiento secundario = 30000  Gestión de Lodos= 3000	Tratamiento Primario = 300  Tratamiento secundario = 7543  Gestión de Lodos= 300	Tratamiento Primario = 300  Tratamiento secundario = 18000  Gestión de Lodos= 300	Tratamiento Primario = 300  Tratamiento secundario = 21120  Gestión de Lodos= 300	Tratamiento Primario = 300  Tratamiento secundario = 17600  Gestión de Lodos= 300
Área Total (ha)	3,66	1,2	18	2,4	2



VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	Tratamiento Primario = 1500 Tratamiento secundario = 22500 Gestión de Lodos= 2250	Tratamiento Primario = 1320 Tratamiento secundario=2640 Gestión de Lodos= 300	Tratamiento Primario = 1320 Gestión de Lodos= 300	Tratamiento Primario = 1320 Tratamiento secundario=21120 Gestión de Lodos= 300	Tratamiento Primario = 1320 Tratamiento secundario=13200 Gestión de Lodos= 300
COSTOS (usd)	908.465,6919	207.484,52		301.636,3548	592.296,0138
EFICIENCIA (%)	Tanque sedimentación= 40	Reactor = 70	Reactor = 70	Reactor = 70	Reactor = 70
CAUDAL	3.000	2.640	2.640	2.640	2.640
POBLACION SERVIDA	15.000				
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	250	280	280	280	280
CARGA ORGANICA(KgDBO <sub>5</sub> /día)	750				

### 3.6 CARACTERIZACIÓN DEL CUERPO RECEPTOR

#### 3.6.1 Características físico químicas del Río Puyo

Los parámetros monitoreados (tabla 3.12) en el Río Puyo son comparados con la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes para el recurso agua del Libro VI, anexo 1, del TULAS que define los límites máximos permisibles que deben cumplir las aguas de acuerdo a sus usos.

**TABLA 3.12.- CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PUYO**

Parámetros	Unidad	PUY1	PUY2
Elevación	M	928	915
Temperatura	°C	22,33	21,5
pH		7,68	7,41
Conductividad	uS/cm	75	65
Salinidad	Ppt	0	0,03
OD	mg / l	8,07	8,45
SDT	g/l	0,052	0,045
SS	g/l		0,00
DBO	mg / l	3,3	2,9
TP	mg / l	0,0	0,0
PO <sub>4</sub>	mg / l	0,0	0,0
TN	mg / l	0,1	0,3
NO <sub>3</sub>	mg / l	0,1	0,1
NH <sub>4</sub>	mg / l	0,0	0,1
SO <sub>4</sub>	mg / l	0,1	0,3
Cl-	mg / l	1,0	0,8
DBO:DON		91,5	50,7
DBO:DOP		2.929,5	1231,0
DON:DOP		32,0	24,3
TN:TP		13,3	25,9
DBO:TN		31,1	12,8
DBO:TP		415,1	330,7
PUY1: El Río Puyo, abajo del puente cerca del Hotel "El Jardín"			
PUY2: El Río Puyo, aguas arriba			

Fuente: Proyecto GLOWS, Elizabeth Anderson

De la comparación realizada se puede concluir que estas aguas cumplen totalmente con los límites permisibles establecidos en la norma, para usos como: preservación de flora y fauna, fines recreativos con contacto primario y secundario y uso agrícola. Sin embargo para el consumo humano y uso doméstico que únicamente requieren tratamiento convencional o desinfección, no cumplen con la DBO<sub>5</sub>. La tabla 3.13 presenta el resumen de cumplimiento de los parámetros monitoreados en el Río Puyo, con respecto a la normativa ambiental:

**TABLA 3.13.- CUMPLIMIENTO DE LA NORMA TÉCNICA (TULAS) DE LAS AGUAS DEL RÍO PUYO**

Parámetros	Unid.	PUY1	PUY2	USOS			
				Consumo Humano	Conservación flora y fauna	Recreativo (contacto primario y secundario)	Agrícola
Temperatura	°C	22,33	21,5	SC			
pH		7,68	7,41		SC	SC	SC
Conductividad	uS/cm	75	65				
Salinidad	ppt	0	0,03				
OD	mg / l	8,07	8,45	SC	SC	SC	
SDT	g/l	0,052	0,045	SC			SC
SS	g/l		0,00				
DBO <sub>5</sub>	mg / l	3,3	2,9	NC			
TP	mg / l	0,0	0,0				
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	mg / l	0,0	0,0				
TN	mg / l	0,1	0,3				
NO <sub>3</sub>	mg / l	0,1	0,1				
NH <sub>4</sub>	mg / l	0,0	0,1				
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg / l	0,1	0,3				
Cl <sup>-</sup>	mg / l	1,0	0,8		SC		
SC: Si cumple    NC: No cumple							

### 3.6.2 Análisis de la capacidad de autodepuración del río

#### 3.6.2.1 Caudales máximos y mínimos en el Río Puyo.

Para la microcuenca del Río Puyo no existen estaciones hidrológicas, por lo cual se extrapola los datos de caudal de la estación H798 (Pastaza A.J Encanto), con

datos para un periodo de 8 años (1982-1989), por ser la mas cercana a la zona del proyecto.

Para la extrapolación se ubica una estación hipotética sobre el Río Puyo, en el tramo del área de influencia del colector N, y es realizada en función a las áreas aportantes de las estaciones de interés.

$$\frac{A_{h798}}{Q_{H798}} = \frac{A_{HP}}{Q_{hP}}$$

$$Q_{HP} = \frac{A_{HP}}{A_{H798}} Q_{798}$$

Con esto se tiene los caudales máximos, mínimos y medios:

$$Q_{\max} = 1,87 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$Q_{\min} = 0,43 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$Q_{\text{med}} = 0,74 \text{ m}^3 / \text{s}$$

En la tabla 3.14 se presenta los caudales medios anuales para el Río Puyo y en el anexo 3, se da a conocer el trazo de las áreas de las cuencas de análisis y los datos de la estación H798 (Pastaza AJ Encanto).

### 3.6.2.2 Autodepuración de un río.

Como se mencionó en capítulos anteriores la autodepuración de un río depende de factores físicos, químicos y biológicos; se utiliza como parámetro de referencia la concentración de oxígeno disuelto. Este proceso está gobernado por el consumo de oxígeno de las bacterias y la reoxigenación del río gracias a la turbulencia.

Las condiciones mas críticas para autodepuración de un río se dan en la época de caudal mínimo (época de estiaje). Por esto el análisis es realizado considerando las condiciones críticas de la zona.

**TABLA 3.14.- CAUDALES DEL RIO PUYO (M<sup>3</sup>/S)**

<b>ESTACION EN EL RIO PUYO (EXTRAPOLADA)</b>											
	<b>1982</b>	<b>1983</b>	<b>1984</b>	<b>1985</b>	<b>1986</b>	<b>1987</b>	<b>1988</b>	<b>1989</b>	<b>MEDIA</b>	<b>MAXIMO</b>	<b>MINIMO</b>
ENERO	0,688	1,107	0,629	0,402	0,418	0,859	0,050	0,073	0,528	1,107	0,050
FEBRERO	0,664	0,967	1,079	0,496	0,412	1,571	0,091	0,067	0,668	1,571	0,067
MARZO	0,602	1,089	0,929	0,641	0,505	1,037	0,078	0,085	0,621	1,089	0,078
ABRIL	1,238	1,312	1,069	0,662	0,929	1,285	0,105	0,079	0,835	1,312	0,079
MAYO	1,432	1,566	1,067	1,300	0,957	0,144	0,135	0,167	0,846	1,566	0,135
JUNIO	1,318	1,075	1,574	1,728	1,433	0,141	0,114	0,222	0,951	1,728	0,114
JULIO	1,633	1,075	1,405	1,435	1,872	0,112	0,140	0,203	0,984	1,872	0,112
AGOSTO	1,673	1,165	1,233	1,306	1,234	0,104	0,092	0,127	0,867	1,673	0,092
SEPTIEMBRE	1,287	1,192	1,254	0,939	1,343	0,094	0,073	0,111	0,787	1,343	0,073
OCTUBRE	0,996	1,146	0,850	0,756	1,068	0,089	0,069	0,092	0,633	1,146	0,069
NOVIEMBRE	1,153	0,745	0,623	0,547	1,201	0,043	0,077	0,079	0,559	1,201	0,043
DICIEMBRE	1,144	0,795	0,702	0,405	1,498	0,051	0,093	0,062	0,594	1,498	0,051
MEDIA	1,152	1,103	1,035	0,885	1,073	0,461	0,093	0,114			
MAXIMA	1,673	1,566	1,574	1,728	1,872	1,571	0,140	0,222			
MINIMA	0,602	0,745	0,623	0,402	0,412	0,043	0,050	0,062			

**Coefficiente de consumo de oxígeno.**

**Cinética de la DBO**

Por razones de tipo práctico la cinética de la reacción de la DBO<sub>5</sub> se formula de acuerdo con una reacción de primer orden, puede expresarse de la siguiente manera (Metcalf, 1996):

$$\frac{dL_t}{dt} = -k_1 L_t$$

donde,

$L_t$  = cantidad de DBO de la primera fase que queda en el agua, en el instante t,

$K_1$  = constante de la reacción.

Esta ecuación puede ser integrada para obtener la cantidad de DBO presente en el instante t:

$$L_t = L(e^{-k_1 t}) = L_0 (10^{-K_1 t})$$

Donde,

$L_0$  = cantidad de DBO remanente en el instante t=0.

Mientras que la cantidad de DBO eliminada en el instante t es:

$$Y_t = L_0 - L_t = L (1 - e^{-k_1 t})$$

En la figura 3.11 se ilustra la cinética de la DBO.

**Constante de velocidad de deoxigenación a la temperatura de referencia de 20° C en un día ( $k_1$ )**

La ecuación que representa el efecto de la temperatura en el proceso de deoxigenación y reaireación esta dada por:

$$k_1 = k_{2(20^\circ)} \theta^{(T-20)}$$

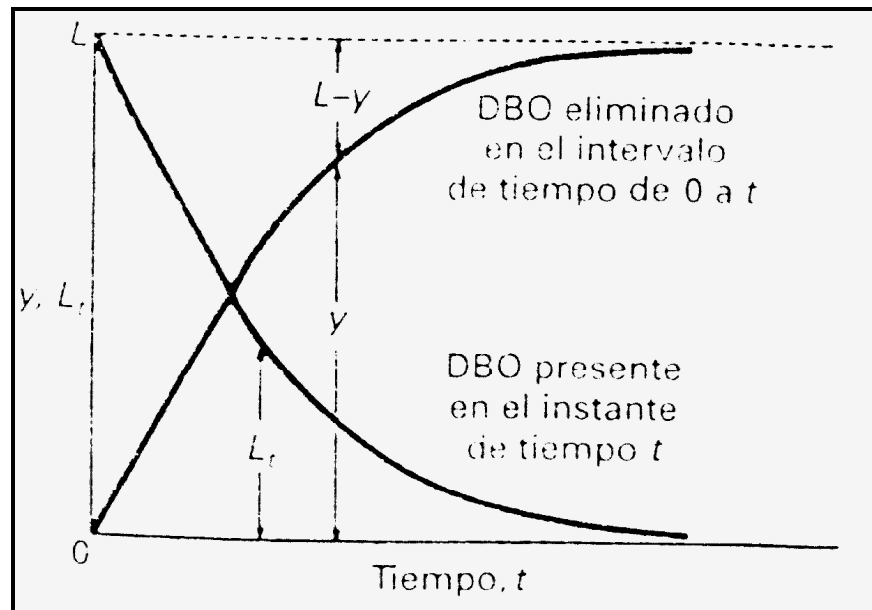
El análisis de la  $DBO_5$ , es realizado a  $20^\circ\text{C}$ . También es posible determinar el valor de la constante de reacción a otras temperaturas. Para esto se emplea la siguiente ecuación aproximada.

Según Metcalf (1996) y Wesley (1870), los valores de  $\theta$  varían entre 1,045 cuando la temperatura se halla entre  $20^\circ$  y  $30^\circ\text{C}$  y 1,135 cuando la temperatura se sitúa entre  $4$  y  $40^\circ\text{C}$ .

Para la zona de estudio la ecuación para la corrección de la temperatura a  $22^\circ\text{C}$ , sería:

$$k_1 = k_{1(20^\circ)} (1,045)^{(22-20)}$$

**FIGURA 3.11.- CURVA DE LA DBO**



Fuente: Metcalf, 1996

### **Constante de reoxigenación ( $k_2$ )**

Esta es en función de parámetros físicos del cuerpo hídrico, tales como velocidad y calado.

Según Wesley (1870), para ríos lentos, para calados (h) entre 0,12 - 3,3 m y velocidades (v) entre 1,3 - 1,5 m/s;  $K_2$  puede ser determinado de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$k_{2(20^\circ C)} = \frac{2,3v^{0,67}}{h^{1,85}} (\text{dia}^{-1})$$

Es posible determinar el valor de la constante  $k_2$  a otras temperaturas. Para esto se emplea la siguiente ecuación:

$$k_2 = k_{2(20^\circ)} \theta^{(T-20)}$$

donde

$$\theta = 1,024$$

Para la zona de estudio la ecuación para la corrección de la temperatura a 22°C, sería:

$$k_{2T} = k_{2(20^\circ)} (1,024)^{(22-20)}$$

### **Balance de oxígeno disuelto de Streeter y Phelps**

Este modelo matemático para el estudio de la autodepuración del Río Puyo es aplicable ya que no existe otras fuentes de contaminación aguas abajo de las descargas de la ciudad de Puyo.

La principal fuente de consumo de oxígeno disuelto (O.D) es la materia orgánica, cuya degradación es representada por la demanda bioquímica de oxígeno, según una reacción de primer orden, expresada, para una corriente de velocidad y condiciones constantes, de la forma (Vesilind, 1996):



$$\frac{dD}{dt} = [\text{Deoxigenación}] - [\text{Reoxigenación}]$$

$$\frac{dD}{dt} = k_1 L - k_2 D$$

donde,

$D$  = Déficit de oxígeno =  $C_s - C$

$C_s$  = Concentración del oxígeno disuelto en saturación, mg/l

$C$  = Concentración de oxígeno disuelto, mg/l

El primer término del lado derecho de la ecuación representa la velocidad de deoxigenación debido a la DBO, y el segundo término representa la velocidad de reaireación.  $C_s - C$  es la fuerza impulsora de la concentración que sirve para reoxigenar el agua a partir del oxígeno atmosférico en la interfase aire-agua.

Si reemplazamos:  $L = L(10^{-K_1 t})$ , la ecuación de Streeter y Phelps es:

$$D = \frac{k_1 L_0}{k_2 - K_1} (10^{-k_1 t} - 10^{-k_2 t}) + D_0 (10)^{-k_2 t}$$

donde,

$D_0$  = Cantidad de oxígeno inicial

Además es importante conocer el déficit crítico y tiempo crítico, que están dadas por las siguientes ecuaciones:

$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_1} \log \left( \frac{k_2}{k_1} \right) \left[ 1 - \frac{D_0 (k_2 - k_1)}{L_0 k_1} \right]$$

$$D_c = \frac{k_1}{k_2} L_0 (10)^{-k_1 t_c}$$

### 3.6.2.3 Determinación de la autodepuración del Río Puyo.

La curva de autodepuración del río será obtenida para las condiciones mas criticas (época de estiaje)

El calculo de la velocidad del río esta dado por la siguiente ecuación:

$$v = \frac{Q_{\min}}{A}$$

donde,

$Q_{\min}$ = caudal mínimo (0,43m<sup>3</sup>/s), analizado en el subcapítulo 4.4.2.1.

$A$ = Área del cause, determinado en base al calado mínimo (1m) y el ancho en época de sequía (5m). Datos proporcionados por el Ing. Vinicio Espín (Departamento de Saneamiento Ambiental del Municipio de Pastaza).

$$A = \frac{5 \times 1}{2} = 2,5 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{0,43}{2,5} = 0,17 \text{ m/s}$$

### **Autodepuración del río con descarga de agua residual sin tratamiento.**

Las condiciones críticas para el cálculo son:

Caudal mínimo mensual: 0,43 m<sup>3</sup>/s

Calado mínimo: 1m

Velocidad mínima: 0,17m/s

$DBO_{uR}$ = Demanda Bioquímica de Oxígeno última del río: 4,8 mg/l (= 1,46 x 3,3 mg/l)

$DBO_{uAR}$ = Demanda Bioquímica de Oxígeno última de las aguas residuales: 414,64 mg/l (= 1,46 x 284 mg/l)

$OD_R$ = Oxígeno Disuelto del río: 8,07 mg/l

$$k_{1(22^{\circ}C)} = k_{1(20^{\circ}C)} (1,045)^{T-20}$$

$$k_{1(22^{\circ}C)} = 0,15 (1,045)^{22-20}$$

$$k_{1(22^{\circ}C)} = 0,16 \text{ dia}^{-1}$$

$k_{1(20^{\circ}C)} = 0,15$ ; según Marcelo Muñoz (experiencia de trabajo en el Río Machangara).

$$k_{2(20^{\circ}C)} = \frac{2,3(0,21)^{0,67}}{1^{1,85}}$$

$$k_{2(20^{\circ}C)} = 0,8 \text{ dias}^{-1}$$

Corrección para la temperatura del Río Puyo:

$$k_{2(22^{\circ}C)} = 0,8(1,024)^{22-20}$$

$$k_{2(22^{\circ}C)} = 0,85 \text{ dias}^{-1}$$

Balance de masa con  $DBO_u$ :

$$Q_R \times DBO_{UR} + Q_{AR} \times DBO_{UAR} = L_0 \times (Q_R + Q_{AR})$$

$$(0,43) \times (4,8) + (0,031) \times (414,64) = L_0 \times (0,43 + 0,031)$$

$$L_0 = 32,4 \text{ mg / l}$$

Balance de masa con OD:

$$Q_R \times OD_{UR} + Q_{AR} \times OD_{UAR} = OD_m \times (Q_R + Q_{AR})$$

$$(0,43) \times (8,07) + (0,031) \times (0) = OD_m \times (0,43 + 0,031)$$

$$OD_m = 7,5 \text{ mg / l}$$

$OD_m$  = Oxígeno disuelto de la mezcla.

$$D_0 = 8,07 - 7,5 = 0,57 \text{ mg / l}$$

Determinación de la curva de reoxigenación del Río Puyo:

$$D = \frac{0,16 (32,4)}{0,85 - 0,16} \left[ 10^{-0,16 t} - 10^{-0,85 t} \right] + 0,57 (10)^{-0,85 t}$$

Tiempo y déficit crítico de la mezcla:

$$t_c = \frac{1}{0,85 - 0,16} \log \frac{0,85}{0,16} \left[ 1 - 0,57 \left( \frac{0,85 - 0,16}{32,4(0,16)} \right) \right]$$

$$t_c = 0,6 \text{ dias}$$

$$D_c = \frac{k_1}{k_2} L_o (10)^{-k_1 t_c}$$

$$D_c = \frac{0,16}{0,85} \times 32,4 \times (10)^{-(0,16)(0,6)}$$

$$D_c = 4,9 \text{ mg / l}$$

$$OD = 8,07 - 4,9$$

$$OD = 3,17 \text{ mg / l}$$

### **Curva de autodepuración del río con OD establecido en la norma (TULAS).**

Las condiciones críticas para el cálculo fueron:

Caudal mínimo mensual: 0,43 m<sup>3</sup>/s

Calado mínimo: 1 m

Velocidad mínima: 0,17 m/s

OD<sub>R</sub>= Oxígeno Disuelto del río: 8,07 mg/l

L<sub>0</sub> = 11.68 mg/l

El Déficit es calculado con la diferencia entre el valor del oxígeno del Río Puyo (8,07mg/l) y el valor más exigente de la norma de acuerdo a los diferentes usos, establecidos en el TULAS (80% del valor del cuerpo receptor).

$$t_c = \frac{1}{0,85 - 0,16} \log \frac{0,85}{0,16} \left[ 1 - 0,57 \left( \frac{0,85 - 0,16}{11,68(0,16)} \right) \right]$$

$$t_c = 0,83 \text{ dias}$$

$$D_c = \frac{k_1}{k_2} L_0 (10)^{-k_1 t_c}$$

$$D_c = \frac{0,16}{0,85} \times 11,68 \times (10)^{-(0,16)(0,83)}$$

$$D_c = 1,6 \text{ mg/l}$$

$$OD = 8,07 - 1,6$$

$$OD = 6,45 \text{ mg/l}$$

$$L_0 = \frac{Dc \times (K_2)}{K_1 \times (10)^{K_1(t_c)}}$$

$$L_0 = \frac{1,62 \times (0,85)}{0,16 \times (10)^{-0,16(0,83)}} = 11,68 \text{ mg/l}$$

La eficiencia de depuración que requiere el agua residual en la ciudad de Puyoes:

$$Q_R \times DBO_{UR} + Q_{AR} \times DBO_{descarga} = L_0 \times (Q_R + Q_{AR})$$

$$(0,43) \times (4,8) + (0,031) \times DBO_{descarga} = L_0 \times (0,43 + 0,031)$$

$$DBO_{descarga} = 112,66 \text{ mg/l}$$

$$Eficiencia = \frac{414,6 - 122,66}{414,6} \times 100$$

$$Eficiencia = 70,4 \%$$

Por lo tanto se requiere un sistema de tratamiento con una eficiencia del 70,4% de depuración.

$$D = \frac{0,16(11,68)}{0,85 - 0,16} \times \left[ 10^{-0,16t} - 10^{-0,85t} \right] + 0,57 \times (10)^{-0,85t}$$

**Curva de autodepuración del río con descarga de agua residual con tratamiento propuesto en este trabajo.**

Las condiciones críticas para el cálculo son:

Caudal mínimo mensual:  $0,43 \text{ m}^3/\text{s}$

Calado mínimo: 1 m

Velocidad mínima:  $0,17 \text{ m/s}$

$DBO_{uR}$ = Demanda Bioquímica de Oxígeno última del río:  $4,8 \text{ mg/l}$  ( $= 1,46 \times 3,3 \text{ mg/l}$ )

$DBO_{uAR}$ = Demanda Bioquímica de Oxígeno última de las aguas residuales:  $62,2 \text{ mg/l}$  ( $= 1,46 \times 42,6 \text{ mg/l}$ ).

$OD_R$ = Oxígeno Disuelto del río:  $8,07 \text{ mg/l}$

$OD_{AR}$ = Oxígeno Disuelto de las aguas residuales después del tratamiento:  $6 \text{ mg/l}$ , según Muñoz et al (2000)

$$Q_R \times OD_R + Q_{AR} \times OD_{AR} = OD_m \times (Q_R + Q_{AR})$$

$$(0,43) \times (8,07) + (0,031) \times (6) = OD_m \times (0,43 + 0,031)$$

$$L_0 = 7,93 \text{ mg / l}$$

$$Dc = 8,07 - 7,93$$

$$Dc = 0,14 \text{ mg / l}$$

$$L_0 = \frac{0,43 \times (8,07) + 0,031 \times (6)}{0,53 + 0,031}$$

$$L_0 = 6,52 \text{ mg / l}$$

$$D = \frac{0,16(6,52)}{0,85 - 0,16} \times [10^{-0,16t} - 10^{-0,85t}] + 0,14 \times (10)^{-0,85t}$$

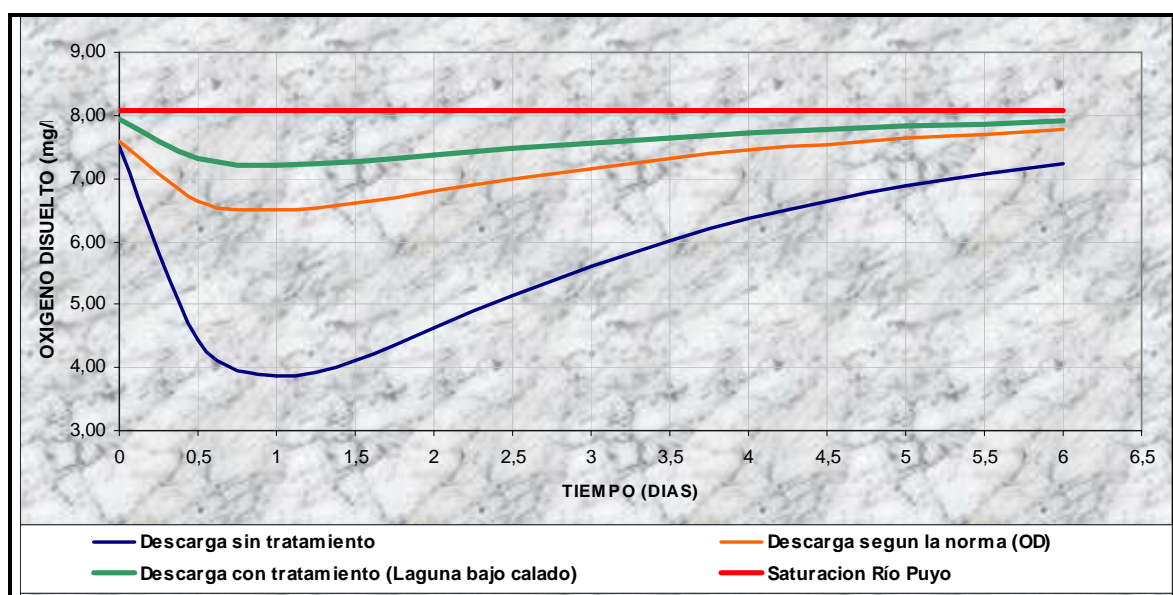
### 3.6.2.4 Gráficas de autodepuración del Río Puyo

En la tabla 3.15 se presentan los resultados obtenidos al aplicar la ecuación de Streeter y Phelps, de los 3 casos analizados para la obtención de las diferentes curvas; y, en la figura 3.12 las gráficas de los tres escenarios analizados.

**TABLA 3.15.- DÉFICIT DE OXÍGENO DEL RÍO PUYO**

t (días)	Saturación río	Descarga Total		Valor norma		Con depuración	
		Déficit de O <sub>2</sub> (mg/l)	Do (mg/l)	Déficit O <sub>2</sub> (mg/l)	Do (mg/l)	Déficit O <sub>2</sub> (mg/l)	Do (mg/l)
0	8,07	0,57	7,50	0,47	7,60	0,14	7,93
0,5	8,07	3,63	4,44	1,43	6,64	0,74	7,33
1	8,07	4,21	3,86	1,58	6,49	0,85	7,22
1,5	8,07	3,95	4,12	1,46	6,61	0,80	7,27
2	8,07	3,45	4,62	1,27	6,80	0,70	7,37
2,5	8,07	2,93	5,14	1,08	6,99	0,59	7,48
3	8,07	2,46	5,61	0,90	7,17	0,50	7,57
3,5	8,07	2,06	6,01	0,75	7,32	0,41	7,66
4	8,07	1,72	6,35	0,63	7,44	0,35	7,72
4,5	8,07	1,43	6,64	0,52	7,55	0,29	7,78
5	8,07	1,19	6,88	0,44	7,63	0,24	7,83
5,5	8,07	0,99	7,08	0,36	7,71	0,20	7,87
6	8,07	0,82	7,25	0,30	7,77	0,17	7,90

**FIGURA 3.12.- CURVAS DE AUTODEPURACIÓN DEL RÍO PUYO**



Observando las curvas se evidencia que es necesario realizar el tratamiento de las aguas residuales para conservar una adecuada concentración de oxígeno disuelto en el río. Siendo que la eficiencia del tratamiento debe ser mayor al 70%, con el que se cumple la normativa vigente, lo cual puede conseguirse con un reactor primario.

En todo caso para garantizar una buena calidad del agua del río para los diferentes usos aguas abajo, se considera indispensable realizar un tratamiento mas avanzado como se propone en este trabajo.



## **CAPITULO 4**

### **EVALUACION DE ALTERNATIVAS**

#### **4.1 INTRODUCCION**

En el Manual de Evaluación de Estudios Ambientales de Proyectos de Infraestructura Urbana (PDM) desarrollado por La Motta (1980), los estudios de prefactibilidad deben tener una declaración de efectos ambientales. Estos estudios son de carácter preliminar y, por ello, pueden basarse en información existente sobre el área del proyecto y en información recogida en el campo. Su propósito es hacer una identificación preliminar de todos los posibles impactos, positivos y negativos, que podrían causar un proyecto ya diseñado o las diversas alternativas planteadas para el proyecto, e identificar aquellas que serían no factibles desde el punto de vista ambiental.

La evaluación de impactos es una herramienta primordial para la toma de decisiones y en este caso específico ayudará a cuantificar el beneficio o daño ambiental que se puede generar con la construcción y operación del sistema de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Puyo, con lo cual se puede prever las soluciones tecnológicas y económicas más adecuadas, para que en el futuro no se detenga la construcción o funcionamiento al poco tiempo de inaugurado el proyecto.

En este capítulo se evalúan los impactos ambientales sin la construcción de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad (ALTERNATIVA SIN PROYECTO), además se analizan las alternativas 1,2, 4 y 5 para el tratamiento de las aguas, debido a su factibilidad técnica, usos del suelo y costos. La alternativa 3 no será evaluada ya que se probó que no es factible en el capítulo anterior, debido a la baja permeabilidad del suelo.

## **4.2 DECLARATORIA AMBIENTAL**

Una vez que, desde el punto de vista ambiental, se haya dado el visto bueno a las alternativas a ser analizadas en el estudio de factibilidad técnica, deben identificarse cuáles serían los impactos ambientales significativos del proyecto, que deberán ser estudiados más a fondo en el estudio de impacto ambiental.

El resultado final de la declaración de efectos ambientales deberá ser un informe en el cual se identifiquen las alternativas factibles desde el punto de vista ambiental y se descarten aquellas que presenten efectos ambientales negativos.

### **4.2.1 Valoración de impactos**

La evaluación de impactos ambientales al igual que la declaratoria ambiental implica la identificación, predicción e interpretación de los impactos que un proyecto o actividad genera, la cual es relativamente subjetiva pero en función de la metodología que se emplea, se tiende a reducir éste nivel de subjetividad.

Para evaluar los impactos, se utiliza el método causa-efecto que consiste en una matriz que interrelaciona los factores ambientales versus las acciones buscando la existencia o probabilidad de ocurrencia de impactos en cada interacción y se complementa con un análisis descriptivo de los impactos de cada uno de los componentes ambientales; la matriz utilizada fue la de Leopold modificada.

### **4.2.2 Metodología de evaluación de impactos**

Para la evaluación de los impactos potenciales se tomó como base una matriz causa-efecto, para lo cual se escogieron los factores ambientales del área del proyecto y las actividades que generan o podrían generar impactos a los factores analizados.

Para la identificación de los impactos se utiliza una matriz de interrelación factor-acción, donde se valora la importancia de los factores versus la magnitud del

impacto asociado a dicha interacción. En la tabla 4.1 se muestra los valores de evaluación para las características de los impactos.

**TABLA 4.1.- VALORES DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS IMPACTOS**

Magnitud	Importancia	Duración	Carácter
Alta = 3	Alta = 3	Permanente = 3	Positivo = +1
Media = 2	Media = 2	Periódica = 2	Negativo = -1
Baja = 1	Baja = 1	Temporal = 1	

Fuente: Jaramillo, 2001

**Carácter:** La naturaleza o carácter del impacto puede ser positiva (+), negativa (-), neutral o indiferente lo que implica ausencia de impactos significativos. Por tanto, cuando se determina que un impacto es adverso o negativo, se valora como “-1” y cuando el impacto es benéfico, “+1”.

**Importancia:** La implantación del proyecto y cada una de sus acciones, pueden tener efectos particulares sobre cada componente ambiental.

- Alto: si el efecto es obvio o notable.
- Medio: si el efecto es notable, pero difícil de medirse o de monitorear.
- Bajo: si el efecto es sutil, o casi imperceptible.

**Duración:** Corresponde al tiempo que va a permanecer el efecto.

- Permanente: el tiempo requerido para la fase de operación.
- Temporal: el tiempo requerido para la fase de instalación.
- Periódico: el tiempo requerido para el mantenimiento y construcción

**Magnitud:** Corresponde a la extensión espacial y geográfica del impacto con relación al área de estudio.

- Alta: Si los impactos generados son perceptibles a nivel regional (a lo largo de los cuerpos hídricos).
- Media: Si los impacto son visibles a nivel local.

- Baja: si los impactos afectan a nivel puntual (lugar del proyecto)

Para la evaluación ambiental se realizó la calificación cualitativa, caracterizando los impactos de acuerdo a magnitud, importancia, duración y carácter. Se utilizó la siguiente fórmula (Jaramillo, 2001):

$$Im\ pacto = Im \times C \times (0,7 \times Ma + 0,3 \times D)$$

Finalmente, se construyó una matriz de evaluación que partiendo de los pesos asignados determina el valor neto de los impactos benéficos y perjudiciales, a fin de establecer los componentes ambientales mas afectados y las acciones mas detrimentes.

#### 4.2.3 Significancia de los impactos

De acuerdo a los criterios y metodología de evaluación, los impactos positivos más altos tendrán un valor de 3 ó -3 cuando se trate de un impacto de similares características pero de carácter negativo.

De esta forma, el valor total de la afectación se dará en un rango de 1 a 9 ó de -1 a -9 que resulta de multiplicar el valor de importancia del factor por el valor de magnitud del impacto, permitiendo de esta forma una jerarquización de los impactos , como se muestra en la tabla 4.2.

**TABLA 4.2.- RANGOS DE SIGNIFICANCIA DE LOS IMPACTOS Y SU ABREVIACIÓN**

Rango	Significancia	Símbolo
(1)-(3)	(+) Poco significativo	(+) PS
(3)-(6)	(+) Medianamente significativo	(+) MeS
(6)-(9)	(+) Muy significativo	(+) MS
(-1)-(-3)	(-) Poco significativo	(-) PS
(-3)-(-6)	(-) Medianamente significativo	(-) MeS
(-6)-(-9)	(-) Muy significativo	<b>(-) MS</b>

#### 4.2.4 Factores ambientales

La caracterización del área de estudio ayudó a seleccionar los factores ambientales que van o pueden ser afectados por las actividades del proyecto, En la tabla 4.3 se presenta los factores analizados para cada alternativa.

**TABLA 4.3.- FACTORES AMBIENTALES**

<b>1. Atmosféricos</b>
Calidad del aire
Nivel de Ruido
<b>2. Recurso agua</b>
Calidad del agua
Cantidad del agua
Uso del recurso agua
<b>3. Recurso suelo</b>
Calidad del suelo
Uso del suelo
<b>4. Flora</b>
Vegetación natural
Pastos y cultivos
<b>5. Fauna</b>
Fauna acuática (peces y macrobentos)
<b>6. Socioeconómicos</b>
Aceptación del servicio
Empleo local
Mercado de tierras
Salud y seguridad pública
Calidad de vida de la comunidad
Servicios básicos e infraestructura
<b>7. Salud y seguridad</b>
Salud y seguridad laboral
<b>8. Estética y Paisaje</b>
Zonas de recreación
Paisaje natural
Turismo

#### 4.2.5 Acciones analizadas

Para la selección de la mejor alternativa se considera los siguientes criterios:

Localización: se analizarán parámetros como la superficie necesaria, criterios de topografía y características del suelo.

Construcción: considerando parámetros como la simplicidad de construcción, evaluando aspectos como el movimiento de tierras, obra civil, uso de maquinaria, acarreo de material de otros lugares y costos.

Mantenimiento: para esto se considera parámetros como: necesidad de personal, duración y frecuencia de los controles, drenaje de lodos y los costos.

Eficiencia: se considera los rendimientos en: DQO, DBO, SS, coliformes, analizando más para los sistemas primarios.

Operación: parámetros como la estabilidad del sistema debido a efectos de la temperatura, turbidez del efluente, variación de caudal y carga del sistema, generación de efectos al entorno como molestia de olores, molestia de ruidos, presencia de insectos, riesgos para la salud, efectos en el suelo, integración con el entorno.

Gestión de lodos: en función del área y digestión de los mismos.

## **4.2.6 Identificación de impactos**

### **4.2.6.1 Impactos sobre el medio físico**

#### **Calidad del Aire y nivel de ruido:**

Estos impactos estarán presentes en la construcción y operación del proyecto; en la construcción se genera ruidos y material particulado debido a la presencia de maquinaria; durante la operación de la planta de tratamiento habrá la presencia de malos olores sobre todo en la fosa séptica (tanque sedimentador), si no se tiene un mantenimiento adecuado los pantanos debido a la sobrecarga recibida pueden empezar a trabajar en condiciones anaerobias, lo cual puede causar la generación de malos olores.

**Calidad del agua y uso del recurso:**

La implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales tiene un carácter positivo para la comunidad ya que disminuye los niveles de contaminación de los cuerpos hídricos, para el caso específico del proyecto el Río Puyo.

**Calidad y uso del suelo:**

La construcción de cualquier infraestructura sobre el suelo, altera las condiciones naturales del mismo; cambia sus usos y modifican parámetros como la estabilidad, geomorfología, compactación, entre otros; sobre todo en la fase de construcción.

***4.2.6.2 Impactos sobre el medio biótico*****Flora**

Se afecta en la construcción debido al desbroce de la cobertura vegetal, para la implementación del sistema de tratamiento.

**Fauna:**

La implementación de la planta de tratamiento de las aguas residuales proporciona un impacto de carácter positivo en el restablecimiento de la fauna acuática en el río Puyo. Debido a que las aguas no serán descargadas directamente sobre el mismo.

***4.2.6.3 Impacto sobre el componente socioeconómico*****Aceptación del servicio:**

La comunidad puede oponerse al proyecto debido a aspectos como los requerimientos de superficie, efectos al entorno del sistema como la generación de olores y presencia de vectores (moscas), condiciones que pueden presentarse cuando los sistemas son inadecuadamente operados, por esto es importante la socialización del proyecto con la comunidad.

**Empleo Local:**

La construcción, operación y mantenimiento del sistema de tratamiento requerirá personal, dando un carácter positivo a este factor ambiental, sin embargo la importancia no es muy trascendente, ya que no se necesita de mucho personal.

**Mercado de tierras:**

Parámetros como la estética del lugar, posible generación de olores y mantenimiento del sistema de tratamiento pueden afectar negativamente en la compra venta de las tierras cercanas a la zona del proyecto.

**Salud y seguridad publica y laboral:**

En general se ve afectada positivamente con la implementación del sistema debido a que se está mejorando la calidad del recurso hídrico con lo cual la población disminuye la generación de enfermedades. Salvo durante la construcción pues se pueden generar riesgos debido a la operación de la maquinaria.

**Calidad de vida:**

La población se afecta positivamente gracias a la generación de empleo y una mejor calidad de las aguas descargadas sobre el río Puyo. Además del reconocimiento por ser una de las pocas ciudades a nivel de país en poseer tratamiento de las aguas residuales.

***4.2.6.4 Impacto sobre la estética y paisaje*****Zonas de recreación:**

Con el tratamiento de las aguas residuales en el Puyo la comunidad puede disponer de sitios para su distracción, libres de contaminación, alrededor del río.

**Paisaje natural:**

Tiene un carácter negativo permanente ya que se esta alterando la estética natural con la implantación del sistema.



**Turismo:**

Es positivo para la comunidad, debido a que se pueden tener zonas de recreación y aguas con menor contaminación.

**4.2.7 Evaluación de los impactos****4.2.7.1 Alternativa sin proyecto.**

Como se puede apreciar en la figura 4.1, los factores ambientales son afectados de forma negativa ante la falta de un sistema de tratamiento de las aguas residuales en la Ciudad de Puyo.

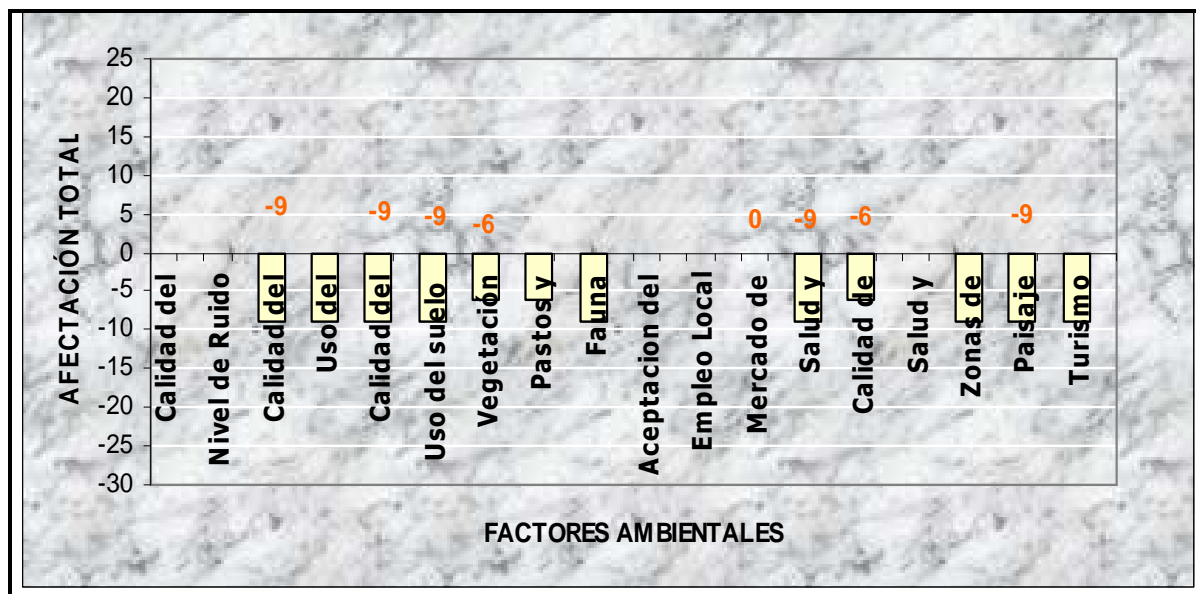
El principal factor ambiental afectado es el recurso agua, tanto en su calidad como en el uso, porque las descargas líquidas de la ciudad son vertidas directamente al Río Puyo, y al realizar esta acción se ven dañados otros factores como la flora, fauna y el recurso suelo aguas abajo de la descarga.

Por otro lado los factores socioeconómicos y de estética también están siendo perjudicados, por la contaminación que se genera en el cuerpo hídrico que atraviesa la ciudad, que es el lugar donde se desarrolla vida acuática, el turismo, deportes acuáticos y es fuente de abastecimiento de agua para las poblaciones de la parte baja.

En este contexto se concluye que la implantación de un sistema de tratamiento de aguas residuales es importante para disminuir la intensidad de los impactos negativos que se están dando a los factores ambientales.

A continuación se detalla la evaluación de las diferentes propuestas planteadas en este estudio.

**FIGURA 4.1.- AFECTACIÓN DE LOS FACTORES AMBIENTALES SIN PROYECTO**



#### 4.2.7.2 Alternativa 1

##### **Afectaciones negativas a los factores ambientales**

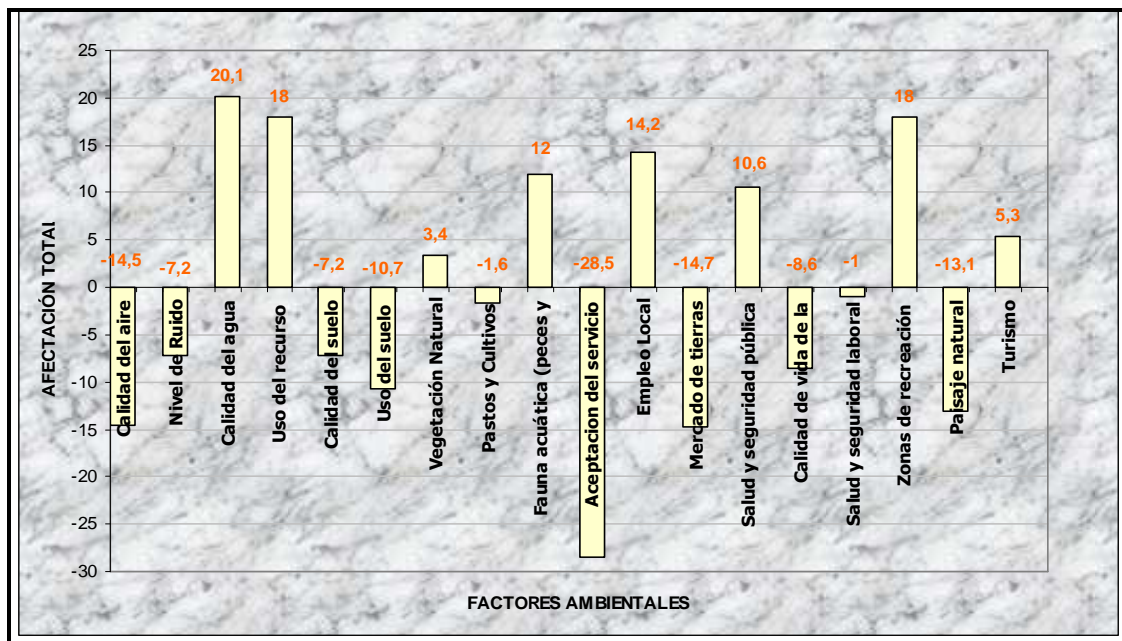
A continuación se detallan en forma ascendente los impactos negativos más significativos que se generan sobre los factores ambientales, además se presenta en la figura 4.2 se da a conocer los valores de afectación de los diferentes factores ambientales analizados.

- Aspecto socioeconómico: son los que presentan mayor afectación negativa ante la expectativa de implementación de un sistema de tratamiento en la ciudad de Puyo, el mayor problema que se presenta, está relacionada con la aceptación del servicio debido a que ésta alternativa demanda una mayor superficie en comparación a las otras propuestas, mayores costos de construcción y mantenimiento (debido a la alta periodicidad del drenaje de lodos), necesita grandes volúmenes de material para el relleno de los pantanos (arcilla, grava y arena). Además durante la operación de esta opción de tratamiento, el sistema podría funcionar bajo condiciones anaerobias, lo

cual con el tiempo puede causar el colapso del mismo y la presencia de vectores.

- Atmosférico: con la instalación del tanque sedimentador se puede generar malos olores y gas metano (genera veinte veces más efecto invernadero que el CO<sub>2</sub>), afectando la calidad del aire permanentemente, ya que este es liberado directamente a la atmósfera, en la etapa de construcción se prevé la generación de ruido por la maquinaria requerida.
- Suelo: por la utilización de una mayor superficie para la construcción del sistema así como la gran remoción y acarreo de tierra, el recurso suelo es afectado en su geomorfología, en la compactación e inestabilidad.

**FIGURA 4.2.- AFECTACION TOTAL POR FACTOR DE LA ALTERNATIVA 1**



### **Afectaciones negativas de las actividades**

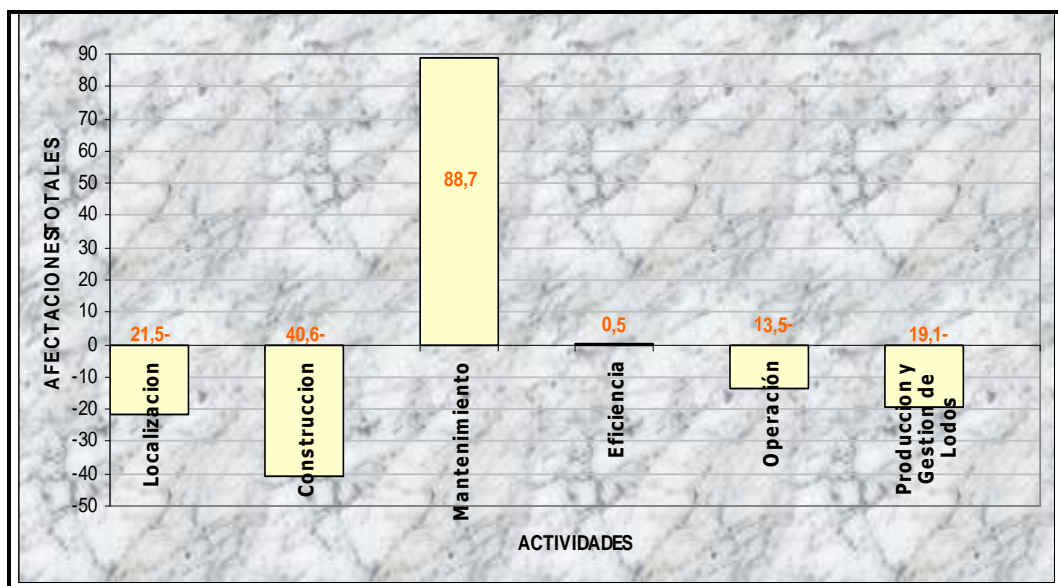
Se describe en forma ascendente los impactos negativos más significativos que se producen de las actividades sobre los diferentes factores ambientales, además se presenta en la figura 4.3 los valores de afectación de las actividades realizadas para la ejecución del proyecto.

- **Construcción:** el movimiento de tierras, la obra civil, los equipos, el acarreo de materiales y los costos en esta alternativa hace que esta acción genere un impacto negativo alto, lo cual puede provocar problemas de aceptación del servicio.
- **Localización:** debido a que esta propuesta requiere la superficie más grande de todas hace que el impacto sea bastante grande en relación a las demás.
- **Producción y Gestión de Lodos:** para el tratamiento de los lodos esta alternativa necesita extensiones grandes, por otro lado los lodos que se producen son semi digeridos y su manejo es más complicado.

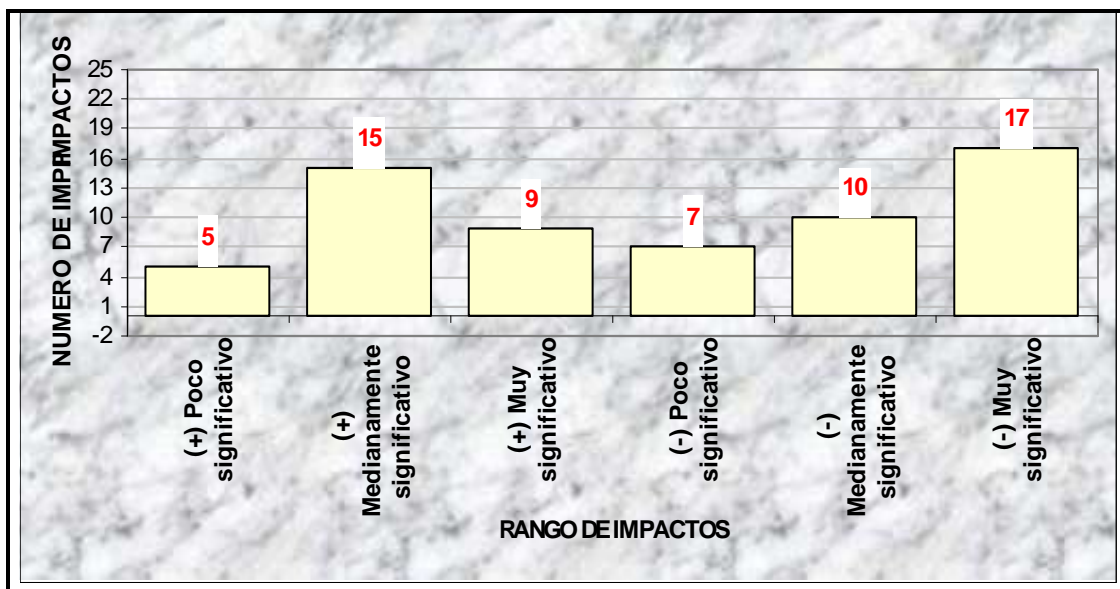
### Significancia de Impactos

De 63 impactos identificados de la evaluación de esta alternativa el 54% son de carácter negativo de los cuales el 50% son muy significativos y están relacionados con los factores socioeconómicos de análisis. Mientras que el 46% del total de impactos son positivos y de estos el 52% son medianamente significativos y corresponden en gran parte al recurso agua. En la figura 4.4 se presenta la significancia.

**FIGURA 4.3.- AFECTACION TOTAL POR ACTIVIDAD DE LA ALTERNATIVA 1**



**FIGURA 4.4.- SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS DE LA ALTERNATIVA 1**



En el Anexo 4 se presentan las matrices de identificación, evaluación y análisis de significancia de la Alternativa 1.

#### 4.2.7.3 Alternativa 2.

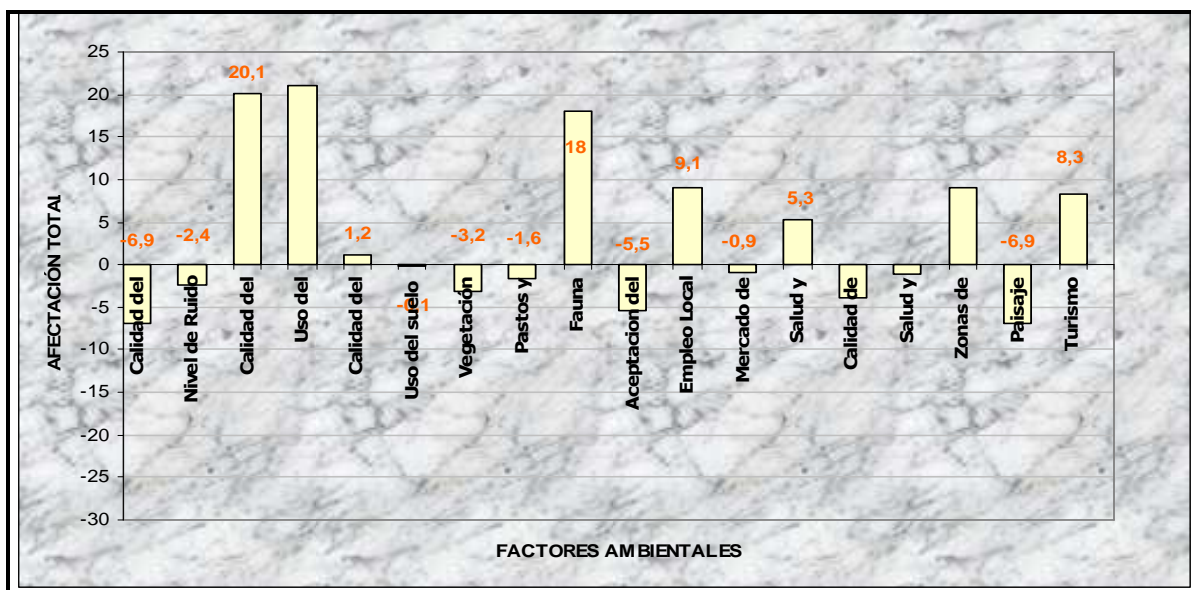
##### **Afectaciones negativas a los factores ambientales**

A continuación se detallan en forma ascendente los impactos negativos más significativos que se generan sobre los factores ambientales, y se presenta en la figura.4.5 los valores de afectación de los factores ambientales analizados.

- Aspecto socioeconómico: La afectación es mucho menor que todas las alternativas analizadas, pues requiere menores costos de construcción y mantenimiento (debido a la baja periodicidad del drenaje de lodos), y poca infraestructura, mitigando posibles problemas de aceptación del servicio por parte de la comunidad.
- Atmosférico: La calidad del aire no se ve dañada en la etapa de operación porque aquí se construirá un reactor anaerobio cubierto y más eficiente que

un tanque sedimentador, el gas metano generado será combustionado para producir dióxido de carbono que es menos contaminante que el anterior gas, sin embargo en la etapa de construcción el ruido si estará presente por los equipos que se necesitan para la edificación de la planta de tratamiento, sin embargo esto no es una causa de impactos muy graves.

**FIGURA 4.5.- AFECTACION TOTA POR FACTOR DE LA ALTERNATIVA 2**

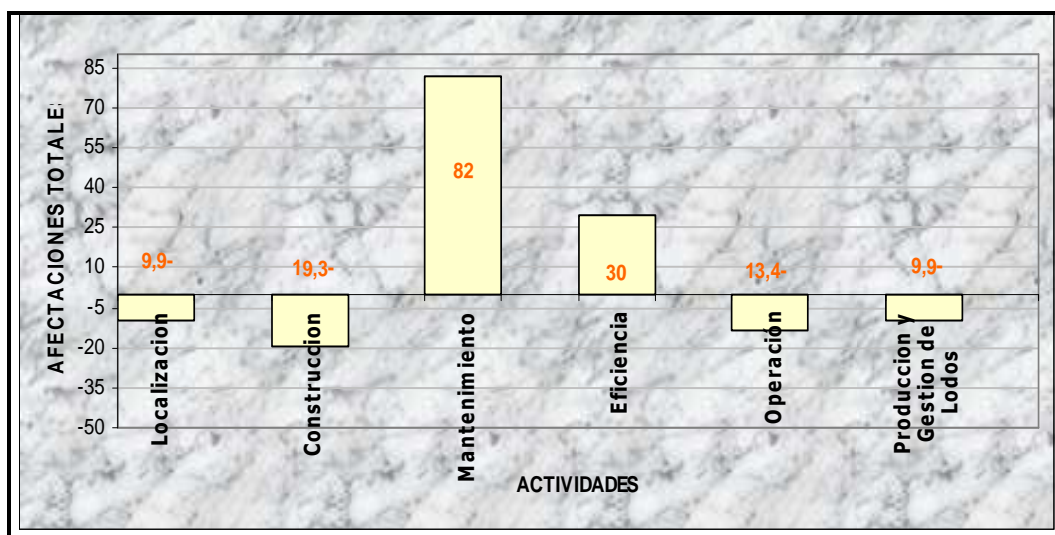


### Afectaciones negativas de las actividades

- **Construcción:** el movimiento de tierras, infraestructura, maquinaria para construcción, acarreo de materiales y costos, en esta alternativa son los más bajos en comparación con las propuestas antes planteadas; generando un impacto negativo mínimo.
- **Operación:** como parte de la operación se presenta la generación de algas en la laguna de bajo calado, que hace que la demanda bioquímica de oxígeno sea ligeramente mayor a los sistemas de tratamiento y por consiguiente el efluente presenta una coloración verdosa, así mismo estas algas son asimiladas en el cuerpo hídrico por la fauna acuática existente.

En cuanto a la producción de lodos no se presentan mayores dificultades en su gestión puesto que estos del reactor anaerobio ya salen digeridos y solo necesitan deshidratación. En la figura 4.6 se identifican las afectaciones de todo el análisis.

**FIGURA 4.6.- AFECTACION TOTALPOR FACTOR DE LA ALTERNATIVA 2**

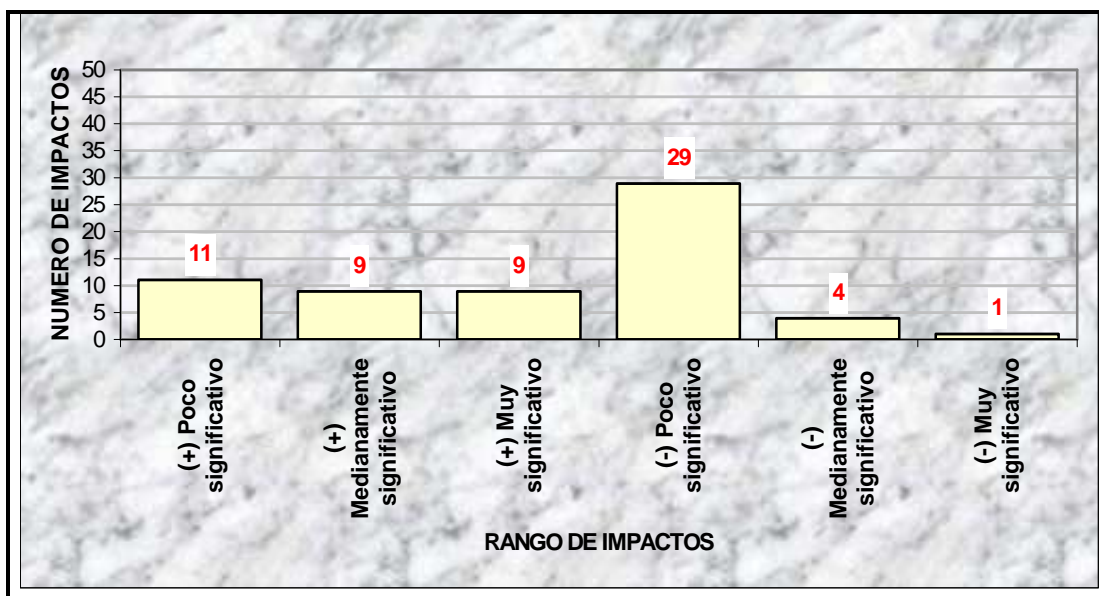


### **Significancia de Impactos**

De 63 impactos identificados de la evaluación de esta alternativa el 54% son de carácter negativo de los cuales el 3% son muy significativos. Mientras que el 46% del total de impactos son positivos y están distribuidos equitativamente entre los rangos de significancia. En la figura 4.7 se presenta la significancia de los impactos identificados para la alternativa 2.

En el Anexo 5 se presenta las matrices de identificación y evaluación y análisis de significancia de la Alternativa 2.

**FIGURA 4.7.- SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS DE LA ALTERNATIVA 2**



De la evaluación de impactos efectuada de las varias alternativas de implantación del proyecto frente a la propuesta de no tratar las aguas residuales en la ciudad, se observa que el recurso agua mejoraría en la calidad y posteriores usos.

Parámetros como superficie necesaria para la implementación del sistema, mantenimiento y costos, serían los aspectos que más influirían en la aceptación del servicio por parte de la comunidad y el Municipio. Por este motivo es importante concienciar a la población sobre los beneficios que tiene la construcción de un sistema de depuración de aguas residuales y los compromisos de dar un adecuado mantenimiento y operación del sistema (libre de olores, vectores y aspectos estéticos), mediante difusiones en medios de comunicación y capacitación a la comunidad.

Para disminuir los impactos negativos frente a la expectativa de implantación de un sistema de depuración de aguas residuales, se deberá tomar en cuenta las siguientes medidas de prevención:

- Para actividades de desalojo y acarreo de materiales, el personal encargado del transporte debe respetar los límites de velocidad y señalizaciones establecidas en las vías.



- Implantación de una barrera viva alrededor del sistema de tratamiento para ayudar a mejorar la parte estética del lugar.
- Respetar las frecuencias de mantenimiento establecidas por el técnico responsable del proyecto, es importante para evitar colapsos, malos olores, problemas de vectores, estética y disminución del rendimiento.

#### *4.2.7.4 Alternativa 3.*

Como se mencionó en el capítulo anterior para que un sistema de infiltración rápida funcione correctamente es necesario que la permeabilidad del terreno sea superior a 14mm/h en el mejor de los casos. Sin embargo en la zona de estudio se tiene valores de permeabilidad muy bajos, por lo cual métodos de tratamiento con infiltración rápida (aplicación natural al suelo) en el terreno no pueden ser aplicados. Por lo cual no se realizará la evaluación económica ni ambiental, la baja permeabilidad para el lugar de interés prevé la necesidad de un área de 18 ha.

#### *4.2.7.5 Alternativa 4.*

##### **Afectaciones negativas a los factores ambientales**

Se describe en forma ascendente los impactos negativos más significativos que se producen de las actividades sobre los diferentes factores ambientales, en la figura 4.8 se muestra los valores de afectación de las actividades realizadas para la ejecución del proyecto.

- Aspecto Socioeconómico: el factor ambiental más representativo que está perjudicado es la aceptación del servicio, porque el área requerida es grande y los costos de construcción para 4 lagunas son elevados.

- Atmosféricos: la calidad del aire es afectada en la etapa de construcción por el ruido generado por los equipos utilizados.
- Estética y Paisaje: como se mencionó anteriormente el tratamiento por lagunas da como resultado la formación de algas porque son sistemas eutrofizados, alterando el color del agua, en vista de que son 4 lagunas podría verse afectado el paisaje y estética del entorno.

### **Afectaciones negativas de las actividades**

Se describe en forma ascendente los impactos negativos más significativos que se producen de las actividades sobre los diferentes factores ambientales; además en la figura 4.9 se presenta en la los valores de afectación de las actividades realizadas para la ejecución del proyecto.

- Construcción: el movimiento de tierras, la obra civil, los equipos, el acarreo de materiales y los costos en esta alternativa hace que se genere un impacto negativo casi igual al de la alternativa 1; sin embargo, aquí no se tiene acarreo de tierra, haciendo menos impactante a esta actividad.
- Operación: como parte operacional del sistema se generarán algas, lo que da una tonalidad verde al efluente, y originará una leve elevación de la demanda bioquímica de oxígeno en el efluente.
- Localización: esta propuesta es la segunda en requerimientos de área, haciendo que la construcción de cómo resultado impactos negativos sobre la calidad del suelo, remoción de flora, destrucción del paisaje natural, creando una posible afectación a la aceptación del servicio.

FIGURA 4.8.- AFECTACION TOTAL POR FACTOR DE LA ALTERNATIVA 4

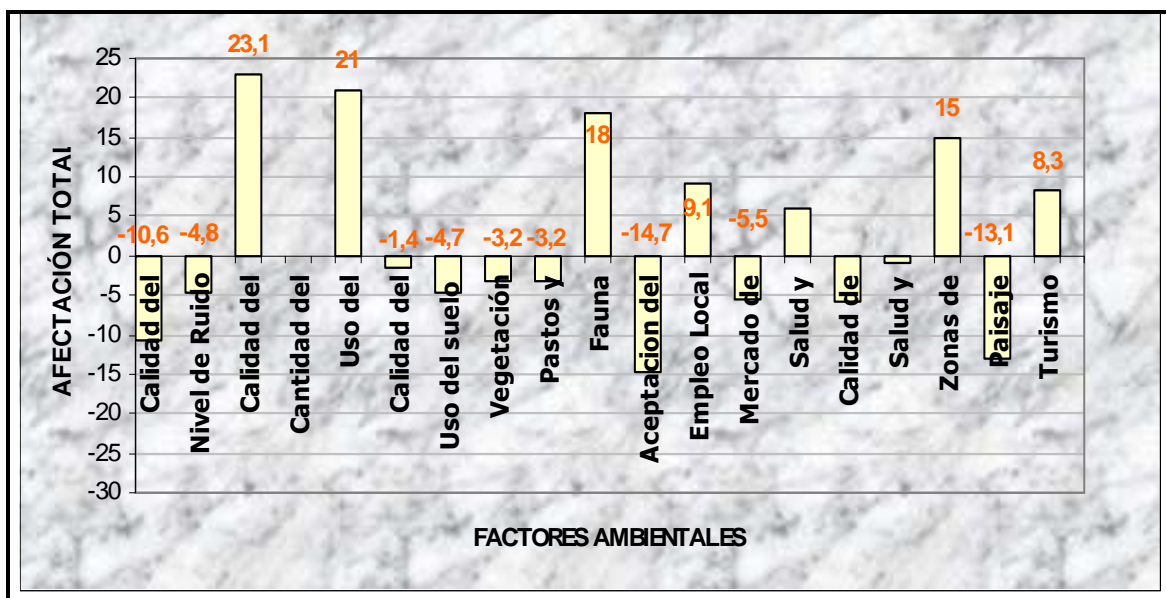
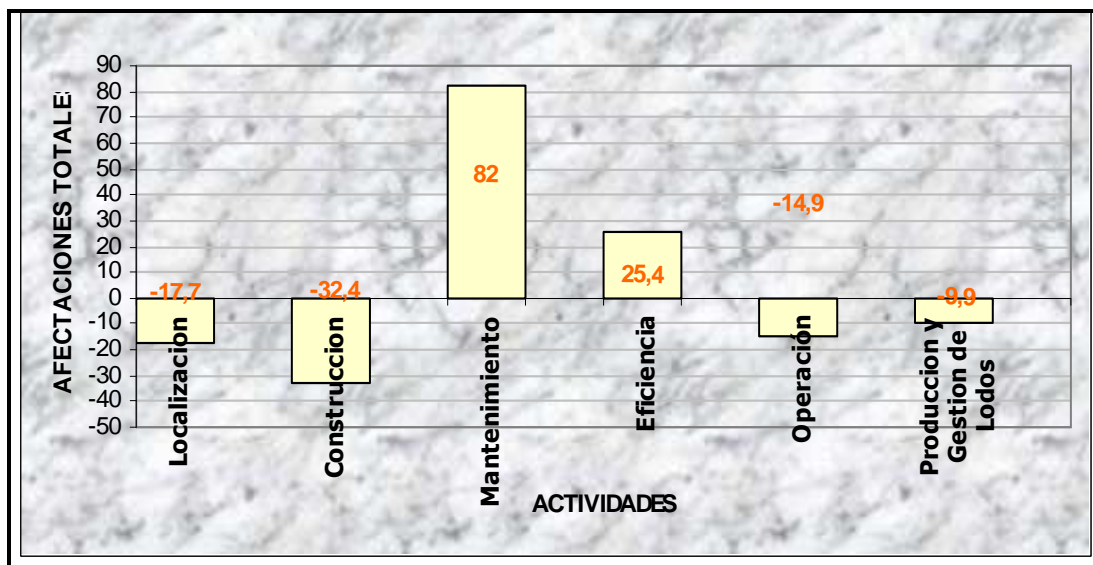


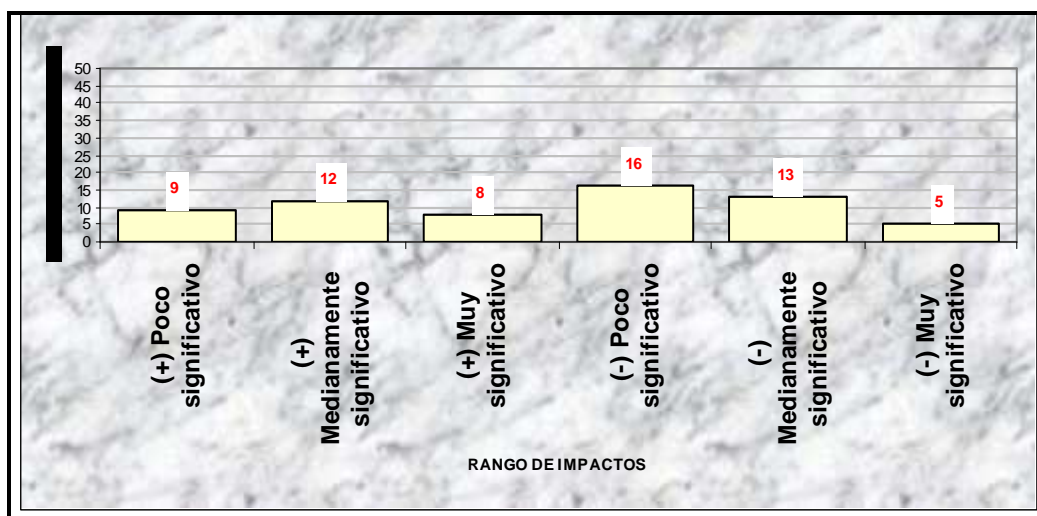
FIGURA 4.9.- AFECTACION TOTAL POR ACTIVIDADES DE LA ALTERNATIVA 4



### Significancia de Impactos

De 63 impactos identificados de la evaluación de esta alternativa el 54% son de carácter negativo de los cuales el 15% son muy significativos y están relacionados con los factores socioeconómicos de análisis. Mientras que el 46% del total de impactos son positivos y de estos el 41% son medianamente significativos. En la figura 4.10 se presenta la significancia.

**FIGURA 4.10.- SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS DE LA ALTERNATIVA 4**



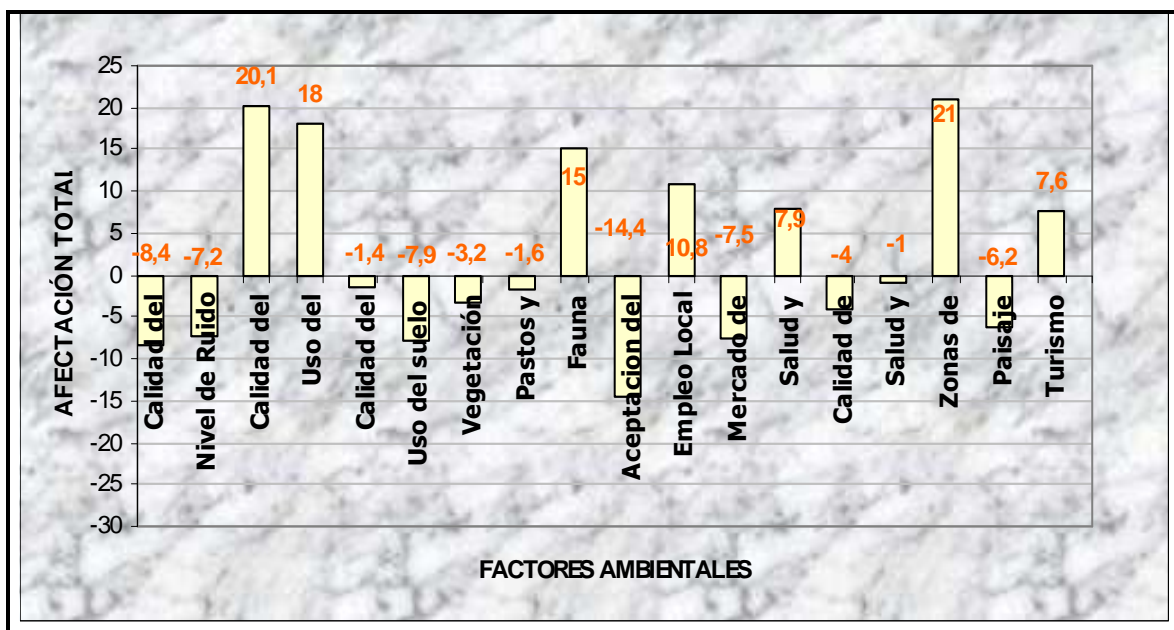
En el Anexo 6 se presentan las matrices de identificación, evaluación y análisis de significancia de la Alternativa 4.

#### 4.2.7.6 Alternativa 5.

##### **Afectaciones negativas a los factores ambientales**

En esta alternativa también se ven afectados los factores ambientales: socioeconómicos, atmosféricos, estética y paisajes, pero en menor escala sobretodo la calidad del aire que tiene menos perjuicios. Con la implantación del reactor anaerobio y su mayor eficiencia en relación a los tanques sedimentadores (alternativa 1), los pantanos reciben menos carga orgánica, evitando que el sistema trabaje en condiciones anaerobias, reduciendo efectos como la presencia de olores y mosquitos. En la figura 4.11 se presenta el gráfico de las afectaciones sobre los factores ambientales.

FIGURA 4.11.- AFECTACION TOTAL POR FACTOR DE LA ALTERNATIVA 5



### Afectaciones negativas de las actividades

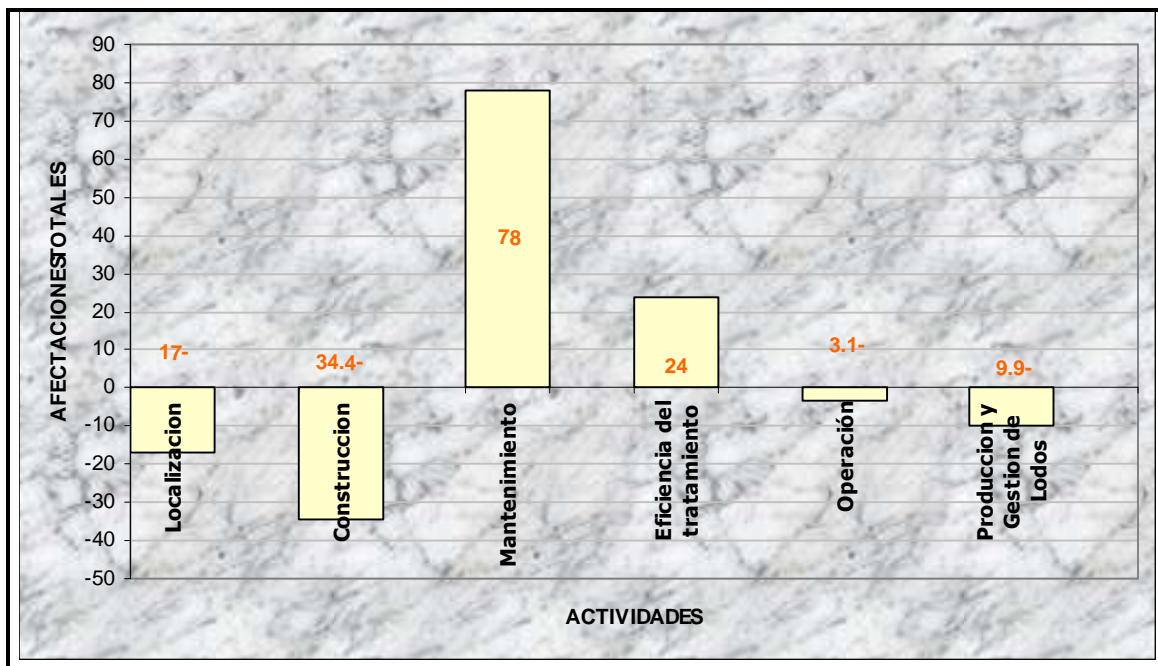
Al igual que las anteriores alternativas, la construcción y localización son las actividades que causan alteraciones, pero éstas se presentan en menor escala, debido a que el área requerida es baja (2 ha), demandando menos volumen de movimiento de tierras, un 50% menos volumen para el acarreo de materiales con lo cual se reduce los costos del proyecto. En la figura 4.12 se presentan los valores de afectación para la ejecución de la planta de tratamiento.

### Significancia de Impactos

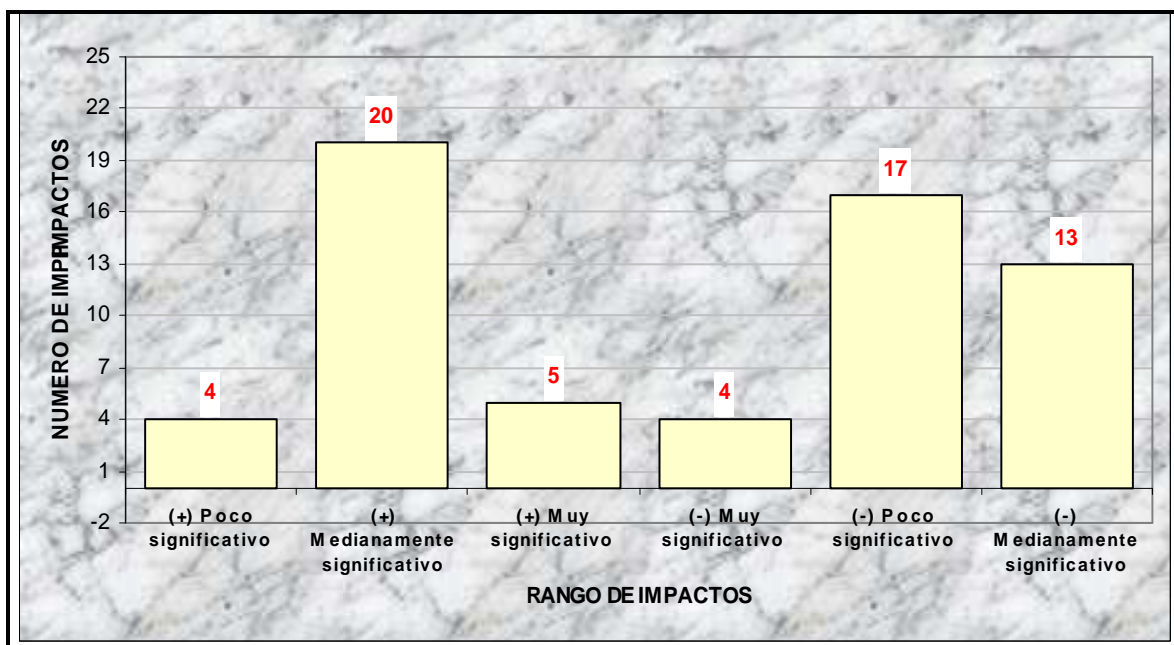
De 63 impactos identificados de la evaluación de esta alternativa el 54% son de carácter negativo de los cuales el 16% son muy significativos. Mientras que el 46% del total de impactos son positivos, de estos el 69% son medianamente significativos. En la figura 4.13 se muestra los porcentajes de significancia de impactos.

En el Anexo 7 se presentan las matrices de identificación, evaluación y análisis de significancia de la Alternativa 5.

**FIGURA 4.12.- AFECTACION TOTAL POR ACTIVIDADES DE LA ALTERNATIVA 5**



**FIGURA 4.13.- SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS DE LA ALTERNATIVA 5**



## CAPITULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 5.1 CONCLUSIONES

1. La ciudad de Puyo esta atravesada principalmente por los ríos Pindo Grande y Puyo, tiene una precipitación media anual de 4.800 mm, una temperatura media anual de 21° C. El colector norte de las aguas residuales descarga al río Puyo que tiene un caudal mínimo anual de 0,53 m<sup>3</sup> / s.
2. Las características físicas químicas del Río Puyo son óptimas para los diferentes usos, como: preservación de la flora y fauna, agrícolas, fines recreativos con contacto primario y secundario. Sin embargo, la DBO<sub>5</sub> del río incumple en un 35% el límite permisible establecido en el TULAS, libro VI, anexo 1, para consumo humano y doméstico.
3. Los parámetros de diseño para el colector norte son: una población de saturación de 15000 habitantes, caudal de aguas residuales de 2640m<sup>3</sup> / día, concentración de la DBO<sub>5</sub> 284 mg/l y carga orgánica de 750 kg DBO<sub>5</sub> /día.
4. La alternativa 1 esta conformada por 6 tanques sedimentadores, 12 pantanos secos (6 de pulido y 6 de lijado) y 4 lechos de junquillos, ocupando un área total para el tratamiento de 3,7 ha.
5. Los principales problemas de la alternativa 1 son los costos de construcción, debido al gran acarreo de materiales para el relleno de los pantanos y lechos de junquillos; los costos de mantenimiento por la alta frecuencia en el drenaje de lodos (diario). Además de presentar una baja eficiencia en la decantación primaria, la carga orgánica superficial en los pantanos (360 kg/ha.día), es mayor a la que se especifica para este propósito en condiciones aerobias

(110-130kg/ha/día), generando condiciones anaerobias y con ello la presencia de malos olores y vectores.

6. La alternativa 2 esta conformada por pretratamientos, 3 reactores anaerobios, una laguna de maduración de bajo calado y 3 lechos de secado para la gestión de lodos, ocupándose un área total en el tratamiento de 1,2 ha.
7. La alternativa 2 es la que presenta los más bajos costos, con una eficiencia de al menos el 70% en el reactor anaerobio, obteniéndose un lodo totalmente digerido, fácil de ser tratado por deshidratación y utilizado posteriormente como compostaje.
8. La alternativa 3 plantea la utilización de pretratamientos, 3 reactores anaerobios, campos de infiltración rápida y 3 lechos de secado; ocupa un área total de 18 ha. Esta opción no es factible por la baja permeabilidad del suelo en el sitio de proyecto y la gran extensión de terreno que requiere.
9. La alternativa 4 considera la utilización de pretratamientos, 3 reactores anaerobios, 4 lagunas de maduración convencionales y 3 lechos de secado para la gestión de lodos; posee un área de 2,4 ha, siendo la segunda con mayor factibilidad económica.
10. La alternativa 5 esta conformada por pretratamientos, 3 reactores anaerobios, 3 pantanos artificiales y 3 lechos de secado; el área total de tratamiento es de 2 ha. En comparación con la alternativa 1, al cambiar el tanque sedimentador por un reactor anaerobio, la carga orgánica superficial que ingresa hacia los pantanos (128 kgh/ha día) están dentro de los rangos adecuados para un funcionamiento aerobio, reduciéndose de esta manera la posibilidad que el sistema trabaje bajo condiciones anaerobias y sus efectos posteriores al entorno.
11. Es importante mencionar que el efluente de las lagunas de maduración tiene una DBO ligeramente mayor al de los pantanos artificiales, como



consecuencia del crecimiento de algas, materia que es fácilmente asimilable por el cuerpo hídrico, ya que constituye alimento para la fauna acuática.

12. Para la evaluación de los impactos potenciales se tomó como base una matriz causa–efecto (matriz de Leopold modificada), donde se escogieron los factores ambientales del área del proyecto y las actividades que generan o podrían generar impactos a los factores analizados.
13. Para la evaluación ambiental se realizó la calificación cualitativa, caracterizando los impactos de acuerdo a magnitud, importancia, duración y carácter, de acuerdo a la siguiente fórmula:  $\text{Impacto} = \text{Im} * \text{C} * (0.7 * \text{Ma} + 0.3 * \text{D})$
14. Las acciones consideradas para la evaluación de los impactos fueron: localización, construcción, mantenimiento, eficiencia, operación y gestión de lodos.
15. Cuando no se dispone de sistemas de tratamiento de aguas residuales el principal factor ambiental afectado es el recurso agua, tanto en su calidad como en el uso, porque las descargas líquidas de la ciudad son vertidas directamente al Río Puyo, y al realizar esta acción se ven dañados otros factores como la flora, fauna, suelo aguas abajo de la descarga, socioeconómicos y de estética.
16. La alternativa 1 es la que presenta mayor afectación negativa ante la expectativa de implementación de un sistema de tratamiento en la ciudad de Puyo, el mayor problema que se presenta, está relacionada con la aceptación del servicio debido a que ésta alternativa demanda una mayor superficie en comparación a las otras propuestas, mayores costos de construcción y mantenimiento (debido a la alta periodicidad del drenaje de lodos), necesita grandes volúmenes de material para el relleno de los pantanos (arcilla, grava y arena). Además durante la operación de esta opción de tratamiento, el sistema podría funcionar bajo condiciones anaerobias, lo cual con el tiempo

puede causar el colapso del mismo y la presencia de vectores, además de 63 impactos identificados de la evaluación de esta alternativa el 54% son de carácter negativo de los cuales el 50% son muy significativos y están relacionados con los factores socioeconómicos de análisis. Mientras que el 46% del total de impactos son positivos y de estos el 52% son medianamente significativos y corresponden en gran parte al recurso agua.

17. En la alternativa 2 las afectaciones son mucho menores que en el resto de alternativas analizadas, pues requiere menores costos de construcción y mantenimiento (debido a la baja periodicidad del drenaje de lodos), y poca infraestructura, mitigando posibles problemas de aceptación del servicio por parte de la comunidad.

De 63 impactos identificados de la evaluación de esta alternativa el 54% son de carácter negativo de los cuales el 3% son muy significativos. El 46% del total de impactos son positivos y están distribuidos equitativamente entre los rangos de significancia.

18. En la alternativa 4 el factor ambiental más representativo que será afectado es la aceptación del servicio, porque el área requerida es grande y los costos de construcción para 4 lagunas son elevados.

De 63 impactos identificados de la evaluación de esta alternativa el 54% son de carácter negativo de los cuales el 15% son muy significativos y están relacionados con los factores socioeconómicos de análisis. El 46% del total de impactos son positivos y de estos el 41% son medianamente significativos.

19. En la alternativa 5 también se verán afectados los factores ambientales: socioeconómicos, atmosféricos, estética y paisajes, pero en menor escala sobretodo la calidad del aire que tiene menos perjuicios. Con la implantación del reactor anaerobio y su mayor eficiencia en relación a los tanques sedimentadores (alternativa 1), los pantanos reciben menos carga orgánica, evitando que el sistema trabaje en condiciones anaerobias, reduciendo efectos como la presencia de olores y mosquitos.

De 63 impactos identificados de la evaluación de esta alternativa el 54% son de carácter negativo de los cuales el 16% son muy significativos. El 46% del total de impactos son positivos, de estos el 69% son medianamente significativos.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

1. De las opciones analizadas, la alternativa 2 es la más factible por cuanto presenta las condiciones económicas, técnicas y ambientales más adecuadas.
2. Cualquiera que sea el sistema de tratamiento implementado para una ciudad, es importante considerar aspectos como: socialización del proyecto con la comunidad; cumplir con las condiciones de operación y mantenimiento y adecuar el entorno con áreas verdes para mejora la estética del lugar, ya que dependiendo de éstos parámetros se puede tener la aceptación del proyecto por parte de la comunidad.
3. El efluente de cualquiera de las alternativas planteadas en este trabajo, puede ser utilizado para riego de áreas verdes o cultivos de tallo alto.
4. Por la alta pluviosidad existente en la zona, es recomendable prever el uso de vertederos para las lagunas de maduración; y de manera general canaletas perimetrales en todo el sistema para evitar inundaciones.
5. De acuerdo a las curvas de autodepuración del Río Puyo, para preservar un adecuado nivel de oxígeno disuelto en el río (6,4 mg/l), el tratamiento de las aguas debería tener una eficiencia de al menos 70%.

## **CAPITULO 6**

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

CORBITT, ROBERT. (1999). Manual de referencia de la Ingeniería Medioambiental, Editorial McGraw -Hill, Segunda Edición, España.

COLLADO, RAMON. (1992). Depuración de aguas residuales en pequeñas comunidades, Editorial Paraninfo S.A., Madrid, España

CRITES, RON; TCHOBANOGLOUS, G. (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones, Editorial McGraw-Hill, Primera Edición, Colombia, Santafé de Bogotá.

ECCO-AMBIENTE. (1995). Plan Maestro de Saneamiento Ambiental del Municipio de Pastaza.

JARAMILLO, L. (2001). Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo para el Sistema de Alcantarillado de Esmeraldas.

HAMMER, DONALD A. (1989). Constructed Wetlands for Wasterwater Treatment, Municipal, Industrial and Agricultural, Lewis Publishers, INC, United States of America.

HENRY; GLYNN; HEINKE, GARY. (1996). Ingeniería Ambiental, Editorial McGraw - Hill, Segunda Edición, México DF.

- LAMOTTA, ENRIQUE (1980). Manual para la Evaluación de Estudios Ambientales de Proyectos de Infraestructura Urbana, Programa de Desarrollo Municipal y de Infraestructura Urbana (PDM), Banco de Desarrollo del Ecuador
- LAVIGNE, RONALD. (2005). Estudio y diseño de pantanos secos artificiales de aguas servidas de la ciudad de Puyo, Cantón Pastaza.
- LEDESMA, OSCAR. (2004). Pastaza una Provincia que Apasiona, Editorial Pedagógica Freire, Riobamba Ecuador.
- MACKENZIE, DAVIS; MASTEN, SUSAN. (2004). Ingeniería y Ciencias Ambientales, Editorial McGraw -Hill, México DF.
- METCALF, EDDY. (1996). Ingeniería de aguas residuales, vertido y reutilización, Editorial McGraw-Hill, Tercera Edición, Volumen II, Madrid, España.
- METCALF, EDDY. (1979). Wasterwater Engineering: Treatment Disposal and Reuse, Editorial McGraw-Hill, Second Edition, New Delhi.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACION (MAPA). (1998). Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales en Pequeños Núcleos Rurales, Hojas Divulgadoras, Quito, Ecuador.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE DEL ECUADOR. (2003). Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Medio Ambiente (TULAS).
- MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA (MIDUVI), SUBSECRETARIA DE SANEAMIENTO AMBIENTAL (SSA), AGENCIA DE LOS ESTADOS UNIDOS PARA EL DESARROLLO INTERNACIONAL (USAID). (1995). Manual de Operación y Mantenimiento de sistemas rurales de Disposición de excretas, Proyecto Washed, Convenio SSA-USAID-518-0081, Documento técnico N°03-OYM, Quito- Ecuador

MUÑOZ, M; ROMERO, P. (1996). Evaluación de la Mortalidad de Patógenos en el Suelo, Memorias Técnicas, XXV Congreso Internacional AIDIS, México.

MUÑOZ, M; CABRERA, R; VILLACRES, D. (2000). Modelo cinético para lagunas de maduración de baja profundidad, Tesis de Grado, Maestría en Medio Ambiente, EPN.

MUÑOZ, M. (1985). Lagunas de estabilización para la depuración de las aguas residuales: parámetros de diseño, Revista Politécnica, Volumen X-N0 3.

SANS, RAMON; RIBAS, JOAN. (1999). Ingeniería Ambiental. Contaminación y Tratamientos, Editorial Alfaomega S.A., México DF.

VESILIND, AARNE. (1996), Introduction to Enviromental Engineering, PWS Publishing Company, Boston USA

WESTEY, W. (1970). Water Quality Engineering for Practicing Engineers, Barnes & Noble Publishers, Canada, Toronto.

#### **PAGINAS WEB VISITADAS**

[1].-[http://www.worldwatercouncil.org/fileadmin/wwc/News/WWC\\_News/water\\_problems\\_es\\_22.03.04.pdf](http://www.worldwatercouncil.org/fileadmin/wwc/News/WWC_News/water_problems_es_22.03.04.pdf))

[2] [www.ecuaventura.com](http://www.ecuaventura.com)

## **ANEXOS**

**ANEXO N° 1:**

**AREA APORTANTE DEL COLECTOR NORTE  
DE LA CIUDAD DE PUYO**





## **ANEXO N° 2:**

**PRECIOS REFERENCIALES DE MATERIALES,  
SEGÚN LA EMAAP-Q Y LA CÁMARA DE  
CONSTRUCCIÓN DE QUITO.**

LISTA DE PRECIOS VIGENTE A JULIO DEL 2007			
EMAAP-Q			
Codigo	Rubro	Unidad	Precio
05.017.4.01	ACERO DE REFUERZO $FY=4200\text{KG}/\text{CM}^2$ INTERIOR COLECTOR (CORTE Y COLOCADO)	kg	1.29
01.018.4.40	ACERO EN PLANCHA	kg	1.26
01.037.4.08	ACERO ESTRUCTURA PUENTE (FABRICACION Y MONTAJE)	kg	3.55
01.037.4.14	ACERO ESTRUCTURAL EN SUPERFICE ASTM A-57 (PROVISION Y MONTAJE)	kg	1.96
01.009.4.01	ACERO REFUERZO $f_y=4200\text{ kg}/\text{cm}^2$ (SUMINISTRO, CORTE Y COLOCADO)	kg	1.12
01.009.4.14	ACERO REFUERZO $f_y=4200\text{ kg}/\text{cm}^2$ TUNEL (SUMINISTRO, CORTE Y COLOCADO)	kg	1.21
01.035.4.06	ALQUILER DE VOLQUETA 8M3	hora	20.40
01.035.4.39	ALQUILER DE VOLQUETA 8m3	mes	3096.00
03.011.4.01	ARENA EN ZANJA DE INFILTRACION	$\text{m}^3$	15.95
02.030.4.01	ARENA PARA FILTROS	$\text{m}^3$	212.27
04.020.4.29	CERRAMIENTO ALAMBRE PUAS 3 FILAS POSTE PREFABICADO	m	4.11
04.020.4.03	CERRAMIENTO ALAMBRE PUAS 8 FILAS POSTE PREFABICADO	m	4.59
04.020.4.04	CERRAMIENTO ALAMBRE PUAS 8 FILAS TUBO HG 2" H=2.4m	m	15.94
04.020.4.16	CERRAMIENTO DE ALAMBRE DE PUAS (5 FILAS) Y PINGO CADA 3M (ALTURA LIBRE 1.50m)	m	2.18
04.020.4.42	CERRAMIENTO DE MADERA CONTRACHAPADA 18mm (SUMINISTRO, MONTAJE)	$\text{m}^2$	16.38
04.020.4.05	CERRAMIENTO DE MADERA DE MONTE	$\text{m}^2$	6.16
04.020.4.36	CERRAMIENTO DE MALLA ELECTROSOLDADA Y PINGOS	m	10.04
04.020.4.37	CERRAMIENTO DE TOOL,ANGULO/TUBO RECT.,PINGO/VIGA(SUMINISTRO, MONTAJE Y PINTURA)	$\text{m}^2$	20.82
04.020.4.17	CERRAMIENTO DECORATIVO HIERRO FORJADO H=2.20 (SIN MURO)	m	129.23

04.020.4.30	CERRAMIENTO H=1.20m-CABLE DE ACERO 3 FILAS, POSTE MADERA TRATADA CADA 1.20m	m	15.29
04.020.4.39	CERRAMIENTO MALLA TRIPLE GALVAN. TUBO HG 2 1/2" H=2.0M	m	26.20
04.020.4.23	CERRAMIENTO MALLA TRIPLE GALVAN. TUBO HG 2" H=1.2M	m	18.07
04.020.4.06	CERRAMIENTO MALLA TRIPLE GALVAN. TUBO HG 2" H=2.0M	m	24.00
04.020.4.07	CERRAMIENTO MALLA TRIPLE GALVAN. TUBO HG 2" H=2.4M	m	26.45
04.020.4.13	CERRAMIENTO MALLA TRIPLE GALVAN. TUBO HG 2" H=3.0M	m	32.70
04.020.4.11	CERRAMIENTO TUBO RECTO H=1.30 (SIN MURO)	m	37.35
04.020.4.10	CERRAMIENTO TUBO RECTO H=1.30M / MURO H.A. H=0.90M / CIMIENTO HC H=.40M	m	77.96
04.020.4.32	CERRAMIENTO TUBO REDON.2"-H=1.8, INCLU.PLATINA,PINTADO,EMPOTRADO(SIN MURO)	m	70.05
04.020.4.31	CERRAMIENTO TUBO REDONDO 1 1/2" H=2.2, ARRIORTRADO HORIZ.TRIPLE TUBO(SIN MURO)	m	62.46
04.020.4.43	CERRAMIENTO TUBO REDONDO 1 1/2" TIPO PLANTA EL PLACER (SIN MURO) INCL.PINTADO	m	62.46
04.020.4.18	CERRAMIENTO TUBO REDONDO 2" H=2.8, ARRIORTRADO TUBO RECTANGULAR(SIN MURO)	m	52.44
04.020.4.21	CERRRAMIENTO MIXTO (PINGOS Y VARILLA 6 mm)	m	1.91
01.006.4.23	EXCAV. PARA COLOCAR TUBERIA SUBTERRANEA BAJO VIA PAVIMENTADA-INCL.TOPO	m	11
05.013.4.01	EXCAVACION A MANO BASURA SUBSUELO	m <sup>3</sup>	35.05
01.003.4.18	EXCAVACION A MANO CIELO ABIERTO (CONGLOMERADO)	m <sup>3</sup>	4.71
01.003.4.17	EXCAVACION A MANO CIELO ABIERTO (EN TIERRA)	m <sup>3</sup>	3.49
01.003.4.2	EXCAVACION A MANO CIELO ABIERTO (ROCA)	m <sup>3</sup>	8.85
01.003.4.19	EXCAVACION A MANO CIELO ABIERTO(CONSOLIDADO)	m <sup>3</sup>	7.21
01.003.4.41	EXCAVACION A MANO CIMIENTOS Y PLINTOS	m <sup>3</sup>	4.92
01.003.4.21	EXCAVACION A MANO EN FANGO	m <sup>3</sup>	12.83
01.003.4.22	EXCAVACION A MANO LECHO RIO	m <sup>3</sup>	12.94
05.013.4.02	EXCAVACION A MANO ROCA SUBSUELO	m <sup>3</sup>	93.47
05.013.4.03	EXCAVACION A MANO TIERRA SUBSUELO	m <sup>3</sup>	38.95
01.003.4.37	EXCAVACION A MAQUINA CIELO ABIERTO (CONGLOMERADO)	m <sup>3</sup>	4.25

01.003.4.38	EXCAVACION A MAQUINA CIELO ABIERTO (CONSOLIDADO)	m <sup>3</sup>	5.67
01.003.4.47	EXCAVACION A MAQUINA CIELO ABIERTO (EN BASURA)	m <sup>3</sup>	1.06
01.003.4.36	EXCAVACION A MAQUINA CIELO ABIERTO (EN TIERRA)	m <sup>3</sup>	1.6
01.003.4.39	EXCAVACION A MAQUINA CIELO ABIERTO (ROCA)	m <sup>3</sup>	4.38
01.003.4.4	EXCAVACION A MAQUINA EN FANGO	m <sup>3</sup>	3.36
01.003.4.46	EXCAVACION A MAQUINA LECHO RIO	m <sup>3</sup>	7.12
01.003.4.05	EXCAVACION ZANJA A MANO H=0.00-2.75m (CONGLOMERADO)	m <sup>3</sup>	6.57
01.003.4.09	EXCAVACION ZANJA A MANO H=0.00-2.75m (CONSOLIDADO)	m <sup>3</sup>	9.44
01.003.4.01	EXCAVACION ZANJA A MANO H=0.00-2.75m (EN TIERRA)	m <sup>3</sup>	3.53
01.003.4.13	EXCAVACION ZANJA A MANO H=0.00-2.75m (ROCA)	m <sup>3</sup>	7.95
01.003.4.06	EXCAVACION ZANJA A MANO H=2.76-3.99m (CONGLOMERADO)	m <sup>3</sup>	10.82
01.003.4.1	EXCAVACION ZANJA A MANO H=2.76-3.99m (CONSOLIDADO)	m <sup>3</sup>	13.13
01.003.4.02	EXCAVACION ZANJA A MANO H=2.76-3.99m (EN TIERRA)	m <sup>3</sup>	5.07
01.003.4.14	EXCAVACION ZANJA A MANO H=2.76-3.99m ROCA)	m <sup>3</sup>	11.03
01.003.4.07	EXCAVACION ZANJA A MANO H=4.00-6.00m (CONGLOMERADO)	m <sup>3</sup>	13.91
01.003.4.11	EXCAVACION ZANJA A MANO H=4.00-6.00m (CONSOLIDADO)	m <sup>3</sup>	16.42
01.003.4.03	EXCAVACION ZANJA A MANO H=4.00-6.00m (EN TIERRA)	m <sup>3</sup>	8.21
01.003.4.08	EXCAVACION ZANJA A MANO H>6.00m (CONGLOMERADO)	m <sup>3</sup>	16.23
01.003.4.12	EXCAVACION ZANJA A MANO H>6.00m (CONSOLIDADO)	m <sup>3</sup>	19.7
01.003.4.04	EXCAVACION ZANJA A MANO H>6.00m (EN TIERRA)	m <sup>3</sup>	9.3
01.003.4.28	EXCAVACION ZANJA A MAQUINA H=0.00-2.75m (CONGLOMERADO)	m <sup>3</sup>	3.54
01.003.4.32	EXCAVACION ZANJA A MAQUINA H=0.00-2.75m (CONSOLIDADO)	m <sup>3</sup>	5.42
01.003.4.24	EXCAVACION ZANJA A MAQUINA H=0.00-2.75m (EN TIERRA)	m <sup>3</sup>	1.77
01.003.4.42	EXCAVACION ZANJA A MAQUINA H=0.00-2.75m (ROCA)	m <sup>3</sup>	8.3
01.003.4.29	EXCAVACION ZANJA A MAQUINA H=2.76-3.99m (CONGLOMERADO)	m <sup>3</sup>	4.25

01.003.4.33	EXCAVACION ZANJA A MAQUINA H=2.76-3.99m (CONSOLIDADO)	m <sup>3</sup>	6.51
01.003.4.25	EXCAVACION ZANJA A MAQUINA H=2.76-3.99m (EN TIERRA)	m <sup>3</sup>	2.13
01.003.4.43	EXCAVACION ZANJA A MAQUINA H=2.76-3.99m (ROCA)	m <sup>3</sup>	10.94
01.003.4.31	EXCAVACION ZANJA A MAQUINA H=4.00-6.00m (CONGLOMERADO)	m <sup>3</sup>	5.59
01.003.4.34	EXCAVACION ZANJA A MAQUINA H=4.00-6.00m (CONSOLIDADO)	m <sup>3</sup>	7.91
01.003.4.26	EXCAVACION ZANJA A MAQUINA H=4.00-6.00m (EN TIERRA)	m <sup>3</sup>	2.98
01.003.4.44	EXCAVACION ZANJA A MAQUINA H=4.00-6.00m (ROCA)	m <sup>3</sup>	12.57
01.003.4.3	EXCAVACION ZANJA A MAQUINA H>6.00m (CONGLOMERADO)	m <sup>3</sup>	6.33
01.003.4.35	EXCAVACION ZANJA A MAQUINA H>6.00m (CONSOLIDADO)	m <sup>3</sup>	9.04
01.003.4.27	EXCAVACION ZANJA A MAQUINA H>6.00m (EN TIERRA)	m <sup>3</sup>	3.95
01.003.4.45	EXCAVACION ZANJA A MAQUINA H>6.00m (ROCA)	m <sup>3</sup>	14.63
01.003.4.48	EXCAVACION ZANJA A MAQUINA- ROCAS DE 0.5 A 2m3	m <sup>3</sup>	18.35
01.022.4.05	GEOMEMBRANA POLIETILENO 2.00mm	m <sup>2</sup>	5.39
99.001.4354	HORMIGON ANCLAJES CONDUCCION PALUGUILLO-TABABELA	glb	62.1
01.011.4.08	HORMIGON CICLOPEO 40% PIEDRA (f'c=210 KG/CM2)	m <sup>3</sup>	71.72
01.011.4.53	HORMIGON CICLOPEO 40% PIEDRA (140 KG/CM2)	m <sup>3</sup>	63.98
01.011.4.07	HORMIGON CICLOPEO 40% PIEDRA (f'c=180 KG/CM2)	m <sup>3</sup>	66.22
01.011.4.31	HORMIGON CUNETAS f'c=210KG/CM2(INC. ENCOFRADO)	m <sup>3</sup>	148.44
01.011.4.49	HORMIGON LANZADO f'c=180 kg/cm2 (INCLUYE EQUIPO)	m <sup>3</sup>	101.24
01.011.4.33	HORMIGON LANZADO f'c=210 E=10CM INCLUYE MALLA ELECTROS. 8.10	m <sup>2</sup>	45.16
01.011.4.54	HORMIGON LANZADO f'c=210 E=10CM INCLUYE VENTILACION-ILUMINACION	m <sup>2</sup>	36.37
01.011.4.52	HORMIGON LANZADO f'c=210 kg/cm2 (INCLUYE EQUIPO)	m <sup>3</sup>	103.43
01.011.4.93	HORMIGON LANZADO f'c=250 kG/cm2 -SUBTERRANEO-ESPESOR=10cm (INCL. EQUIPO-VENTILACION-ILUMINACION)	m <sup>2</sup>	29.57
01.011.4.94	HORMIGON LANZADO f'c=250 kG/cm2 -SUBTERRANEO-ESPESOR=15cm (INCL. EQUIPO-VENTILACION-ILUMINACION)	m <sup>2</sup>	34.36


01.011.4.92	HORMIGON LANZADO f'c=250 kG/cm2 -SUBTERRANEO-ESPESOR=5cm (INCL. EQUIPO-VENTILACION-ILUMINACION)	m <sup>2</sup>	18.67
01.011.4.90	HORMIGON LANZADO f'c=250 kG/cm2 ESPESOR=10cm (INCL. EQUIPO)	m <sup>2</sup>	15.02
01.011.4.91	HORMIGON LANZADO f'c=250 kG/cm2 ESPESOR=15cm (INCL. EQUIPO)	m <sup>2</sup>	17.58
01.011.4.89	HORMIGON LANZADO f'c=250 kG/cm2 ESPESOR=5cm (INCL. EQUIPO)	m <sup>2</sup>	8.49
01.011.4.35	HORMIGON LANZADO f'c=300 KG/CM2 (Gunitado, fibra 40 kg/m3)	m <sup>3</sup>	318.96
01.011.4.58	HORMIGON LOSA PUENTE f'c=210 KG/CM2 (INC. PLACA COLABORANTE E=0.76MM)	m <sup>3</sup>	243.23
01.011.4.29	HORMIGON PREMEZCLADO f'c=140 kg/cm2 INCLUYE BOMBA Y TRANSPORTE	m <sup>3</sup>	78.14
01.011.4.30	HORMIGON PREMEZCLADO f'c=180 kg/cm2 INCLUYE BOMBA Y TRANSPORTE	m <sup>3</sup>	83.75
01.011.4.01	HORMIGON PREMEZCLADO f'c=210 kg/cm2	m <sup>3</sup>	78.88
01.011.4.48	HORMIGON PREMEZCLADO f'c=240 kg/cm2 INCLUYE BOMBA Y TRANSPORTE	m <sup>3</sup>	89.48
01.011.4.42	HORMIGON RESISTENTE A LA ABRASION	m <sup>3</sup>	2431.48
01.011.4.13	HORMIGON SIMPLE PLINTOS f'c=210 KG/CM2	m <sup>3</sup>	100.9
01.011.4.67	HORMIGON SIMPLE PLINTOS f'c=240 KG/CM2	m <sup>3</sup>	105.13
01.011.4.24	HORMIGON SIMPLE BORDILLO 30,10,10 (f'c=180KG/CM2)	m	7.65
01.011.4.25	HORMIGON SIMPLE BORDILLO 50, 15 (f'c=180KG/CM2)	m	8.77
01.011.4.15	HORMIGON SIMPLE CADENAS f'c=210 KG/CM2	m <sup>3</sup>	105.44
01.011.4.68	HORMIGON SIMPLE CADENAS f'c=240 KG/CM2	m <sup>3</sup>	109.66
01.011.4.16	HORMIGON SIMPLE COLUMNAS f'c=210 KG/CM2	m <sup>3</sup>	108.45
01.011.4.64	HORMIGON SIMPLE COLUMNAS f'c=240 KG/CM2	m <sup>3</sup>	112.67
01.011.4.19	HORMIGON SIMPLE DINTELES f'c=210 KG/CM2	m <sup>3</sup>	109.66
01.011.4.22	HORMIGON SIMPLE ESCALERAS f'c=210 KG/CM2	m <sup>3</sup>	109.66
01.011.4.44	HORMIGON SIMPLE GALERIAS f'c=210KG/CM2	m <sup>3</sup>	135.12
01.011.4.59	HORMIGON SIMPLE GALERIAS f'c=240KG/CM2	m <sup>3</sup>	139.34
01.011.4.40	HORMIGON SIMPLE HASTIALES, CUPULAS (TUNEL) f'c=250 kg/cm2	m <sup>3</sup>	121.69

01.011.4.09	HORMIGON SIMPLE LOSA FONDO TANQUE f'c=210 KG/CM2	m <sup>3</sup>	95.52
01.011.4.61	HORMIGON SIMPLE LOSA FONDO f'c=240 KG/CM2	m <sup>3</sup>	99.75
01.011.4.11	HORMIGON SIMPLE LOSA SUPERIOR TANQUE f'c=210 KG/CM2	m <sup>3</sup>	99.31
01.011.4.62	HORMIGON SIMPLE LOSA SUPERIOR f'c=240 KG/CM2	m <sup>3</sup>	110.26
01.011.4.18	HORMIGON SIMPLE LOSA SUPERIOR fc=210 KG/CM2	m <sup>3</sup>	110.62
01.011.4.21	HORMIGON SIMPLE MARCO VENTANA f'c=180 KG/CM2	m <sup>3</sup>	95.27
01.011.4.63	HORMIGON SIMPLE PAREDES f'c=240 KG/CM2	m <sup>3</sup>	107.86
01.011.4.1	HORMIGON SIMPLE PAREDES TANQUE f'c=210 KG/CM2	m <sup>3</sup>	103.64
01.011.4.37	HORMIGON SIMPLE REPLANTILLO f'c=140KG/CM2	m <sup>3</sup>	90.34
01.011.4.2	HORMIGON SIMPLE RIOSTRAS f'c=210 KG/CM2	m <sup>3</sup>	110.64
01.011.4.41	HORMIGON SIMPLE SOLERA (TUNEL) f'c=380kg/cm2	m <sup>3</sup>	153.3
01.011.4.17	HORMIGON SIMPLE VIGAS SUPERIORES f'c=210 KG/CM2	m <sup>3</sup>	110.62
01.011.4.69	HORMIGON SIMPLE VIGAS SUPERIORES f'c=240 KG/CM2	m <sup>3</sup>	114.84
01.011.4.14	HORMIGON SIMPLE VIGAS/LOSA DE CIMENTACION f'c=210 KG/CM2	m <sup>3</sup>	104.71
01.011.4.02	HORMIGON SIMPLE f'c=140kg/cm2	m <sup>3</sup>	91.54
01.011.4.03	HORMIGON SIMPLE f'c=180 kg/cm2	m <sup>3</sup>	95.27
01.011.4.88	HORMIGON SIMPLE f'c=180 kg/cm2 - AGREGADO MAX. 38mm	m <sup>3</sup>	78.27
01.011.4.87	HORMIGON SIMPLE f'c=180 kg/cm2 - AGREGADO MAX. 76mm	m <sup>3</sup>	72.4
01.011.4.55	HORMIGON SIMPLE f'c=180 kg/cm2 CON FIBRA DE ACERO	m <sup>3</sup>	110.39
01.011.4.86	HORMIGON SIMPLE f'c=180 kg/cm2 SUBTERRANEO- AGREGADO MAX. 38mm	m <sup>3</sup>	114.45
01.011.4.85	HORMIGON SIMPLE f'c=180 kg/cm2 SUBTERRANEO- AGREGADO MAX. 76mm	m <sup>3</sup>	108.58
01.011.4.83	HORMIGON SIMPLE f'c=210 kg/cm2 - AGREGADO MAX. 19mm	m <sup>3</sup>	88.49
01.011.4.82	HORMIGON SIMPLE f'c=210 kg/cm2 - AGREGADO MAX. 38mm	m <sup>3</sup>	83.29
01.011.4.81	HORMIGON SIMPLE f'c=210 kg/cm2 - AGREGADO MAX. 76mm	m <sup>3</sup>	75.31
01.011.4.80	HORMIGON SIMPLE f'c=210 kg/cm2 FLUIDO SUBTERRANEO- AGREGADO MAX. 19mm	m <sup>3</sup>	125.7



01.011.4.84	HORMIGON SIMPLE f'c=210 kg/cm2 FLUIDO- AGREGADO MAX. 19mm	m <sup>3</sup>	89.52
01.011.4.79	HORMIGON SIMPLE f'c=210 kg/cm2 SUBTERRANEO- AGREGADO MAX. 19mm	m <sup>3</sup>	124.67
01.011.4.78	HORMIGON SIMPLE f'c=210 kg/cm2 SUBTERRANEO- AGREGADO MAX. 38mm	m <sup>3</sup>	119.46
01.011.4.77	HORMIGON SIMPLE f'c=210 kg/cm2 SUBTERRANEO- AGREGADO MAX. 76mm	m <sup>3</sup>	111.49
01.011.4.04	HORMIGON SIMPLE f'c=210kg/cm2	m <sup>3</sup>	98.94
01.011.4.05	HORMIGON SIMPLE f'c=240 kg/cm2	m <sup>3</sup>	103.16
01.011.4.39	HORMIGON SIMPLE f'c=250 kg/cm2	m <sup>3</sup>	104.6
01.011.4.75	HORMIGON SIMPLE f'c=250 kg/cm2 - AGREGADO MAX. 19mm	m <sup>3</sup>	99.33
01.011.4.74	HORMIGON SIMPLE f'c=250 kg/cm2 - AGREGADO MAX. 38mm	m <sup>3</sup>	93.83
01.011.4.73	HORMIGON SIMPLE f'c=250 kg/cm2 FLUIDO SUBTERRANEO- AGREGADO MAX. 19mm	m <sup>3</sup>	139.58
01.011.4.76	HORMIGON SIMPLE f'c=250 kg/cm2 FLUIDO- AGREGADO MAX. 19mm	m <sup>3</sup>	103.41
01.011.4.72	HORMIGON SIMPLE f'c=250 kg/cm2 SUBTERRANEO- AGREGADO MAX. 19mm	m <sup>3</sup>	135.51
01.011.4.71	HORMIGON SIMPLE f'c=250 kg/cm2 SUBTERRANEO- AGREGADO MAX. 38mm	m <sup>3</sup>	130.01
01.011.4.06	HORMIGON SIMPLE f'c=280kg/cm2	m <sup>3</sup>	106.04
01.011.4.27	HORMIGON SIMPLE f'c=350kg/cm2	m <sup>3</sup>	119
01.011.4.36	HORMIGON SIMPLE f'c=380kg/cm2	m <sup>3</sup>	138.44
01.011.4.28	HORMIGON SIMPLE f'c=80kg/cm2	m <sup>3</sup>	78.03
01.011.4.70	HORMIGON SIMPLE fc=240 kg/cm2 (GRADO DIFICULTAD B)	m <sup>3</sup>	112.17
02.003.4.11	INSTALACION TUBERIA PVC U/E 090mm	m	1.07
02.003.4.12	INSTALACION TUBERIA PVC U/E 110mm	m	1.39
02.003.4.13	INSTALACION TUBERIA PVC U/E 160mm	m	1.81
02.003.4.14	INSTALACION TUBERIA PVC U/E 200mm	m	2.41
02.003.4.15	INSTALACION TUBERIA PVC U/E 250mm	m	3.11
04.020.4.38	MALLA EN CERRAMIENTO (PROVISION, MONTAJE Y PINTURA)	m <sup>2</sup>	10.09
01.009.4.56	MALLA REFUERZO ALAMBRE GALVANIZADO 2"X2"x2,11mm	m <sup>2</sup>	2.26

04.020.4.08	MALLA TRIPLE GALVAN. Y TUBO HG 2"	m <sup>2</sup>	14.39
04.020.4.14	MALLA TRIPLE GALVAN. Y TUBO HG 1 1/2"	m <sup>2</sup>	13.24

 CAMARA DE LA CONSTRUCCION DE QUITO		RUBROS REFERENCIALES				
COD.	RUBRO	UND.	C. DIRECTO (US \$)	MATERIAL	M. OBRA	EQUIPO
	RUBROS AUXILIARES					
5	AUX:Hormigón Simple 90 kg/cm2	m <sup>3</sup>	48.20	48.20	0.00	0.00
10	AUX:Hormigón Simple 140 kg/cm2	m <sup>3</sup>	58.43	58.43	0.00	0.00
15	AUX:Hormigón Simple 180 kg/cm2	m <sup>3</sup>	61.65	61.65	0.00	0.00
20	AUX:Hormigón Simple 210 kg/cm2	m <sup>3</sup>	65.18	65.18	0.00	0.00
25	AUX:Hormigón Simple 240 kg/cm2	m <sup>3</sup>	68.86	68.86	0.00	0.00
30	AUX:Hormigón Simple 250 kg/cm2	m <sup>3</sup>	71.04	71.04	0.00	0.00
170	AUX:Encofrado losa e=0.20-0.30 con tablero contrachapado, tabla de monte y pingos (MODULO IV)	m <sup>2</sup>	13.80	13.80	0.00	0.00
175	AUX:Encofrado muro e=0.2-1lado con tablero contrachapado, alfajías y pingos (MODULO II, III Y IV)	m <sup>3</sup>	23.43	23.43	0.00	0.00
180	AUX:Encofrado muro e=0.2-2lado con tablero contrachapado, alfajías y pingos (MODULO II, III Y IV)	m <sup>3</sup>	51.67	51.67	0.00	0.00

185	AUX:Encofrado muro e=0.3-1lado con tablero contrachapado, alfajías y pingos (MODULO III y IV)	m <sup>3</sup>	18.23	18.23	0.00	0.00
190	AUX:Encofrado muro e=0.3-2lado con tablero contrachapado, alfajías y pingos (MODULO III y IV)	m <sup>3</sup>	35.32	35.32	0.00	0.00
	OBRAS PRELIMINARES					
215	Cerramiento provis. h=2.4 m con tabla de monte y pingos	m	12.01	9.32	2.57	0.13
	MOVIMIENTO DE TIERRAS					
225	Limpieza manual del terreno	m <sup>2</sup>	0.51	0.00	0.48	0.02
230	Replanteo y nivelación con equipo topográfico	m <sup>2</sup>	0.77	0.08	0.57	0.12
235	Desbanque a mano	m <sup>3</sup>	4.04	0.00	3.85	0.19
240	Excavación manual de plintos y cimientos	m <sup>3</sup>	4.04	0.00	3.85	0.19
250	Excav.h=3 a 4 m a máquina (retroexcavadora)	m <sup>3</sup>	5.24	0.00	0.48	4.76
255	Excav. h= 4 a 6 m a máquina (retroexcavadora)	m <sup>3</sup>	6.22	0.00	0.57	5.65
260	Excavación > 6 m a máquina (retroexcavadora)	m <sup>3</sup>	7.65	0.00	0.70	6.96
265	Excavación en roca sin explosivos.Equipo: martillo neumático y compresor	m <sup>3</sup>	11.91	0.00	3.02	8.89
270	Excavación en fango. Equipo: retroexcavadora y bomba de agua	m <sup>3</sup>	6.61	0.00	0.57	6.04
280	Relleno compactado con mat. de mejoramiento: lastre y plancha compactadota	m <sup>3</sup>	19.44	15.93	2.87	0.65
285	Relleno compactado suelo natural	m <sup>3</sup>	3.52	0.00	2.87	0.65
290	Desalojo de material con volqueta	m <sup>3</sup>	4.96	0.00	2.64	2.31
295	Corte neto. Equipo: motoniveladora	m <sup>3</sup>	1.34	0.00	0.08	1.26
300	Desalojo a máquina. Equipo: cargadora frontal y volqueta	m <sup>3</sup>	3.03	0.00	0.18	2.85
310	Excavación de zanjas a máquina. Equipo: retroexcavadora	m <sup>3</sup>	3.43	0.00	0.22	3.21
320	Derrocamiento a mano de estructura existente	m <sup>3</sup>	31.71	0.00	30.20	1.51
330	Entibado con tablero contrachapado, 12 mm	m <sup>2</sup>	6.38	5.06	1.26	0.06

	ESTRUCTURA					
335	Replanteo H.S. 140 kg/cm2. Equipo: concreteira 1 saco	m <sup>3</sup>	77.84	58.43	15.86	3.55
420	Acero de refuerzo 8-12 mm (con alambre galv. #18) Equipo: cizalla	kg	1.25	1.08	0.14	0.03
425	Acero de refuerzo 14 a 32 mm (con alambre galv. #18) Equipo: cizalla	kg	1.25	1.08	0.14	0.03
430	Acero estructural. Equipo: soldadora	kg	1.94	1.09	0.76	0.09
435	Malla electros. 5 mm a 10 cm (MALLA R-196)	m <sup>2</sup>	3.90	3.64	0.24	0.01
	CARPINTERIA METAL/MADERA					
785	Puerta plywood tambor. 0.70 lacada. Incluye marcos y tapamarcos	u	139.89	114.52	24.16	1.21
790	Puerta plywood tambor. 0.80 lacada. Incluye marcos y tapamarcos	u	140.57	115.20	24.16	1.21
795	Puerta plywood tambor. 0.90 lacada. Incluye marcos y tapamarcos	u	142.21	116.84	24.16	1.21
800	Puertas principales lachadas incluye marcos y tapamarcos	u	222.63	209.55	12.46	0.62
805	Puerta de malla. Equipo: soldadora	m <sup>2</sup>	28.26	18.22	9.09	0.95
810	Puerta de malla 0.80 x 1.80. Equipo: soldadora. Pintura anticorrosiva	u	87.54	66.07	19.69	1.78
815	Puerta de tol y vidrio (incluye pintura anticorrosiva)	u	60.19	44.09	15.14	0.96
820	Puertas de vaiven lacada. Incluye marcos y tapamarcos	u	146.97	121.60	24.16	1.21
860	Cerramiento malla galvanizada 50/10 h=2m. Equipo: soldadora. Alambre de púas 3 hiladas	m	25.81	21.59	3.93	0.30

### **ANEXO N° 3:**

## **DATOS DE LA ESTACIÓN HIDROLÓGICA H798.- PASTAZA AJ. ENCANTO (INAMHI)**

**ESTACION HIDROLOGICA H798 (PASTAZA A.J ENCANTO)**  
**Caudales (m<sup>3</sup>/s)**

	<b>1982</b>	<b>1983</b>	<b>1984</b>	<b>1985</b>	<b>1986</b>	<b>1987</b>	<b>1988</b>	<b>1989</b>	<b>PROMEDIO</b>
ENERO	120.39067742	193.71938710	110.07311828	70.30961290	73.21453333	150.19175422	8.66364516	12.82138710	92.42301444
FEBRERO	116.15611521	169.11255281	188.76697256	86.81762828	72.10418896	274.76516973	15.89855656	11.79049645	116.92646007
MARZO	105.30919355	190.59758065	162.54639871	112.07370968	88.27404365	181.50438710	13.71254839	14.79690323	108.60184562
ABRIL	216.51066285	229.52710000	187.07234464	115.75750000	162.58913333	224.86343333	18.37363333	13.77870000	146.05906344
MAYO	250.60654839	273.97454839	186.73733871	227.44611111	167.50254839	25.17682947	23.56238710	29.26706452	148.03417201
JUNIO	230.61463333	188.05943333	275.32282500	302.34220000	250.65103333	24.63050317	19.92890000	38.86196667	166.30143686
JULIO	285.63906452	188.00345161	245.73727419	251.11193548	327.47645161	19.57406452	24.53693548	35.56496774	172.20551815
AGOSTO	292.64267742	203.74301935	215.76163333	228.52725806	215.86832258	18.14264516	16.04106452	22.24538710	151.62150094
SEPTIEMBRE	225.07763451	208.60663000	219.37976667	164.36072674	234.93336667	16.51523333	12.81198376	19.43226667	137.63970104
OCTUBRE	174.22222581	200.42641333	148.61745442	132.21910932	186.84900000	15.50341935	12.08776667	16.13051613	110.75698813
NOVIEMBRE	201.71694330	130.31546250	109.04713333	95.71452580	210.03215608	7.57863333	13.49730000	13.80643333	97.71357346
DICIEMBRE	200.18664516	139.15238710	122.83629271	70.80003548	262.10809091	8.94550021	16.28315645	10.77667742	103.88609818
PROMEDIO	201.58941845	192.93649718	180.99154605	154.79002940	187.63357240	80.61596441	16.28315645	19.93939720	

**AREAS APORTANTES PARA LA  
DETERMINACIÓN DE CAUDALES DEL RÍO  
PUYO**





## **ANEXO N° 4**

### **MATRICES DE IDENTIFICACIÓN, EVALUACIÓN Y SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS, PARA LA ALTERNATIVA 1**

IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis										FACTORES				
	Localización		Construcción		Mantenimiento		Eficiencia del tratamiento		Operación		Producción y Gestión de Lodos		N (+)	N (-)	N (0)
<b>1. Atmosféricos</b>															
Calidad del aire	-	-	3	3	2	3	2	2	1	3	1	3		5	1
	-	-	1	-1	2	1	3	-1	2	-1	3	-1			
Nivel de Ruido	-	-	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-		1	5
	-	-	1	-1	-	-	-	-	-	-	-	-			
<b>2. Recurso agua</b>															
Calidad del agua	-	-	-	-	3	3	3	1	3	3	-	-	3		3
	-	-	-	-	2	1	3	1	3	1	-	-			
Cantidad del agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			6
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Uso del recurso	-	-	-	-	2	3	3	1	3	3	-	-	3		3
	-	-	-	-	2	1	3	1	3	1	-	-			
<b>3. Recurso suelo</b>															
Calidad del suelo	1	3	1	3	3	2	-	-	-	-	1	3	1	3	2
	3	-1	1	-1	2	1	-	-	-	-	3	-1			
Uso del suelo	1	3	2	3	3	3	2	2	2	3	1	3		4	
	3	-1	3	-1	2	1	3	1	3	-1	3	-1			

IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis										FACTORES				
	Localización		Construcción		Mantenimiento		Eficiencia del tratamiento		Operación		Producción y Gestión de Lodos		N (+)	N (-)	N (0)
<b>3. Flora</b>															
Vegetación Natural	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1		2	4
	3	-1	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-1			
Pastos y Cultivos	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		1	5
	3	-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
<b>6. Fauna</b>															
Fauna acuática (peces y macrobentos)	-	-	-	-	3	3	3	1	-	-	-	-	2	0	4
	-	-	-	-	3	1	3	1	-	-	-	-			
<b>4. Socioeconómicos</b>															
Aceptación del servicio	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3		6	
	3	-1	3	-1	2	1	3	-1	3	-1	3	-1			
Empleo Local	2	3	2	3	2	1	2	2	-	-	2	1	5		1
	1	1	1	1	2	1	3	1	-	-	2	1			
Mercado de tierras (plusvalía de los predios cercanos)	-	-	2	3	2	3	2	3	2	3	-	-	1	3	2
	-	-	3	-1	2	1	3	-1	3	-1	-	-			
Salud y seguridad pública	-	-	2	1	2	2	2	2	2	3	1	2	1	4	1
	-	-	1	-1	2	1	3	1	3	1	3	-1			

IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis									FACTORES					
	Localización		Construcción		Mantenimiento		Eficiencia del tratamiento		Operación		Producción y Gestión de Lodos		N (+)	N (-)	N (0)
Calidad de vida de la comunidad	-	-	2	1	2	3	2	3	2	3	-	-		4	2
	-	-	1	-1	3	1	3	-1	3	-1	-	-			
Servicios básicos e infraestructura	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1		5
	-	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-			
5. Salud y seguridad															
Salud y seguridad laboral	-	-	1	1	-	-	-	-	1	2	-	-		2	4
	-	-	1	-1	-	-	-	-	3	-1	-	-			
6. Estetica y Paisaje															
Zonas de recreación	-	-	-	-	3	3	3	1	3	2	-	-	3		3
	-	-	-	-	3	1	3	1	3	1	-	-			
Paisaje natural	2	3	1	2	1	2	2	1	2	3	1	1	2	4	
	3	-1	3	-1	3	1	3	1	3	-1	3	-1			
Turismo	-	-	2	1	3	3	2	1	3	2	-	-	3	1	2
	-	-	3	1	3	1	3	1	3	-1	-	-			
N(+)	1		2		14		8		4		1				
N(-)	6		10				4		8		7				
N(0)	12		7		5		7		7		11				

VALORACIÓN DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis						Agregación de impactos
	Localización	Construcción	Mantenimiento	Eficiencia del tratamiento	Operación	Producción y Gestión de Lodos	
1. Atmosféricos							
Calidad del aire	-	-7.2	6	-4.6	-3.9	-4.8	-14.5
Nivel de Ruido	-	-7.2	-	-	-	-	-7.2
2. Recurso agua							
Calidad del agua	-	-	8.1	3	9	-	20.1
Uso del recurso	-	-	6	3	9	-	18
3. Recurso suelo							
Calidad del suelo	-4.8	-3	5.4	-	-	-4.8	-7.2
Uso del suelo	-4.8	-6.9	8.1	4.6	-6.9	-4.8	-10.7
3. Flora							
Vegetación Natural	-1.6	-	-	-	-	-1.6	-3.2
Pastos y Cultivos	-1.6	-	-	-	-	-	-1.6
6. Fauna							
Fauna acuática (peces y macrobentos)	-	-	9	3	-	-	12
4. Socioeconómicos							

VALORACIÓN DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis						Agregación de impactos
	Localización	Construcción	Mantenimiento	Eficiencia del tratamiento	Operación	Producción y Gestión de Lodos	
Aceptación del servicio	-6.9	-6.9	6	-6.9	-6.9	-6.9	-28.5
Empleo Local	5.1	5.1	2	-	-	2	14.2
Mercado de tierras (plusvalía de los predios cercanos)	-	-6.9	6	-6.9	-6.9	-	-14.7
Salud y seguridad pública	-	-1.7	4	4.6	6.9	-3.2	10.6
Calidad de vida de la comunidad	-	-1.7	6.9	-6.9	-6.9	-	-8.6
<b>5. Salud y seguridad</b>							
Salud y seguridad laboral	-	-1	-	-	-	-	-1
<b>6. Estética y Paisaje</b>							
Zonas de recreación	-	-	9	3	6	-	18
Paisaje natural	-6.9	-3.2	3.2	2.3	-6.9	-1.6	-13.1

## SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis					
	Localización	Constricción	Mantenimiento	Eficiencia del tratamiento	Operación	Producción y Gestión de Lodos
1. Atmosféricos						
Calidad del aire		(-) MS	(+) MeS	(-) MeS	(-) MeS	(-) MeS
Nivel de Ruido		(-) MS				
2. Recurso agua						
Calidad del agua			(+) MS	(+) MeS	(+) MS	
Uso del recurso			(+) MS	(+) MeS	(+) MS	
3. Recurso suelo						
Calidad del suelo	(-) MeS	(-) MeS	(+) MeS			(-) MeS
Uso del suelo	(-) MeS	(-) MS	(-) MS	(+) MeS	(-) MS	(-) MeS
3. Flora						
Vegetación Natural	(-) PS					(-) PS
Pastos y Cultivos	(-) PS					
6. Fauna						
Fauna acuática (peces y macrobentos)			(+) MS	(+) MeS		
4. Socioeconómicos						
Aceptación del servicio	(-) MS	(-) MS	(+) MeS	(-) MS	(-) MS	(-) MS
Empleo Local	(+) MeS	(+) MeS	(+) PS			(+) PS
Mercado de tierras (plusvalía de los predios cercanos)		(-) MS	(+) MeS	(-) MS	(-) MS	

SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis					
	Localización	Constricción	Mantenimiento	Eficiencia del tratamiento	Operación	Producción y Gestión de Lodos
Salud y seguridad pública		(-) PS	(+) MeS	(+) MeS	(+) MS	(-) PS
Calidad de vida de la comunidad		(-) PS	(+) MS	(-) MS	(-) MS	
5. Salud y seguridad						
Salud y seguridad laboral		(-) PS				
6. Estetica y Paisaje						
Zonas de recreación			(+) MS	(+) PS	(+) MeS	
Paisaje natural	(-) MS	(-) MeS	(+) MeS	(+) PS	(-) MS	(-) PS
Turismo			(+) MS	(+) PS	(-) MeS	



## **ANEXO N° 5**

### **MATRICES DE IDENTIFICACIÓN, EVALUACIÓN Y SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS, PARA LA ALTERNATIVA 2**

IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis										FACTORES				
	Localización		Construcción		Mantenimiento		Eficiencia del tratamiento		Operación		Producción y Gestión de Lodos		N(+)	N(-)	N(0)
1. Atmosféricos															
Calidad del aire	-	-	3	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	4	1
	-	-	1	-1	2	1	3	-1	2	-1	3	-1			
Nivel de Ruido	-	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-		1	5
	-	-	1	-1	-	-	-	-	-	-	-	-			
2. Recurso agua															
Calidad del agua	-	-	-	-	3	3	3	3	3	1	-	-	3		3
	-	-	-	-	2	1	3	1	3	1	-	-			
Cantidad del agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			6
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Uso del recurso	-	-	-	-	2	3	3	3	3	2	-	-	3		3
	-	-	-	-	2	1	3	1	3	1	-	-			
3. Recurso suelo															
Calidad del suelo	1	1	1	1	3	2	-	-	-	-	1	1	1	3	2
	3	-1	1	-1	2	1	-	-	-	-	3	-1			
Uso del suelo	1	1	2	2	3	2	2	3	2	2	1	1	2	4	
	3	-1	3	-1	2	1	3	1	3	-1	3	-1			
3. Flora															

IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis										FACTORES				
	Localización		Construcción		Mantenimiento		Eficiencia del tratamiento		Operación		Producción y Gestión de Lodos		N(+)	N(-)	N(0)
Vegetación Natural	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1		5
	3	-1	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-1			
Pastos y Cultivos	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		1	5
	3	-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
6. Fauna															
Fauna acuática (peces y macrobentos)	-	-	-	-	3	3	3	3	-	-	-	-	2		4
	-	-	-	-	3	1	3	1	-	-	-	-			
4. Socioeconómicos															
Aceptación del servicio	2	1	2	1	2	3	2	1	2	1	2	1	1	5	
	3	-1	3	-1	2	1	3	-1	3	-1	3	-1			
Empleo Local	2	2	2	1	2	1	-	-	-	-	2	1	4		2
	1	1	1	1	2	1	-	-	-	-	2	1			
Mercado de tierras (plusvalía de los predios cercanos)	-	-	2	1	2	3	2	1	2	1	-	-	1	3	2
	-	-	3	-1	2	1	3	-1	3	-1	-	-			
Salud y seguridad pública	-	-	2	1	2	2	2	1	2	1	1	1	3	2	1
	-	-	1	-1	2	1	3	1	3	1	3	-1			
Calidad de vida de la comunidad	-	-	2	1	2	3	2	3	2	1	-	-	1	3	2
	-	-	1	-1	3	1	3	-1	3	-1	-	-			

IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis						FACTORES		
	Localización	Construcción	Mantenimiento	Eficiencia del tratamiento	Operación	Producción y Gestión de Lodos	N(+)	N(-)	N(0)
5. Salud y seguridad									
Salud y seguridad laboral	- -	1 1	- -	- -	1 1	- -		2	4
	- -	1 -1	- -	- -	3 -1	- -			
6. Estética y Paisaje									
Zonas de recreación	- -	- -	3 3	3 1	3 1	- -	3		3
	- -	- -	3 1	3 1	3 1	- -			
Paisaje natural	2 2	1 1	1 2	2 1	2 2	1 1	2	4	
	3 -1	3 -1	3 1	3 1	3 -1	3 -1			
Turismo	- -	2 1	3 3	2 1	3 1	- -	3	1	2
	- -	3 1	3 1	3 1	3 -1	- -			
N(+)	1	2	14	8	4	1			
N(-)	6	10		4	8	7			
N(0)	12	7	5	7	7	11			

VALORACIÓN DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis						Agregación de impactos
	Localización	Construcción	Mantenimiento	Eficiencia del tratamiento	Operación	Producción y Gestión de Lodos	
<b>1. Atmosféricos</b>							
Calidad del aire	-	-2.4	2	-2.3	-2.6	-1.6	-6.9
Nivel de Ruido	-	-2.4	-	-	-	-	-2.4
<b>2. Recurso agua</b>							
Calidad del agua	-	-	8.1	9	3	-	20.1
Uso del recurso	-	-	6	9	6	-	21
<b>3. Recurso suelo</b>							
Calidad del suelo	-1.6	-1	5.4	-	-	-1.6	1.2
Uso del suelo	-1.6	-4.6	5.4	6.9	-4.6	-1.6	-0.1
<b>3. Flora</b>							
Vegetación Natural	-1.6	-	-	-	-	-1.6	-3.2

VALORACIÓN DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis						Agregación de impactos
	Localización	Construcción	Mantenimiento	Eficiencia del tratamiento	Operación	Producción y Gestión de Lodos	
Pastos y Cultivos	-1.6	-	-	-	-	-	-1.6
6. Fauna							
Fauna acuática (peces y macrobentos)	-	-	9	9	-	-	18
4. Socioeconómicos							
Aceptación del servicio	-2.3	-2.3	6	-2.3	-2.3	-2.3	-5.5
Empleo Local	3.4	1.7	2	-	-	2	9.1
Mercado de tierras (plusvalía de los predios cercanos)	-	-2.3	6	-2.3	-2.3	-	-0.9
Salud y seguridad pública	-	-1.7	4	2.3	2.3	-1.6	5.3
Calidad de vida de la comunidad	-	-1.7	6.9	-6.9	-2.3	-	-4
5. Salud y seguridad							
Salud y seguridad laboral	-	-1	-	-	-	-	-1

VALORACIÓN DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis						Agregación de impactos
	Localización	Construcción	Mantenimiento	Eficiencia del tratamiento	Operación	Producción y Gestión de Lodos	
6. Estetica y Paisaje							
Zonas de recreación	-	-	9	3	3	-	15
Paisaje natural	-4.6	-1.6	3.2	2.3	-4.6	-1.6	-6.9
Turismo	-	-	9	2.3	-3	-	8.3
agregación de Impactos	-9.9	-19.3	82	30	-7.4	-9.9	65.5

SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis					
	Superficie necesaria	Simplicidad de construcción	Mantenimiento	Eficiencia del tratamiento	Estabilidad del sistema	Producción y Gestión de Lodos
1. Atmosféricos						
Calidad del aire		(-) PS	(+) PS	(-) PS	(-) PS	(-) PS
Nivel de Ruido		(-) PS				
2. Recurso agua						
Calidad del agua			(+) MS	(+) MS	(+) PS	
Uso del recurso			(+) MeS	(+) MS	(-) MeS	
3. Recurso suelo						
Calidad del suelo	(-) PS	(-) PS	(+) MeS			(-) PS
Uso del suelo	(-) PS	(-) MeS	(+) MeS	(+) MS	(-) MS	(-) PS
3. Flora						
Vegetación Natural	(-) PS					(-) PS



## SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis					
	Superficie necesaria	Simplicidad de construcción	Mantenimiento	Eficiencia del tratamiento	Estabilidad del sistema	Producción y Gestión de Lodos
Pastos y Cultivos	(-) PS					
6. Fauna						
Fauna acuática (peces y macrobentos)			(+) MS	(+) MS		
4. Socioeconómicos						
Aceptación del servicio	(-) PS	(-) PS	(+) MeS	(-) PS	(-) PS	(-) PS
Empleo Local	(+) MeS	(+) PS	(+) PS			(+) PS
Mercado de tierras (plusvalía de los predios cercanos)		(-) PS	(+) MeS	(-) PS	(-) PS	
Salud y seguridad pública		(-) PS	(+) MeS	(+) PS	(+) PS	(-) PS
Calidad de vida de la comunidad		(-) PS	(+) MS	(-) MS	(-) PS	
5. Salud y seguridad						
Salud y seguridad laboral		(-) PS				

SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis					
	Superficie necesaria	Simplicidad de construcción	Mantenimiento	Eficiencia del tratamiento	Estabilidad del sistema	Producción y Gestión de Lodos
6. Estetica y Paisaje						
Zonas de recreación			(+) MS	(+) PS	(+) PS	
Paisaje natural	(-) MeS	(-) PS	(+) MeS	(+) PS	(-) MeS	(-) PS
Turismo			(+) MS	(+) PS	(-) PS	

## **ANEXO N° 6**

# **MATRICES DE IDENTIFICACIÓN, EVALUACIÓN Y SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS, PARA LA ALTERNATIVA 4**

IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis											FACTORES			
	Localización		Construcción		Mantenimiento		Eficiencia del tratamiento		Operación		Producción y Gestión de Lodos		N(+)	N(-)	N(0)
<b>1. Atmosféricos</b>															
Calidad del aire	-	-	3	2	2	1	2	1	1	3	1	1	1	4	1
	-	-	1	-1	2	1	3	-1	2	-1	3	-1			
Nivel de Ruido	-	-	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-		1	5
	-	-	1	-1	-	-	-	-	-	-	-	-			
<b>2. Recurso agua</b>															
Calidad del agua	-	-	-	-	3	3	3	3	3	2	-	-	3		3
	-	-	-	-	2	1	3	1	3	1	-	-			
Uso del recurso	-	-	-	-	2	3	3	3	3	2	-	-	3		3
	-	-	-	-	2	1	3	1	3	1	-	-			
<b>3. Recurso suelo</b>															
Calidad del suelo	1	2	1	2	3	2	-	-	-	-	1	1	1	3	2
	3	-1	1	-1	2	1	-	-	-	-	3	-1			
Uso del suelo	1	1	2	2	3	2	2	2	2	3	1	1	2	4	
	3	-1	3	-1	2	1	3	1	3	-1	3	-1			
<b>3. Flora</b>															
Vegetación Natural	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1		2	4
	3	-1	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-1			

IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis										FACTORES				
	Localización		Construcción		Mantenimiento		Eficiencia del tratamiento		Operación		Producción y Gestión de Lodos		N(+)	N(-)	N(0)
Pastos y Cultivos	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		1	5
	3	-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
6. Fauna															
Fauna acuática (peces y macrobentos)	-	-	-	-	3	3	3	3	-	-	-	-	2		4
	-	-	-	-	3	1	3	1	-	-	-	-			
4. Socioeconómicos															
Aceptación del servicio	2	2	2	2	2	3	2	1	2	3	2	1	1	5	
	3	-1	3	-1	2	1	3	-1	3	-1	3	-1			
Empleo Local	2	2	2	1	2	1	-	-	-	-	2	1	4		2
	1	1	1	1	2	1	-	-	-	-	2	1			
Mercado de tierras (plusvalía de los predios cercanos)	-	-	2	1	2	3	2	2	2	2	-	-	1	3	2
	-	-	3	-1	2	1	3	-1	3	-1	-	-			
Salud y seguridad pública	-	-	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	3	2	1
	-	-	1	-1	2	1	3	1	3	1	3	-1			
Calidad de vida de la comunidad	-	-	2	2	2	3	2	3	2	1	-	-	1	3	2
	-	-	1	-1	3	1	3	-1	3	-1	-	-			
Servicios básicos e infraestructura	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1		5
	-	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-			

IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis									FACTORES					
	Localización		Construcción		Mantenimiento		Eficiencia del tratamiento		Operación		Producción y Gestión de Lodos		N(+)	N(-)	N(0)
5. Salud y seguridad															
Salud y seguridad laboral	-	-	1	1	-	-	-	-	1	1	-	-		2	4
	-	-	1	-1	-	-	-	-	3	-1	-	-			
6. Estetica y Paisaje															
Zonas de recreación	-	-	-	-	3	3	3	1	3	1	-	-	3		3
	-	-	-	-	3	1	3	1	3	1	-	-			
Paisaje natural	2	3	1	2	1	2	2	1	2	3	1	1	2	4	
	3	-1	3	-1	3	1	3	1	3	-1	3	-1			
Turismo	-	-	2	1	3	3	2	1	3	1	-	-	3	1	2
	-	-	3	1	3	1	3	1	3	-1	-	-			
N(+)	1		2		14		8		8		1				
N(-)	6		10				4		4		7				
N(0)	12		7		5		7		7		11				

VALORACIÓN DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis						Agregación de impactos
	Localización	Construcción	Mantenimiento	Eficiencia del tratamiento	Operación	Producción y Gestión de Lodos	
<b>1. Atmosféricos</b>							
Calidad del aire	-	-4.8	2	-2.3	-3.9	-1.6	-10.6
Nivel de Ruido	-	-4.8	-	-	-	-	-4.8
<b>2. Recurso agua</b>							
Calidad del agua	-	-	8.1	9	6	-	23.1
Cantidad del agua	-	-	-	-	-	-	
Uso del recurso	-	-	6	9	6	-	21
<b>3. Recurso suelo</b>							
Calidad del suelo	-3.2	-2	5.4	-	-	-1.6	-1.4
Uso del suelo	-1.6	-4.6	5.4	4.6	-6.9	-1.6	-4.7
<b>3. Flora</b>							
Vegetación Natural	-1.6					-1.6	3.2

VALORACIÓN DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis						Agregación de impactos
	Localización	Construcción	Mantenimiento	Eficiencia del tratamiento	Operación	Producción y Gestión de Lodos	
Pastos y Cultivos	-3.2	-	-	-	-	-	-3.2
6. Fauna							
Fauna acuática (peces y macrobentos)	-	-	9	9	-	-	18
4. Socioeconómicos							
Aceptación del servicio	-4.6	-4.6	6	-2.3	-6.9	-2.3	-14.7
Empleo Local	3.4	1.7	2	-	-	2	9.1
Mercado de tierras (plusvalía de los predios cercanos)	-	-2.3	6	-4.6	-4.6	-	-5.5
Salud y seguridad pública	-	-3.4	4	2.3	4.6	-1.6	5.9
Calidad de vida de la comunidad	-	-3.4	6.9	-6.9	-2.3	-	-5.7
5. Salud y seguridad							
Salud y seguridad laboral		-1					1



VALORACIÓN DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis						Agregación de impactos
	Localización	Construcción	Mantenimiento	Eficiencia del tratamiento	Operación	Producción y Gestión de Lodos	
6. Estetica y Paisaje							
Zonas de recreación	-	-	9	3	3	-	15
Paisaje natural	-6.9	-3.2	3.2	2.3	-6.9	-1.6	-13.1
Turismo	-	-	9	2.3	-3	-	8.3
Agregacion de Impactos	-17.7	-32.4	82	25.4	-14.9	-9.9	32.5

SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis					
	Localización	Construcción	Mantenimiento	Eficiencia del tratamiento	Operación	Producción y Gestión de Lodos
1. Atmosféricos						
Calidad del aire		(-) MeS	(+) PS	(-) PS	(-) MeS	(-) PS
Nivel de Ruido		(-) MeS				
2. Recurso agua						
Calidad del agua			(+) MS	(+) MS	(+) MeS	
Uso del recurso			(+) MeS	(+) MS	(+) MeS	
3. Recurso suelo						
Calidad del suelo	(-) MeS	(-) PS	(+) MeS			(-) PS
Uso del suelo	(-) PS	(-) MeS	(+) MeS	(+) MeS	(-) MS	(-) PS
3. Flora						

SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis					
	Localización	Construcción	Mantenimiento	Eficiencia del tratamiento	Operación	Producción y Gestión de Lodos
Vegetación Natural	(-) PS					(-) PS
Pastos y Cultivos	(-) MeS					
6. Fauna						
Fauna acuática (peces y macrobentos)			(+) MS	(+) MS		
4. Socioeconómicos						
Aceptación del servicio	(-) MeS	(-) MeS	(+) MeS	(-) PS	(-) MS	(-) PS
Empleo Local	(+) MeS	(+) PS	(+) PS			(+) PS
Mercado de tierras (plusvalía de los predios cercanos)		(-) PS	(+) MeS	(-) MeS	(-) MeS	
Salud y seguridad pública		(-) MeS	(+) MeS	(+) PS	(+) MeS	(-) PS

SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis					
	Localización	Construcción	Mantenimiento	Eficiencia del tratamiento	Operación	Producción y Gestión de Lodos
Calidad de vida de la comunidad		(-) MeS	(+) MS	(-) MS	(-) PS	
5. Salud y seguridad						
Salud y seguridad laboral		(-) PS				
6. Estética y Paisaje						
Zonas de recreación			(+) MS	(+) PS	(+) PS	
Paisaje natural	(-) MS	(-) MeS	(+) MeS	(+) PS	(-) MS	(-) PS
Turismo			(+) MS	(+) PS	(-) PS	

## **ANEXO N° 7**

### **MATRICES DE IDENTIFICACIÓN, EVALUACIÓN Y SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS, PARA LA ALTERNATIVA 5**

IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis												FACTORES		
	Localización		Construcción		Mantenimiento		Eficiencia del tratamiento		Operación		Producción y Gestión de Lodos		N(+)	N(-)	N(0)
<b>1. Atmosféricos</b>															
Calidad del aire	-	-	3	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	3	1
	-	-	1	-1	2	1	3	-1	2	-1	3	-1			
Nivel de Ruido	-	-	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-		1	5
	-	-	1	-1	-	-	-	-	-	-	-	-			
<b>2. Recurso agua</b>															
Calidad del agua	-	-	-	-	3	3	3	2	3	2	-	-	3		3
	-	-	-	-	2	1	3	1	3	1	-	-			
Uso del recurso	-	-	-	-	2	3	3	2	3	2	-	-	3		3
	-	-	-	-	2	1	3	1	3	1	-	-			
<b>3. Recurso suelo</b>															
Calidad del suelo	1	2	1	2	3	2	-	-	-	-	1	1	1	3	2
	3	-1	1	-1	2	1	-	-	-	-	3	-1			
Uso del suelo	1	3	2	2	3	2	2	2	2	3	1	1	2	4	
	3	-1	3	-1	2	1	3	1	3	-1	3	-1			
<b>3. Flora</b>															
Vegetación Natural	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1		2	7

IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis											FACTORES			
	Localización		Construcción		Mantenimiento		Eficiencia del tratamiento		Operación		Producción y Gestión de Lodos		N(+)	N(-)	N(0)
	3	-1	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-1			
Pastos y Cultivos	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		1	8
	3	-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
6. Fauna															
Fauna acuática (peces y macrobentos)	-	-	-	-	3	3	3	2	-	-	-	-	2		4
	-	-	-	-	3	1	3	1	-	-	-	-			
4. Socioeconómicos															
Aceptación del servicio	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	4	
	3	-1	3	-1	2	1	3	-1	3	-1	3	-1			
Empleo Local	2	2	2	2	2	1	-	-	-	-	2	1	4		2
	1	1	1	1	2	1	-	-	-	-	2	1			
Mercado de tierras (plusvalía de los predios cercanos)	-	-	2	2	2	2	2	2	2	1	-	-	1	3	2
	-	-	3	-1	2	1	3	-1	3	-1	-	-			
Salud y seguridad pública	-	-	2	1	2	1	2	2	2	2	1	1	3	2	1
	-	-	1	-1	2	1	3	1	3	1	3	-1			
Calidad de vida de la comunidad	-	-	2	1	2	3	2	3	2	1	-	-	1	3	2
	-	-	1	-1	3	1	3	-1	3	-1	-	-			

IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis										FACTORES				
	Localización		Construcción		Mantenimiento		Eficiencia del tratamiento		Operación		Producción y Gestión de Lodos		N(+)	N(-)	N(0)
servicios básicos e infraestructura	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1		5
	-	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-			
5. Salud y seguridad															
Salud y seguridad laboral	-	-	1	1	-	-	-	-	1	1	-	-		2	4
	-	-	1	-1	-	-	-	-	3	-1	-	-			
6. Estetica y Paisaje															
Zonas de recreación	-	-	-	-	3	3	3	2	3	2	-	-	3		3
	-	-	-	-	3	1	3	1	3	1	-	-			
Paisaje natural	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	1	1	2	4	
	3	-1	3	-1	3	1	3	1	3	-1	3	-1			
Turismo	-	-	2	1	3	3	2	2	3	2	-	-	3	1	2
	-	-	3	1	3	1	3	1	3	-1	-	-			
N(+)	1		2		14		8		4		1				
N(-)	6		10				4		8		7				
N(0)	12		7		5		7		7		11				



VALORACIÓN DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis						Agregación de impactos
	Superficie necesaria	Construcción	Mantenimiento	Eficiencia del tratamiento	Estabilidad del sistema	Producción y Gestión de Lodos	
1. Atmosféricos							
Calidad del aire	-	-7.2	4	-2.3	-1.3	-1.6	-8.4
Nivel de Ruido	-	-7.2	-	-	-	-	-7.2
2. Recurso agua							
Calidad del agua	-	-	8.1	6	6	-	20.1
Uso del recurso	-	-	6	6	6	-	18
3. Recurso suelo							
Calidad del suelo	-3.2	-2	5.4	-	-	-1.6	-1.4
Uso del suelo	-4.8	-4.6	5.4	4.6	-6.9	-1.6	-7.9
3. Flora							

VALORACIÓN DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis						Agregación de impactos
	Superficie necesaria	Construcción	Mantenimiento	Eficiencia del tratamiento	Estabilidad del sistema	Producción y Gestión de Lodos	
Vegetación Natural	-1.6	-	-	-	-	-1.6	-3.2
Pastos y Cultivos	-1.6	-	-	-	-	-	-1.6
6. Fauna							
Fauna acuática (peces y macrobentos)	-	-	9	6	-	-	15
4. Socioeconómicos							
Aceptación del servicio	-4.6	-4.6	4	-4.6	-2.3	-2.3	-14.4
Empleo Local	3.4	3.4	2	-	-	2	10.8
Mercado de tierras (plusvalía de los predios cercanos)	-	-4.6	4	-4.6	-2.3	-	-7.5
Salud y seguridad pública	-	-1.7	2	4.6	4.6	-1.6	7.9
Calidad de vida de la comunidad		-1.7	6.9	-6.9	-2.3		4

VALORACIÓN DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis						Agregación de impactos
	Superficie necesaria	Construcción	Mantenimiento	Eficiencia del tratamiento	Estabilidad del sistema	Producción y Gestión de Lodos	
5. Salud y seguridad							
Salud y seguridad laboral	-	-1	-	-	-	-	-1
6. Estetica y Paisaje							
Zonas de recreación	-	-	9	6	6	-	21
Paisaje natural	-4.6	-3.2	3.2	4.6	-4.6	-1.6	-6.2
Turismo	-	-	9	4.6	-6	-	7.6
Agregacion de Impactos	-17	-34.4	78	24	-3.1	-9.9	37.6

SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis					
	Superficie necesaria	Construcción	Mantenimiento	Eficiencia del tratamiento	Estabilidad del sistema	Producción y Gestión de Lodos
1. Atmosféricos						
Calidad del aire		(-) MS	(+) MeS	(-) PS	(+) PS	(-) PS
Nivel de Ruido		(-) MS				
2. Recurso agua						
Calidad del agua			(+) MS	(+) MeS	(+) MeS	
Uso del recurso			(+) MeS	(+) MeS	(+) MeS	
3. Recurso suelo						
Calidad del suelo	(-) MeS	(-) PS	(+) MeS			(-) PS
Uso del suelo	(-) MeS	(-) MeS	(+) MeS	(+) MeS	(-) MS	(-) PS
3. Flora						
Vegetación Natural	(-) PS					(-) PS

SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis					
	Superficie necesaria	Construcción	Mantenimiento	Eficiencia del tratamiento	Estabilidad del sistema	Producción y Gestión de Lodos
astos y Cultivos	(-) PS					
Fauna						
Fauna acuática (peces y macrobentos)			(+) MS	(+) MeS		
4. Socioeconómicos						
Aceptacion del servicio	(-) MeS	(-) MeS	(+) MeS	(-) MeS	(-) PS	(-) PS
Empleo Local	(+) MeS	(+) MeS	(+) PS			(+) PS
Mercado de tierras (plusvalía de los predios cercanos)		(-) MeS	(+) MeS	(-) MeS	(-) MeS	
Salud y seguridad pública		(-) PS	(+) PS	(+) MeS	(+) MeS	(-) PS
Calidad de vida de la comunidad		(-) PS	(+) MS	(-) MS	(-) PS	
5. Salud y seguridad						
Salud y seguridad		(-) PS				

SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS

Factores Ambientales	Parámetros de Análisis					
	Superficie necesaria	Construcción	Mantenimiento	Eficiencia del tratamiento	Estabilidad del sistema	Producción y Gestión de Lodos
laboral						
6. Estética y Paisaje						
Zonas de recreación			(+) MS	(+) MeS	(+) MeS	
Paisaje natural	(-) MeS	(-) MeS	(+) MeS	(+) MeS	(-) MeS	(-) PS
Turismo			(+) MS	(+) MeS	(-) MeS	