



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
UNIDAD DE POSGRADO
MAESTRÍA EN DESARROLLO Y MEDIO AMBIENTE

Tesis previa la obtención de
Grado Académico de Magíster
en Desarrollo y Medio Ambiente.

TEMA:

**TRATAMIENTO DE LAS AGUAS SERVIDAS DE LA CIUDAD
DE PALENQUE, PROVINCIA LOS RÍOS Y SU INFLUENCIA EN
LA CALIDAD AMBIENTAL DE LA LOCALIDAD. AÑO 2012.
PROPUESTA DE SISTEMA DE TRATAMIENTO**

AUTOR:

Ing. JUAN FRANCISCO BUSTAMANTE GARCÍA

DIRECTOR:

ING. AGUSTÍN LEIVA PÉREZ, Ph.D.

QUEVEDO – ECUADOR

2013

CERTIFICACIÓN

Certifico que la tesis para la obtención del Grado Académico de Magíster en Desarrollo y Medio Ambiente con el tema “Tratamiento de las aguas servidas de la Ciudad de Palenque, Provincia de Los Ríos y su influencia en la calidad ambiental de la localidad, año 2012, propuesta de sistema de tratamiento” de autoría del Ing. Juan Francisco Bustamante García, ha sido revisada en todos sus componentes por lo que se autoriza su presentación formal ante el tribunal respectivo.

Quevedo, 12 de mayo del 2013



Ing. Agustín Leiva Pérez, Ph.D.
DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

La Investigación, Resultados, Discusiones, Conclusiones y Recomendaciones, presentadas en la presente Tesis de Magíster en Desarrollo y Medio Ambiente, son de exclusiva responsabilidad del Autor.

Ing. Juan Francisco Bustamante García

DEDICATORIA

La presente tesis, esfuerzo propio de mi aspiración y formación, dedico a los seres que más quiero en mi vida, a mi madre Luz García y a todos los que han estado conmigo en esta etapa de mi vida, hasta cumplir con una meta más, mi esposa e hija.

A todos los que ayudaron a que cumpla mi ideal, y me dieron la fuerza que necesitaba en la senda a la que acabo de llegar, mi familia y mis amigos.

He logrado esquivar todos los obstáculos en el camino, y he dejado de soñar en muchas noches para poderles brindar a todos ustedes este triunfo que hoy con mucha alegría y emoción abrazo como parte de mi alma.

Un triunfo, un paso más, una jornada cumplida.

Ing. Juan Francisco Bustamante García

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a Dios, el que me ha dado la vida, y ha permitido que cumpla con una meta más en mi formación profesional.

A mi esposa e hija por la comprensión que me han tenido durante todo este trayecto y que han permitido que cumpla una nueva etapa en mi vida.

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y a todos los catedráticos el agradecimiento más sincero por la formación educativa que me han brindado, aquella experiencia tan linda que han dejado en la senda de mi vida.

Un agradecimiento especial al Ing. Agustín Leiva Pérez, Ph.D., quien como director de tesis supo brindarme todo su apoyo y me ha guiado para que este trabajo llegue de la mejor manera a su fin.

Gracias catedráticos y compañeros, por ese ejemplo de enseñanza tanto en la ciencia como en la moral, han dejado en mí la satisfacción de haberme formado y aprendido a conocer y respetar la vida y la naturaleza.

Ing. Juan Francisco Bustamante García

PRÓLOGO

El medio ambiente es un tema muy importante para el estudio que se lo debe analizar desde el enfoque contextual que se merece, con el interés inherente a las modalidades de desarrollo, es decir que debe ser compatible el desarrollo con las necesidades y requerimientos de la colectividad. Todo esfuerzo humano que se lleve adelante en torno a la búsqueda del buen vivir, deben ser sostenibles y sustentables, por lo tanto es una necesidad prioritaria el estudio del ambiente.

La presente investigación que se caracteriza por fundamentaciones técnicas, trata un tema de gran importancia para el Cantón Palenque, en esta investigación el autor estudia y analiza el impacto ambiental que causa estas aguas residuales.

También se estudia la manera de darle un adecuado tratamiento a estas aguas y así evitar que haya un fuerte impacto ambiental especialmente en la salud de los moradores de Palenque.

Con esto se posibilita un futuro alentador al permitir contar con un ambiente que asegure una mejor vida.

Ing. Agro. Abdón Morán Mosquera, M.Sc.

RESUMEN EJECUTIVO

El trabajo de investigación sobre el “Tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Palenque, tuvo como objetivos específicos la caracterización del actual sistema de tratamiento, la determinación de las características físicas, químicas y biológicas del agua efluente de la planta de tratamiento; también la determinación de la calidad ambiental de la localidad, asociada al manejo de las aguas servidas de la misma y; como solución a la problemática, la propuesta de modificación del sistema de tratamiento. La metodología comprendió el análisis químico de muestras, entrevistas para determinar la percepción ciudadana sobre la planta de tratamiento y sobre la calidad ambiental de la localidad, la observación directa in situ con el propósito de determinar dicha calidad ambiental, el aforo del afluente para cuantificar el caudal que maneja la planta y; la investigación bibliográfica para seleccionar el sistema más apropiado en la modificación de la planta de tratamiento. Las eficiencias de la planta en la remoción de contaminantes fue relativamente baja, determinándose que el agua del río sale del punto de impacto con el efluente del tratamiento, con una calidad inferior a la que tenía antes del impacto. Las principales conclusiones a las que se arribó se resumen en que el sistema de tratamiento cuenta con lagunas de 7 882 m² (148 m x 54 m) de superficie, con poca profundidad y una hondonada natural de depósito de efluentes de 18 000 m² (300 m x 60 m), con una profundidad de 12 m; que el agua efluente de la planta de tratamiento posee características físicas, químicas y biológicas, que con excepción del pH, no se corresponden con las de las aguas del río, las cuales están mucho menos contaminadas al arribar al punto de impacto y que; la calidad ambiental de la localidad, asociada al manejo de las aguas servidas de la misma, es de “regular” a “mala”, según la percepción ciudadana de una muestra especialmente seleccionada en cuanto a su nivel académico, así como con base en el resultado de la matriz de evaluación de impactos ambientales. Quedaron diseñados los procesos para la modificación de la planta de tratamiento, que cuenta con un desarenador, y un lecho bacteriano aerobio relleno con medio plástico y su correspondiente sedimentador secundario, así como una propuesta de secado y comercialización de los lodos secundarios como abonos orgánicos.

SUMMARY

The carried out investigation work, titled "Treatment of Palenque city served waters, county The Ríos and their influence in the town environmental quality. Year 2012. Proposal of treatment system", outlined as specific objectives the characterization of the current treatment system, the determination of the physical, chemical and biological characteristics of the treatment plant effluent; also the determination of the environmental quality of the town, associated to the sewage handling and; as solution to the problem, the proposal of modification of the treatment system. The used methodology understood the chemical analysis of liquid samples, the interview to determine the civic perception on the treatment plant and about the town environmental quality, that was determined by direct observation in situ, the seating capacity of the tributary to quantify the flow that manages the plant and; the bibliographical investigation to select the most appropriate system in the modification of the treatment plant. The efficiencies of the plant in the removal of pollutants were relatively low, being determined that the water of the river goes out of the impact point with the treatment effluent, with an inferior quality to which had before the impact. The main conclusions to those that you summary arrived in that the treatment system counts two lagoons of 7 882 m² (148 m x 54 m) of surface, with little depth and a natural hollow of deposit of effluents of 18 000 m² (300 m x 60 m), with a depth of 12 m; that the treatment plant effluent possesses physical, chemical and biological characteristics that, except for the pH, they don't belong together with those of the waters of the river, which are much less polluted when arriving to the impact point and; the town environmental quality, associated to the handling of the sewage, is about "to regulate" to "bad", according to the civic perception of a sample specially selected as for its academic level, as well as with base in the result of the evaluation of environmental impact matrix. The processes were designed for the modification of the treatment plant that has a sand eliminator and a trickling filter filled with plastic media and their corresponding secondary settler, as well as a drying proposal and commercialization of the secondary sludge as organic fertilizer.

ÍNDICE

CONTENIDOS	PÁG.
PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
PRÓLOGO.....	vi
RESUMEN EJECUTIVO.....	vii
SUMMARY.....	ix
ÍNDICE	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	xvi
CAPÍTULO I. MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACION.....	1
1.1. UBICACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	2
1.2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA PROBLEMÁTICA.....	4
1.3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	7
1.4. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	7
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	7
1.6. CAMBIOS ESPERADOS CON LA INVESTIGACIÓN.....	8
1.7. OBJETIVOS.....	8
1.7.1. General.....	8
1.7.2. Específicos.....	8
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. ANTECEDENTES.....	10
2.2. FUNDAMENTACIÓN CONCEPTUAL.....	14
2.3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	16
2.3.1. Aguas residuales urbanas.....	16
2.3.2. Lagunas de oxidación.....	18
2.3.3. Impacto ambiental.....	21

2.3.4. Los recursos naturales.....	22
2.3.5. Calidad ambiental.....	24
2.3.6. Generalidades de los sistemas de tratamiento de aguas servidas.....	25
2.3.7. Potenciales impactos ambientales.....	45
2.3.8. Problemas socioculturales.....	47
2.3.9. Tecnología apropiada.....	47
2.4. FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....	49
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	52
3.1. MÉTODOS Y TÉCNICAS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN.....	53
3.1.1. Métodos de Investigación.....	53
3.1.2. Técnicas de Investigación.....	54
3.2. CONSTRUCCIÓN METODOLÓGICA DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN.....	54
3.3. ELABORACIÓN DEL MARCO TEÓRICO.....	56
3.4. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN EMPÍRICA.....	56
3.4.1. Población.....	56
3.4.2. Muestra.....	57
3.4.3. Procedimiento.....	58
3.5. DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA.....	59
3.6. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	60
3.7. CONSTRUCCIÓN DEL INFORME DE INVESTIGACIÓN.....	60
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS EN RELACIÓN CON LAS HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	61
4.1. ENUNCIADO DE LA HIPÓTESIS.....	62
4.2. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN EMPÍRICA PERTINENTE A LA HIPÓTESIS.....	62
4.2.1. Variable independiente: Actual sistema de tratamiento de las aguas servidas.....	62
4.2.2. Variable dependiente: Calidad ambiental de la localidad	80
4.3. DISCUSIÓN DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA EN RELACIÓN A LA NATURALEZA DE LA HIPÓTESIS.....	90
4.4. COMPROBACIÓN / DISPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	93
4.5. CONCLUSIÓN PARCIAL.....	98
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	100

5.1.	CONCLUSIONES.....	101
5.2.	RECOMENDACIONES.....	102
	CAPÍTULO VI. PROPUESTA ALTERNATIVA.....	103
6.1.	TÍTULO DE LA PROPUESTA.....	104
6.2.	JUSTIFICACIÓN.....	104
6.3.	FUNDAMENTACIÓN.....	104
6.4.	OBJETIVOS.....	105
6.4.1.	Objetivo general.....	105
6.4.2.	Objetivos específicos.....	106
6.5.	IMPORTANCIA.....	106
6.6.	UBICACIÓN SECTORIAL Y FÍSICA.....	107
6.7.	FACTIBILIDAD.....	107
6.8.	PLAN DE TRABAJO.....	108
6.9.	ACTIVIDADES.....	109
6.9.1.	Dimensionamiento del desarenador.....	109
6.9.2.	Dimensionamiento del lecho bacteriano aerobio con medio de contacto de plástico.....	112
6.9.3.	Diseño del sedimentador secundario para el lecho bacteriano aerobio con medio de contacto plástico.....	115
6.9.4.	Dimensionamiento de las operaciones de tratamiento de lodos secundarios.....	120
6.10.	RECURSOS.....	123
6.11.	IMPACTO.....	123
6.12.	EVALUACIÓN.....	124
6.13.	INSTRUCTIVO DE FUNCIONAMIENTO.....	124
	BIBLIOGRAFÍA.....	126
	ANEXOS.....	129

ÍNDICE DE TABLAS

DESCRIPCIÓN	PÁG.
Tabla 2.1. Elementos para el cálculo del ICAGUA.....	26
Tabla 4.1. Cálculo del caudal de aguas servidas que maneja el sistema de tratamiento.....	63
Tabla 4.2. Eficiencias de remoción de sólidos.....	65
Tabla 4.3. Concentraciones y eficiencia de oxigenación del sistema...	66
Tabla 4.4. Concentraciones y eficiencia de remoción de DQO.....	67
Tabla 4.5. Concentraciones y eficiencias de remoción de DBO.....	68
Tabla 4.6. Concentraciones y eficiencias de remoción de Nitrógeno Total.....	69
Tabla 4.7. Concentraciones y eficiencias de remoción de Fósforo Total.....	70
Tabla 4.8. Concentraciones y eficiencias de remoción de Coliformes Totales.....	71
Tabla 4.9. Cargas contaminantes dispuestas en el río Palenque.....	72
Tabla 4.10. Nivel educacional de los miembros de la muestra.....	74
Tabla 4.11. Conocimiento sobre la existencia, forma y operación de la planta de tratamiento de las aguas servidas.....	75
Tabla 4.12. Consideraciones sobre la localización de la planta de tratamiento.....	76
Tabla 4.13. Consideraciones sobre el dimensionamiento de la planta de tratamiento.....	77
Tabla 4.14. Consideraciones sobre la operación de la planta de tratamiento	78
Tabla 4.15. Consideraciones sobre la idea relacionada con el diseño y construcción de una nueva planta de tratamiento.....	79
Tabla 4.16. Calidad ambiental de la localidad por observación directa in situ	80

Tabla 4.17. Consideraciones sobre la planta de tratamiento y la depuración de las aguas servidas.	81
Tabla 4.18. Consideraciones sobre la calidad de los recursos hídricos, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas	82
Tabla 4.19. Consideraciones sobre la calidad del recurso aire, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas	83
Tabla 4.20. Consideraciones sobre la calidad del recurso suelo, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas	84
Tabla 4.21. Consideraciones sobre la calidad de la salud humana, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas	85
Tabla 4.22. Consideraciones sobre la calidad del recurso flora, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas	86
Tabla 4.23. Consideraciones sobre la calidad del recurso fauna, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas.	87
Tabla 4.24. Concentraciones de los parámetros indicadores aguas arriba y abajo del punto de impacto en el río Palenque.	89
Tabla 4.25. Resumen de resultados de la percepción ciudadana sobre las dos variables de la investigación: “sistema de tratamiento” y “calidad ambiental”.	96
Tabla 4.26. Valores obtenidos del indicador ICAGUA y las desviaciones estándar medias pesadas.	97
Tabla 6.1. Valores del ancho del desarenador (w) y en función de este se obtienen la profundidad (h) y la longitud (L)	111
Tabla 6.2. Datos requeridos para el pre diseño del Lecho Bacteriano Aerobio con medio de contacto de plástico	118
Tabla 6.3. Datos requeridos para el pre diseño del Lecho Bacteriano Aerobio con medio de contacto de plástico.	119

Tabla 6.4. Resumen de los datos empleados en la determinación del manejo de los lodos secundarios	122
Tabla 6.5. Resumen de resultados del diseño del espesador de lodos a gravedad	122

ÍNDICE DE FIGURAS

DESCRIPCIÓN	PÁG.
Figura 1.1. Mapa de ubicación del cantón Palenque en la provincia Los Ríos.....	3
Figura 1.2. Esquema del sistema de tratamiento de las aguas servidas de Palenque.....	6
Figura 2.1. Proceso de llenado de una laguna de oxidación.....	19
Figura 2.2. Función de transformación del ICAGUA.....	29
Figura 2.3. Tanque de sedimentación primaria en una planta rural....	34
Figura 2.4. Lecho bacteriano aerobio en una planta rural.....	36
Figura 2.5. Esquema de una depuradora por sistema de lagunas de oxidación.....	39
Figura 3.1. Esquema explicativo de la construcción metodológica del objeto de investigación.....	55
Figura 4.1. Caudal de aguas servidas que maneja el sistema de tratamiento.....	63
Figura 4.2. Eficiencias de remoción de sólidos.....	65
Figura 4.1. Cálculo del caudal de aguas servidas que maneja el sistema de tratamiento.....	66
Figura 4.2. Eficiencias de remoción de sólidos.....	65
Figura 4.3. Concentraciones y eficiencia de oxigenación del sistema.	66
Figura 4.4. Concentraciones y eficiencia de remoción de DQO.....	67
Figura 4.5. Concentraciones y eficiencias de remoción de DBO.....	68
Figura 4.6. Concentraciones y eficiencias de remoción de Nitrógeno Total.....	69
Figura 4.7. Concentraciones y eficiencias de remoción de Fósforo Total.....	70
Figura 4.8. Concentraciones y eficiencias de remoción de Coliformes Totales.....	71
Figura 4.9. Cargas contaminantes dispuestas en el río Palenque.....	73

Figura 4.10. Nivel educacional de los miembros de la muestra.....	74
Figura 4.11. Conocimiento sobre la existencia, forma y operación de la planta de tratamiento de las aguas servidas.....	75
Figura 4.12. Consideraciones sobre la localización de la planta de tratamiento.....	76
Figura 4.13. Consideraciones sobre el dimensionamiento de la planta de tratamiento.....	77
Figura 4.14. Consideraciones sobre la operación de la planta de tratamiento.....	78
Figura 4.15. Consideraciones sobre la idea relacionada con el diseño y construcción de una nueva planta de tratamiento.....	79
Figura 4.16. Consideraciones sobre la planta de tratamiento y la depuración de las aguas servidas.....	81
Figura 4.17. Consideraciones sobre la calidad de los recursos hídricos, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas.....	82
Figura 4.18. Consideraciones sobre la calidad del recurso aire, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas.....	83
Figura 4.19. Consideraciones sobre la calidad del recurso suelo, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas.....	84
Figura 4.20. Consideraciones sobre la calidad de la salud humana, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas.....	85
Figura 4.21. Consideraciones sobre la calidad del recurso flora, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas.....	86
Figura 4.22. Consideraciones sobre la calidad del recurso fauna, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas.....	87

Figura 6.1. Esquema de un desarenador típico..... 112

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente de uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para su disposición o reuso. Es muy común llamarlo depuración de aguas residuales para distinguirlo del tratamiento de aguas potables.

Las aguas residuales son generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Éstas pueden ser tratadas dentro del sitio en el cual son generadas (por ejemplo: tanques sépticos u otros medios de depuración) o bien pueden ser recogidas y llevadas mediante una red de tuberías y, eventualmente bombas, a una planta de tratamiento municipal. Los esfuerzos para recolectar y tratar las aguas residuales domésticas de la descarga están típicamente sujetos a regulaciones y estándares locales, estatales y nacionales (regulaciones y controles). A menudo ciertos contaminantes de origen industrial presentes en las aguas residuales requieren procesos de tratamiento especializado.

Típicamente, el tratamiento de aguas residuales comienza por la separación física inicial de sólidos grandes (basura) de la corriente de aguas domésticas o industriales empleando un sistema de rejillas (mallas), aunque también pueden ser triturados esos materiales por equipo especial; posteriormente se aplica un desarenado (separación de sólidos pequeños muy densos como la arena) seguido de una sedimentación primaria (o tratamiento similar) que separe los sólidos suspendidos existentes en el agua residual. Para eliminar metales disueltos se utilizan reacciones de precipitación, que se utilizan para

eliminar plomo y fósforo principalmente. A continuación sigue la conversión progresiva de la materia biológica disuelta en una masa biológica sólida usando bacterias adecuadas, generalmente presentes en estas aguas. Una vez que la masa biológica es separada o removida (proceso llamado sedimentación secundaria), el agua tratada puede experimentar procesos adicionales (tratamiento terciario) como desinfección, filtración, etc. El efluente final puede ser descargado o reintroducido de vuelta a un cuerpo de agua natural (corriente, río o bahía) u otro ambiente (terreno superficial, subsuelo, y demás). Los sólidos biológicos segregados experimentan un tratamiento y neutralización adicional antes de la descarga o reutilización apropiada.

Las aguas residuales municipales de la ciudad de Palenque, provincia Los Ríos, aparentemente no están recibiendo un manejo adecuado, lo que puede estar redundando en el deterioro de la calidad ambiental de la localidad, a través de los recursos de misma, es decir, agua, aire, suelo, flora, fauna y salud humana, calidad de vida en general.

Precisamente el presente trabajo de investigación se propone, una vez estudiada la situación, modificar la planta de tratamiento existente, que sólo consta de dos lagunas y un reservorio natural para la descarga de los efluentes, que por diferentes vías llegan al río Palenque.

Además de una introducción, la bibliografía y los anexos, el informe final de investigación (Tesis de Grado), se organiza en seis capítulos de la forma siguiente:

En el Capítulo I se elabora el Marco Contextual de la Investigación, donde se establece el problema del estudio y sus objetivos, así como la hipótesis y

los cambios que se espera ocurran con su desarrollo e implementación de la Propuesta.

En el Capítulo II, donde se plantea el Marco Teórico de la Investigación, se fundamentan las variables del estudio, teórica y conceptualmente, estableciéndose también las bases legales en la que se soporta.

En el Capítulo III queda establecida la Metodología de la Investigación y, en él se plasman el tipo de investigación, los métodos y técnicas utilizados, la población y muestra para la medición de las variables y, sobre todo, el procedimiento para dicha medición.

Ya en el Capítulo IV se analizan e Interpretan los datos obtenidos en la medición de las variables en relación con la hipótesis de Investigación, comenzando por la exposición de resultados y finalizando con la verificación de la misma, aceptándose o rechazándose con suficiente confiabilidad estadística.

En el Capítulo V se plantean las conclusiones y recomendaciones, con base en los objetivos específicos del estudio, dándosele respuesta al problema de investigación, considerando los resultados obtenidos.

Por último, en el Capítulo VI, a través de la Propuesta Alternativa, se sugerirá una solución alterna a la problemática investigada, ya respondida.

CAPÍTULO I

MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACION

1.1. UBICACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

1.1.1. Ubicación témpora – espacial de la problemática

1.1.1.1. Provincia Los Ríos

Los Ríos, oficialmente Provincia Los Ríos, es una de las 24 provincias de la República del Ecuador, localizada en la región Litoral del país. Su capital es la ciudad de Babahoyo y su localidad más poblada es la ciudad de Quevedo. Es uno de los más importantes centros agrícolas del Ecuador. Con sus 778115 habitantes, Los Ríos es la cuarta provincia más poblada del país, debido principalmente al reciente desarrollo de la industria.

Su territorio está ubicado en la parte central del litoral del país y limita con las provincias de Guayas, Santo Domingo de los Tsáchilas, Manabí, Cotopaxi y Bolívar. Según el último ordenamiento territorial, la provincia de Los Ríos pertenece a la región comprendida también por las provincias de Bolívar, Guayas y Santa Elena.

La provincia es cruzada por varios ríos que van a dar a la cuenca del gran río Guayas, en la que se encuentran atractivos balnearios naturales como: las playas del río Vinces, del río Palenque, del río Salto, del río Seco y Chilintomo, así también puertos fluviales como: Quevedo, Ventanas, Babahoyo, Catarama y Ricaurte que facilitan el transporte de los productos que en ella se dan como: banano, palma africana, cacao, café, arroz, palmito, caña de azúcar, etc., hermoso recorrido por el río, para conocer mejor su tierra y su auténtica gente montubia. Grandes haciendas muy conocidas por su historia y por su producción como: La Elvira, La Virginia, Isabel María, La Clementina, y la Estación Científica Río Palenque como Bosque Protegido, son también sus atractivos naturales.

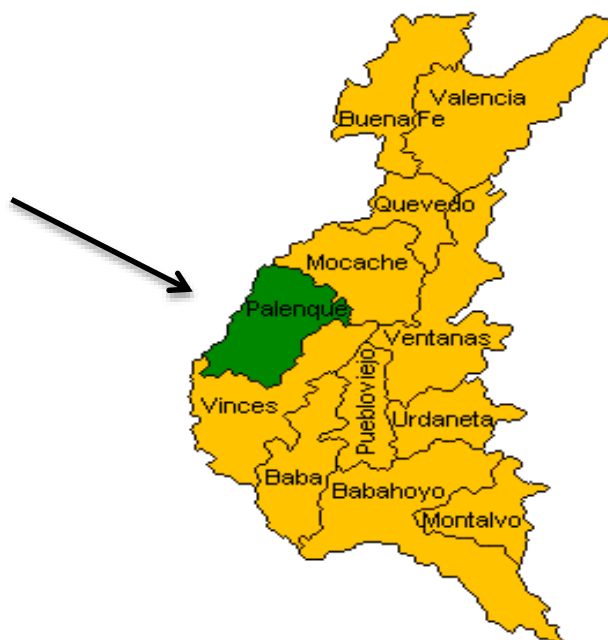
1.1.1.2. Cantón Palenque

Desde el ámbito temporal, la medición de las variables de investigación se realizará durante el primer semestre del año 2012, abarcando la temporada de lluvia primero, y de seca después, en ambas partes del período.

Desde el punto de vista espacial, la problemática se ubica en la ciudad de Palenque, cantón Palenque, provincia Los Ríos de la región Costatecuadoriana. Palenque fue proclamado cantón en el año 1990 durante el gobierno de Rodrigo Borja, como parte de la provincia Los Ríos, y se ubica a unos 10 km de la ciudad de Vinces. En la Figura 1.1 se muestra un mapa de la provincia Los Ríos donde se destaca, en color verde, al cantón Palenque, uno de los doce con que cuenta la provincia mencionada

Figura 1.1.

Mapa de ubicación del cantón Palenque en la provincia Los Ríos.



Fuente: INEC. (2011).

Entre los indicadores más importantes que es reflejo de la calidad de vida de la población, es decir, el índice de pobreza, apunta a que el cantón Palenque

es uno de los más pobres del país (pobreza del 92% y pobreza extrema del 67%)¹, la cual es causada, principalmente, por la tendencia a la baja de los precios de los productos agrícolas, lo cual conspira contra la salud de la economía local, particularmente de los sectores más desposeídos y que sin embargo sustentan la alimentación de la población, como son los campesinos y trabajadores pecuarios, siempre en contra de los campesinos, agravado porque el 67% de sus familias no tienen tierra propia y el 66% de las que tienen tierra propia, esta no supera las nueve cuadras.

1.2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA PROBLEMÁTICA

El río Palenque, que atraviesa al cantón del mismo nombre determina una microcuenca de 247 ha de superficie, cuenta con la Estación Científica Río Palenque, que protege un bosque tropical lluvioso que cuenta con un alto grado de biodiversidad. Allí existen 1 216 especies de plantas, 360 de pájaros y 350 de mariposas, entre otras. El sitio, que cuenta con una amplia biblioteca, puede alojar cómodamente a 26 personas.

El acueducto de la ciudad abastece a la población 150 dm³/hab.d, lo cual sitúa a la localidad como una de las mejores abastecidas de la provincia y el país. Esto implica un caudal relativamente alto de aguas servidas, a ser tratadas. Según las mediciones efectuadas mediante aforo en el canal de acceso de las aguas servidas crudas a la primera laguna, este rindió una media de 610 m³/d, lo cual será ampliado en el capítulo concerniente a los resultados de la Tesis.

Las aguas servidas están formadas por un 99% de agua y un 1% de sólidos en suspensión y solución. Estos sólidos pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos. Los sólidos inorgánicos están formados principalmente por nitrógeno, fósforo, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y algunas

¹ INEC. (2011). *Censo Nacional de Población y Vivienda*. Quito, Ecuador.

sustancias tóxicas como arsénico, cianuro, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo y cinc.

Los sólidos orgánicos se pueden clasificar en nitrogenados y no nitrogenados. Los nitrogenados, es decir, los que contienen nitrógeno en su molécula, son proteínas, ureas, aminas y aminoácidos. Los no nitrogenados son principalmente celulosa, grasas y jabones. La concentración de orgánicos en el agua se determina a través de la DBO₅, la cual mide material orgánico carbonáceo principalmente, mientras que la DBO₂₀ mide material orgánico carbonáceo y nitrogenado.

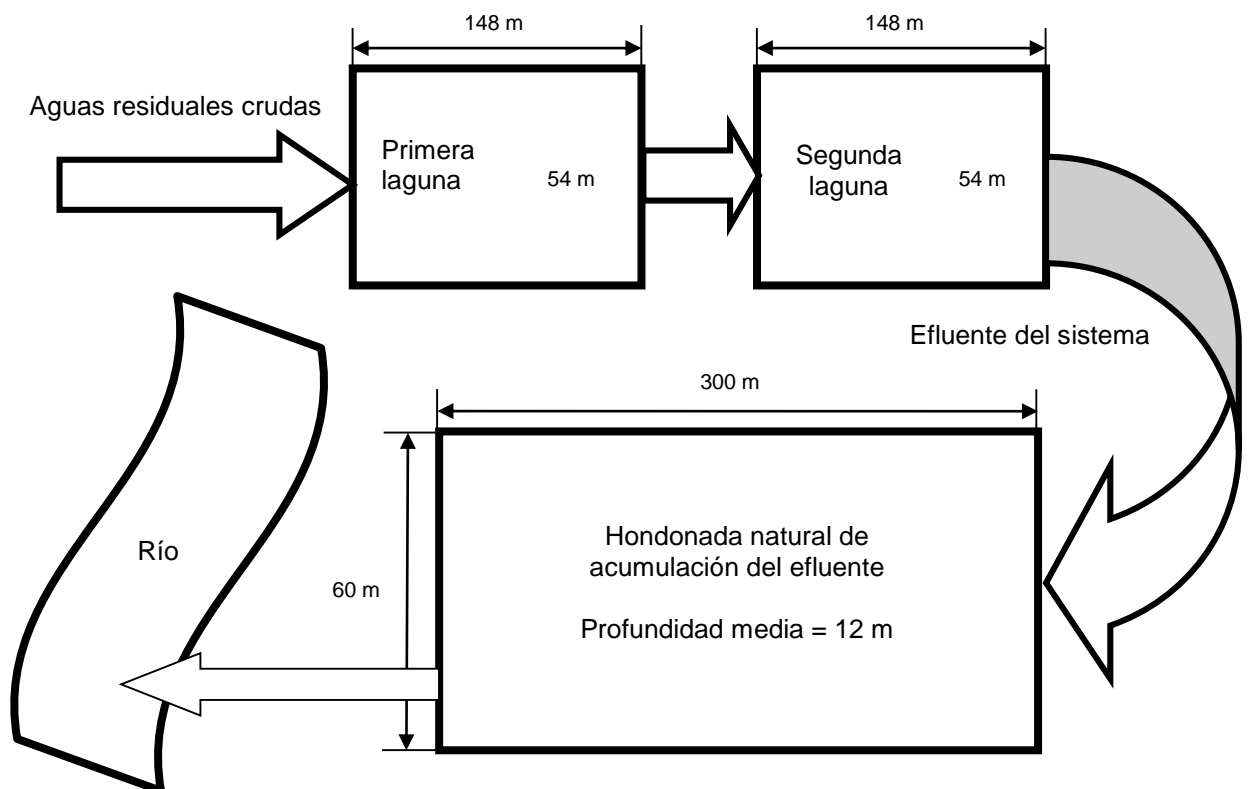
Desde el punto de vista bacteriológico, una de las razones más importantes para tratar las aguas residuales o servidas es la eliminación de todos los agentes patógenos de origen humano presentes en las excretas con el propósito de cortar el ciclo epidemiológico de transmisión. Estos son, entre otros:

- Coliformes totales
- Coliformes fecales
- Salmonellas
- Virus

La planta de tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Palenque, que partiendo de una pre observación directa y de conversaciones con elementos del Gobierno Municipal, no cumple sus funciones técnicas, descarga sus efluentes en las aguas del río Palenque, a donde llegan a través de un trazado natural en el suelo, por lo que los atributos ambientales señalados en el párrafo anterior, están seriamente amenazados. Está constituida por dos lagunas de oxidación conectadas en serie, cuyas características de diseño, construcción y operación no propician el tratamiento apropiado de las aguas servidas. La alimentación de la primera laguna proviene de un sistema de alcantarillado sanitario con tubería soterrada y acometidas desde las viviendas.

Años atrás, la salida de la segunda laguna iba directamente al río, pero una comunidad de campesinos afectados, aguas abajo del lugar de impacto en el río, utilizaron un reservorio para los efluentes, desviando los efluentes hacia la misma por gravedad, donde se depositan y por rebozo y escurrimiento llegan al río, o en menor cuantía, a través de las aguas subterráneas por infiltración. En la Figura 1.2 se muestra un croquis que caracteriza al sistema de tratamiento de las aguas servidas de Palenque, con base a dos lagunas de oxidación en serie.

Figura 1.2.
Esquema del sistema de tratamiento de las aguas servidas de Palenque.



Fuente: Bustamante, (2012).

Las profundidades de las lagunas son: la primera 0,30 m en el sector de entrada, debida a la acumulación de sólidos sedimentados y de 0,50 m en el sector de salida y, la segunda 0,30 m en ambos sectores.

1.3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La pregunta a responder con la investigación es:

¿Cómo influye el actual sistema de tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Palenque, provincia Los Ríos, en la calidad ambiental de la localidad?

1.4. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Campo:	Ciencia e ingeniería ambiental
Área:	Contaminación ambiental
Aspecto:	Manejo de las aguas servidas de la ciudad y la calidad ambiental de la localidad
Lugar:	Ciudad de Palenque
Tiempo:	Primer semestre del año 2012

1.5. JUSTIFICACIÓN

El estudio realizado se justifica al considerar que sus resultados beneficiarán a la población de la ciudad de Palenque, aseveración que se hace realidad en tanto y en cuanto el sistema de tratamiento de las aguas servidas, será mejorado significativamente una vez que sea aplicada la Propuesta alternativa aquí planteada, mejorándose la calidad ambiental de la localidad, al reducirse los impactos causados por las aguas servidas a los bienes agua, suelo y aire.

Es de suponer que otras ciudades de la provincia Los Ríos y del país en general, adolecen de no conformidades ambientales como las aquí puestas al descubierto y, por lo tanto, los métodos y técnicas utilizados, podrán ser aplicados en esas otras localidades donde se valoren los daños producidos por albañales inapropiadamente tratados, antes de ser vertidos al ambiente.

1.6. CAMBIOS ESPERADOS CON LA INVESTIGACIÓN

- Quedará caracterizado el actual sistema de tratamiento de las aguas servidas, especificadas las diferencias con un sistema apropiadamente diseñado y construido, para las características de caudal y concentración de los principales parámetros indicadores de la contaminación.
- Quedará determinada la calidad ambiental de la localidad, asociada al manejo de las aguas servidas de la misma, incluyendo los impactos a los bienes agua, suelo y aire.
- Quedará propuesta la modificación del sistema de tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Palenque, de manera que de implementarse, deberá producirse, a mediano plazo, el incremento de la calidad ambiental de la localidad bajo estudio a través de la calidad de los recursos agua, suelo, aire, flora, fauna y antropológicos.

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. Objetivo General

Evaluar el sistema de tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Palenque, provincia Los Ríos, y su influencia en la calidad ambiental de la localidad.

1.7.2. Objetivos Específicos

- a) Caracterizar el actual sistema de tratamiento de las aguas servidas.
- b) Caracterizar física, química y biológicamente el agua efluente de la planta de tratamiento.
- c) Determinar la calidad ambiental de la localidad, asociada al manejo de las aguas servidas de la misma.
- d) Proponer la modificación del sistema de tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Palenque, provincia Los Ríos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Los pueblos antiguos no necesitaban obras de ingeniería para su aprovisionamiento de agua. Cazadores y nómadas acampaban cerca de las fuentes naturales de agua fresca, y las poblaciones estaban tan dispersas que la contaminación del agua no constituía un serio problema. Cuando se desarrolló la vida en comunidad y las aldeas agrícolas se transformaron en centros urbanos, el suministro de agua se convirtió en un problema para los habitantes de las ciudades y para el riego de los campos circundantes. Se han encontrado instalaciones de alcantarillado en lugares prehistóricos de Creta y en las antiguas ciudades asirias.

El primer pueblo en tener en cuenta la sanidad del suministro de agua fue el pueblo romano, que construyó una extensa red de acueductos para traer las aguas limpias de los montes Apeninos hasta la ciudad, intercalando estanques y filtros a lo largo del recorrido del agua para asegurar su claridad. La construcción de estos sistemas de suministro de agua decayó con la desintegración del Imperio romano, y durante varios siglos, las fuentes de suministro de agua para fines domésticos e industriales fueron las fuentes y manantiales locales. Aunque su principal función era el drenaje, la costumbre romana de arrojar los desperdicios a las calles significaba que junto con el agua de las escorrentías viajaban grandes cantidades de materia orgánica.²

Hacia finales de la edad media empezaron a usarse en Europa, primero, excavaciones subterráneas privadas y, más tarde, letrinas. Cuando éstas estaban llenas, unos obreros vaciaban el lugar en nombre del propietario. El contenido de los pozos negros se empleaba como fertilizante en las granjas cercanas o era vertido en los cursos de agua o en tierras no explotadas.

² Ciriaco, S. G. 2007. *Una historia de los problemas relacionados con el agua*. Ed. Trillas, México, D.F.

El invento de la bomba en Inglaterra a mediados del siglo XVI impulsó las posibilidades de desarrollo de sistemas de suministro de agua. En Londres la primera obra de bombeo de aguas se finalizó en el año 1562. Se bombeaba agua de río a un embalse a unos 37 m por encima del nivel del Támesis, y desde el embalse se distribuía a los edificios vecinos a través de tuberías, aprovechando la fuerza de la gravedad.

Se recuperó la costumbre de construir desagües, en su mayor parte en forma de canales al aire o zanjas en la calle. Al principio estuvo prohibido arrojar desperdicios en ellos, pero en el siglo XIX se aceptó que la salud pública podía salir beneficiada si se eliminaban los desechos humanos a través de los desagües para conseguir su rápida desaparición. Un sistema de este tipo fue desarrollado por Joseph Bazalgette entre 1859 y 1875 con el objeto de desviar el agua de lluvia y las aguas residuales hacia la parte baja del Támesis, en Londres. Con la introducción del abastecimiento municipal de agua y la instalación de cañerías en las casas llegaron los inodoros y los primeros sistemas sanitarios modernos. A pesar de que existían reservas respecto a éstos por el desperdicio de recursos que suponían, por los riesgos para la salud que planteaban y por su elevado precio, fueron muchas las ciudades que los construyeron.

A comienzos del siglo XX, algunas ciudades e industrias empezaron a reconocer que el vertido directo de desechos en los ríos provocaba problemas sanitarios. Esto llevó a la construcción de instalaciones de depuración. Aproximadamente en aquellos mismos años se introdujo la fosa séptica como mecanismo para el tratamiento de las aguas residuales domésticas tanto en las áreas suburbanas como en las rurales. Para el tratamiento en instalaciones públicas se adoptó primero la técnica del filtro de goteo. Durante la segunda década del siglo, el proceso del lodo activado, desarrollado en Gran Bretaña, supuso una mejora significativa por lo que empezó a emplearse en muchas localidades de ese país y de todo el mundo. Desde la década de 1970, se ha generalizado en el mundo

industrializado la cloración, un paso más significativo del tratamiento químico.³

Los métodos de depuración de aguas residuales se remontan a la antigüedad y se han encontrado instalaciones de alcantarillado en lugares prehistóricos de Creta y en las antiguas ciudades asirias. Las canalizaciones de desagüe construidas por los romanos todavía funcionan en nuestros días. Aunque su principal función era el drenaje, la costumbre romana de arrojar los desperdicios a las calles significaba que junto con el agua viajaban grandes cantidades de materia orgánica. Hacia finales de la edad media empezaron a usarse en Europa excavaciones subterráneas privadas primero y, más tarde, letrinas. Cuando éstas estaban llenas, unos obreros vaciaban el lugar en nombre del propietario. El contenido de los pozos negros se empleaba como fertilizante en las granjas cercanas o era vertido en los cursos de agua o en tierras no explotadas.

Unos siglos después se recuperó la costumbre de construir desagües, en su mayor parte en forma de canales al aire o zanjas en la calle. Al principio estuvo prohibido arrojar desperdicios en ellos, pero en el siglo XIX se aceptó que la salud pública podía salir beneficiada si se eliminaban los desechos humanos a través de los desagües para conseguir su rápida desaparición.

Un sistema de este tipo fue desarrollado por Joseph Bazalgette entre 1859 y 1875 con el objeto de desviar el agua de lluvia y las aguas residuales hacia la parte baja del Támesis, en Londres. Con la introducción del abastecimiento municipal de agua y la instalación de cañerías en las casas llegaron los inodoros y los primeros sistemas sanitarios modernos. A pesar de que existían reservas respecto a estos por el desperdicio de recursos que suponían, los riesgos para la salud que planteaban y su elevado precio, fueron muchas las ciudades que los construyeron.⁴

³ Smith, K. L. y Gerodish, D. Y. 2008. *Agua, necesidades y no conformidades ambientales*. Ed. Limusa, Buenos Aires, Argentina.

⁴ Ramos, P. y Otros. 2001. *El agua, un bien para todos. Conservación, recuperación y usos*. Ed. Universidad Salamanca, Salamanca, España.

A comienzos del siglo XX, algunas ciudades e industrias empezaron a reconocer que el vertido directo de desechos en los ríos provocaba problemas sanitarios. Esto llevó a la construcción de instalaciones de depuración. Aproximadamente en aquellos mismos años se introdujo la fosa séptica como mecanismo para el tratamiento de las aguas residuales domésticas tanto en las áreas suburbanas como en las rurales. Desde la década de 1970, se ha generalizado en el mundo industrializado la cloración, un paso más dentro del tratamiento químico, con el objetivo de desinfectar el agua y hacerla apta para el consumo humano.⁵

El uso del agua para el consumo diario y como elemento para el desarrollo de muchas actividades industriales, agrícolas... y también urbanas hace que las aguas limpias se conviertan en aguas residuales, es decir, aguas contaminadas. Como se ha visto, el agua no es un bien ilimitado, por lo tanto al contaminarla nos estamos perjudicando a nosotros mismos. Por esta razón controlar la contaminación de las aguas es uno de los factores más importantes para la continuidad del equilibrio entre el hombre y el medio en el cual vive y la prevención, reducción y eliminación de los contaminantes de esta agua es una necesidad prioritaria en la actualidad. Para mantener este control se construyen las estaciones depuradoras, que se encargan de reducir la contaminación hasta niveles asumibles por la naturaleza.

Debido al ciclo hidrológico del agua, estas aguas contaminadas nos vuelven en forma de lluvias, por lo que antes de ser consumida la debemos tratar, y esta es la función básica de las potabilizadoras, conseguir un agua desinfectada y limpia de contaminación, evitando así el riesgo de salud, epidemias.

Por contaminación de las aguas se entiende el aporte de materias o formas de energía de una manera directa o indirecta que impliquen una alteración o

⁵ FERRER, M., COSTA, y Otros. 1998. *Ciències de la Terra i del medi ambient*. Ed. Castellnou, Segunda edición. Barcelona, España.

modificación de su calidad en relación a sus usos posteriores o a su función ecológica.

Del mismo modo que se necesita una red de abastecimiento, también es necesaria una de saneamiento para depurar las aguas. Hasta hace bien poco no se le daba importancia al tratamiento del agua, pero en vista de los grandes problemas que aporta la contaminación, la construcción de plantas depuradoras y potabilizadoras va en aumento⁶. Gracias a programas de saneamiento y de depuración de aguas residuales que permiten la vuelta del agua a su estado natural, eliminando los elementos contaminantes y protegiéndola, se está consiguiendo una mejor calidad en el agua de algunos ríos del país⁷.

Los procesos que se han investigado, aplicado y reportado para el tratamiento de las aguas residuales, tanto servidas como industriales, se pueden resumir de la siguiente manera:

Fair, G. y Otros⁸ publicaron un compendio donde dividieron los sistemas de tratamiento en tres partes: primarios, principalmente para remoción de sólidos, suspendidos, secundarios, para eliminación de materia orgánica y terciarios, para la remoción y cambios de forma del nitrógeno y del fósforo.

2.2. FUNDAMENTACIÓN CONCEPTUAL

- **Agua regenerada:** efluente usado para irrigación o listo para ser descargado a lagos o ríos.

⁶ Ramalho, R. S. 1996. *Tratamiento de aguas residuales*. Ed. Reverté, Madrid, España.

⁷ Rojas, R. *Conferencia Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. 2002. Curso Internacional "GESTIÓN INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES".

⁸ Fair, G. 1968. *Water and Wastewater Engineering*. Ed. John Wiley and Sons, Inc. New York, USA.

- **Agua residual:** agua que ha sido usada con propósitos domésticos o industriales.
- **Bacteria:** organismos vivientes que consumen la parte orgánica de los desperdicios cloacales.
- **Biosólidos:** materiales sólidos de origen orgánico que resultan del tratamiento de aguas residuales; al cumplir con ciertas normas federales, se puede usar benéficamente en la tierra.
- **Conservación del agua:** prácticas que reducen el consumo de agua.
- **Efluente:** desperdicios (tal como aguas residuales de plantas de tratamiento) que son descargados al ambiente.
- **Instalaciones para tratamiento de agua residual:** instalaciones donde se trata y limpia el agua residual antes de ser arrojada a un cuerpo de agua.
- **Red de alcantarillado:** sistema subterráneo de cañerías usado para llevar desperdicios y agua escurrentía superficial.
- **Sólidos suspendidos:** desperdicios de aguas residuales no disueltos.
- **Tratamiento avanzado:** tercer o último paso en la limpieza de agua residual usando arena y grava; después de eso se le añade cloro.
- **Tratamiento primario:** el primer proceso en el tratamiento de aguas residuales en el cual se remueven sólidos asentados o flotantes.
- **Tratamiento secundario:** es el proceso donde se usa una bacteria para digerir la materia orgánica en el agua residual.

2.3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.3.1. Aguas residuales urbanas

Las descargas de las aguas residuales municipales se han convertido en una de los problemas ambientales más críticos y más crecientes, si consideramos que el incremento poblacional de la mayoría de los centros urbanos medianos y grandes es notable debido a la situación socioeconómica y de orden público del país.

Esta situación se refleja en el aumento de las descargas de tipo doméstico y productivo, deteriorando cada vez más el estado de la calidad del recurso. La situación se hace más crítica cuando la corriente tiene un uso definido aguas abajo, pues se alteran las condiciones de calidad del agua requeridas para el abastecimiento de actividades específicas (doméstica, industrial, agrícola, pecuaria, etc.) y la vida acuática.⁹

La procedencia de la contaminación en los núcleos urbanos proviene de:¹⁰

- Servicios domésticos y públicos.
- Limpieza de locales.
- Drenado de aguas pluviales.

Los principales tipos de contaminantes de las aguas residuales urbanas causantes del daño la calidad de los recursos naturales son:

- Materia orgánica (principalmente) en suspensión y disuelta.
- Nitrógeno; fósforo; cloruro de sodio y otras sales minerales.

⁹ MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE COLOMBIA. (2002). *Gestión para el Manejo, Tratamiento y Disposición Final de las Aguas Residuales Municipales*. Ed. SINA, Bogotá.

¹⁰Canson, F.H. 2008. *Ingeniería de Aguas Residuales*. Disponible en: http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Caracter%C3%ADsticas_de_las_aguas_residuales

- Microcontaminantes procedentes de nuevos productos.
- Las aguas residuales del lavado de calles arrastran principalmente materia sólida.
- Materia inorgánica en suspensión, además de otros productos como fenoles, plomo (del escape vehículos automotores), insecticidas (jardines y otros).

Sus principales características físicas – químicas son:

La temperatura de las aguas servidas oscila entre 10 y 35°C, según la latitud en cuestión. Además de las cargas contaminantes en materias en suspensión y Materias Orgánicas, las aguas residuales municipales contienen otros muchos compuestos como nutrientes (nitrógeno y potasio), cloruros, detergentes, cuyos valores orientativos de la carga por habitante y día son:

- Nitrógeno amoniacal: 3 – 10 g/hab/d
- N total: 6,5 – 13 g/hab/d
- P (PO_4^{3-}) ; 4 – 8 g/hab/d
- Detergentes : 7 – 12 g/hab/d

En lugares donde existen trituradoras de residuos sólidos las aguas residuales urbanas están mucho más cargadas (100% más).

Las principales características biológicas de las aguas residuales domésticas son:

En las aguas servidas van numerosos microorganismos, unos patógenos y otros no. Entre los primeros cabe destacar los virus de la Hepatitis. Por ejemplo en 1 g de heces de un enfermo existen entre 10^5 - 10^6 dosis infecciosas del virus de la hepatitis. El tracto intestinal del hombre contiene numerosas bacterias conocidas como organismos coliformes. Cada individuo evacua de 10^5 a 105 millones de coliformes por día, que aunque no son

dañosos, se utilizan como indicadores de contaminación debido a que su presencia indica la posibilidad de que existan gérmenes patógenos de más difícil detección. Las aguas residuales urbanas pueden contener hasta 10^6 Coliformes totales por cada 100 cm^3 .¹¹

2.3.2. Lagunas de oxidación

Las lagunas de oxidación son excavaciones de poca profundidad en la cual se desarrolla una población microbiana compuesta por bacterias, algas y protozoos (que convienen en forma simbiótica) y eliminan en forma natural, patógenos relacionados con excrementos humanos, sólidos en suspensión y materia orgánica, causantes de enfermedades tales como el cólera, el parasitismo, la hepatitis y otras enfermedades gastrointestinales. Es un método fácil y eficiente para tratar aguas residuales provenientes del alcantarillado sanitario. El sistema está compuesto inicialmente por un grupo de trampas que atrapan y separan los elementos sólidos no inherentes al diseño del sistema, en etapas siguientes el agua y sus residuos pasan a un sistema de lagunas (una o más) donde permanecen en contacto con el entorno, principalmente el aire, experimentando un proceso de oxidación y sedimentación, transformándose así la materia orgánica en otros tipos de nutrientes que pasan a formar parte de una comunidad diversa de plantas y ecosistema bacteriano acuático. (Ver Figura 2.1).

En el primer metro de profundidad, la renovación de oxígeno atmosférico hace que sea la reacción aerobia la que se lleve a cabo, ya que las bacterias que se desarrollan son aerobias. En los metros más profundos es una degradación anaerobia. Así se distinguen los distintos tipos: lagunas aerobias para las que tienen aproximadamente un metro de profundidad, y las lagunas facultativas, que combinan la reacción aerobia en la superficie con la anaerobia en las partes más profundas.

¹¹ FOWLEY, C. H. (2010). Municipal Wastewater Characteristics. Ed. Elsevier, London.

Las lagunas aerobias carecen de mantenimiento, más que para asegurar la permeabilidad y el buen estado de las conducciones y bombas si las hubiera. Las facultativas pueden precisar de una limpieza de vez en cuando para retirar los fangos acumulados en las profundidades, fangos donde se disponen las bacterias y que reducen el volumen de la laguna y con ello el tiempo de retención (hecho que hace bajar el rendimiento de depuración del sistema).

Figura 2.1.

Proceso de llenado de una laguna de oxidación.



Fuente: <http://educasitios.educ.ar/grupo366/?q=node/56>

Como ventaja tienen el bajo costo de mantenimiento, como desventaja, la necesidad de grandes espacios disponibles y de temperaturas ambientales no muy bajas. Resumiendo:

- **Lagunas de oxidación aerobias.** Cuando existe oxígeno en todos los niveles de profundidad. Los procesos aeróbicos tienen la ventaja de que aceleran el proceso de descomposición de los residuos orgánicos (en condiciones de suficiente oxígeno) y no producen gases malolientes como resultado de la acción bacteriana. La desventaja de este proceso es que normalmente se requiere energía externa para producir la aireación necesaria.
- **Lagunas de oxidación anaerobias.** Cuando la carga orgánica es tan grande que predomina la fermentación sin oxígeno. Cuando actúan bacterias anaerobias, se producen gases malolientes y por esta razón, las

plantas de tratamiento anaeróbicas se construyen como estructuras cerradas con control de emisión de gases para evitar molestias al entorno.

- **Lagunas de oxidación facultativas.** Es el caso que opere como una mezcla de las dos anteriores, la parte superior aerobia y el fondo anaerobio. Esta situación es la más común en una laguna de oxidación expuesta al ambiente.
- **Lagunas de acabado.** Son aquellas que se utilizan para mejorar la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento. En algunas ocasiones se necesita mejorar la calidad del efluente producido, especialmente cuando existen proyectos de reciclado del agua.

Hay muchos mitos y temores infundados sobre las lagunas de oxidación, sin embargo tienen muchos años de funcionar exitosamente en Estados Unidos, Europa y Centro y Sur América. Las lagunas de oxidación son particularmente apropiadas debido a su bajo costo y el método sencillo para construirlas y mantenerlas.

Correctamente diseñadas y construidas, las lagunas de oxidación para el tratamiento de aguas pueden remover efectivamente la mayoría de los contaminantes asociados con las aguas negras municipales e industriales y las aguas lluvias. Las lagunas de oxidación son especialmente eficaces en la eliminación de problemas y contaminantes tales como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO); no obstante, existen otros contaminantes que pueden ser tratados mediante este sistema como los sólidos suspendidos, nitrógeno, fósforo, hidrocarburos y metales. Las lagunas de oxidación son también una tecnología efectiva y segura para el tratamiento y recirculación de agua si se mantienen y operan correctamente.

Se puede construir y operar una laguna de oxidación en una gran variedad de áreas geográficas, incluyendo las regiones áridas, tropicales y montañosas. Incluso se puede tratar las aguas negras con altos niveles de residuos en condiciones climáticas extremas donde ocurre congelamiento. Estos proyectos pueden variar mucho con respecto a tamaño, forma y

ubicación, siendo el principal componente limitante el contar con suficiente terreno disponible.

El mantenimiento asociado con las lagunas de oxidación por lo general se limita al control de las plantas acuáticas invasoras y los vectores (por ejemplo los zancudos o mosquitos). Los vectores se controlan por medio de prácticas conocidas como el manejo integrado de plagas (MIP), por ejemplo introduciendo peces mosquitos o creando hábitat para golondrinas u otras aves depredadoras de insectos. La acumulación de sedimento por lo general no se presenta como un problema en una laguna de oxidación que ha sido bien diseñado y operado por lo que muy raramente o nunca se necesita dragar estos ecosistemas.

La descomposición de la materia orgánica se puede activar mediante el uso de bacterias benéficas tales como el compuesto conocido comercialmente como Enziclean, el cual es una composición de bacterias aeróbicas, anaeróbicas y facultativas que producen una aceleración del proceso y eliminan los malos olores puesto que compiten efectivamente contra las bacterias patógenas y las causantes de malos olores.

2.3.3. Impacto ambiental

Se entiende por impacto ambiental el efecto que produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos. El concepto puede extenderse, con poca utilidad, a los efectos de un fenómeno natural catastrófico. Técnicamente, es la alteración de la línea de base, debido a la acción antrópica o a eventos naturales.¹²

Las acciones humanas, motivadas por la consecución de diversos fines, provocan efectos colaterales sobre el medio natural o social. Mientras los efectos perseguidos suelen ser positivos, al menos para quienes promueven

¹² LEIVA, A. (2011). *Evaluación del impacto ambiental*. Módulo VI del Programa de Maestría en Desarrollo y Medio Ambiente. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos.

la actuación, los efectos secundarios pueden ser positivos y, más a menudo, negativos. La evaluación de impacto ambiental (EIA) es el análisis de las consecuencias predecibles de la acción; y la Declaración de Impacto ambiental (DIA) es la comunicación previa, que las leyes ambientales exigen bajo ciertos supuestos, de las consecuencias ambientales predichas por la evaluación.

La preocupación por los efectos de las acciones humanas surgió en el marco de un movimiento, el conservacionista, en cuyo origen está la preocupación por la naturaleza silvestre, progresivamente esta preocupación se fundió con la igualmente antigua por la salud y el bienestar humanos, afectados a menudo negativamente por el desarrollo económico y urbano; ahora nos referimos a esta dimensión como medio social.

2.3.4. Los recursos naturales

Se denominan recursos naturales aquellos bienes materiales y servicios que proporciona la naturaleza; y que son valiosos para las sociedades humanas por contribuir a su bienestar y desarrollo de manera directa (materias primas, minerales, alimentos) o indirecta (servicios ecológicos indispensables para la continuidad de la vida en el planeta).

En Economía se consideran recursos todos aquellos medios que contribuyen a la producción y distribución de los bienes y servicios de que los seres humanos hacen uso. Los economistas entienden que todos los medios son siempre escasos frente a la amplitud y diversidad de los deseos humanos, que es como explican las necesidades; definiéndose precisamente la Economía como la ciencia que estudia las leyes que rigen la distribución de esos recursos entre los distintos fines posibles.

Son recursos, por el lado humano, el trabajo, el saber hacer técnico personal y colectivo, y la organización empresarial y social; por el lado material, la maquinaria, los edificios, las infraestructuras; y también, y es lo que

propriadamente llamamos recursos naturales, los factores de producción que proporciona la naturaleza, en forma de materias primas, combustibles fósiles, bosques y pesquerías, agua limpia, paisaje... De acuerdo a si los beneficios brindados por el recurso requieren o no un proceso previo o transformación, los recursos naturales pueden presentar un carácter de consumo o de uso de tipo directo o indirecto.

También es un recurso natural, que no ha empezado a ser valorado como tal hasta hace poco, el orden de la naturaleza. Por ejemplo, la integridad de los ecosistemas o el equilibrio térmico de la atmósfera, amenazado por el calentamiento global. El mantenimiento de la viabilidad de la biosfera en su estado actual, necesario para la continuidad de la vida civilizada, depende de un determinado estado de equilibrio dinámico; tratándose de un sistema no lineal, determinadas perturbaciones pueden apartarlo del equilibrio, con consecuencias impredecibles. Se intenta ahora que la Economía asimile esta consideración en sus valoraciones, con reformas de la contabilidad económica que tengan en cuenta el valor de estos servicios naturales.

Los recursos naturales pueden clasificarse como bienes fondo ("stock") y bienes flujo. Algunos recursos naturales pueden presentar un carácter de fondo, mientras otros se consideran más como flujos. Los primeros son inherentemente agotables, mientras que los segundos sólo se agotarán si son empleados o extraídos a una tasa superior a la de su renovación. Los fondos que proporciona la naturaleza, como son los recursos mineros, pueden ser consumidos rápidamente o ahorrados para prolongar su disponibilidad. La imposibilidad de las generaciones futuras de participar en el mercado actual, interviniendo en esta decisión, constituye uno de los temas más importantes de la Economía.¹³

¹³ Kendall, K.D. 2009. *Ecología Básica y de los Recursos Naturales*. Ed. McGraw – Hill, New York.

2.3.5. Calidad ambiental

Es el conjunto de propiedades y características del ambiente que le confieren la aptitud para satisfacer necesidades expresadas de los seres vivos que en el mismo nacen, crecen, se desarrollan y mueren. La calidad ambiental es uno de los componentes de la calidad de vida en una comunidad, ya que dependiendo del estado de los recursos naturales renovables que la rodean, se recibirán sus invaluable beneficios o en caso contrario, sus efectos que se reflejarán en un impacto nocivo para la salud especialmente sobre la niñez y la tercera edad.

Uno de los objetivos de la gestión ambiental es conservar un ambiente sano, para lo cual es necesario que los recursos naturales receptores de los vertimientos, residuos y emisiones de las actividades humanas, a saber, el agua, el suelo y el aire, conserven unas condiciones de cantidad y calidad, que les permitan recibir determinado nivel de contaminantes y tener la capacidad de autodepurarlos de tal forma que se conserve un medio ambiente adecuado para la vida tanto del hombre como de las diferentes especies de fauna y flora que conforman nuestros ecosistemas.¹⁴

Uno de los índices más empleados para el cálculo de la Calidad del Agua en una corriente superficial es el Índice de Calidad de Agua (ICAGUA), desarrollado por los Laboratorios Batelle – Columbus en U.S.A.¹⁵

$$ICAGUA = K \left(\frac{\sum_{i=1}^n C_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \right)$$

Donde:

C_i = valor porcentual asignado a los parámetros (Tabla 2.1).

¹⁴ Segnestam, L. 2002. *Indicators of environment and sustainable development: Theories and practical experience. Environmental Economics Series. 89*, The World Bank Environment Department.

¹⁵ Conesa, V. 1997. *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. Ed. Mundi – Prensa, Madrid, España.

P_i = peso asignado a cada parámetro (Tabla 2.1).

K = constante que toma los siguientes valores:

- $K = 1,00$ para aguas claras sin aparente contaminación.
- $K = 0,75$ para aguas con ligero color, espumas, ligera turbidez aparentemente no natural.
- $K = 0,50$ para aguas con apariencia de estar contaminada y fuerte olor.
- $K = 0,25$ para aguas negras que presenten fermentaciones y olores.

Los valores de calidad de los distintos parámetros, son genéricos y por tanto susceptibles de conducir a error, cuando se trata de determinar la calidad del agua para un uso específico. Se recomienda la consulta de tratados especializados, en los que de manera detallada se establecen los límites de las concentraciones de los distintos compuestos, pudiendo a partir de ellos confeccionarse una tabla de valores porcentuales.

2.3.6. Generalidades de los sistemas de tratamiento de aguas servidas

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para su disposición o reúso. Es muy común llamarlo depuración de aguas residuales para distinguirlo del tratamiento de aguas potables. En la Figura 2.2 se muestra la función de transformación correspondiente al ICAGUA.

Tabla 2.1.
Elementos para el cálculo del ICAGUA.

PARÁMETRO	pH	Conduc-tividad	O ₂ disuelto	Reducción del permanganato	Coli-formes	N amoniacal	Cloruros	Temp.	Deter-gentes	Aspecto	Valoración porcentual
VALOR ANALÍTICO	1-14	> 16000	0	> 15	>14000	> 1,25	> 1500	>50 y <- 8	> 3,00	Pésimo	0
	2-13	12000	1	12	10000	1,00	1000	45 a -6	2,00	Muy malo	10
	3-12	8000	2	10	7000	0,75	700	40 a -4	1,50	Malo	20
	4-11	5000	3	8	5000	0,50	500	36 a -2	1,00	Desagradable	30
	5-10	3000	3,5	6	4000	0,40	300	32 a 0	0,75	Impropio	40
	6-9,5	2500	4	5	3000	0,30	200	30 a 5	0,50	Normal	50
	6,5	2000	5	4	2000	0,20	150	28 a 10	0,25	Aceptable	60
	9	1500	6	3	1500	0,10	100	26 a 12	0,10	Agradable	70
	8,5	1250	6,5	2	1000	0,05	50	24 a 14	0,06	Bueno	80
	8	1000	7	1	500	0,03	25	22 a 15	0,02	Muy bueno	90
7	< 750	7,5	< 0,5	< 50	0	0	21 a 16	0	Excelente	100	
Unidad de medida		μΩ/cm	mg/l	mg/l	#/100ml	mg/l	mg/l	°C	mg/l	Subjetiva	%
Peso	1	4	4	3	3	3	1	1	4	1	-----
Los valores analíticos que corresponden a un valor porcentual menor que 50, se entienden como no permisibles. Se precisarán medidas correctoras.											

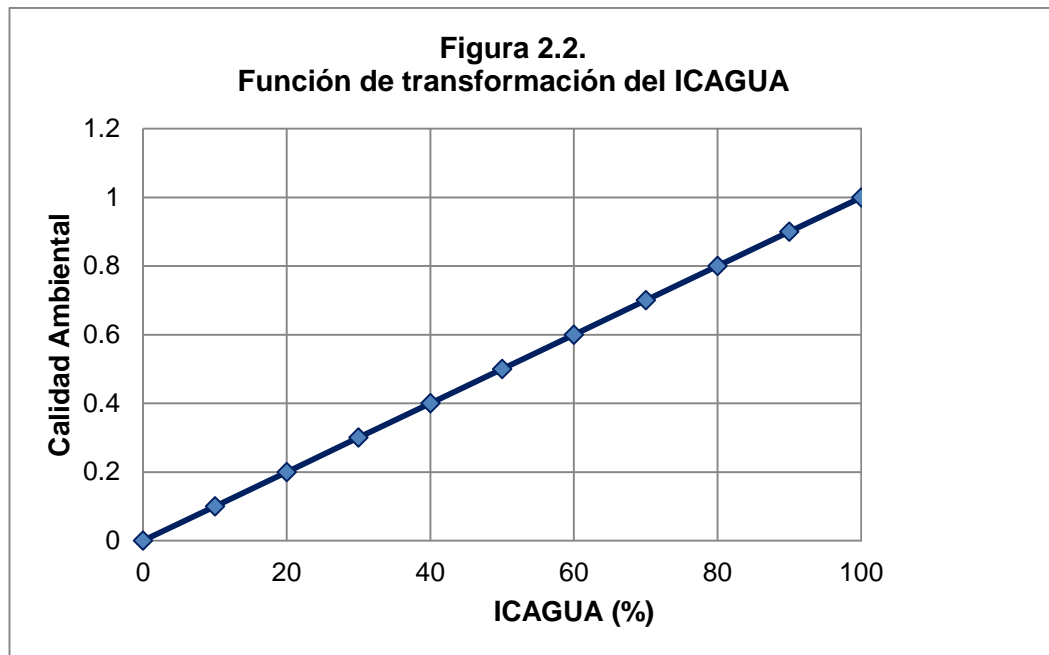
Continuacion de Tabla 2.1.

PARÁMETRO	Dureza	SDT	Plagui- cidas	Grasas y aceites	Sulfatos	Nitratos	Cianuros	Na	Ca	Valoración porcentual
VALOR ANALÍTICO	> 1500	>20000	> 2	> 3	> 1500	> 100	> 1	> 500	> 1000	0
	1000	10000	1	2	1000	50	0,6	300	600	10
	800	5000	0,4	1	600	20	0,5	250	500	20
	600	3000	0,2	0,60	400	15	0,4	200	400	30
	500	2000	0,1	0,30	250	10	0,3	150	300	40
	400	1500	0,05	0,15	150	8	0,2	100	200	50
	300	1000	0,025	0,08	100	6	0,1	75	150	60
	200	750	0,01	0,04	75	4	0,05	50	100	70
	100	500	0,005	0,02	50	2	0,02	25	50	80
	50	250	0,001	0,01	25	1	0,01	15	25	90
	<25	< 100	0	0	0	0	0	< 10	< 10	100
Unidad de medida	mg CaCO ₃ /l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	%
Peso	1	2	2	2	2	2	2	1	1	-----

Continuación de Tabla 2.1

PARÁMETRO	Mg	Fosfatos	Nitritos	DBO ₅	DQO	Valoración porcentual
VALOR ANALÍTICO	> 500	> 500	> 1	> 15	> 45	0
	300	300	0,50	12	35	10
	250	200	0,25	10	29	20
	200	100	0,20	8	23	30
	150	50	0,15	6	17	40
	100	30	0,10	5	14	50
	75	20	0,05	4	11	60
	50	10	0,025	3	9	70
	25	5	0,010	2	6	80
	15	1	0,005	1	3	90
	< 10	0	0	< 0,5	< 2	100
Unidad de medida	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	%
Peso	1	1	2	3		-----

Fuente: Conesa, V. (1997).



Fuente: Conesa, (1997).

Las aguas residuales son generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Estas pueden ser tratadas dentro del sitio en el cual son generadas (por ejemplo: tanques sépticos u otros medios de depuración) o bien pueden ser recogidas y llevadas mediante una red de tuberías, y eventualmente bombas, a una planta de tratamiento municipal. Los esfuerzos para recolectar y tratar las aguas residuales domésticas de la descarga están típicamente sujetos a regulaciones y estándares locales, estatales y federales (regulaciones y controles). A menudo ciertos contaminantes de origen industrial presentes en las aguas residuales requieren procesos de tratamiento especializado.

Típicamente, el tratamiento de aguas residuales comienza por la separación física inicial de sólidos grandes (basura) de la corriente de aguas domésticas o industriales empleando un sistema de rejillas (mallas), aunque también pueden ser triturados esos materiales por equipo especial; posteriormente se aplica un desarenado (separación de sólidos pequeños muy densos como la arena) seguido de una sedimentación primaria (o tratamiento similar) que separe los sólidos suspendidos existentes en el agua residual. Para eliminar

metales disueltos se utilizan reacciones de precipitación, que se utilizan para eliminar plomo y fósforo principalmente.

A continuación sigue la conversión progresiva de la materia biológica disuelta en una masa biológica sólida usando bacterias adecuadas, generalmente presentes en estas aguas. Una vez que la masa biológica es separada o removida (proceso llamado sedimentación secundaria), el agua tratada puede experimentar procesos adicionales (tratamiento terciario) como desinfección, filtración, etc. El efluente final puede ser descargado o reintroducido de vuelta a un cuerpo de agua natural (corriente, río o bahía) u otro ambiente (terreno superficial, subsuelo, etc.). Los sólidos biológicos segregados experimentan un tratamiento y neutralización adicional antes de la descarga o reutilización apropiada. El sitio donde el proceso es conducido se llama Planta de tratamiento de aguas residuales. El diagrama de flujo de una planta de tratamiento de aguas residuales es generalmente el mismo en todos los países:

a) Tratamiento físico químico

- Remoción de gas.
- Remoción de arena.
- Precipitación con o sin ayuda de coagulantes o floculantes.
- Separación y filtración de sólidos.

El agregado de cloruro férrico ayuda a precipitar en gran parte a la remoción de fósforo y ayuda a precipitar biosólidos.

b) Tratamiento biológico

- Lechos oxidantes o sistemas aeróbicos.
- Post – precipitación.
- Liberación al medio de efluentes, con o sin desinfección según las normas de cada jurisdicción.
- Biodigestión anaerobia y humedales artificiales utiliza la materia orgánica biodegradable de las aguas residuales, como nutrientes

de una población bacteriana, a la cual se le proporcionan condiciones controladas para controlar la presencia de contaminantes.

2.3.6.1. *Tratamiento químico*

Este paso es usualmente combinado con procedimientos para remover sólidos como la filtración. La combinación de ambas técnicas es referida en los Estados Unidos como un tratamiento físico-químico.

a) Eliminación del hierro del agua potable

Los métodos para eliminar el exceso de hierro incluyen generalmente transformación del agua clorada en una disolución generalmente básica utilizando cal apagada; oxidación del hierro mediante el ion hipoclorito y precipitación del hidróxido férrico de la solución básica. Mientras todo esto ocurre el anión OCl^- está destruyendo los microorganismos patógenos del agua.

b) Eliminación del oxígeno del agua de las centrales térmicas

Para transformar el agua en vapor en las centrales térmicas se utilizan calderas a altas temperaturas. Como el oxígeno es un agente oxidante, se necesita un agente reductor como la hidrazina para eliminarlo.

c) Eliminación de los fosfatos de las aguas residuales domésticas

El tratamiento de las aguas residuales domésticas incluye la eliminación de los fosfatos. Un método muy simple consiste en precipitar los fosfatos con cal apagada. Los fosfatos pueden estar presentes de muy diversas formas como el ion Hidrógeno fosfato.

- d) Eliminación de nitratos de las aguas residuales domésticas y procedentes de la industria

Se basa en dos procesos combinados de nitrificación y desnitrificación que conllevan una producción de fango en forma de biomasa fácilmente decantable.

2.3.6.2. *Tratamiento primario*

El tratamiento primario es para reducir aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos. Este paso está enteramente hecho con maquinaria, de ahí conocido también como tratamiento mecánico.

- a) Remoción de sólidos

En el tratamiento mecánico, el afluente es filtrado en cámaras de rejillas para eliminar todos los objetos grandes que son depositados en el sistema de alcantarillado, tales como trapos, barras, compresas, tampones, latas, frutas, papel higiénico, etc. Éste es el usado más comúnmente mediante una pantalla rastrillada automatizada mecánicamente. Este tipo de basura se elimina porque esto puede dañar equipos sensibles en la planta de tratamiento de aguas residuales, además los tratamientos biológicos no están diseñados para tratar sólidos.

- b) Remoción de arena

Esta etapa (también conocida como escaneo o maceración) típicamente incluye un canal de arena donde la velocidad de las aguas residuales es cuidadosamente controlada para permitir que la arena y las piedras de ésta tomen partículas, pero todavía se mantiene la mayoría del material orgánico con el flujo. Este equipo es llamado colector de arena. La arena y las piedras

necesitan ser quitadas a tiempo en el proceso para prevenir daño en las bombas y otros equipos en las etapas restantes del tratamiento.

Algunas veces hay baños de arena (clasificador de la arena) seguido por un transportador que transporta la arena a un contenedor para la deposición. El contenido del colector de arena podría ser alimentado en el incinerador en un procesamiento de planta de fangos, pero en muchos casos la arena es enviada a un terraplén.

c) Investigación y maceración

El líquido libre de abrasivos es pasado a través de pantallas arregladas o rotatorias para remover material flotante y materia grande como trapos; y partículas pequeñas como chícharos y maíz. Los escaneos son recolectados y podrán ser regresados a la planta de tratamiento de fangos o podrán ser dispuestos al exterior hacia campos o incineración.

En la maceración, los sólidos son cortados en partículas pequeñas a través del uso de cuchillos rotatorios montados en un cilindro giratorio, es utilizado en plantas que pueden procesar esta basura y reducirla a partículas. Los maceradores son, sin embargo, más caros de mantener y menos confiables que las pantallas físicas.

d) Sedimentación

Muchas plantas tienen una etapa de sedimentación donde el agua residual se pasa a través de grandes tanques circulares o rectangulares. Estos tanques son comúnmente llamados clarificadores primarios o tanques de sedimentación primarios.

Los tanques son lo suficientemente grandes, tal que los sólidos fecales pueden situarse y el material flotante como la grasa y plásticos pueden levantarse hacia la superficie y desnatarse. El propósito principal de la etapa

primaria es producir generalmente un líquido homogéneo capaz de ser tratado biológicamente y unos fangos o lodos que pueden ser tratados separadamente.

Los tanques primarios de establecimiento se equipan generalmente con raspadores conducidos mecánicamente que llevan continuamente los fangos recogidos hacia una tolva en la base del tanque donde mediante una bomba puede llevar a éste hacia otras etapas del tratamiento.

Figura 2.3.
Tanque de sedimentación primaria en una planta rural.¹⁶



Fuente: GLASGOW, (2008).

2.3.6.3. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario está diseñado para degradar sustancialmente el contenido biológico del agua residual, el cual deriva de residuos humanos, residuos de alimentos, jabones y detergentes. La mayoría de las plantas municipales utilizan procesos biológicos aeróbicos para este fin.

¹⁶ GLASGOW, T. O. 2008. *Plant Design and Evaluation in Environmental Engineering*. Ed. McGraw – Hill, New York, USA.

a) Desbaste

Consiste habitualmente en la retención de los sólidos gruesos del agua residual mediante una reja, manual o autolimpiante, o un tamiz, habitualmente de menor paso o luz de malla. Esta operación no sólo reduce la carga contaminante del agua a la entrada, sino que permite preservar los equipos como conducciones, bombas y válvulas, frente a los depósitos y obstrucciones provocados por los sólidos, que habitualmente pueden ser muy fibrosos: tejidos, papeles, etc.

Los filtros de desbaste son utilizados para tratar particularmente cargas orgánicas fuertes o variables, típicamente industriales, para permitirles ser tratados por procesos de tratamiento secundario. Son filtros típicamente altos, filtros circulares llenados con un filtro abierto sintético en el cual las aguas residuales son aplicadas en una cantidad relativamente alta. El diseño de los filtros permite una alta descarga hidráulica y un alto flujo de aire. En instalaciones más grandes, el aire es forzado a través del medio usando sopladores. El líquido resultante está usualmente con el rango normal para los procesos convencionales de tratamiento.

b) Fangos activos

Las plantas de fangos activos usan una variedad de mecanismos y procesos para usar oxígeno disuelto y promover el crecimiento de organismos biológicos que remueven substancialmente materia orgánica. También puede atrapar partículas de material y puede, bajo condiciones ideales, convertir amoníaco en nitrito y nitrato, y en última instancia a gas nitrógeno.

c) Camas filtrantes (camas de oxidación)

Se utiliza la capa filtrante de goteo utilizando plantas más viejas y plantas receptoras de cargas más variables, las camas filtrantes son utilizadas donde el licor de las aguas residuales es rociado en la superficie de una

profunda cama compuesta de coque (carbón, piedra caliza o fabricada especialmente de medios plásticos). Tales medios deben tener altas superficies para soportar las biopelículas que se forman.

El líquido es distribuido mediante unos brazos perforados rotativos que irradian de un pivote central y gotea en el lecho y es recogido en drenes en la base. Estos drenes también proporcionan un recurso de aire que se infiltra hacia arriba de la cama, manteniendo un medio aerobio. Las películas biológicas de bacterias, protozoarios y hongos se forman en la superficie media y se comen o reducen los contenidos orgánicos. Esta biopelícula es alimentada a menudo por insectos y gusanos.

Figura 2.4.
Lecho bacteriano aerobio en una planta rural.



Fuente: GLASGOW, (2008).

d) Placas rotativas y espirales

En algunas plantas pequeñas son usadas placas o espirales de revolvimiento lento que son parcialmente sumergidas en un licor. Se crea un flóculo biótico que proporciona el substrato requerido.

e) Reactor biológico de cama móvil

El reactor biológico de cama móvil (MBBR, por sus siglas en inglés) asume la adición de medios inertes en vasijas de fangos activos existentes para proveer sitios activos para que se adjunte la biomasa. Esta conversión hace como resultante un sistema de crecimiento. Las ventajas de los sistemas de crecimiento adjunto son:

- Mantener una alta densidad de población de biomasa
- Incrementar la eficiencia del sistema sin la necesidad de incrementar la concentración del licor mezclado de sólidos (MLSS)
- Eliminar el costo de operación de la línea de retorno de fangos activos (RAS).

f) Lechos biológicos aerobios

Los lechos biológicos aerobios combinan la filtración con reducción biológica de carbono, nitrificación o desnitrificación. Incluyen usualmente un reactor lleno de medios de un filtro. Los medios están en la suspensión o apoyados por una capa en el pie del filtro. El propósito doble de este medio es soportar altamente la biomasa activa que se une a él y a los sólidos suspendidos del filtro.

La reducción del carbón y la conversión del amoníaco ocurre en medio aerobio y alguna vez alcanzado en un sólo reactor mientras la conversión del nitrato ocurre en una manera anóxica. Este lecho es también operado en flujo alto o flujo bajo dependiendo del diseño especificado por el fabricante.

g) Sedimentación secundaria

El paso final de la etapa secundaria del tratamiento es retirar los flóculos biológicos del material de filtro, y producir agua tratada con bajos niveles de

materia orgánica y materia suspendida. En una planta de tratamiento rural, se realiza en el tanque de sedimentación secundaria.

2.3.6.4. *Tratamiento terciario*

El tratamiento terciario proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al ambiente receptor (mar, río, lago, campo, etc.) Más de un proceso terciario del tratamiento puede ser usado en una planta de tratamiento. Si la desinfección se practica siempre en el proceso final, es siempre llamada pulir el efluente.

a) Filtración

La filtración de arena remueve gran parte de los residuos de materia suspendida. El carbón activado sobrante de la filtración remueve las toxinas residuales.

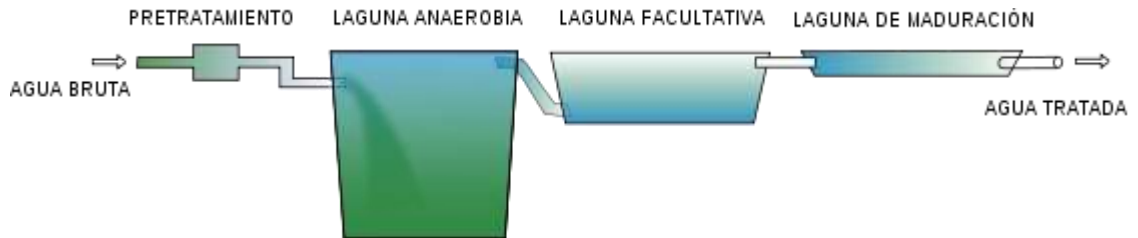
b) Lagunaje

El tratamiento de lagunas proporciona el establecimiento necesario y fomenta la mejora biológica de almacenaje en charcos o lagunas artificiales. Se trata de una imitación de los procesos de autodepuración que somete un río o un lago al agua residual de forma natural. Estas lagunas son altamente aerobias y la colonización por los macrofitos nativos, especialmente cañas, se dan a menudo.

Los invertebrados de alimentación del filtro pequeño tales como Daphnia y especies de Rotífera asisten grandemente al tratamiento removiendo partículas finas. El sistema de lagunaje es barato y fácil de mantener pero presenta los inconvenientes de necesitar gran cantidad de espacio y de ser poco capaz para depurar las aguas de grandes núcleos.

Figura 2.5.

Esquema de una depuradora por sistema de lagunas de oxidación.



Fuente: GLASGOW, T. O. (2008).

c) Remoción de nutrientes

Las aguas residuales pueden también contener altos niveles de nutrientes (nitrógeno y fósforo) que eso en ciertas formas puede ser tóxico para peces e invertebrados en concentraciones muy bajas (por ejemplo amoníaco) o eso puede crear condiciones insanas en el ambiente de recepción (por ejemplo: mala hierba o crecimiento de algas). Las malas hierbas y las algas pueden parecer ser una edición estética, pero las algas pueden producir las toxinas, y su muerte y consumo por las bacterias (decaimiento) pueden agotar el oxígeno en el agua y asfixiar los peces y a otra vida acuática.

Cuando se recibe una descarga de los ríos a los lagos o a los mares bajos, los nutrientes agregados pueden causar pérdidas entrópicas severas perdiendo muchos peces sensibles a la contaminación en el agua. La retirada del nitrógeno o del fósforo de las aguas residuales se puede alcanzar mediante la precipitación química o biológica.

La remoción del nitrógeno se efectúa con la oxidación biológica del nitrógeno del amoníaco a nitrato (nitrificación que implica nitrificar bacterias tales como Nitrobacter y Nitrosomonus), y entonces mediante la reducción, el nitrato es convertido al gas nitrógeno (desnitrificación), que se lanza a la atmósfera. Estas conversiones requieren condiciones cuidadosamente controladas para permitir la formación adecuada de comunidades biológicas. Los filtros de arena, las lagunas y las camas de lámina se pueden utilizar para reducir el

nitrógeno. Algunas veces, la conversión del amoníaco tóxico al nitrato solamente se refiere a veces como tratamiento terciario.

La retirada del fósforo se puede efectuar biológicamente en un proceso llamado retiro biológico realizado del fósforo. En este proceso específicamente bacteriano, llamadas Polyphosphate que acumula organismos, se enriquecen y acumulan selectivamente grandes cantidades de fósforo dentro de sus células. Cuando la biomasa enriquecida en estas bacterias se separa del agua tratada, los biosólidos bacterianos tienen un alto valor del fertilizante. La retirada del fósforo se puede alcanzar también, generalmente por la precipitación química con las sales del hierro (por ejemplo: cloruro férrico) o del aluminio (por ejemplo: alumbre).

El fango químico que resulta, sin embargo, es difícil de operar, y el uso de productos químicos en el proceso del tratamiento es costoso. Aunque esto hace la operación difícil y a menudo sucia, la eliminación química del fósforo requiere una huella significativamente más pequeña del equipo que la de retiro biológico y es más fácil de operar.

d) Desinfección

El propósito de la desinfección en el tratamiento de las aguas residuales es reducir substancialmente el número de organismos vivos en el agua que se descargará nuevamente dentro del ambiente. La efectividad de la desinfección depende de la calidad del agua que es tratada (por ejemplo: turbiedad, pH, etc.), del tipo de desinfección que es utilizada, de la dosis de desinfectante (concentración y tiempo), y de otras variables ambientales.

El agua turbia será tratada con menor éxito puesto que la materia sólida puede blindar organismos, especialmente de la luz ultravioleta o si los tiempos del contacto son bajos. Generalmente, tiempos de contacto cortos, dosis bajas y altos flujos influyen en contra de una desinfección eficaz. Los métodos comunes de desinfección incluyen el ozono, la clorina, o la luz UV.

La cloramina, que se utiliza para el agua potable, no se utiliza en el tratamiento de aguas residuales debido a su persistencia.

La desinfección con cloro sigue siendo la forma más común de desinfección de las aguas residuales en Norteamérica debido a su bajo historial de costo y del largo plazo de la eficacia. Una desventaja es que la desinfección con cloro del material orgánico residual puede generar compuestos orgánicamente clorados que pueden ser carcinógenos o dañinos al ambiente.

La clorina o las cloraminas residuales puede también ser capaces de tratar el material con cloro orgánico en el ambiente acuático natural. Además, porque la clorina residual es tóxica para especies acuáticas, el efluente tratado debe ser químicamente desclorinado, agregándose complejidad y costo del tratamiento.

La luz ultravioleta (UV) se está convirtiendo en el medio más común de la desinfección en el Reino Unido debido a las preocupaciones por los impactos de la clorina en el tratamiento de aguas residuales y en la cloración orgánica en aguas receptoras. La radiación UV se utiliza para dañar la estructura genética de las bacterias, virus, y otros patógenos, haciéndolos incapaces de la reproducción. Las desventajas dominantes de la desinfección UV son la necesidad del mantenimiento y del reemplazo frecuentes de la lámpara y la necesidad de un efluente altamente tratado para asegurarse de que los microorganismos objetivo no están blindados de la radiación UV (es decir, cualquier sólido presente en el efluente tratado puede proteger microorganismos contra la luz UV).

El ozono (O_3) es generado pasando el O_2 del oxígeno con un potencial de alto voltaje resultando un tercer átomo de oxígeno y que forma O_3 . El ozono es muy inestable y reactivo y oxida la mayoría del material orgánico con que entra en contacto, de tal manera que destruye muchos microorganismos causantes de enfermedades. El ozono se considera ser más seguro que la

clorina porque, mientras que la clorina que tiene que ser almacenada en el sitio (altamente venenoso en caso de un lanzamiento accidental), el ozono es colocado según lo necesitado.

La ozonización también produce pocos subproductos de la desinfección que la desinfección con cloro. Una desventaja de la desinfección del ozono es el alto costo del equipo de la generación del ozono, y que la cualificación de los operadores deben ser elevada.

e) Tratamiento de los fangos

Los sólidos primarios gruesos y los biosólidos secundarios acumulados en un proceso del tratamiento de aguas residuales se deben tratar y disponer de una manera segura y eficaz. Este material a menudo se contamina inadvertidamente con los compuestos orgánicos e inorgánicos tóxicos (por ejemplo: metales pesados). El propósito de la digestión es reducir la cantidad de materia orgánica y el número de los microorganismos presentes en los sólidos que causan enfermedades. Las opciones más comunes del tratamiento incluyen la digestión anaerobia, la digestión aerobia, y el abonamiento.

f) Digestión anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso bacteriano que se realiza en ausencia del oxígeno. El proceso puede ser la digestión termofílica en la cual el fango se fermenta en tanques en una temperatura de 55 °C o mesofílica, en una temperatura alrededor de 36 °C. Sin embargo permitiendo tiempo de una retención más corta, así en los pequeños tanques, la digestión termofílica es más expansiva en términos de consumo de energía para calentar el fango.

La digestión anaerobia genera biogás con una parte elevada de metano que se puede utilizar para el tanque y los motores o las micro turbinas del funcionamiento para otros procesos en sitio. En plantas de tratamiento

grandes, se puede generar más energía eléctrica de la que las máquinas requieren. La generación del metano es una ventaja dominante del proceso anaeróbico. Su desventaja dominante es la del largo plazo requerido para el proceso (hasta 30 días) y el alto costo de capital. La planta de tratamiento de aguas residuales de Goldbar en Edmonton, Alberta, Canadá utiliza actualmente el proceso. Bajo condiciones del laboratorio es posible generar directamente cantidades útiles de electricidad del fango orgánico usando bacterias electroquímicas activas naturales.

Potencialmente, esta técnica podría conducir a una forma ecológica de generación de energía, pero para ser eficaz, una célula de combustible microbiana debe maximizar el área de contacto entre el efluente y la superficie bacteria-revestida del ánodo, lo que podría disminuir seriamente el rendimiento del proceso.

g) Digestión aerobia

La digestión aerobia es un proceso bacteriano que ocurre en presencia del oxígeno. Bajo condiciones aeróbicas, las bacterias consumen rápidamente la materia orgánica y la convierten en el dióxido de carbono. Una vez que haya una carencia de la materia orgánica, las bacterias mueren y son utilizadas como alimento por otras bacterias.

Esta etapa del proceso se conoce como respiración endógena. La reducción de los sólidos ocurre en esta fase. Porque ocurre la digestión aeróbica mucho más rápidamente, los costos de capital de digestión aerobia son más bajos. Sin embargo, los gastos de explotación son característicos por ser mucho mayores para la digestión aeróbica debido a los costes energéticos para la aireación necesitada para agregar el oxígeno al proceso.

h) El compostaje o abonamiento

El abonamiento o composta es también un proceso aeróbico que implica el mezclar de los sólidos de las aguas residuales con fuentes del carbón tales como aserrín, paja o virutas de madera. En presencia del oxígeno, las bacterias digieren los sólidos de las aguas residuales y la fuente agregada del carbón y, al hacer eso, producen una cantidad grande de calor. Los procesos anaerobios y aerobios de la digestión pueden dar lugar a la destrucción de microorganismos y de parásitos causantes de enfermedades a un suficiente nivel para permitir que los sólidos digeridos que resultan sean aplicados con seguridad a la tierra usada como material de la enmienda del suelo (con las ventajas similares a la turba) o usada para la agricultura como fertilizante a condición de que los niveles de componentes tóxicos son suficientemente bajos.

Cuando se produce un fango líquido, un tratamiento adicional puede ser requerido para hacerlo conveniente para la disposición final. Típicamente, los fangos se espesan (desechados) para reducir los volúmenes transportados para la disposición. Los procesos para reducir el contenido en agua incluyen lagunas en camas de sequía para producir una torta que pueda ser aplicada a la tierra o ser incinerada; el presionar, donde el fango se filtra mecánicamente, a través de las pantallas del paño para producir a menudo una torta firme; y centrifugación donde el fango es espesado centrífugo separando el sólido y el líquido.

Los fangos se pueden disponer por la inyección líquida para aterrizar o por la disposición en un terraplén. Hay preocupaciones por la incineración del fango debido a los agentes contaminadores del aire en las emisiones, junto con el alto coste de combustible a suplementar, haciendo esto medios menos atractivos y menos comúnmente construidos del tratamiento y de la disposición del fango.

No hay proceso que elimine totalmente los requisitos para la disposición de biosólidos. En Australia del Sur, después de la centrifugación, el fango entonces es secado totalmente por la luz del sol. Los biosólidos ricos en nutrientes entonces se proporcionan a los granjeros para utilizar como fertilizante natural. Este método ha reducido la cantidad de terraplén generada por el proceso cada año.

2.3.7. Potenciales impactos ambientales

Los contaminantes de las aguas servidas municipales, o aguas servidas domésticas, son los sólidos suspendidos y disueltos que consisten en: materias orgánicas e inorgánicas, nutrientes, aceites y grasas, sustancias tóxicas, y microorganismos patógenos. Los desechos humanos sin un tratamiento apropiado, eliminados en su punto de origen o recolectados y transportados, presentan un peligro de infección parasitaria (mediante el contacto directo con la materia fecal), hepatitis y varias enfermedades gastrointestinales, incluyendo el cólera y tifoidea (mediante la contaminación de la fuente de agua y la comida). Cabe mencionar que el agua de lluvia urbana puede contener los mismos contaminantes, a veces en concentraciones sorprendentemente altas.

Cuando las aguas servidas son recolectadas pero no tratadas correctamente antes de su eliminación o reutilización, existen los mismos peligros para la salud pública en las proximidades del punto de descarga. Si dicha descarga es en aguas receptoras, se presentarán peligrosos efectos adicionales (p.ej. el hábitat para la vida acuática y marina es afectada por la acumulación de los sólidos; el oxígeno es disminuido por la descomposición de la materia orgánica; y los organismos acuáticos y marinos pueden ser perjudicados aún más por las sustancias tóxicas, que pueden extenderse hasta los organismos superiores por la bioacumulación en las cadenas alimenticias). Si la descarga entra en aguas confinadas, como un lago o una bahía, su contenido de nutrientes puede ocasionar la eutrofización, con molesta vegetación que puede afectar a las pesquerías y áreas recreativas. Los

desechos sólidos generados en el tratamiento de las aguas servidas (grava, cerniduras, y fangos primarios y secundarios) pueden contaminar el suelo y las aguas si no son manejados correctamente.

Los proyectos de aguas servidas son ejecutados a fin de evitar o aliviar los efectos de los contaminantes descritos anteriormente en cuanto al ambiente humano y natural. Cuando son ejecutados correctamente, su impacto total sobre el ambiente es positivo. Los impactos directos incluyen la disminución de molestias y peligros para la salud pública en el área de servicio, mejoramientos en la calidad de las aguas receptoras, y aumentos en los usos beneficiosos de las aguas receptoras. Adicionalmente, la instalación de un sistema de recolección y tratamiento de las aguas servidas posibilita un control más efectivo de las aguas servidas industriales mediante su tratamiento previo y conexión con el alcantarillado público, y ofrece el potencial para la reutilización beneficiosa del efluente tratado y de los fangos.

Los impactos indirectos del tratamiento de las aguas residuales incluyen la provisión de sitios de servicio para el desarrollo, mayor productividad y rentas de las pesquerías, mayores actividades y rentas turísticas y recreativas, mayor productividad agrícola y forestal o menores requerimientos para los fertilizantes químicos, en caso de ser reutilizado el efluente y los fangos, y menores demandas sobre otras fuentes de agua como resultado de la reutilización del efluente.

De éstos, varios potenciales impactos positivos se prestan para la medición, por lo que pueden ser incorporados cuantitativamente en el análisis de los costos y beneficios de varias alternativas al planificar proyectos para las aguas servidas. Los beneficios para la salud humana pueden ser medidos, por ejemplo, mediante el cálculo de los costos evitados, en forma de los gastos médicos y días de trabajo perdidos que resultarían de un saneamiento defectuoso. Los menores costos del tratamiento de agua potable e industrial y mayores rentas de la pesca, el turismo y la recreación,

pueden servir como mediciones parciales de los beneficios obtenidos del mejoramiento de la calidad de las aguas receptoras. En una región donde es grande la demanda de viviendas, los beneficios provenientes de proporcionar lotes con servicios pueden ser reflejados en parte por la diferencia en costos entre la instalación de la infraestructura por adelantado o la adecuación posterior de comunidades no planificadas.

A menos que sean correctamente planificados, ubicados, diseñados, construidos, operados y mantenidos, es probable que los proyectos de aguas servidas tengan un impacto total negativo y no produzcan todos los beneficios para los cuales se hizo la inversión, afectando además en forma negativa a otros aspectos del medio ambiente.

2.3.8. Problemas socioculturales

Las instalaciones de tratamiento requieren tierra; su ubicación puede resultar en la reubicación involuntaria. Es más, las obras de tratamiento y eliminación pueden crear molestias en las cercanías inmediatas, al menos ocasionalmente. A menudo, las tierras y los barrios elegidos, corresponden a los "grupos vulnerables" que son los menos capacitados para afrontar los costos de la reubicación y cuyo ambiente vital ya está alterado. Se debe tener cuidado de ubicar las instalaciones de tratamiento y eliminación donde los olores o ruidos no molestarán a los residentes u otros usuarios del área, manejar la reubicación con sensibilidad, e incluir en el plan de atenuación del proyecto, provisiones para mitigar o compensar los impactos adversos sobre el medio ambiente humano. Si no se incluye estas consideraciones en la planificación del proyecto, existe el riesgo sustancial.

2.3.9. Tecnología apropiada

El concepto de la tecnología apropiada en los sistemas de agua servida, abarca dimensiones técnicas, institucionales, sociales y económicas. Desde un punto de vista técnico e institucional, la selección de tecnologías no

apropiadas, ha sido identificada como una de las principales causas de fallas en el sistema. El ambiente de las aguas servidas es hostil para el equipo electrónico, eléctrico y mecánico. Su mantenimiento es un proceso sin fin, y requiere de apoyo (repuestos, laboratorios, técnicos capacitados, asistencia técnica especializada, y presupuestos adecuados). Aun en los países desarrollados, son los sistemas más sencillos, elegidos y diseñados con vista al mantenimiento, los que brindan un servicio más confiable. En los países en desarrollo, donde es posible que falten algunos ingredientes para un programa exitoso de mantenimiento, ésta debe ser la primera consideración al elegir tecnologías para las plantas de tratamiento y estaciones de bombeo.

En comunidades pequeñas y ambientes rurales, las opciones técnicas suelen ser más sencillas, pero las consideraciones institucionales se combinan con las sociales y siguen siendo extremadamente importantes. Las instituciones locales deben ser capaces de manejar los programas o sistemas de saneamiento; la participación comunitaria puede ser un elemento clave en su éxito. Son importantes las acostumbradas preferencias sociales y prácticas; algunas pueden ser modificadas mediante programas educativos, pero otras pueden estar arraigadas en los valores culturales y no estar sujetas al cambio.

La economía forma parte de la decisión de dos maneras. No es sorprendente que las tecnologías más sencillas, seleccionadas por su facilidad de operación y mantenimiento, suelen ser las menos costosas para construir y operar. Sin embargo, aun cuando no lo sean, como puede ser el caso cuando gran cantidad de tierra debe ser adquirida para los estanques de estabilización, un sistema menos costoso que fracasa, finalmente sería más costoso que otro más caro que opera de manera confiable.

2.4. FUNDAMENTACIÓN LEGAL

La presente investigación tiene su sustento legal en los siguientes órganos jurídicos, que se han constituidos en leyes, reglamentos o normativas:

- Constitución de la República del Ecuador (año 2008), que estipula la garantía que tiene que suministrar el Estado, para que toda la población viva en un ambiente sano.¹⁷
- Ley de Gestión Ambiental, que constituye el cuerpo legal específico más importante atinente a la protección ambiental en el país. Esta ley está relacionada directamente con la prevención, control y sanción a las actividades contaminantes a los recursos naturales y establece las directrices de política ambiental, así como determina las obligaciones, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones dentro de este campo.
- Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, que tiene como objetivo primordial el de controlar y prevenir la contaminación ambiental de los recursos agua, aire y suelo. Con la promulgación de la Ley de Gestión Ambiental, la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental tiene derogadas varias de sus disposiciones, ya que la Ley de Gestión Ambiental derogó expresamente muchos de sus artículos. Sin embargo, las demás disposiciones se mantienen vigentes pero con las limitaciones propias de una ley expedida hace casi treinta años, que en la práctica no se constituyó en la herramienta más efectiva de lucha contra la contaminación ambiental ya que no resultó funcional. Así por ejemplo se creó el Comité Interinstitucional de Protección Ambiental, el mismo que muy pocas veces se reunió y no pudo constituirse en el órgano

¹⁷ Presidencia de la República del Ecuador. 2008. *Constitución de la República*. R. O. Registro Oficial No. 14 del 19 de Octubre. Quito, Ecuador.

rector de estas políticas como pretendía la ley. También, en su Capítulo 1 establece la prevención de la contaminación del aire, en el Capítulo 2, lo correspondiente al recurso agua y en el Capítulo 3, lo concerniente al recurso suelo.

- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria¹⁸, que unifica la legislación secundaria ambiental, para facilitar a los ciudadanos el acceso a la normativa requerida. Constituye un texto reglamentario bastante amplio de la normativa ecuatoriana vigente en la Ley de Gestión Ambiental y con lo que queda en vigor de la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. Se trata, pues, de una herramienta legal de desarrollo detallado, en el nivel reglamentario de la legislación relacionada al tema ambiental en general, a los impactos ambientales, al régimen forestal y afines, etc.
- Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores, cuyas disposiciones se aplicarán a toda actividad laboral y en todo centro de trabajo, teniendo como objetivo la prevención, disminución o eliminación de los riesgos del trabajo y el mejoramiento del medio ambiente de trabajo.
- Reglamento General del Seguro de Riesgos del Trabajo – IESS que plantea, mediante Decreto Supremo No. 2213 de 31 de enero de 1978, publicado en el Registro Oficial No. 526 de 15 de febrero del mismo año, el Gobierno Ecuatoriano, la ratificación del Convenio No. 121, sobre Prestaciones en casos de Accidente de Trabajo y Enfermedades Profesionales, adoptado por la Conferencia General de la Organización Internacional del Trabajo, realizada en Ginebra el 17 de junio de 1964; que para el cumplimiento de tal compromiso internacional, se efectuó la respectiva reforma al Título VIII de los Estatutos del IESS sobre el Seguro de Riesgos del Trabajo, por

¹⁸ Ministerio del Ambiente. (2002). Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS). Quito.

Decreto Ejecutivo No. 1597, publicado en el Registro Oficial No. 427 del 30 de abril de 1986 y; que la Institución debe actualizar el sistema de calificación, de evaluación e indemnización de los accidentes del trabajo y las enfermedades profesionales, en concordancia con la técnica y los problemas actuales y mejorar, además, las prestaciones económicas del Seguro de Riesgos del Trabajo para los afiliados o para sus deudos, así como impulsar las acciones de prevención de riesgos y de mejoramiento del medio ambiente laboral.

- Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización, COOTAD¹⁹, donde se plantea, entre otras cosas, que el municipio es la sociedad política autónoma subordinada al orden jurídico constitucional del Estado, cuya finalidad es el bien común local y, dentro de éste y en forma primordial, la atención de las necesidades de la ciudad, del área metropolitana y de las parroquias rurales de la respectiva jurisdicción. Que el territorio de cada cantón comprende parroquias urbanas cuyo conjunto constituye una ciudad, y parroquias rurales y, que cada municipio constituye una persona jurídica de derecho público, con patrimonio propio y con capacidad para realizar los actos jurídicos que fueren necesarios para el cumplimiento de sus fines, en la forma y condiciones que determinan la Constitución y la ley.

¹⁹ ASAMBLEA NACIONAL. 2010. *Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización*. Registro Oficial No. 303 del 19 de octubre. Quito, Ecuador.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. MÉTODOS Y TÉCNICAS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Métodos de investigación

3.1.1.1. Método lógico deductivo

Este método permitió aplicar los principios descubiertos a casos particulares, a partir de un enlace de juicios. En este caso, jugó un doble papel: primero, se han encontrado principios desconocidos, a partir de los conocidos; en segundo lugar, sirvió para descubrir consecuencias desconocidas, de principios conocidos.

3.1.1.2. Método hipotético-deductivo

En el proceso investigativo se propuso una hipótesis como consecuencia de las inferencias del conjunto de observaciones empíricas preliminares. En este caso se arribó a la hipótesis mediante procedimientos inductivos. Es decir, se constituyó en una vía de realización de inferencias lógico deductivas para arribar a conclusiones particulares a partir de la hipótesis y que después se pudieron comprobar según un diseño no experimental.

3.1.1.3. Método analítico

Se distinguieron los elementos del fenómeno bajo estudio y se procedió a revisar ordenadamente cada uno de ellos por separado. Consistió en la extracción de las partes de un todo, con el objeto de estudiarlas y examinarlas por separado, y se llegó a las relaciones entre las mismas. Estas operaciones no se dieron independientes una de la otra; el análisis del objeto de estudio se realizó a partir de la relación que existía entre los elementos que conforman dicho objeto como un todo; y a su vez, la síntesis se produjo sobre la base de los resultados previos del análisis.

3.1.2. Técnicas de la Investigación

Las técnicas empleadas en el presente estudio fueron:

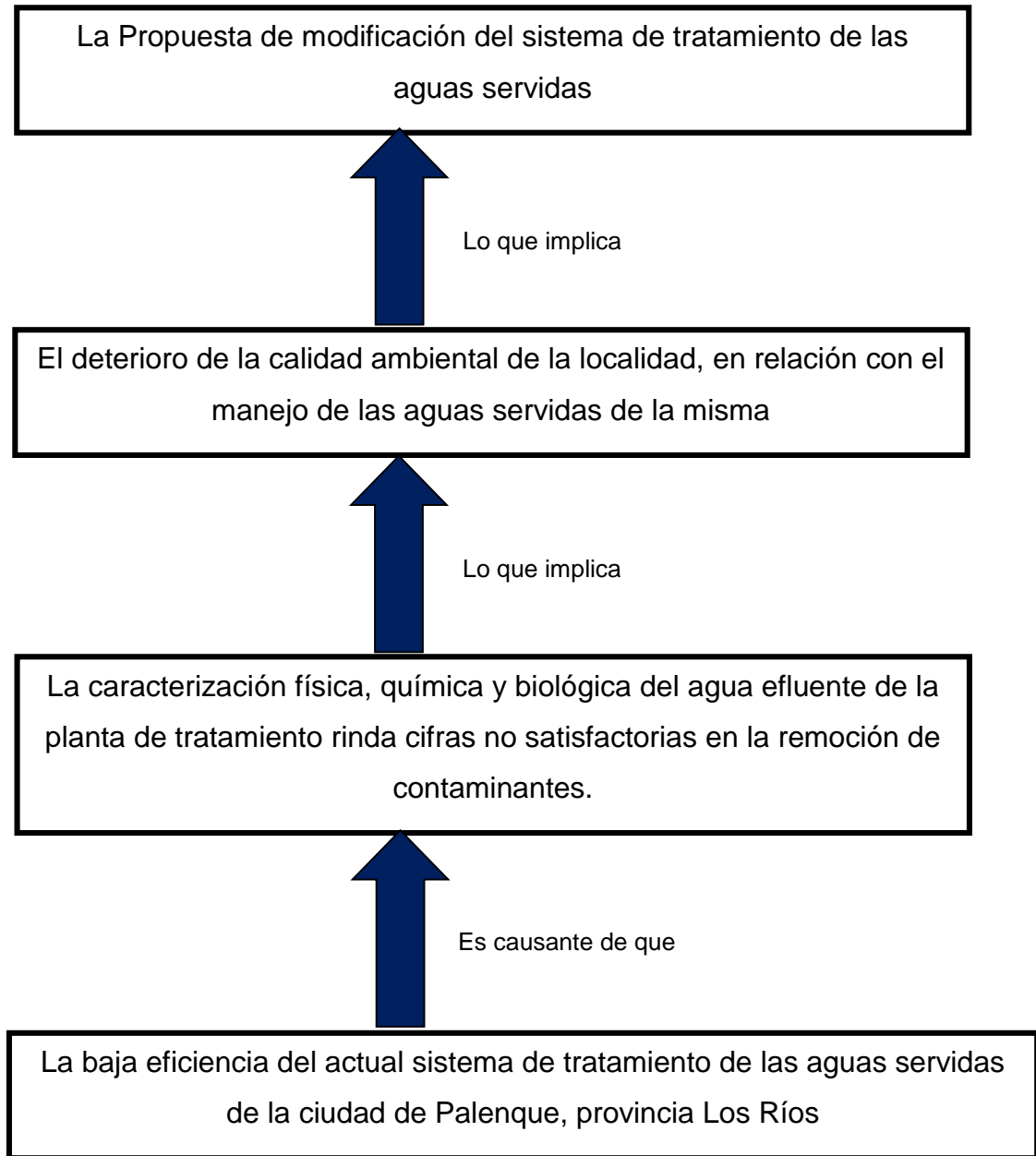
- El análisis químico de muestras líquidas en el laboratorio de aguas, con el propósito de determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de las aguas servidas.
- Entrevista a aplicar a la muestra de 98 personas con el propósito de determinar la percepción ciudadana sobre la planta de tratamiento de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Palenque.
- La observación directa in situ con el propósito de determinar la calidad ambiental de la localidad.
- La entrevista a aplicar a la muestra de 98 personas con el propósito de determinar la percepción ciudadana sobre la calidad ambiental de la localidad.
- Sistema de aforo de la corriente mediante la cuantificación del tiempo transcurrido en llenar un recipiente de volumen determinado.
- La investigación bibliográfica con el propósito de seleccionar el sistema más apropiado para la modificación de la planta de tratamiento de aguas servidas.

3.2. CONSTRUCCIÓN METODOLÓGICA DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN

La construcción metodológica del objeto de investigación se realiza, mediante el árbol del problema que la caracteriza, y que se muestra en el esquema de la Figura 3.1.

Figura 3.1.

Esquema explicativo de la construcción metodológica del objeto de investigación.



Elaborada por: Bustamante, (2012).

3.3. ELABORACIÓN DEL MARCO TEÓRICO

El Marco Teórico fue elaborado mediante el planteo de los Antecedentes del tema investigado, describiendo los principales trabajos y hallazgos realizados sobre la temática bajo estudio. A continuación se elaboró la Fundamentación Conceptual, que describe, en forma de glosario, los términos claves para la comprensión de la temática. Seguidamente se construyó la Fundamentación Teórica, donde se le dio sustento, según la teoría correspondiente, a los objetivos específicos del estudio, principalmente, a través de las variables de investigación. Por último, se elaboró la Fundamentación Legal, que soporta, desde el punto de vista jurídico, a la investigación desarrollada, de acuerdo, a las más importantes leyes del país, legisladas tomando como base a la Constitución de la República.

3.4. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN EMPÍRICA

La información empírica se recolectó in situ, empleando los instrumentos ya referidos anteriormente y que sirvieron para la medición de las variables del estudio. Estos instrumentos fueron de origen primario, obteniéndose la información directamente de los sujetos involucrados o de los análisis de laboratorio practicados a las muestras consideradas.

3.4.1. Población

La población estuvo constituida por el agua residual doméstica que accede a la planta de tratamiento (primera laguna de la serie) y el efluente saliente del sistema de tratamiento (de la última laguna de la serie). Asimismo, el área urbana (ciudad de Palenque) a la que le presta servicios la planta de tratamiento bajo estudio, tiene una población de 4 783 habitantes.²⁰ Asimismo sirvió a este efecto, el conjunto de los efluentes líquidos del sistema de tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Palenque.

²⁰ MGDIF. FONDO PARA EL LOGRO DE LOS ODM. (2010). *Diseño Definitivo para la Construcción de una Batería Sanitaria 300 P. en la Escuela Nicolás Infante Díaz Perteneciente al Cantón Palenque – Provincia de Los Ríos*. Quito, Ecuador.

3.4.2. Muestra

A partir de las aguas residuales domésticas que entran al sistema de tratamiento y sus efluentes, se tomaron muestras en cada caso, los martes de cada una de tres semanas, en el horario de 08H00; es decir, 6 muestras (3 aguas arriba de la planta y 3 aguas abajo), durante el mes de junio (comienzo de la época no lluviosa, es decir, la veraniega).

En cuanto a la percepción ciudadana sobre el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas servidas de la ciudad de Palenque, se determinó una población de 180 habitantes, con al menos, cuarto nivel educacional. Empleando la ecuación del CIENES de Santiago de Chile:²¹

$$n = \frac{PQxN}{(N-1)\frac{\alpha^2}{K^2} + PQ}$$

Dónde:

n = Tamaño de la muestra

PQ = Probabilidad de ocurrencia por la de no ocurrencia = $0,5 \times 0,5 = 0,25$

N = tamaño de la población = 180 personas con nivel postgraduado;

α = intervalo o nivel de confianza = 0,05

K = constante de corrección del error = 2

Sustitución de valores en la ecuación:

$$n = \frac{0,25 \times 180}{(180 - 1)\frac{0,05^2}{2^2} + 0,25}$$

$n = 124$ miembros de muestra seleccionada

²¹ JIMENEZ, C. et al. (1999). Módulo de tutoría I. Programa de capacitación en liderazgo educativo. Ed. Unidad técnica EB/PRODEC. Ecuador.

Como se verá más adelante, de los 124 postgraduados sólo se pudieron localizar 98, que tuvieron disponibilidad y voluntad de participar en la entrevista programada y, que previamente fueron abordados para concertar fecha y hora de la entrevista, entregándoseles previamente la guía de la misma.

Los 98 elementos de la muestra fueron seleccionados según sus niveles educativos (sólo tercer nivel), teniendo en cuenta la complejidad y especificidad de la temática abordada en los ítems de la entrevista y, los resultados del último Censo Nacional de Población y Vivienda²² que permitieron la determinación de la calidad ambiental del entorno.

3.4.3. Procedimiento

Los procedimientos para la ejecución de la investigación se detallan a continuación, con base en los objetivos específicos de la misma:

- a) Para la caracterización del actual sistema de tratamiento de las aguas servidas se procedió a:
 - Confirmar la determinación del caudal de aguas servidas que accede a la primera laguna, mediante la realización de un sistema de aforo de la corriente y cuantificación del tiempo transcurrido en llenar un recipiente de volumen determinado.
 - Determinar la DBO₅, y de los ST y SST mediante análisis de laboratorio en el Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental (LABCESTTA, Riobamba) aplicado a muestras de entrada a la primera laguna de la serie y a la salida del sistema (segunda laguna).
 - Determinar la percepción ciudadana sobre actual sistema de tratamiento de las aguas servidas, según la aplicación de la guía de entrevista (Anexo 1), a la muestra poblacional de 98 personas adultas, con conocimientos sobre la temática.

²² Disponible en: <http://www.censo2010.org.mx/>

- b) Para la determinación de la calidad ambiental de la localidad, asociada al manejo de las aguas servidas de la misma, se procederá a:
- Determinación, 200 m aguas arriba y abajo del punto de impacto del efluente en el río Palenque, de los valores de los parámetros: Potencial de hidrógeno (pH), Coliformes Totales (CT), Sólidos Totales (ST), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Demanda Química de oxígeno (DQO), Demanda Química de Oxígeno de 5 días a 20 °C (DBO₅), Nitrógeno Total y Fósforo como fosfato (PO₄³⁻). Como ya se explicó, fueron seis muestras en total, durante 3 martes consecutivos, 3 aguas arriba y 3 aguas abajo.
 - Determinación del valor de la matriz de componentes ambientales diseñada al efecto y, su evaluación correspondiente, mediante la técnica de la observación directa, in situ, considerando los índices excelente (E), bien (B), regular (R) y mal (M).
- c) Con la utilización de la bibliografía disponible, se seleccionaron los procesos mejor opcionados, según la caracterización (DBO₅ y Sólidos Suspendidos Totales), se aplicaron los métodos de diseño más apropiados y según el espacio disponible, para la modificación del sistema de tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Palenque, provincia Los Ríos.

3.5. DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA

La información obtenida constó de un conjunto de datos cuantitativos, provenientes de los resultados de los análisis de laboratorio, que cuantificaron el nivel de contaminantes de los efluentes estudiados, así como de los aforos para el caudal de los mismos. De otra parte, también se obtuvieron datos cualitativos referidos a los resultados de la aplicación de los instrumentos guía

de entrevista, guía de observación directa y, del empleo de la técnica de investigación bibliográfica.

3.6. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de las entrevistas y de los análisis de laboratorio debidamente codificados fueron tabulados y analizados estadísticamente, calculándose y graficándose los porcentajes para su comparación respectiva. La información que se generó fue resumida, con lo cual se cubrieron los aspectos tratados en los formularios y, en las variables independiente y dependiente planteadas para la evaluación del estudio, las que tributaron al cumplimiento de los objetivos propuestos para el rechazo o aprobación de la hipótesis planteada.

3.7. CONSTRUCCIÓN METODOLOGICA DEL INFORME DE INVESTIGACIÓN

El informe de investigación se estructuró en seis capítulos, según el formato preexistente para las Tesis de Grado en la Unidad de Posgrado de la UTEQ. Dicha estructuración constó de los marcos contextual, teórico y metodológico del estudio; la exposición, análisis e interpretación de los datos obtenidos en el proceso investigativo, incluyendo la correspondiente aprobación o disprobación de la hipótesis; las conclusiones y recomendaciones atendiendo a los objetivos específicos planteados y; la descripción de la propuesta dirigida a la solución de la problemática, como lineamientos alternativos.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS EN RELACIÓN CON LA HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

4.1. ENUNCIADO DE LA HIPÓTESIS

El planteamiento hipotético del estudio se formuló como una afirmación conocida como hipótesis de investigación y, se enunció de la forma siguiente:

“El sistema de tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Palenque, provincia Los Ríos influye negativamente en la calidad ambiental de la localidad”.

4.2. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN EMPÍRICA PERTINENTE A LA HIPÓTESIS

4.2.1. Variable independiente: Sistema de tratamiento de las aguas servidas

4.2.1.1. Determinación del caudal de aguas servidas que accede al sistema

Mediante el método del aforo, empleando un balde de 20 dm³ de volumen y un cronómetro digital de alta precisión, se determinaron los tiempos de llenado según se muestran en la Tabla 4.1. De las 10 mediciones, eliminando el valor más alto (2,30 s) y el más bajo (1,96 s), se obtiene una media de los ocho valores restantes de 2,14 s, con una desviación estándar de 0,086 s y un coeficiente de variación de 4,02%.

Con estos datos se calcula el caudal de entrada al sistema de tratamiento mediante la ecuación:

$$Q_0 = \frac{V}{t_{medio}}$$

Donde:

Q_0 = Caudal medio de entrada al sistema (dm³/s).

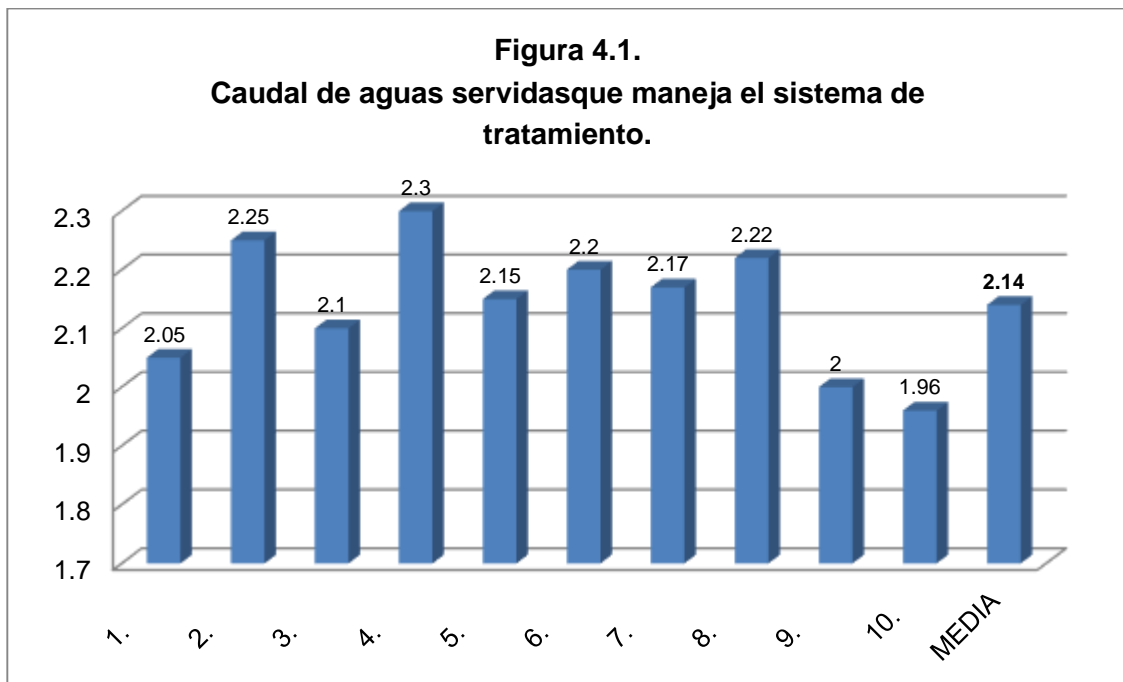
V = Volumen del recipiente = 20 dm³.

t_{medio} = Tiempo promedio de llenado del recipiente (s).

Tabla 4.1.
Cálculo del caudal de aguas servidas que maneja el sistema de tratamiento.

MEDICIÓN No.	TIEMPO (s)
1.	2,05
2.	2,25
3.	2,10
4.	2,30
5.	2,15
6.	2,20
7.	2,17
8.	2,22
9.	2,00
10.	1,96
MEDIA	2,14
DESV. ESTAND.	0,086
COEF. VARIAC.	4.02

Elaborada por: Bustamante, (2012).



Elaborada por: Bustamante, (2012).

De esta manera, el caudal sería:

$$Q_0 = \frac{20 \text{ dm}^3}{2,14 \text{ s}}$$

Es decir,

$$Q_0 = 9,35 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} = 807 \text{ 840}$$

El caudal de aguas servidas afluente al sistema de tratamiento es de 807,84 m³/d.

4.2.1.2. Determinación de las eficiencias de remoción de los parámetros indicadores de la contaminación por el sistema de tratamiento (oxigenación en el caso del OD)

En las Tablas desde la 4.2 hasta la 4.8 y gráficos de las Figuras de igual numeración, se presentan los resultados de los análisis de laboratorio de las muestras de los líquidos afluente y efluente del sistema de lagunas. Los resultados corresponden a Sólidos, Oxígeno Disuelto, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno de 5 días a 20 °C, Nitrógeno Total, Fósforo Total y, Coliformes Totales.

Las tablas están organizadas con base en cinco columnas: parámetro analizado en la primera columna; en la segunda y tercera columnas se muestran los valores de las concentraciones obtenidas para el afluente y para el efluente del sistema de tratamiento; mientras que en la cuarta columna se presentan las eficiencias de eliminación de cada parámetro en tanto porcentual. Los gráficos se elaboraron en barras, indicando cada una la eficiencia de remoción del parámetro graficado.

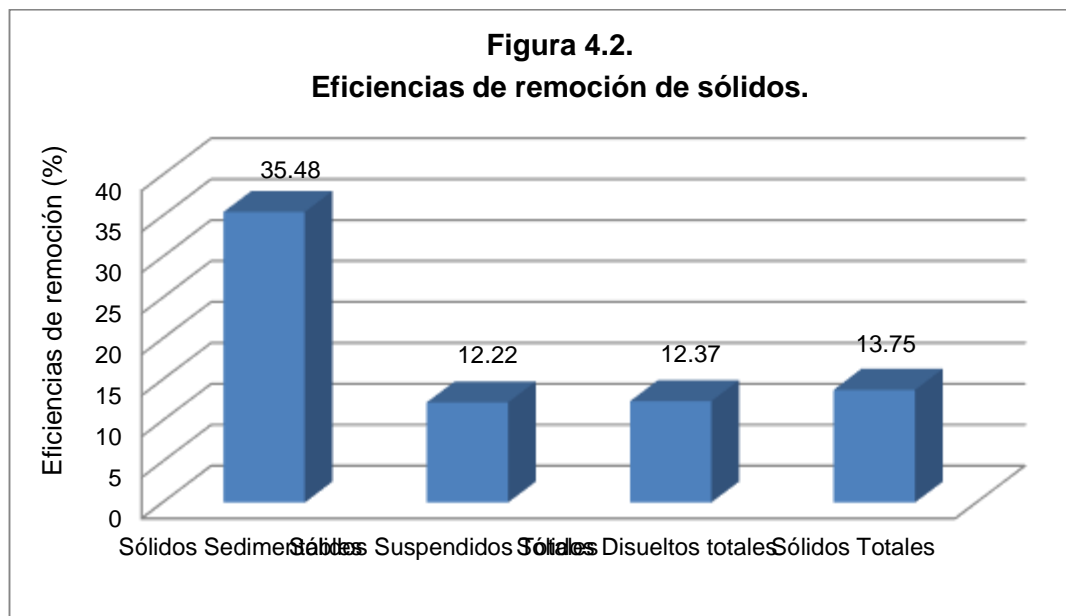
a) Sólidos

En cuanto a los sólidos, los resultados de los análisis de laboratorio (promedio de tres muestras) se muestran en las Tablas 4.2 para el afluente y el efluente y, en la última columna se muestran los valores de las eficiencias de remoción calculados.

Tabla 4.2.
Eficiencias de remoción de sólidos.

TIPO DE SÓLIDO	CONCENTRACIÓN (mg/dm ³)		EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
	AFLUENTE	EFLUENTE	
Sólidos Sedimentables	31	20	35,48
Sólidos Suspendidos Totales	450	395	12,22
Sólidos Disueltos totales	1738	1523	12,37
Sólidos Totales	2124	1832	13,75

Elaborada por: Bustamante, (2012).



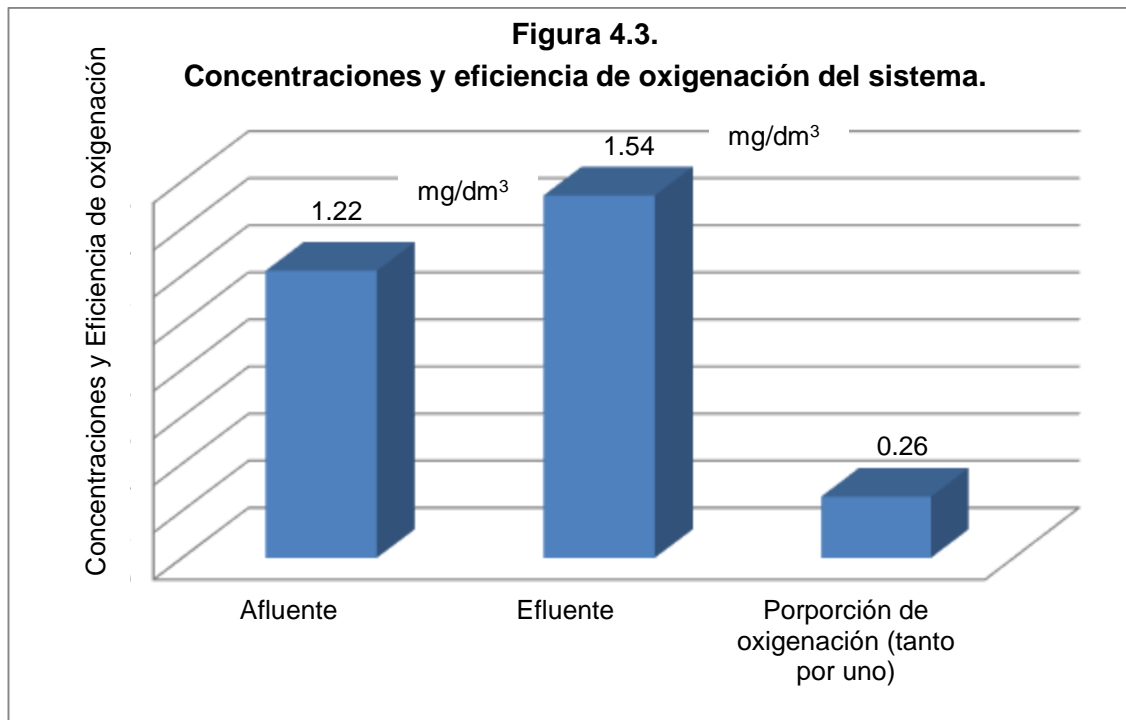
Elaborada por: Bustamante, (2012).

b) Oxígeno Disuelto (OD), medido in situ (analizador portátil) en tres muestras de afluente y tres de efluente al sistema de tratamiento

Tabla 4.3.
Concentraciones y eficiencia de oxigenación del sistema.

Oxígeno Disuelto	CONCENTRACIÓN (mg/dm ³)		EFICIENCIA DE OXIGENACIÓN (tanto por uno)
	AFLUENTE	EFLUENTE	
Valor medio	1,22	1,54	0,26

Elaborada por: Bustamante, (2012).



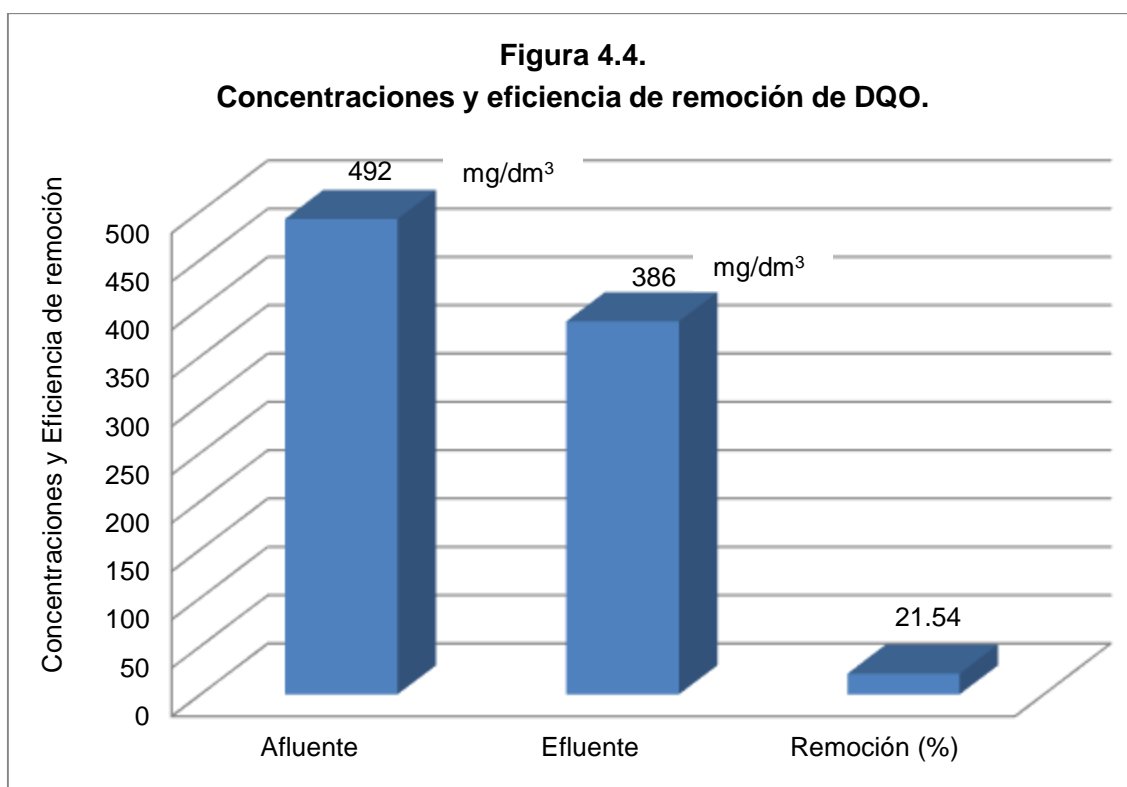
Elaborada por: Bustamante, (2012).

c) Demanda Química de Oxígeno (DQO) medida en tres muestras de afluente y tres de efluente al sistema de tratamiento

Tabla 4.4.
Concentraciones y eficiencia de remoción de DQO.

DQO	CONCENTRACIÓN (mg/dm ³)		EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
	AFLUENTE	EFLUENTE	
Valor medio	492	386	21,54

Elaborada por: Bustamante, (2012).



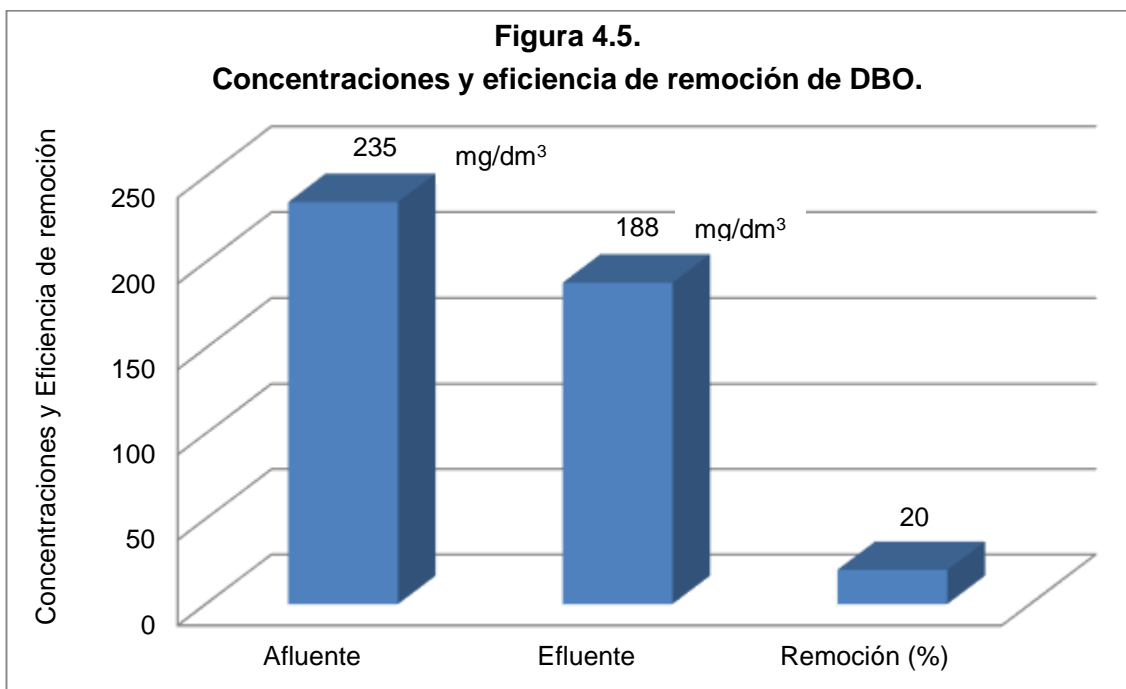
Elaborada por: Bustamante, (2012).

d) Demanda Bioquímica de Oxígeno de 5 días a 20 °C ($DBO_{5 \text{ a } 20 \text{ °C}}$) medida en tres muestras de afluente y tres de efluente al sistema de tratamiento

Tabla 4.5.
Concentraciones y eficiencias de remoción de DBO.

DBO	CONCENTRACIÓN (mg/dm^3)		EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
	AFLUENTE	EFLUENTE	
Valor medio	235	188	20,00

Elaborada por: Bustamante, (2012).



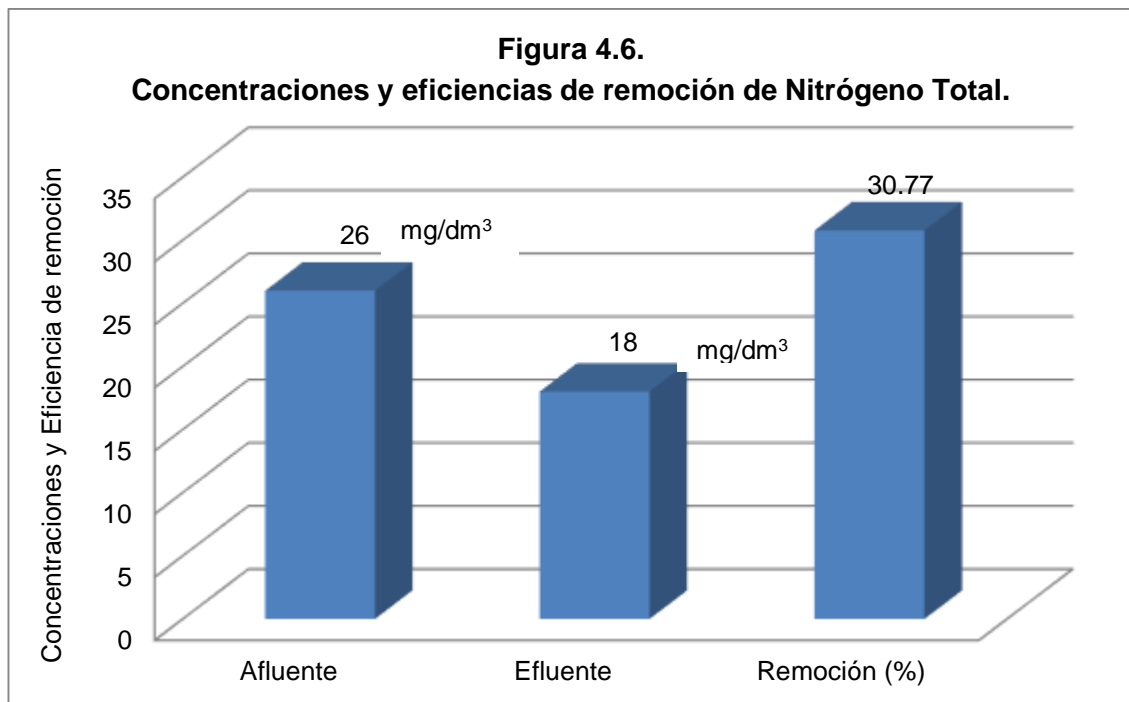
Elaborada por: Bustamante, (2012).

e) Nitrógeno Total medido en tres muestras de afluente y tres de efluente al sistema de tratamiento

Tabla 4.6.
Concentraciones y eficiencias de remoción de Nitrógeno Total.

Nitrógeno Total	CONCENTRACIÓN (mg/dm ³)		EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
	AFLUENTE	EFLUENTE	
Valor medio	26	18	30,77

Elaborada por: Bustamante, (2012).



Elaborada por: Bustamante, (2012).

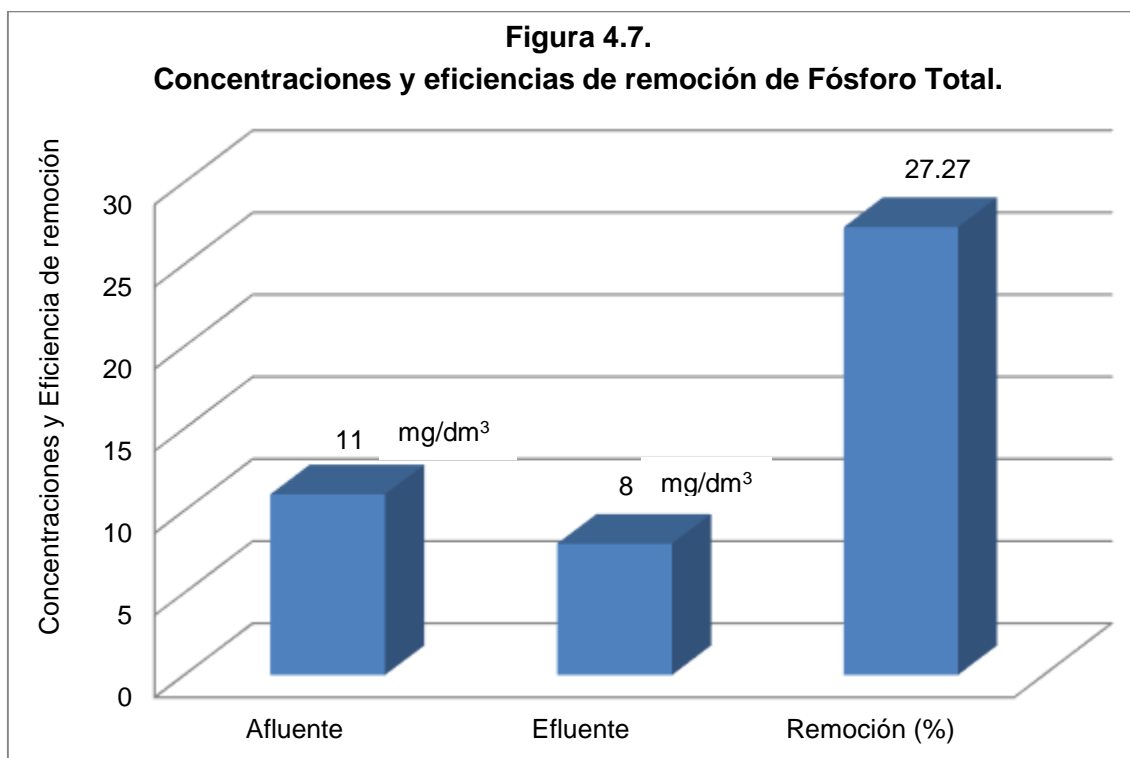
f) Fósforo (PO_4^{3-})

Fósforo Total medido en tres muestras de afluente y tres de efluente al sistema de tratamiento

Tabla 4.7.
Concentraciones y eficiencias de remoción de Fósforo Total.

Fósforo Total	CONCENTRACIÓN (mg/dm^3)		EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
	AFLUENTE	EFLUENTE	
Valor medio	11	8	27,27

Elaborada por: Bustamante, (2012).



Elaborada por: Bustamante, (2012).

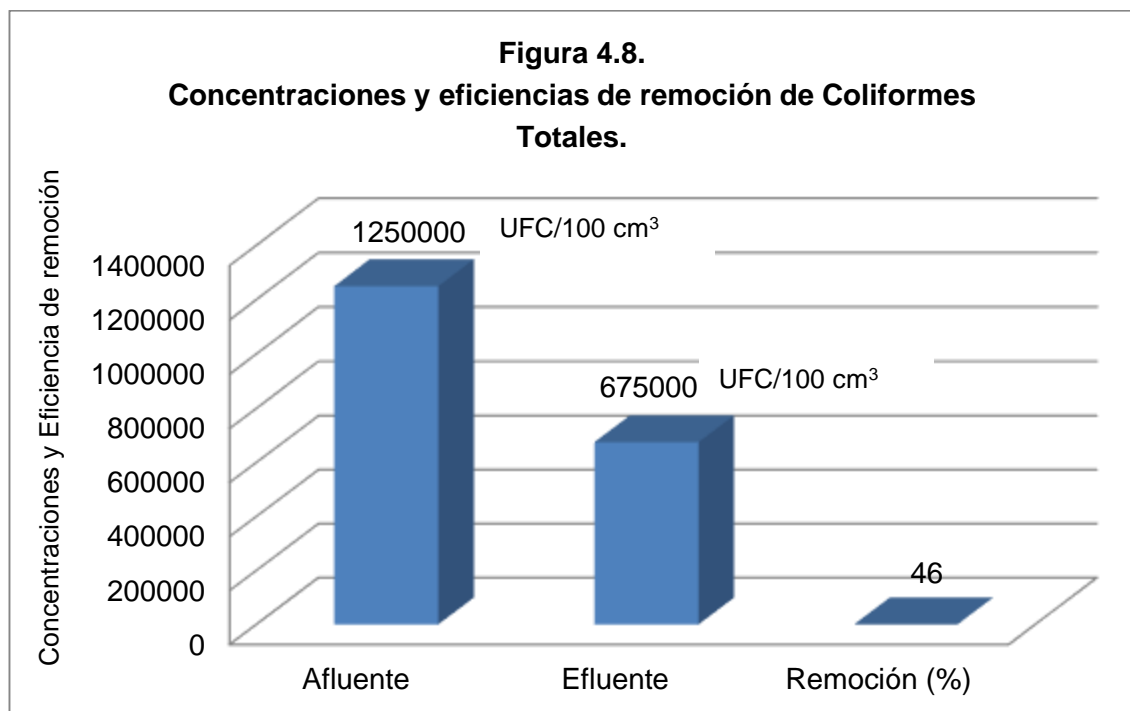
g) Coliformes Totales

Coliformes Totales medidos en tres muestras de afluente y tres de efluente al sistema de tratamiento

Tabla 4.8.
Concentraciones y eficiencias de remoción de Coliformes Totales.

Coliformes Totales	CONCENTRACIÓN (UFC/100cm ³)		EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
	AFLUENTE	EFLUENTE	
Valor medio	1,25 * 10 ⁶	6,75 * 10 ⁵	46,00

Elaborada por: Bustamante, (2012).



Elaborada por: Bustamante, (2012).

4.2.1.3. Determinación de las cargas contaminantes dispuestas en el río Palenque al nivel de la ciudad

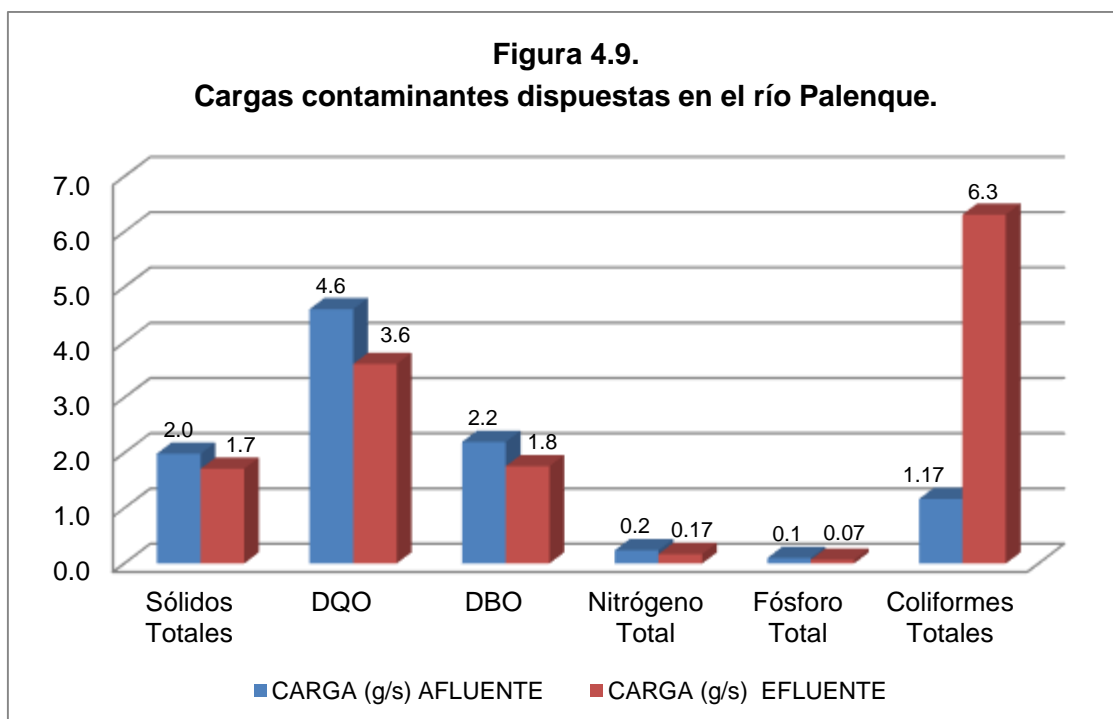
En la Tabla 4.9 se plantean las cargas contaminantes dispuestas en el río Palenque debido al efluente del sistema de tratamiento (lagunas) al que se someten las aguas servidas de la ciudad.

El caudal líquido que maneja el sistema de tratamiento es de 807,84 m³/d y, de acuerdo con este valor y los de las concentraciones de los parámetros indicadores de la contaminación considerados, las cargas máxicas descargadas al recurso hídrico río Palenque son las que se obtienen de multiplicar el caudal por las concentraciones.

Tabla 4.9.
Cargas contaminantes dispuestas en el río Palenque.

PARÁMETRO	CARGA (g/s)	CARGA (g/s)
	AFLUENTE	EFLUENTE
Sólidos Totales	19,86	17,13
DQO	4,60	3,61
DBO	2,20	1,76
Nitrógeno Total	0,24	0,17
Fósforo Total	0,10	0,07
Coliformes Totales	11687,50	6311,25

Elaborada por: Bustamante, (2012).



Elaborada por: Bustamante, (2012).

4.2.1.4. *Determinación de la percepción ciudadana (muestra de relativamente alto nivel educacional) sobre actual sistema de tratamiento de las aguas servidas*

En las Tablas desde la 4.10 hasta la 4.15 y gráficos de las Figuras de igual numeración, se muestran los resultados del instrumento de entrevista aplicado a una muestra de 98 personas con la característica de sus relativamente altos niveles educacionales, de manera que pudieron emitir criterios con conocimiento de causa en cada una de los aspectos indagados, sobre el actual sistema de tratamiento de las aguas servidas.

Las tablas cuentan con tres columnas; en la primera de ellas se presentan, el nivel académico en el caso del primer ítem y, los índices de la escala de Likert utilizados en el resto de ellas. Los gráficos son circulares, teniendo en cuenta el carácter porcentual de los datos con base en un total equivalente al tamaño de la muestra.

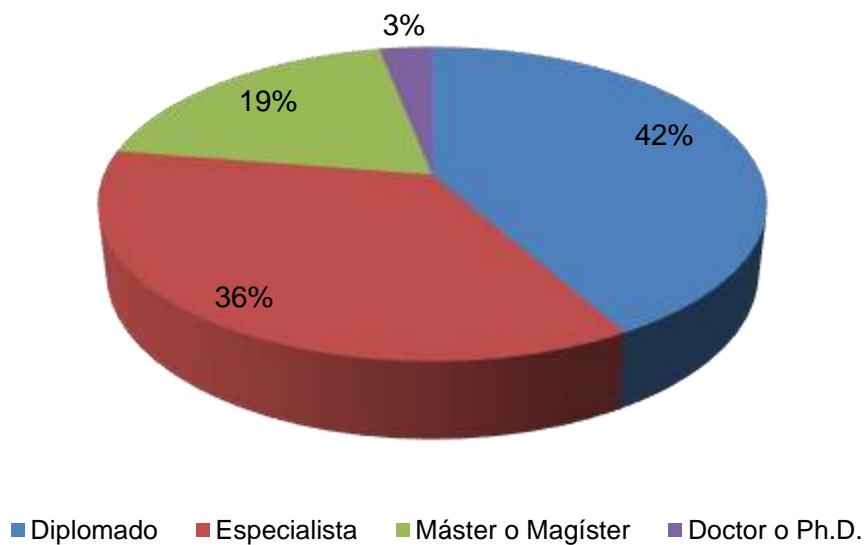
a) Su nivel de educación es

Tabla 4.10.
Nivel educacional de los miembros de la muestra.

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Diplomado	41	41,84
Especialista	35	35,71
Máster o Magíster	19	19,39
Doctor o Ph.D.	3	3,06
TOTAL	98	100,00

Elaborada por: Bustamante, (2012).

Figura 4.10.
Nivel educacional de los miembros de la muestra.



Elaborada por: Bustamante, (2012).

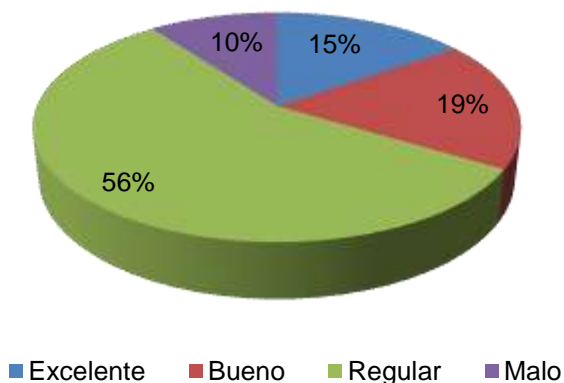
b) Su conocimiento sobre la existencia, forma y operación de la planta de tratamiento de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Palenque es

Tabla 4.11.
Conocimiento sobre la existencia, forma y operación de la planta de tratamiento de las aguas servidas.

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Excelente	15	15,31
Bueno	18	18,37
Regular	55	56,12
Malo	10	10,20
TOTAL	98	100,00

Elaborada por: Bustamante, (2012).

Figura 4.11.
Conocimiento sobre la existencia, forma y operación de la planta de tratamiento de las aguas servidas.



Elaborada por: Bustamante, (2012).

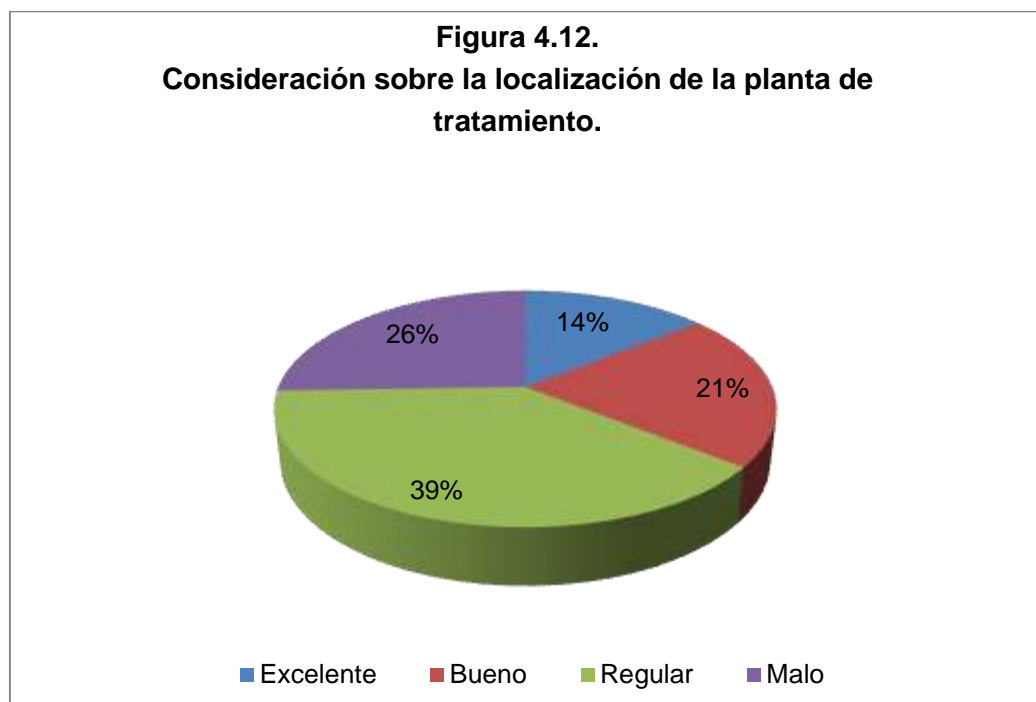
c) Considera Usted que la localización de la planta de tratamiento es

Tabla 4.12.

Consideraciones sobre la localización de la planta de tratamiento.

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Excelente	14	14,29
Bueno	21	21,43
Regular	38	38,78
Malo	25	25,51
TOTAL	98	100,00

Elaborada por: Bustamante, (2012).



Elaborada por: Bustamante, (2012).

d) Considera Usted que el dimensionamiento de la planta de tratamiento es

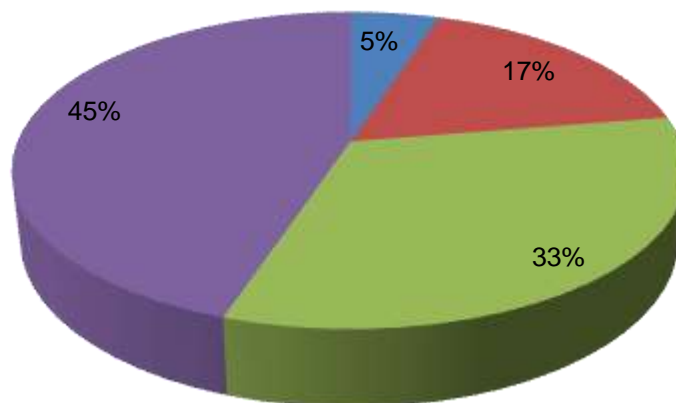
Tabla 4.13.

Consideraciones sobre el dimensionamiento de la planta de tratamiento.

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Excelente	5	5,10
Bueno	17	17,35
Regular	32	32,65
Malo	44	44,90
TOTAL	98	100,00

Elaborada por: Bustamante, (2012).

Figura 4.13.
Consideraciones sobre el dimensionamiento de la planta de tratamiento.



■ Excelente ■ Bueno ■ Regular ■ Malo

Elaborada por: Bustamante, (2012).

e) Considera Usted que la operación de la planta de tratamiento es

Tabla 4.14.

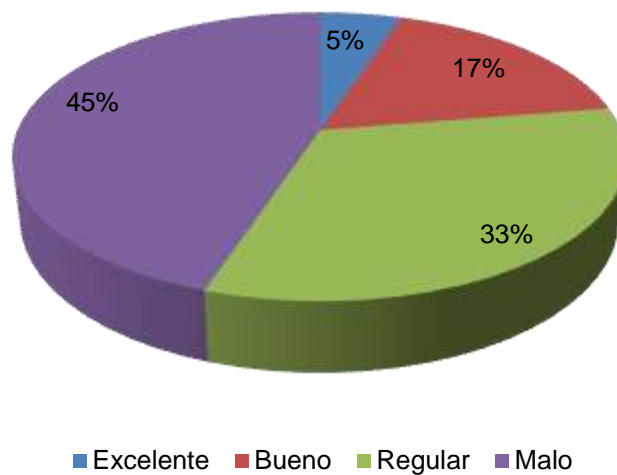
Consideraciones sobre la operación de la planta de tratamiento.

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Excelente	5	5,10
Bueno	17	17,35
Regular	32	32,65
Malo	44	44,90
TOTAL	98	100,00

Elaborada por: Bustamante, (2012).

Figura 4.14.

Consideraciones sobre la operación de la planta de tratamiento.



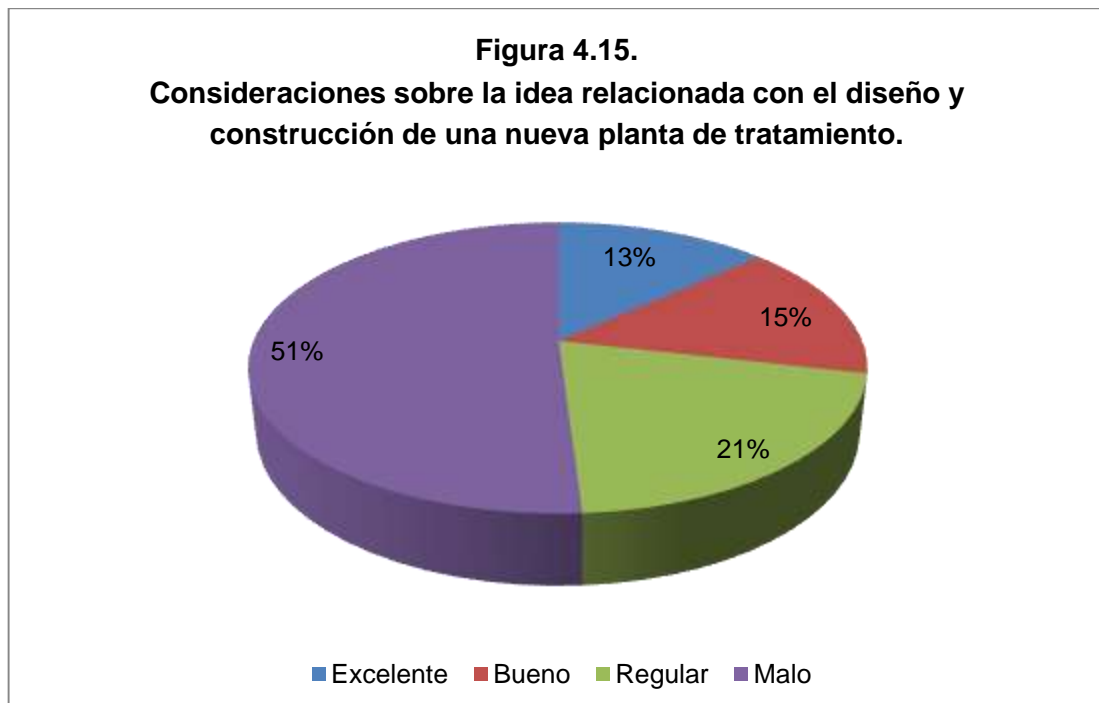
Elaborada por: Bustamante, (2012).

f) Considera Usted que cualquier idea relacionada con el diseño y construcción de una nueva planta de tratamiento para las aguas residuales domésticas de la ciudad de Palenque es

Tabla 4.15.
Consideraciones sobre la idea relacionada con el diseño y construcción de una nueva planta de tratamiento.

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Excelente	59	13,27
Bueno	23	15,31
Regular	12	20,41
Malo	4	51,02
TOTAL	98	100,00

Elaborada por: Bustamante, (2012).



Elaborada por: Bustamante, (2012).

4.2.2. Variable dependiente: Calidad ambiental de la localidad

4.2.2.1. Resultados sobre la calidad ambiental de la localidad por observación directa in situ por parte de tres especialistas

En la Tabla 4.16 se presentan los resultados de la calidad ambiental de la localidad por observación directa in situ. Consta de cuatro columnas principales, con el literal del componente ambiental, el componente ambiental, la calificación y evaluación y el puntaje representativo.

Tabla 4.16.
Calidad ambiental de la localidad por observación directa in situ.

No.	COMPONENTE AMBIENTAL	EVALUACIÓN				TOTAL
		5 E	3 B	1 R	0 M	
a)	Agua superficial			X 1		1
b)	Agua subterránea		X 3			3
c)	Aire			X 1		1
d)	Suelos agrícolas			X 1		1
e)	Suelos forestales		X 3			3
f)	Flora terrestre			X 1		1
g)	Flora acuática			X 1		1
h)	Fauna terrestre			X 1		1
i)	Fauna acuática			X 1		1
j)	Salud humana			X 1		1
k)	Paisaje				X 0	0
l)	Recreación				X 0	0
TOTAL ALCANZADO		14				
TOTAL POSIBLE DE ALCANZAR		60				
PORCENTAJE ALCANZADO		23,33				
EVALUACIÓN		ALTA ADVERSIDAD				

Elaborada por: Bustamante, (2012).

4.2.2.2. *Resultados sobre la calidad ambiental de la localidad por percepción ciudadana (muestra de relativamente alto nivel educacional)*

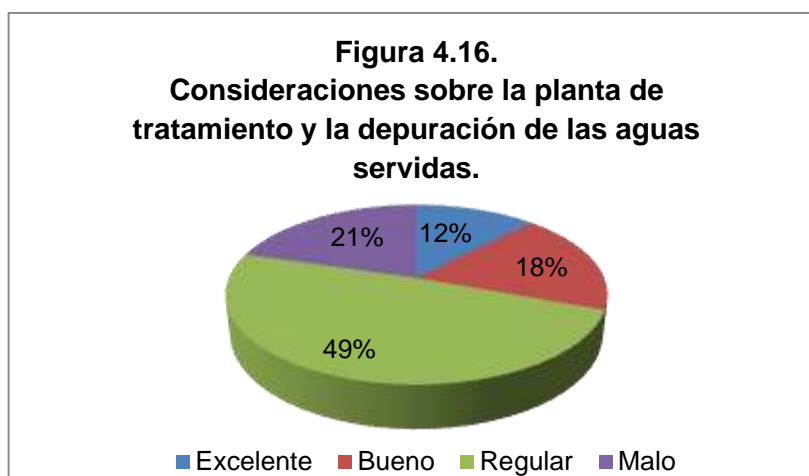
En las Tablas desde la 4.17 hasta la 4.23 y, gráficos de las Figuras desde la 4.16 hasta la 4.22, se plantean los resultados de la percepción ciudadana sobre la calidad ambiental de la localidad, estas son similares a las de los resultados de la percepción ciudadana sobre la operación de la planta y, los gráficos son análogos a los circulares descritos anteriormente.

- a) Considera Usted que el aporte a la depuración de las aguas servidas de la ciudad de Palenque, por la planta de tratamiento es

Tabla 4.17.
Consideraciones sobre la planta de tratamiento y la depuración de las aguas servidas.

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Excelente	12	12,24
Bueno	18	18,37
Regular	48	48,98
Malo	20	20,41
TOTAL	98	100,00

Elaborada por: Bustamante, (2012).



Elaborada por: Bustamante, (2012).

b) Considera Usted que la calidad de los recursos hídricos, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Palenque, es

Tabla 4.18.

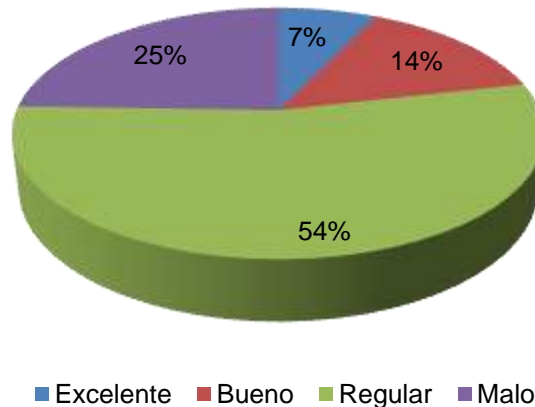
Consideraciones sobre la calidad de los recursos hídricos, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas.

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Excelente	7	7,14
Bueno	14	14,29
Regular	53	54,08
Malo	24	24,49
TOTAL	98	100,00

Elaborada por: Bustamante, (2012).

Figura 4.17.

Consideraciones sobre la calidad de los recursos hídricos, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas.



Elaborada por: Bustamante, (2012).

- c) Considera Usted que la calidad del recurso aire, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Palenque, es

Tabla 4.19.

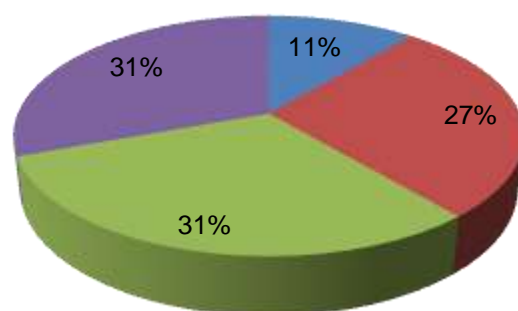
Consideraciones sobre la calidad del recurso aire, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas.

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Excelente	11	11,22
Bueno	27	27,55
Regular	30	30,61
Malo	30	30,61
TOTAL	98	100,00

Elaborada por: Bustamante, (2012).

Figura 4.18.

Consideraciones sobre la calidad del recurso aire, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas.



■ Excelente ■ Bueno ■ Regular ■ Malo

Elaborada por: Bustamante, (2012).

d) Considera Usted que la calidad del recurso suelo, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Palenque, es

Tabla 4.20.

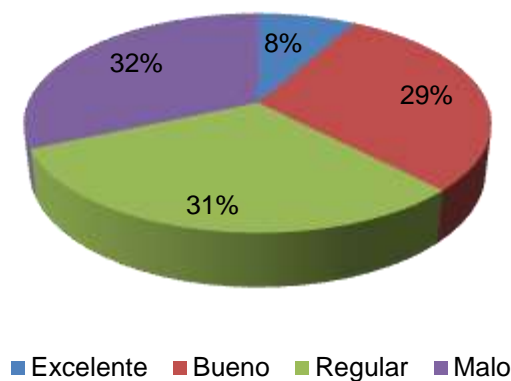
Consideraciones sobre la calidad del recurso suelo, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas.

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Excelente	8	8,16
Bueno	29	29,59
Regular	30	30,61
Malo	31	31,63
TOTAL	98	100,00

Elaborada por: Bustamante, (2012).

Figura 4.19.

Consideraciones sobre la calidad del recurso suelo, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas.



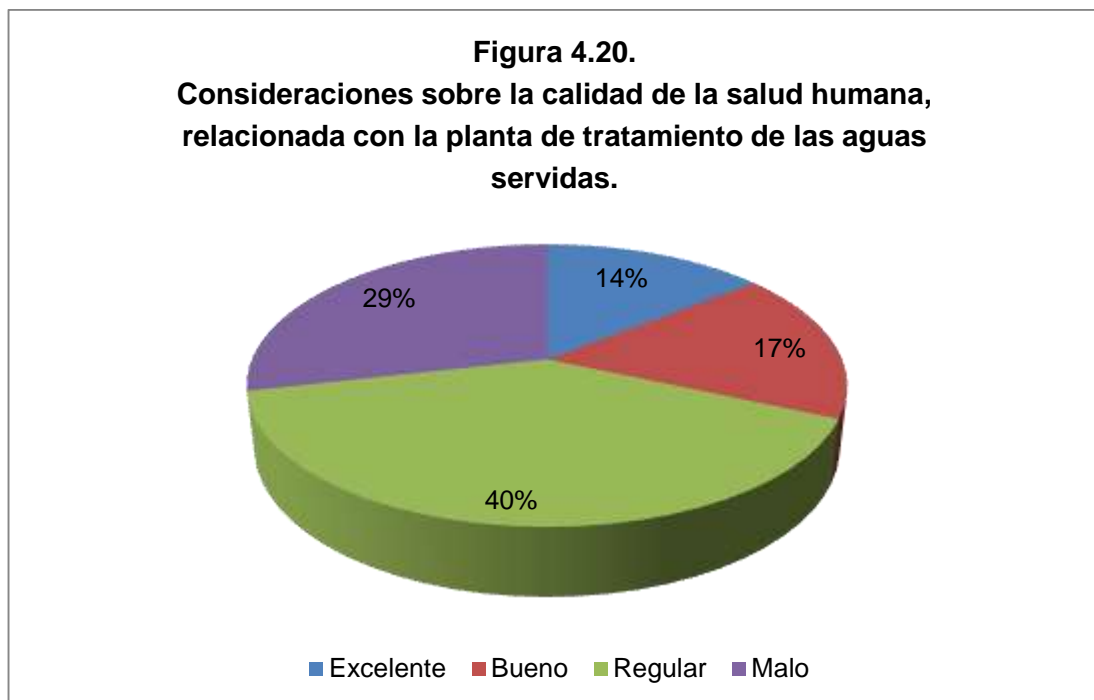
Elaborada por: Bustamante, (2012).

- e) Considera Usted que la calidad de la salud humana, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Palenque, es

Tabla 4.21.
Consideraciones sobre la calidad de la salud humana, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas.

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Excelente	14	14,29
Bueno	17	17,35
Regular	39	39,80
Malo	28	28,57
TOTAL	98	100,00

Elaborada por: Bustamante, (2012).



Elaborada por: Bustamante, (2012).

- f) Considera Usted que la calidad del recurso flora, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Palenque, es

Tabla 4.22.

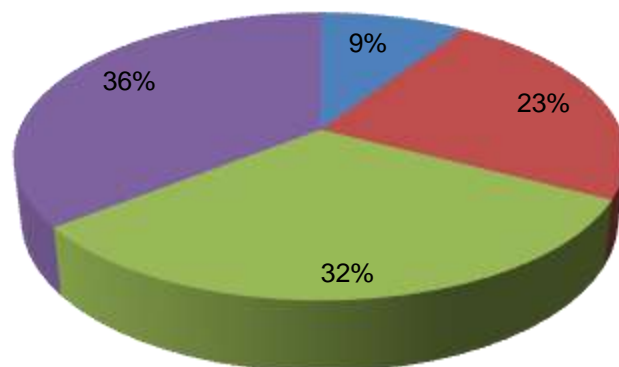
Consideraciones sobre la calidad del recurso flora, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas.

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Excelente	9	9,18
Bueno	23	23,47
Regular	31	31,63
Malo	35	35,71
TOTAL	98	100,00

Elaborada por: Bustamante, (2012).

Figura 4.21.

Consideraciones sobre la calidad del recurso flora, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas.



■ Excelente ■ Bueno ■ Regular ■ Malo

Elaborada por: Bustamante, (2012).

g) Considera Usted que la calidad del recurso fauna, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Palenque, es

Tabla 4.23.

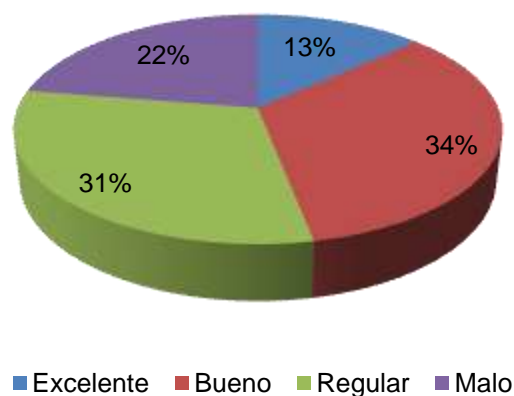
Consideraciones sobre la calidad del recurso fauna, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas.

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Excelente	13	13,27
Bueno	33	33,67
Regular	30	30,61
Malo	22	22,45
TOTAL	98	100,00

Elaborada por: Bustamante, (2012).

Figura 4.22.

Consideraciones sobre la calidad del recurso fauna, relacionada con la planta de tratamiento de las aguas servidas.



Elaborada por: Bustamante, (2012).

4.2.2.3. Resultados del indicador Índice de Calidad del Agua (ICAGUA) arriba y abajo del punto de impacto en el río

En la Tabla 4.24 se presentan los resultados correspondientes a los valores medios para tres muestras, de las concentraciones de los parámetros indicadores de la contaminación, Potencial de Hidrógeno, Sólidos Disueltos Totales, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitrógeno (como nitrato), Fósforo Total y Coliformes Totales, tanto 200 m aguas arriba del punto de impacto con los efluentes del sistema de lagunas como 200 m aguas debajo de dicho punto.

Como el valor del ICAGUA es una media pesada porcentual, es posible la determinación, de la misma manera de la media pesada de la desviación estándar, que también es una medida porcentual.

Tabla 4.24

Concentraciones de los parámetros indicadores aguas arriba y abajo del punto de impacto en el río Palenque.

PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN 200 m AGUAS ARRIBA DEL IMPACTO (mg/dm ³)			CONCENTRACIÓN 200 m AGUAS ABAJO DEL IMPACTO (mg/dm ³)		
	MEDIA	DESV. EST.	DESV. EST. MEDIA PESADA	MEDIA	DESV. EST.	DESV. EST. MEDIA PESADA
pH*	7,8	0,63	(0,63)(1) = 0,63	6,9	0,52	(0,52)(1) = 0,52
SDT	290	12	(12)(2) = 24	431	19	(19)(2) = 38
DQO	13	3	(3)(3) = 9	22	4	(4)(3) = 12
DBO	4	0,34	(0,34)(3) = 1,02	11	0,79	(0,79)(3) = 2,37
Nitrógeno (nitrato)	9	1,10	(1,1)(2) = 2,2	17	1,51	(1,51)(2) = 3,02
Fósforo Total	1,1	0,13	(0,13)(1) = 0,13	3,4	0,13	(0,13)(1) = 0,13
Coliformes Totales**	19	2,16	(2,16)(3) = 6,48	95	3,25	(3,25)(3) = 9,75
VALOR PROMEDIO DE LA MEDIA PESADA DE LA DESV EST.			0,441	VALOR PROMEDIO DE LA MEDIA PESADA DE LA DESV EST.		0,627

* Se considera adimensional (logaritmo de la concentración de hidrogeniones)

** UFC/100 cm³

Cálculo del ICAGUA:

$K = 0,75$ (para aguas con ligero color, espumas, ligera turbidez aparentemente no natural).

$$ICAGUA_{AGUAS ARRIBA} = 0,75 \left(\frac{50(1) + 88,4(2) + 53,33(3) + 60(3) + 45(2) + 88(1) + 100(3)}{1 + 2 + 3 + 3 + 2 + 1 + 3} \right)$$

$$ICAGUA_{AGUAS ARRIBA} = 53,89\%$$

$$ICAGUA_{AGUAS ABAJO} = 0,75 \left(\frac{50(1) + 82,76(2) + 31,67(3) + 15(3) + 26(2) + 84(1) + 99(3)}{1 + 2 + 3 + 3 + 2 + 1 + 3} \right)$$

$$ICAGUA_{AGUAS ABAJO} = 39,43\%$$

4.3. DISCUSIÓN DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA EN RELACIÓN A LA NATURALEZA DE LA HIPÓTESIS

Los datos que se presentan y discuten en la presente investigación fueron obtenidos en el período de seca, verano, que por la poca lluvia que se produce, los volúmenes de agua se reducen significativamente y, por tanto, las concentraciones de los parámetros se incrementan también significativamente, siendo en este caso más importante el deterioro que se causa por sobrepasar límites permitidos, tanto en cargas como en concentraciones.

El caudal obtenido, de 807,84 dm³/s, se corresponde con los valores normales que se obtienen para poblaciones del tamaño de la ciudad de Palenque, particularmente aquella que es abastecida por el servicio de agua potable y aquella que también se sirve del sistema de alcantarillado de la localidad. Entonces las cargas contaminantes del afluente al sistema de tratamiento y del efluente que se descarga en el río, no pueden ser comparadas con la normativa vigente, pues en la misma se ha cometido el error de consignar concentraciones límites, en vez de cargas; es decir, los productos del caudal

por las respectivas concentraciones de los parámetros indicadores de la contaminación. Esta dificultad ya ha sido planteada por Leiva (2011)²³.

De cualquier manera que se analice, las cargas contaminantes obtenidas son relativamente altas, particularmente las correspondientes al efluente del sistema de tratamiento, lo cual se corresponde con el criterio de que dicho órgano de depuración no está cumpliendo rol para el que fue diseñado y construido.

Los valores de las concentraciones de los parámetros analizados como indicadores de la contaminación, para el afluente y efluente del sistema de lagunas que debía funcionar satisfactoriamente en el tratamiento de las aguas servidas de la localidad, demuestran que las eficiencias de remoción son relativamente bajas, estando entre el 14% para los Sólidos Totales y 46% para los Coliformes Totales. Esto indica la necesidad de realizar cambios drásticos en el diseño y operación del sistema, particularmente empleando sistemas de tratamiento compactos, que no colapsen en la época lluviosa.

En cuanto a la eficiencia de oxigenación del sistema, esta es insuficiente, de sólo el 26%, lo que implica la posibilidad real de anoxia en el recurso hídrico, solamente 1,54 mg/dm³ de Oxígeno Disuelto, lo cual es inadmisibles en cuanto a lo mínimo necesario para el sostenimiento de la vida acuática y la calidad del agua, que debe estar en los alrededores de 3,5 mg/dm³.

Tanto el nitrógeno como el fósforo del efluente que se descarga al río se constituyen en problemas, puesto que debido a los elevados valores de sus concentraciones, causan la eutrofización, crecimiento desmedido de materia verde, impidiendo el uso del río en menesteres como la recreación, la pesca, reduciéndose significativamente la calidad paisajística.

²³ Leiva, A. 2011. *Usos del Agua y Normativa de Calidad*. Libro de texto de la Unidad de Aprendizaje del mismo nombre del V Módulo de la carrera de Gestión Ambiental, Facultad de Ciencias Ambientales, UTEQ, Quevedo, Ecuador.

A pesar de que la remoción de los Coliformes Totales fue la mayor de las obtenidas con un 46%, aun la concentración de los mismos en el efluente del sistema de tratamiento, sigue siendo alto, sobrepasando la normativa vigente, aunque es imposible comparar la carga obtenida con la carga normada, debido a lo que ya fue explicado anteriormente como una deficiencia de la norma.

La percepción ciudadana (criterios obtenidos a través de una muestra de “expertos”, con un nivel mínimo de Bachillerato) sobre la eficiencia en el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas servidas, en general lo evalúa como regular o malo, es decir, no satisfactorio, lo cual queda demostrado a través de una parte de la correspondiente verificación de la hipótesis.

Asimismo, en cuanto a la calidad ambiental de la localidad, con base en la misma muestra, también se puso de manifiesto, la inconformidad de la población con las bondades ambientales de la ciudad, en cuanto al tratamiento de sus aguas servidas. Se evidencian, subjetivamente, no conformidades ambientales en los recursos agua, aire, suelo y en el componente salud humana, particularmente en los moradores de las áreas cercanas al sistema de lagunas.

Los resultados de la matriz sobre la calidad ambiental de la localidad por observación directa in situ por parte de especialistas, rindió solamente un 24% del puntaje total a alcanzar, al tener en cuenta, para el área de estudio, a las aguas superficial y subterránea, al aire, a los suelos agrícolas y forestales, a las floras terrestre y acuática, a las faunas terrestre y acuática, a la salud humana, al paisaje y, a la recreación.

Los resultados del indicador Índice de Calidad del Agua (ICAGUA) arriba y abajo del punto de impacto en el río, demuestran que la planta de tratamiento de las aguas servidas genera un efluente que deteriora la calidad ambiental del río, según los parámetros estudiados. El Índice de Calidad del Agua se redujo

desde 53,89 hasta 39,43%, lo que implica un deterioro de la Calidad Ambiental de:

$$\text{Reducción del Nivel de Calidad Ambiental} = \frac{39,43 - 53,89}{53,89} \times 100 = -26,83\%$$

Resulta novedoso e injustificable que un sistema de tratamiento de algún ente contaminante que invada un recurso, cuyo propósito es la eliminación o mitigación de su poder contaminante, opere de manera contraproducente, es decir, la calidad del agua del río es inferior antes del impacto que después del mismo. Deberá lograrse que, al menos, no se produzca deterioro ambiental al impactar los efluentes de las aguas servidas en el seno del río.

Cabe destacarse que todo lo anteriormente planteado fue verificado estadísticamente mediante la Teoría de la Decisión Estadística, con base en el empleo de las distribuciones de frecuencia apropiadas según los casos: las muestras pequeñas, a través de la t de Student y las relativamente grandes, aplicando la distribución normal, siempre con elevados niveles de confianza.

4.4. COMPROBACIÓN / DISPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

Para la comprobación / disprobación de hipótesis se elaboró la Tabla 4.25, que resume los resultados de la percepción ciudadana sobre la operación del actual sistema de tratamiento de las aguas servidas de la localidad bajo estudio, y los correspondientes a dicha percepción, pero sobre en la calidad ambiental de la localidad. Para la construcción de esta Tabla se agruparon las frecuencias sumadas de Excelente y Bien y, de otra parte, las de Regular y Mal.

a) Prueba de hipótesis con respecto a la percepción ciudadana

- Para la variable independiente (sistema de tratamiento de las aguas servidas) se debe decidir entre las hipótesis:

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ y no hay diferencias entre las medias de ambas agrupaciones.

$H_0 : \mu_1 < \mu_2$ y la media del primer grupo (excelente – bueno) es menor que la del segundo grupo (regular – malo).

Bajo la hipótesis $H_0: \mu_{X1Media-X2Media} = 0$ y $\sigma_{X1Media-X2Media} =$

$$\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}} = \sqrt{\frac{8,96^2}{216} + \frac{4,38^2}{372}} = 0,6506$$

Donde se ha empleado las desviaciones estándar muestrales como estimaciones de σ_1 y σ_2 .

$$\text{Entonces } Z = \frac{X1Media - X2Media}{\sigma_{X1Media - X2Media}} = \frac{18,4 - 30,6}{0,6506} = -18,75$$

Con base en una prueba de una cola a un nivel de significación de 0,002 (99,8% de confianza), se rechazaría H_0 si el valor Z fuera menor que $-3,08$. Como el valor de Z obtenido fue de $-18,75$; que es menor que $-3,08$; se rechaza H_0 y, la media del primer grupo (excelente – bueno) es menor que la del segundo grupo (regular – malo). Con esto queda demostrado que, según la percepción ciudadana, empleando una muestra de “expertos”, el actual sistema de tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Palenque, es de “regular” a “malo”; es decir, no es satisfactorio y deberá ser mejorado o rediseñado.

- Para la variable dependiente (calidad ambiental de la localidad) se debe decidir entre las hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2$ y no hay diferencias entre las medias de ambas agrupaciones.

$H_1: \mu_1 < \mu_2$ y la media del primer grupo (excelente – bueno) es menor que la del segundo grupo (regular – malo).

Bajo la hipótesis $H_0: \mu_{X1Media-X2Media} = 0$ y $\sigma_{X1Media-X2Media} =$

$$\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}} = \sqrt{\frac{8,21^2}{184} + \frac{9,18^2}{306}} = 0,8011$$

Donde se ha empleado las desviaciones estándar muestrales como estimaciones de σ_1 y σ_2 .

$$\text{Entonces } Z = \frac{X1Media - X2Media}{\sigma_{X1Media - X2Media}} = \frac{16,79 - 32,21}{0,8011} = -19,25$$

Con base en una prueba de una cola a un nivel de significación de 0,002 (99,8% de confianza), se rechazaría H_0 si el valor Z fuera menor que $-3,08$. Como el valor de Z obtenido fue de $-19,25$; que es menor que $-3,08$; se rechaza H_0 y, la media del primer grupo (excelente – buena) es menor que la del segundo grupo (regular – mala). Con esto queda demostrado que, según la percepción ciudadana, empleando una muestra de “expertos”, la calidad ambiental de la localidad bajo estudio, es de “regular” a “mala”; es decir, no es satisfactoria y deberá tomarse medidas para incrementarla.

Tabla 4.25.

Resumen de resultados de la percepción ciudadana sobre las dos variables de la investigación: “sistema de tratamiento” y “calidad ambiental”.

ALTERNATIVAS	SISTEMA DE TRATAMIENTO			CALIDAD AMBIENTAL		
	FRECUENCIA	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	FRECUENCIA	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Excelente – Bueno	216	18,4	8,96	184	16,79	8,21
Regular – Malo	372	30,6	4,38	306	32,21	9,18
TOTAL	588	100,00		490	100,00	

Elaborada por: Bustamante, (2012).

b) Prueba de hipótesis con respecto a la determinación del ICAGUA

Se elaboró la Tabla 4.26 donde se presentan los valores obtenidos del indicador ICAGUA, antes y después del punto de impacto de los efluentes del sistema de tratamiento y, los valores de las desviaciones estándar medias pesadas.

Tabla 4.26.
Valores obtenidos del indicador ICAGUA y las desviaciones estándar medias pesadas.

ICAGUA	DESV. EST. MEDIAS PESADAS
$ICAGUA_{AGUAS ARRIBA} = 53,89\%$	0,441
$ICAGUA_{AGUAS ABAJO} = 39,43\%$	0,627

Elaborada por: Bustamante, (2012).

Empleando la teoría de las muestras pequeñas, mediante la distribución de la “t” de Student:

Si μ_1 y μ_2 denotan la media de la población de los ICAGUA’s de ambos lados del punto de impacto en el río, se tiene que decidir entre las hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2$ y no hay diferencias significativas entre los valores de ambos ICAGUA’s.

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ y hay una diferencias significativa entre los valores de ambos ICAGUA’s.

Bajo la hipótesis H_0 , $t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}}$ donde $\sigma = \sqrt{\frac{N_1 S_1^2 + N_2 S_2^2}{N_1 + N_2 - 2}}$

$N_1 = N_2 = 7$

$$\bar{X}_1 = 53,89$$

$$\bar{X}_2 = 39,43$$

$$S_1 = 0,441$$

$$S_2 = 0,627$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{7(0,441^2) + 7(0,627^2)}{7 + 7 - 2}} \quad \sigma = 0,3428$$

$$t = \frac{53,89 - 39,43}{0,3428 \sqrt{\frac{1}{7} + \frac{1}{7}}} \quad t = 78,92$$

Para una prueba de una cola con un nivel de significación del 0,005; se adopta la regla de decisión: rechazar H_0 si $t > t_{0,995}$; que para 12 grados de libertad es el recorrido $-3,06$ a $3,06$. Por lo tanto, se puede rechazar H_0 a un nivel de significación del 0,005; es decir, con un 99,5% de confianza de no estar equivocado al hacerlo. De esta manera se comprueba que la calidad del agua más abajo del punto de impacto es significativamente menor que la correspondiente a aguas arriba de dicho punto. O sea, que el sistema de tratamiento, lejos de cumplir con el propósito para el que fue diseñado y construido, más bien está causando negatividades en la calidad del agua del río Palenque.

Este resultado indica que es necesaria la implementación de un sistema de tratamiento de las aguas servidas de la localidad bajo estudio, que coadyuve a la reducción significativa de las concentraciones de los parámetros indicadores de la contaminación.

4.5. CONCLUSIÓN PARCIAL

La principal conclusión que parcialmente puede inferirse de los resultados obtenidos puede ser expresada como sigue:

Existe un diseño, construcción y manejo deficiente, además del propio sistema seleccionado para la planta de tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Palenque, lo cual se plantea atendiendo, tanto a la percepción ciudadana con base en una muestra de personas con nivel académico mínimo de Bachillerato, como a los resultados de los análisis de laboratorio para parámetros indicadores de la contaminación, como pH, Sólidos Disueltos Totales, Demanda Química y Bioquímica de Oxígeno, Nitrógeno (nitrato), Fósforo Total y Coliformes Totales, determinados al afluente y efluente del sistema de lagunas que funciona.

La aseveración anterior está sustentada por las verificaciones de hipótesis correspondientes, las cuales permitieron afirmar ello con niveles de confianza tan altos como 99,9% y, que es la causa principal del deterioro de la calidad ambiental, no sólo del río Palenque, sino también de la localidad en su conjunto, es decir, de los recursos aire, suelo y salud humana, además de otras fuentes de agua, ya sean subterráneas o superficiales. Esto último también fue verificado con elevados niveles de confianza, tanto por el resultado de la matriz de impactos obtenido a partir del trabajo en observación directa, en el área de estudio.

De todo lo concluido hasta aquí, se puede inferir la necesidad del rediseño o mejoramiento del sistema de tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Palenque, de manera que se propicie la obtención de mayores eficiencias de trabajo en la remoción de materiales contaminantes, lo cual contribuirá al mejoramiento de la calidad ambiental del río del mismo nombre y del resto de componentes ambientales de la localidad.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Tomando como base a la hipótesis del estudio realizado, se pueden puntualizar las siguientes conclusiones:

- a) El actual sistema de tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Palenque está caracterizado por un sistema de dos lagunas de 7 882 m² (148 m x 54 m) de superficie y una hondonada natural de depósito de efluentes de 18 000 m² (300 m x 60 m). La primera laguna tiene 0,30 m de profundidad en el sector de entrada, debido a la acumulación de sólidos sedimentados y de 0,50 m en el sector de salida y; la segunda 0,30 m de profundidad en ambos sectores. Destacándose la poca profundidad de las mismas, lo cual debería corresponderse con procesos aerobios, sin embargo, ya ha sido discutido el bajo nivel de Oxígeno Disuelto de su efluente. La hondonada en cambio tiene una profundidad de 12 m, donde proliferan los procesos anaerobios, que provocan el oscurecimiento del agua, malos olores, deterioro de la calidad paisajística y, contaminación en general.
- b) El agua efluente de la planta de tratamiento posee características físicas, químicas y biológicas, que con excepción del pH, no se corresponden con las de las aguas del río, las cuales están mucho menos contaminadas al arribar al punto de impacto. Esto provoca que el río presente deterioro en cuanto a la calidad de sus aguas al mezclarse con el efluente del sistema de tratamiento de las aguas servidas.
- c) La calidad ambiental de la localidad, asociada al manejo de las aguas servidas de la misma, es de “regular” a “mala”, según la percepción ciudadana de una muestra especialmente seleccionada en cuanto a su nivel académico, así como con base en el resultado de la matriz de evaluación de impactos ambientales, lo cual se suma a lo concluido anteriormente sobre el agua del río.

- d) Se propone la modificación del sistema de tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Palenque, provincia Los Ríos, con base en un reactor aireado compacto de conocido como sistema de lodos o fangos activados.

5.1. RECOMENDACIONES

- a) Socializar entre autoridades cantonales y población en general, la propuesta de modificación del sistema de tratamiento de aguas servidas de la ciudad de Palenque.
- b) Que se implemente dicha propuesta como una vía de recuperación de la calidad ambiental de la localidad.
- c) Que se evalúe periódicamente la eficiencia del sistema implementado, tomándose las medidas tecnológicas de corrección necesarias, en caso de que hubiera desviaciones del comportamiento de la planta y, estén afectando su eficiencia.
- d) Que se estudie la extrapolación del sistema modificado e implementado a otros contextos donde se presenten problemas análogos o similares a los aquí investigados.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA ALTERNATIVA

6.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA

PLAN DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS SERVIDAS DE LA CIUDAD DE PALENQUE, PROVINCIA LOS RÍOS.

6.2. JUSTIFICACIÓN

El plan que se propone, una vez implementado, beneficiará a toda la población de la ciudad y de las áreas rurales de su entorno, por tanto y en cuanto, se reducirá significativamente la agresividad ambiental de las aguas residuales domésticas generadas por la propia población de la ciudad de Palenque, ya que en la actualidad, se presupone que, el tratamiento actual al que son sometidas, no tiene la eficiencia necesaria como para que esta corriente residual no se torne dañina al ambiente de la localidad.

De e esta forma, se estará propiciando el mejoramiento de la calidad ambiental de la ciudad y sus alrededores, implicando el correspondiente incremento de la calidad de vida de la población.

6.3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL

Toda comunidad o institución genera residuos tanto sólidos como líquidos. La fracción líquida de los residuos, aguas residuales, es esencialmente el agua de la que se desecha por la sociedad una vez que ha sido contaminada durante los diferentes usos para los cuales ha sido empleada

Si se permite la acumulación y estancamiento de aguas servidas, la descomposición de la materia orgánica que contiene, puede conducir a la generación de grandes cantidades de gases malolientes. A este hecho, cabe añadir la frecuente presencia en el agua servida, de numerosos microorganismos patógenos y causantes de enfermedades que habitan el aparato intestinal humano.

La evacuación inmediata y sin molestias del agua servidas de sus fuentes de generación, seguida de su tratamiento y eliminación, es no solo deseable, sino también necesaria en toda localidad. Sin embargo, existen instituciones y poblaciones donde se vierten estos residuos líquidos a los cursos de agua, ríos, arroyos o quebradas, como es el caso de la ciudad de Palenque en el río del mismo nombre, donde se dispone el efluente de las aguas grises y negras con un tratamiento deficiente hacia el río cercano, contaminando el suelo y el agua que por allí fluyen.

Con el proceso que se propone emplear se minimiza en gran parte la contaminación causada y el impacto al ambiente, sin embargo, para que esto ocurra, deberá haber disciplina operativa y evaluaciones frecuentes del trabajo del sistema.

El dispositivo legal ecuatoriano establece las regulaciones pertinentes para la disposición del residuo líquido en cuerpos de agua. Así por ejemplo, los elementos legales en los que se soporta la presente propuesta y, que ya fueron descritos en el Marco Legal de la investigación, con base en la Constitución de la República del Ecuador son:

- Ley de Gestión Ambiental.
- Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.
- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria.
- Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores.
- Reglamento General del Seguro de Riesgos del Trabajo – IESS.
- Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralizado.

6.4. OBJETIVOS

6.4.1. Objetivo general

Diseñar un plan de mejoramiento del sistema de tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Palenque, provincia Los Ríos.

6.4.2. Objetivos específicos

- a) Identificar los procedimientos para el sistema de tratamiento de agua.
- b) Diseñar, a través del dimensionamiento; los procesos que componen el sistema de tratamiento de aguas servidas.
- c) Elaborar el Plan de Trabajo para la implementación de los procesos de la planta diseñada.

6.5. IMPORTANCIA

En la formulación, planeación y diseño de un sistema de tratamiento se pueden considerar objetivos diferentes, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos económicos y técnicos, así como los criterios establecidos para descarga de efluentes o eficiencias mínimas y, eventualmente, motivaciones ecológicas. Dos aspectos y subaspectos se pueden destacar en la importancia del tratamiento eficiente de las aguas servidas de una localidad:

- a) Proteger la salud pública y el ambiente. Si las aguas residuales van a ser vertidas a un cuerpo receptor natural (mar, ríos, lagos), será necesario realizar un tratamiento para evitar enfermedades causadas por bacterias y virus en las personas que entran en contacto con esas aguas, y también para proteger la fauna y flora presentes en el cuerpo receptor natural.
- b) El reúso del agua tratada. Existen actividades en las que no se requiere utilizar agua potable estrictamente y que se pueden realizar con agua tratada, sin ningún riesgo a la salud, tales como:
 - Riego de Áreas Verdes (glorietas, camellones, jardines, centro recreativos, parques, campos deportivos, fuentes de ornato).
 - Industriales y de servicios (lavado de patios y nave industrial, lavado de flota vehicular, sanitarios, intercambiadores de calor, calderas, cortinas de agua, etc.).

En este caso, la función del tratamiento de las aguas residuales será el garantizar que no existan efectos nocivos a la salud por entrar en contacto con el agua tratada en las actividades antes descritas. Este tipo de propósito involucra tratamientos de mayor nivel, que generalmente envuelven la implementación de las mejores tecnologías y las calidades logradas son casi tan buenas como las generadas para el agua potable.

6.6. UBICACIÓN SECTORIAL Y FÍSICA

La Propuesta que se sugiere implementar, se ubica en la ciudad de Palenque, capital del cantón del mismo nombre, perteneciente a Los Ríos, provincia eminentemente agrícola de la región Costa ecuatoriana, a unos 10 km de la ciudad de Vinces y al Sur del cantón Mocache.

6.7. FACTIBILIDAD

Teniendo en cuenta la justificación, importancia, objetivos y costo, así como el interés mostrado por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Palenque por el diseño e implementación de esta propuesta, se considera que la misma es factible y podrá ser ejecutada bajo la supervisión del personal debidamente capacitado al efecto y, luego del diseño de la parte relacionada con la construcción civil, es decir, la Ingeniería Civil y arquitectónica del sistema.

6.8. PLAN DE TRABAJO

ACTIVIDAD	OBJETIVO	INICIO	TERMINACIÓN	RESPONSABLE	COSTO (USD)
Reingeniería del dimensionamiento del sistema de rejillas.	Realizar la reingeniería del dimensionamiento del sistema de rejillas.	Sep. 2012	Oct. 2012	Ing. Bustamante, J. F.	1 500,00
Reingeniería del dimensionamiento del desarenador.	Realizar la reingeniería del dimensionamiento del desarenador.	Oct. 2012	Oct. 2012	Ing. Bustamante, J. F.	1 500,00
Reingeniería del dimensionamiento del lecho bacteriano aerobio.	Realizar la reingeniería del dimensionamiento del lecho bacteriano aerobio.	Oct. 2012	Nov. 2012	Ing. Bustamante, J. F.	1 500,00
Reingeniería del dimensionamiento del sedimentador secundario.	Realizar la reingeniería del dimensionamiento del sedimentador secundario.	Nov. 2012	Nov. 2012	Ing. Bustamante, J. F.	1 500,00
Reingeniería del dimensionamiento de la operación de secado de lodos.	Realizar la reingeniería del dimensionamiento de la operación de secado de lodos.	Nov. 2012	Dic. 2012	Ing. Bustamante, J. F.	1 500,00
Diseño del sistema de entrada a la planta de tratamiento.	Diseñar el sistema de entrada a la planta de tratamiento.	Dic. 2012	Ene. 2013	Ing. Civil no determinado.	1 500,00
Construcción del sistema de entrada a la planta de tratamiento.	Construir el sistema de entrada a la planta de tratamiento.	Ene. 2013	Ene. 2013		11 000,00
Diseño estructural del sistema de tratamiento.	Diseñar estructuralmente el sistema de tratamiento.	Dic. 2012	Feb. 2013	Ing. Civil no determinado.	1 200,00
Construcción del sistema de tratamiento.	Construir el sistema de tratamiento.	Feb. 2013	Mayo 2013	<ul style="list-style-type: none"> • Ing. Civil no determinado. • Personal del GADMP. 	12 000,00
Puesta en marcha del sistema de tratamiento.	Poner en marcha el sistema de tratamiento.	Mayo 2013	Junio 2013	<ul style="list-style-type: none"> • Ing. Civil no determinado. • Personal del GADMP. 	1 000,00
COSTO TOTAL					34 200,00

Elaborada por: Bustamante, (2012).

6.9. ACTIVIDADES

Para realizar el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la población de la ciudad de Palenque, se construirá una planta de tratamiento convencional constituida por las siguientes actividades:

6.9.1. Dimensionamiento del desarenador

Los desarenadores se ubican después de las rejillas. El propósito de separar la arena del material orgánico susceptible de putrefacción es evitar depósitos de arena en los tanques de aireación, obstrucción de tuberías, desgaste de rastras en sedimentadores, bombas, etc. El equipo mecánico y electromecánico se desgasta con mayor rapidez debido a la arena. Durante la época de lluvias se arrastra gran cantidad de este material, por lo que es necesario que su diseño considere el manejo eficiente del agua en esta época, ya que es cuando más se requiere de los desarenadores.

Se diseñan para separar del agua partículas minerales de hasta 0,2 mm de diámetro; sin embargo, existen restos de alimentos que tienen diámetro grande, con velocidad de sedimentación semejante a la de la arena, por lo que el material extraído del desarenador contiene partículas orgánicas y debe manejarse adecuadamente para prevenir o atenuar el mal olor.

Aquí se trata de diseñar un tanque desarenador considerando que el gasto máximo extraordinario es de 807,84 dm³/s y la temperatura mínima del agua es de 20 °C. Se desea remover partículas hasta de 7,5 x 10⁻³ cm de diámetro, con densidad de 2 650 kg/m³. La solución sería la siguiente:

- a) Para una temperatura de alrededor de 20 °C, la viscosidad dinámica del agua es de $\mu = 1,002 \times 10^{-3} \text{ N s /m}^2$. Sustituyendo en la ecuación (8.7)

$$V_t = \frac{g(\rho_p - \rho_w)d^2}{18 \mu}$$

Donde:

V_t = velocidad final de sedimentación, (L/T)

ρ_p = densidad de la partícula (M/L³)

ρ_w = densidad del fluido (M/L³)

g = aceleración de la gravedad (L/T²)

d = diámetro de la partícula (L)

μ = M/LT

Sustituyendo en (6.1):

$$V_t = \frac{9,81 \frac{m}{s^2} (2650 - 998,2) \frac{kg}{m^3} (7,5 \times 10^{-5})^2}{18 \left(1,002 \frac{kg}{m \cdot s}\right)}$$
$$V_t = 0,0051 \frac{m}{s}$$

b) La velocidad de arrastre es

$$V_a = k \sqrt{(\rho_p - 1)d}$$

Donde:

V_a = velocidad de arrastre, m/s

ρ_p = densidad relativa de la partícula

d = diámetro de la partícula, m

k = factor dimensional que depende de las características de los sedimentos y de la fricción entre las partículas. Para este caso es generalmente 125

$$V_a = 125 \sqrt{(2,65 - 1)7,5 \times 10^{-5}}$$
$$V_a = 1,39 \frac{m}{s}$$

c) La velocidad de traslación horizontal sería

$$V = \frac{1}{3} V_a$$

$$V = \frac{1}{3} 1,39$$

$$V = 0,46 \frac{m}{s}$$

d) El área de la sección transversal del desarenador, perpendicular a la dirección del flujo sería

$$a = \frac{Q}{V}$$

$$a = \frac{0,0094}{0,46}$$

$$a = 0,02 \text{ m}^2$$

e) Se proponen algunos valores del ancho del desarenador (w) y en función de este se obtienen la profundidad (h) y la longitud (L)

Tabla 6.1.
Valores del ancho del desarenador (w) y en función de este se obtienen la profundidad (h) y la longitud (L).

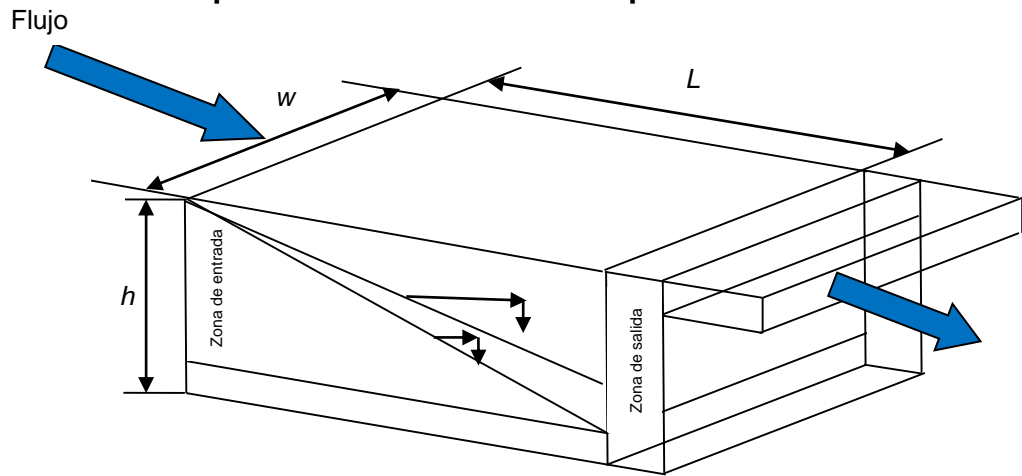
w (m)	$h = a/w$ (m)	$L = V (h/V_t)$ (m)
0,8	0,025	2,25
1,0	0,020	1,80
1,2	0,017	1,53

Elaborada por: Bustamante, (2012).

En la Figura 6.1 se muestra un esquema de un desarenador típico. Para que la partícula pueda ser eliminada, la resultante de sus velocidades de sedimentación y horizontal debe conducirla al fondo del tanque antes de alcanzar la denominada zona de salida. Se recomienda que la velocidad horizontal sea menor que la velocidad de arrastre para que no se resuspendan las partículas.

Figura 6.1.

Esquema de un desarenador típico.



Elaborada por: Bustamante, (2012).

6.9.2. Dimensionamiento del lecho bacteriano aerobio con medio de contacto de plástico

Para este caso en particular el lecho bacteriano aerobio con medio de contacto de plástico va a tener una profundidad de 2,5 metros. Para este estudio se considera el lecho de forma cuadrada. Debido a que las propiedades de los medio de plástico son más predecible y conocidas a priori, se han desarrollado numerosas relaciones empíricas para predecir el funcionamiento y rendimiento de los lechos percoladores con medios de contacto de materiales plásticos.

Los valores de los parámetros para el diseño son:

$T = 25^{\circ}\text{C}$ (medido in situ)

$\text{DBO}_{\text{Afluyente}} = 235 \text{ mg/dm}^3$ (de los análisis de laboratorio)

$\text{DBO}_{\text{Efluyente}} = 30 \text{ mg/dm}^3$ (normativa)

$S = 100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (carga superficial hidráulica comúnmente aceptada)

- a) Constante de tratabilidad (K_T):** la constante de Tratabilidad tiene en cuenta el efecto de la temperatura (T) sobre la velocidad de reacción

sobre el proceso biológico. Para su determinación se emplea el siguiente cálculo:

$$K_T = 0,037(1,08^{T-15}) = 0,037 (1,08)^{25-15}$$

$$K_T = 0,080 \text{ m/d}$$

a) Volumen del lecho (V_{Lecho}): La capacidad del lecho se determina empleando la DBO del afluente y efluente al lecho, la constante de tratabilidad (K_T) es el área superficial específica del medio de contacto (S); este último valor se toma de Metcalf and Eddy (1996)²⁴, realizándose el siguiente cálculo

$$V_{Lecho} = \frac{Q \ln \frac{DBO_{Afluente}}{DBO_{Efluente}}}{K_T S} = \frac{807,84 \ln \frac{235}{30}}{0,080 (100)}$$

$$V_{Lecho} = 207,86 \text{ m}^3$$

b) Eficiencia requerida (E): La remoción de DBO que se requiere, se determina utilizando la DBO afluente y efluente al lecho, empleando el siguiente cálculo

$$E = \frac{DBO_{Afluente} - DBO_{Efluente}}{DBO_{Afluente}} \times 100 = \frac{235 - 30}{235} \times 100$$

$$E = 87,23\%$$

c) Área superficial del lecho (A_F): El área superficial del lecho se calcula con la relación entre el volumen del lecho (V_F) y la profundidad (P), de la siguiente manera

$$A_{Lecho} = \frac{V_{Lecho}}{P} = \frac{207,86}{2,5}$$

$$A_{Lecho} = 83 \text{ m}^2$$

²⁴ Metcalf and Eddy. 1996. *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización*. Ed. McGraw – Hill, México, D.F.

d) Largo y ancho del lecho (L): Puesto que el lecho es cuadrado, el largo y ancho se determinan con la raíz cuadrada del área (A):

$$Largo = Ancho = \sqrt{83 \text{ m}^2}$$

$$L = Largo = A = Ancho = 9,11 \text{ m}$$

e) Carga orgánica afluyente al lecho (W) Es la cantidad de materia orgánica, medida como DBO aplicada. En su cálculo se utiliza la concentración de DBO (C) por el caudal (Q). para ello se realiza el siguiente cálculo

$$W = Q \times C$$

$$W = 807,84 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times \frac{10^3 \text{ dm}^3}{1 \text{ m}^3} \times 235 \frac{\text{mg}}{\text{dm}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}}$$

$$W = 189,84 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

f) Carga hidráulica superficial (CHS) y volumétrica (CHV): la carga hidráulica superficial se calcula con base en el caudal aplicado (Q) y el área superficial del lecho (A_{Lecho}), y la carga hidráulica volumétrica es la relación entre el caudal aplicado (Q) y el volumen del lecho (V_F). se pueden determinar con las siguientes fórmulas:

$$CHS = \frac{Q}{A_{Lecho}} = \frac{807,84 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{83 \text{ m}^2}$$

$$CHS = 9,73 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ d}}$$

$$CHV = \frac{Q}{V_{Lecho}} = \frac{807,84 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{207,86 \text{ m}^3}$$

$$CHV = 3,89 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3 \text{ d}}$$

g) Carga orgánica superficial (COS) y volumétrica (COV): La carga orgánica superficial se calcula con la relación entre la carga orgánica

(W) aplicada para el área superficial del lecho (A_{Lecho}) y para el cálculo de la carga orgánica volumétrica se relaciona la carga orgánica (W) con el volumen del lecho (V_{Lecho}).

$$COS = \frac{W}{A_{Lecho}} = \frac{189,65 \frac{kg}{d}}{83 m^2}$$

$$COS = 2,28 \frac{kg}{m^2 d}$$

$$COV = \frac{W}{V_{Lecho}} = \frac{189,65 \frac{kg}{d}}{207,86 m^3}$$

$$COV = 0,91 \frac{kg}{m^3 d}$$

6.9.3. Diseño del sedimentador secundario para el lecho bacteriano aerobio con medio de contacto plástico

En el diseño se emplean valores referenciales de la velocidad ascensional ($V_{Asc} = 0,9 \text{ m/h}$) y del tiempo de retención, ($t_R = 1,1 \text{ h}$), según Metcalf and Eddy (1996).

- a) **Superficie del sedimentador (A):** La superficie del sedimentador se calcula con la relación entre el caudal (Q) y la velocidad ascensional (V_{Asc}), de la siguiente forma

$$A = \frac{Q \left(\frac{m^3}{h} \right)}{V_{Asc}} = \frac{33,66 \frac{m^3}{h}}{0,9 \frac{m}{h}}$$

$$A = 37,33 m^2$$

- b) **Largo y ancho del sedimentador (L_s):** ya que el sedimentador será cuadrado, el largo y ancho se calcula directamente con la raíz cuadrada del área superficial del sedimentador

$$Largo = Ancho = \sqrt{48,09 m^2}$$

$$\text{Largo} = \text{Ancho} = 6,11 \text{ m}$$

- c) **Volumen del sedimentador (V_s):** la capacidad del sedimentador se calcula mediante el caudal (Q) y el tiempo de retención (t_R) que debe soportar. Se obtiene aplicando la siguiente fórmula

$$V_s = \frac{Q \left(\frac{m^3}{h} \right)}{t_R \text{ (h)}} = \frac{37,33 \left(\frac{m^3}{h} \right)}{1,1 \text{ (h)}}$$

$$V_s = 30,60 \text{ m}^3$$

- d) **Altura (h_s):** la altura se calcula con la relación entre el volumen (V_s) y el área superficial del sedimentador (A_s), de la siguiente manera:

$$h_s = \frac{V_s \text{ (m}^3\text{)}}{A_s} = \frac{30,60 \text{ m}^3}{37,33 \text{ m}^2}$$

$$h_s = 0,82 \text{ m}$$

- e) **Producción de fangos:** primero se determina la *DBO* eliminada en el proceso del lecho biológico, calculando el producto de la carga orgánica aplicada (W) y la eficiencia del lecho (E). Se establece con la siguiente fórmula

$$DBO_{\text{Eliminada}} = E \frac{(\%)}{100} \times W \left(\frac{kg}{d} \right)$$

$$E = 87,23\% \text{ y } W = 189,65 \frac{kg}{d} \text{ calculadas anteriormente}$$

$$DBO_{\text{Eliminada}} = 0,8723 \times 189,65 \frac{kg}{d}$$

$$DBO_{\text{Eliminada}} = 165,43 \frac{kg}{d}$$

Posteriormente, se establece la **producción de fango** utilizando los valores mínimos de *SST* y *SSV* en kg que se presentan a continuación (Metcalf and Eddy (1996).

Producción de fangos

Valores recomendados

	Máximo	Mínimo
Kg de SST por kg de DBO eliminada	0,65	0,85
Kg de SSV por kg de DBO eliminada	0,40	0,55

Dichos datos se reemplazan de la siguiente forma:

$$F_{SST} = (kg \text{ de SST}) (DBO_{Eliminada})$$

$$F_{SST} = 0,65 \times 165,43$$

$$F_{SST} = 107,53 \frac{kg \text{ de SST}}{d}$$

$$F_{SSV} = (kg \text{ de SSV}) (DBO_{Eliminada})$$

$$F_{SSV} = 0,40 \times 165,43$$

$$F_{SSV} = 66,17 \frac{kg \text{ de SSV}}{d}$$

Los datos utilizados en el pre diseño del lecho biológico con medio de contacto de plástico se resumen en la Tabla 6.2 y los resultados del diseño del lecho biológico con medio de contacto de plástico y su sedimentador secundario se presentan en la Tabla 6.3.

Tabla 6.2.

Datos requeridos para el pre diseño del Lecho Bacteriano Aerobio con medio de contacto de plástico.

DATOS PARA EL LECHO BACTERIANO AEROBIO CON MEDIO DE CONTACTO DE PLÁSTICO	VALORES	UNIDAD
Temperatura ($T_{m\acute{a}x}$)	25	$^{\circ}\text{C}$
$DBO_{Afluente}$	235	$\text{kg}/\text{m}^3, \text{mg}/\text{dm}^3$
$DBO_{Efluente}$	30	$\text{kg}/\text{m}^3, \text{mg}/\text{dm}^3$
Área superficial específica del medio de contacto (S)	100	m^2/m^3
Profundidad (P)	2,5	m
Caudal (Q)	807,84	m^3/d
Datos para Sedimentador Secundario	Valores	Unidad
Velocidad ascensional (V_{Asc})	0,9	$\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$
Tiempo de retención (t_R)	1,1	h
Datos para determinar la producción de fango	Valores	Unidad
SST	0,65	kg
SSV	0,40	Kg

Elaborada por Bustamante, (2012).

Tabla 6.3.
Datos requeridos para el pre diseño del Lecho Bacteriano Aerobio con medio de contacto de plástico.

Diseño del Lecho Bacteriano Aerobio con medio de contacto plástico	Valor	Unidad
Constante de tratabilidad (K_T)	0,051	m/d
Volumen del lecho (V_{Lecho})		m ³
Eficiencia (E)		%
Área superficial del lecho (A_{Lecho})		m ²
Largo y ancho (L)		m
Carga orgánica (W)		Kg/d
Carga hidráulica superficial (CHS)		m ³ /m ² d
Carga hidráulica volumétrica (CHV)		m ³ /m ³ d
Carga orgánica superficial (COS)		kg/m ² d
Carga orgánica volumétrica (COV)		kg/m ³ d
Diseño del sedimentador secundario	VALOR	UNIDAD
Superficie (A_S)		m ²
Largo y ancho (L_S)		m
Volumen (V_S)		m ³
Altura (h_S)		m
Determinación de la producción de lodo		
$DBO_{Eliminada}$		Kg/d
F_{SST}	107,53	Kg SST/d
F_{SSV}	66,17	Kg SSV/d

Elaborada por Bustamante, (2012).

6.9.4. Dimensionamiento de las operaciones de tratamiento de lodos secundarios

Generalmente la operación de tratamiento de los lodos secundarios comprende la secuencia de procesos: Espesamiento, Estabilización – Digestión y Secado. El diseño de de las operaciones para el manejo de lodos secundarios generados en el Lecho Bacteriano Aerobio debe considerar las posibles variaciones de la cantidad de sólidos que afluyan diariamente al tratamiento.

- a) **Carga hidráulica (C_H):** influye sobre la forma de la curva de sedimentación, en la capacidad de formación y eliminación de sobrenadantes. Metcalf and Eddy (1996) recomienda que debe ser $\leq 1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$. Para el diseño que se plantea se considera $C_H = 1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$.
- b) **Tiempo de retención (T_R):** Se adopta el valor que recomienda Metcalf and Eddy (1996), $T_R = 24 - 64 \text{ h}$. Se toma $T_R = 64 \text{ h}$.
- c) **Tiempo de operación de bombeo de lodos:** Es el tiempo en horas diarias que se necesita para bombear el lodo hacia el espesador. Se toma el valor $T_{BF} = 8 \text{ h/d}$.
- d) **Volumen necesario (V_E):** Es la capacidad que debe tener el espesador gravitatorio para acceder al tratamiento de todo el lodo producido en el Lecho Bacteriano Aerobio. Para el cálculo se considera la cantidad de lodo producido (F_{SST}), el tiempo de retención (T_R) y la concentración del lodo; en esta propuesta para la concentración del lodo que se genera en el lecho biológico se adopta el valor de $C = 8\% = 80 \text{ kg/m}^3$.

$$V_E = \frac{F_{SST} \times T_R}{24 C} = \frac{107,53 \times 48}{24 \times 80}$$

$$V_E = 3,57 \text{ m}^3$$

- e) **Caudal de bombeo de lodo (Q_b):** Es el caudal de lodo que se bombea en un día hacia el espesador. Su cálculo utiliza los datos de lodo producido en el lecho biológico (F_{SST}) y la Concentración (C)

$$Q_b = \frac{F_{SST}}{C} = \frac{107,53}{80}$$

$$Q_b = 1,34 \text{ m}^3/d$$

f) **Caudal horario introducido en el espesador (Q_h):** Para su determinación se utiliza el caudal bombeado (Q_b) y el tiempo diario de operación de bombeo

$$Q_h = \frac{Q_b}{T_{BF}} = \frac{1,34}{8}$$

$$Q_h = 0,17 \text{ m}^3/h$$

g) **Superficie necesaria (A_E):** Es el área superficial requerida en la estructura del espesador de lodos. Se determina utilizando el caudal bombeado diariamente (Q_b) y la carga hidráulica (C_H)

$$A_E = \frac{Q_b}{C_H} = \frac{1,34}{1,0}$$

$$A_E = 1,34 \text{ m}^2$$

h) **Diámetro (ϕ_E)**

$$\phi_E = \sqrt{\frac{4 A_E}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 1,34}{\pi}}$$

$$\phi_E = 1,71 \text{ cm}$$

i) **Altura (h):** La altura se determina utilizando el volumen (V_E) y el área del espesador. Metcalf and Eddy (1996) señalan que la altura debe estar dentro del rango 2,5 – 5 m

$$h = \frac{V_E}{A_E} = \frac{3,57}{1,34}$$

$$h = 2,66 \text{ m}$$

Los datos empleados en la determinación del manejo de los lodos secundarios (producidos en el Lecho Bacteriano Aerobio) se resumen en la Tabla 6.4 y los resultados del diseño del espesador a gravedad, en la Tabla 6.5.

Tabla 6.4.

Resumen de los datos empleados en la determinación del manejo de los lodos secundarios.

Datos para el manejo de lodos secundarios		Valor	Unidad
Producción de lodo	F_{SST}	107,53	Kg SST/d
	F_{SSV}	66,17	Kg SSV/d
Concentración de lodo (C)		8	%
		80	kg/m ³
Carga hidráulica (C_H)		1,0	m ³ /m ² d
Tiempo de operación de bombeo de lodos (T_{BF})		8	h/d

Elaborada por Bustamante, (2012).

Tabla 6.5.

Resumen de resultados del diseño del espesador de lodos a gravedad.

Diseño del espesador de lodos a gravedad	Valor	Unidad
Volumen del espesador (V_E)	3,57	m ³
Caudal de bombeo (Q_b)	1,34	m ³ /h
Caudal horario introducido (Q_h)	0,17	m ³ /h
Superficie (A_E)	1,34	m ²
Diámetro (ϕ_E)	1,71	m
Altura (h)	2,66	m

Elaborada por Bustamante, (2012).

Cabe destacar, que el método elegido para realizar el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Palenque, es ideal; debido al bajo costo tanto para la construcción como para la operación y mantenimiento, además no se necesita

de grandes áreas para su ubicación y por ende, los impactos son puntuales y de baja magnitud.

6.10. RECURSOS

Se estima que se necesita contar con unos 14 000,00 USD, para el diseño estructural, la construcción y la puesta en marcha del sistema de tratamiento. Se necesita del talento humano aportado por al menos un Ingeniero Civil y operadores de planta. Como materiales es imprescindible la adquisición de bombas centrífugas, tuberías y accesorios, de medio plástico (PVC) para el medio de contacto del Lecho Biológico. También serán necesarios materiales como ladrillos, cemento y demás, para la construcción del cuerpo del lecho y del sedimentador secundario.

La administración de la planta de tratamiento dispondrá de la posibilidad de recoger los lodos secundarios y eliminarles la humedad en un lecho de secado, para ser comercializado como abono orgánico, a utilizar en la fertilización de un sin número de cultivos.

6.11. IMPACTOS

Las externalidades ambientales, como no conformidades en el entorno podrán ser internalizadas con la implementación de la propuesta. Es decir, los valores de las concentraciones de los parámetros indicadores de la contaminación de las aguas servidas de la ciudad de Palenque, podrán ser reducidos hasta cifras que puedan ser manejadas por el río al disponerlos, garantizándose su auto recuperación. Todo esto será causante del incremento de la calidad ambiental de la localidad, impactando en el bienestar de la población y en su calidad de vida, en general.

6.12. EVALUACIÓN

La evaluación de la propuesta se realizará mediante la constatación del cumplimiento de las fechas que se mostraron en el Plan de Trabajo. Además, una vez implementado el sistema de tratamiento sugerido, se realizarán periódicamente análisis de laboratorio al afluente y al efluente para calcular la eficiencia del sistema, en la remoción de cada parámetro indicador de la contaminación.

6.13. INSTRUCTIVO DE FUNCIONAMIENTO

El tratamiento de aguas residuales constituye una medida de mitigación que ayuda a disminuir y controlar la contaminación de los cuerpos de agua, pero para que esta medida tenga éxito se debe contar con obras de infraestructura adecuada a la naturaleza de la aguas a tratar y con el personal capacitado para llevar a cabo la labores de operación y mantenimiento.

El bajo porcentaje de buen funcionamiento y la poca cobertura que se brinda fueron las razones por las cuales se investigaron los aspectos que influían negativamente en el funcionamiento de las mismas.

La secuencia para el funcionamiento de la propuesta es como sigue:

- a) Una vez construido el sistema y realizada la fase de puesta en marcha, se operan las válvulas de entrada de líquido crudo al desarenador, chequeando que este no rebose.
- b) Se extraen, periódicamente, los sólidos primarios depositados en el fondo del desarenador y, se disponen en el botadero de basura municipal.
- c) Se le acceso de entrada al Lecho Bacteriano Aerobio al efluente desarenado, por la parte superior de este y, su efluente son conducidos al sedimentador secundario.
- d) Periódicamente se purgan, desde la válvula en la tubería de salida inferior del sedimentador, los lodos secundarios, que son conducidos a

un lecho de secado al aire libre y, una vez perdida la humedad, son envasados y comercializados en la localidad como abono orgánico.

- e) El líquido en la salida superior del Lecho Bacteriano Aerobio es conducido mediante tuberías y por gravedad al río Palenque, con un máximo de 30 mg/dm^3 de DBO, lo cual permitirá la auto recuperación de las aguas del río.

BIBLIOGRAFÍA

Ciriaco, S. G. 2007. *Una historia de los problemas relacionados con el agua*. Ed. Trillas, México, D.F.

Conesa, V. 1997. *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. Ed. Mundi – Prensa, Madrid, España.

Fair, G. 1968. *Water and Wastewater Engineering*. Ed. John Wiley and Sons, Inc. New York, USA.

Ferrer, M., Costa, A. y Otros. 1998. *Ciències de la Terra i del medi ambient*. Ed. Castellnou, Segunda edición. Barcelona, España.

Fowley, C. H. (2010). *Municipal Wastewater Characteristics*. Ed. Elsevier, London.

Glasgow, T. O. 2008. *Plant Design and Evaluation in Environmental Engineering*. Ed. McGraw – Hill, New York, USA.

Gunfield, W. E. 2005. Disponible en: http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Caracter%C3%ADsticas_de_las_aguas_residuales

HONORABLE CONGRESO NACIONAL. 2001. *Ley Orgánica de Régimen Municipal*. Registro Oficial No. 280 del 8 de marzo. Quito, Ecuador.

INEC. (2011). *Censo Nacional de Población y Vivienda*. Quito, Ecuador.

Jiménez, C. et al. (1999). Módulo de tutoría I. Programa de capacitación en liderazgo educativo. Ed. Unidad técnica EB/PRODEC. Ecuador.

Kendall, K.D. 2009. *Ecología Básica y de los Recursos Naturales*. Ed. McGraw – Hill, New York.

- Leiva, A. (2011). *Evaluación del impacto ambiental*. Módulo VI del Programa de Maestría en Desarrollo y Medio Ambiente. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos.
- Leiva, A. 2011. *Usos del Agua y Normativa de Calidad*. Libro de texto de la Unidad de Aprendizaje del mismo nombre del V Módulo de la carrera de Gestión Ambiental, Facultad de Tecnología, UTEQ, Quevedo, Ecuador.
- Metcalf and Eddy. 1996. *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización*. Ed. McGraw – Hill, México, D.F.
- MGDIF. FONDO PARA EL LOGRO DE LOS ODM. (2010). *Diseño Definitivo para la Construcción de una Batería Sanitaria 300 P. en la Escuela Nicolás Infante Díaz Perteneciente al Cantón Palenque – Provincia de Los Ríos*. Quito, Ecuador.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE. (2002). Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS). Quito.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE COLOMBIA. (2002). *Gestión para el Manejo, Tratamiento y Disposición Final de las Aguas Residuales Municipales*. Ed. SINA, Bogotá.
- Presidencia de la República del Ecuador. 2008. *Constitución de la República*. R. O. Registro Oficial No. 14 del 19 de Octubre. Quito, Ecuador.
- Ramallo, R. S. 1996. *Tratamiento de aguas residuales*. Ed. Reverté, Madrid, España.
- Ramos, P. y Otros. 2001. *El agua, un bien para todos. Conservación, recuperación y usos*. Ed. Universidad Salamanca, Salamanca, España.

Rojas, R. *Conferencia Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. 2002.
Curso Internacional

Segnestam, L. 2002. *Indicators of environment and sustainable development: Theories and practical experience*. *Environmental Economics Series*. 89,
The World Bank Environment Department.

Smith, K. L. y Gerodish, D. Y. 2008. *Agua, necesidades y no conformidades ambientales*. Ed. Limusa, Buenos Aires, Argentina.

ANEXOS

ANEXO 1

Instrumento de entrevista a aplicar a la muestra de 98 personas con el propósito de determinar la percepción ciudadana sobre la planta de tratamiento de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Palenque.

1. Su nivel de educación es

ALTERNATIVA	RESPUESTA
Postgraduado	
Universitario	
Técnico medio superior	
Bachillerato	

2. Conoce Usted sobre la existencia, forma y operación de la planta de tratamiento de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Palenque de manera:
3. Considera Usted que la localización de la planta de tratamiento es:
4. Considera Usted que el dimensionamiento de la planta de tratamiento es:
5. Considera Usted que la operación de la planta de tratamiento es:
6. Considera Usted que cualquier idea relacionada con el diseño y construcción de una nueva planta de tratamiento para las aguas residuales domésticas de la ciudad de Palenque es:

Nota: Todos los ítems de este instrumento serán evaluados como:

ALTERNATIVA	RESPUESTA
Excelente	
Buena	
Regular	
Mala	

ANEXO 2

Matriz diseñada con el propósito de determinar la calidad ambiental de la localidad, con base en la observación directa in situ por parte de tres especialistas incluyendo al autor de la presente investigación.

No.	COMPONENTE AMBIENTAL	EVALUACIÓN			
		5	3	1	0
		E	B	R	M
m)	Agua superficial				
n)					
o)	Agua subterránea				
p)					
q)	Aire				
r)					
s)	Suelos agrícolas				
t)					
u)	Suelos forestales				
v)					
w)	Flora terrestre				
x)					
y)	Flora acuática				
z)					
aa)	Fauna terrestre				
bb)					
cc)	Fauna acuática				
dd)					
ee)	Salud humana				
ff)					
gg)	Paisaje				
hh)					
ii)	Recreación				
jj)					
	TOTAL				

ANEXO 3

Instrumento de entrevista a aplicar a la muestra de 98 personas con el propósito de determinar la percepción ciudadana sobre la calidad ambiental de la localidad.

1. Su nivel de educación es

ALTERNATIVA	RESPUESTA
Postgraduado	
Universitario	
Técnico medio superior	
Bachillerato	

2. Considera Usted que el aporte a la depuración de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Palenque, de la planta de tratamiento antes mencionada es:
3. Considera Usted que la calidad de los recursos hídricos, asociada a la planta de tratamiento de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Palenque, es:
4. Considera Usted que la calidad del recurso aire, asociada a la planta de tratamiento de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Palenque, es:
5. Considera Usted que la calidad del recurso suelo, asociada a la planta de tratamiento de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Palenque, es:
6. Considera Usted que la calidad de la salud humana, asociada a la planta de tratamiento de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Palenque, es:
7. Considera Usted que la calidad del recurso flora, asociada a la planta de tratamiento de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Palenque, es:

8. Considera Usted que la calidad del recurso fauna, asociada a la planta de tratamiento de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Palenque, es:

Nota: Todos los ítems de este instrumento, con excepción del primero, serán evaluados como:

ALTERNATIVA	RESPUESTA
Excelente	
Buena	
Regular	
Mala	

ANEXO 4
RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE
LABORATORIO

 <p>LABCESTTA Tecnología & Soluciones</p> <p>SGC</p>	<p>LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN</p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½ Telefax: (03) 2998232 ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS RIOBAMBA - ECUADOR</p>	<p>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL OAE</p> <p>ACREDITACIÓN N° OAE LE 2C 06-008</p>
--	---	--

INFORME DE ENSAYO No. 236
ST: 12 – 03 ANÁLISIS DE AGUAS SERVIDAS

Nombre Peticionario: NA
Atn. Juan F. Bustamante
Dirección: Vinces, Los Ríos

FECHA: 06 de Junio del 2012
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2012/06/08 – 08:30
FECHA DE MUESTREO: 2012/06/06 – 11:05
FECHA DE ANÁLISIS: 2012/06/06 – 2012/06/12
TIPO DE MUESTRA: AGUAS SERVIDAS
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-L 004-13
CÓDIGO DE LA EMPRESA: NA
PUNTO DE MUESTREO: Punto AR (Aguas arriba de la Planta de Tratamiento)
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico, Químico, Biológico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Juan F. Bustamante
CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.:26.2 °C, Tmín.:17.3°C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

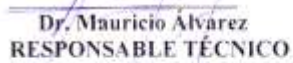
PARÁMETROS	MÉTODO/ NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	INCERTIDUMBRE (k=2)
Sólidos Sedimentables	PEE/LAB-CESTTA/47 APHA 9222,9221	mg/L	28	20	-
Sólidos Suspendedos Totales	PEE/LAB-CESTTA/13 APHA 2540 D	mg/L	426	220	± 14%
Sólidos Disueltos totales	PEE/LAB-CESTTA/11 APHA 2540-C	mg/L	1755	-	-
Sólidos Totales	PEE/LABCESTTA/15 APHA 4500 C1- B	mg/L	2027	1600	± 12%
Oxígeno Disuelto	ANALIZADOR PCE- PHD 1	mg/L	1,33	-	-
DQO	PEE/LAB-CESTTA/09 APHA 5220 D	mg/L	480	500	± 20%
DBO	PEE/LAB-CESTTA/46 APHA 5210 B	mg/L	257	250	± 20%
Nitrógeno Total	PEE/LAB-CESTTA/88 Kjedahl	mg/L	21	40	-
Fósforo Total	PEE/LAB-CESTTA/81 No.4500-P	mg/L	14	-	-
Coliformes Totales	PEE/LAB-CESTTA/47 APHA 9222,9221	UFC/100 ml	1,78*10 ⁶	-	-

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio
Los resultados arriba indicados están sólo están relacionados con los objetos ensayados.
MC01-14

OBSERVACIONES:

- N.A. No aplica
- Muestra receptada en el laboratorio

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANALISIS AMBIENTAL
E INSPECCION
LAB - CESTTA
ESPOCM


Dra. Nancy Veloz M.
JEFE DE LABORATORIO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio
Los resultados arriba indicados están sólo están relacionados con los objetos ensayados.
MC01-14

Página 2 de 2
Edición 1



**LABORATORIO DE
ANÁLISIS AMBIENTAL E
INSPECCIÓN**

Panamericana Sur Km. 1 ½
Telefax: (03) 2998232
ESPOCH
FACULTAD DE CIENCIAS
RIOBAMBA - ECUADOR

**LABORATORIO DE
ENSAYO ACREDITADO
POR EL OAE**

**ACREDITACIÓN
Nº OAE LE 2C 06-008**

INFORME DE ENSAYO No.

237

ST:

12 – 03 ANÁLISIS DE AGUAS SERVIDAS

Nombre Peticionario:

NA

Atn.

Juan F. Bustamante

Dirección:

Vinces, Los Ríos

FECHA:

06 de Junio del 2012

NUMERO DE MUESTRAS:

2

FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:

2012/06/08 – 08:30

FECHA DE MUESTREO:

2012/06/06 – 11:05

FECHA DE ANÁLISIS:

2012/06/06 – 2012/06/12

TIPO DE MUESTRA:

AGUAS SERVIDAS

CÓDIGO LABCESTTA:

LAB-L 004-13

CÓDIGO DE LA EMPRESA:

NA

PUNTO DE MUESTREO:

Punto AA (Aguas abajo de la Planta de Tratamiento)

ANÁLISIS SOLICITADO:

Físico, Químico, Biológico

PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:

Juan F. Bustamante

CONDICIONES AMBIENTALES:

T máx.:26.2 °C, Tmín.:17.3°C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/ NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	INCERTIDUMBRE (k=2)
Sólidos Sedimentables	PEE/LAB-CESTTA/47 APHA 9222,9221	mg/L	24	20	-
Sólidos Suspendidos Totales	PEE/LAB-CESTTA/13 APHA 2540 D	mg/L	381	220	± 14%
Sólidos Disueltos totales	PEE/LAB-CESTTA/11 APHA 2540-C	mg/L	1492	-	-
Sólidos Totales	PEE/LABCESTTA/15 APHA 4500 C1- B	mg/L	1914	1600	± 12%
Oxígeno Disuelto	ANALIZADOR PCE- PHD 1	mg/L	1,36	-	-
DQO	PEE/LAB-CESTTA/09 APHA 5220 D	mg/L	394	500	± 20%
DBO	PEE/LAB-CESTTA/46 APHA 5210 B	mg/L	157	250	± 20%
Nitrógeno Total	PEE/LAB-CESTTA/88 Kjedahl	mg/L	15	40	-
Fósforo Total	PEE/LAB-CESTTA/81 No.4500-P	mg/L	9	-	-
Coliformes Totales	PEE/LAB-CESTTA/47 APHA 9222,9221	UFC/100 ml	3,93*10 ⁵	-	-

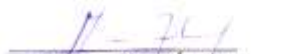
Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio
Los resultados arriba indicados están sólo relacionados con los objetos ensayados.
MC01-14

Página 1 de 2
Edición 1

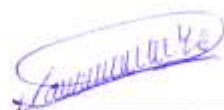
OBSERVACIONES:

- N.A. No aplica
- Muestra receptada en el laboratorio

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANALISIS AMBIENTAL
E INSPECCION
LAB - CESTTA
ESPOCM


Dra. Nancy Veloz M.
JEFE DE LABORATORIO

ANEXO 5

**MODELO DE PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS NEGRAS**

" PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS "

