



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN
RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**“CRITERIOS DE OPTIMIZACIÓN EN LA OPERACIÓN DE SISTEMAS DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES HUAYCOPUNGO NORTE, EN LA
PARROQUIA SAN RAFAEL, CANTÓN OTAVALO, PROVINCIA IMBABURA”**

Tesis presentada como requisito para optar por el título de
Ingeniero en Recursos Naturales Renovables

AUTOR:

Gonzalo Andrés Farinango Vallejos

DIRECTOR:

Ing. Jorge Granja

Ibarra – Ecuador

2014

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN
RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**“CRITERIOS DE OPTIMIZACIÓN EN LA OPERACIÓN DE SISTEMAS DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES HUAYCOPUNGO NORTE, EN LA
PARROQUIA SAN RAFAEL, CANTÓN OTAVALO, PROVINCIA IMBABURA”**

Tesis revisada por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación como requisito
parcial para obtener el Título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

Ing. Jorge Granja
DIRECTOR

FIRMA

Lcd. Galo Pabón
ASESOR

FIRMA

Ing. Tania Oña
ASESOR

FIRMA

Ing. Ancelmo Yépez
ASESOR

FIRMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS GENERALES DE CONTACTO		
APELLIDOS Y NOMBRES	Farinango Vallejos Gonzalo Andrés	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100356748-2	
DIRECCIÓN	Ciudadela Rosita Paredes/ Manzana B /#2-38	
E-MAIL	andres_v88@hotmail.es	
TELÉFONOS	Fijo: 2632-458	Móvil: 0986921661
DATOS DE LA OBRA		
TÍTULO	“CRITERIOS DE OPTIMIZACIÓN EN LA OPERACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES HUAYCOPUNGO NORTE, EN LA PARROQUIA SAN RAFAEL, CANTÓN OTAVALO, PROVINCIA IMBABURA”	
AUTOR	Farinango Vallejos Gonzalo Andrés	
FECHA	26 de Noviembre de 2014	
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO		
PROGRAMA	X PREGRADO	
TÍTULO POR EL QUE OPTA	INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVALES	
DIRECTOR	Ing. Jorge Granja	

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

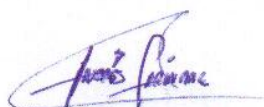
Yo, Gonzalo Andrés Farinango Vallejos, con cédula de ciudadanía Nro. 100356748-2; en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que soy el titular de los derechos patrimoniales; por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 26 días del mes de Noviembre de 2014.

AUTOR:



Farinango Vallejos Gonzalo A.

CI: 100356748-2

ACEPTACIÓN:



Ing. Betty Chavez

JEFE DE BIBLIOTECA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Gonzalo Andrés Farinango Vallejos, con cédula de ciudadanía Nro. 100356748-2; manifiesto la voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominada **“CRITERIOS DE OPTIMIZACIÓN EN LA OPERACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES HUAYCOPUNGO NORTE, EN LA PARROQUIA SAN RAFAEL, CANTÓN OTAVALO, PROVINCIA IMBABURA”**, que ha sido desarrollada para optar por el título de Ingeniera en Recursos Naturales Renovables en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 26 días del mes de Noviembre de 2014.

Farinango Vallejos Gonzalo A.

CI: 100356748-2

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: 26 de Noviembre de 2014


FARINANGO VALLEJOS GONZALO ANDRÉS. "CRITERIOS DE OPTIMIZACIÓN EN LA OPERACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES HUAYCOPUNGO NORTE, EN LA PARROQUIA SAN RAFAEL, CANTÓN OTAVALO, PROVINCIA IMBABURA".

TRABAJO DE GRADO. Ingeniera en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Ibarra. EC. Noviembre 2014. 103 p. 35 p anexos.

DIRECTOR: Granja Jorge.

La operación y mantenimiento periódico de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales garantiza una correcta depuración del afluente contaminado, para su utilización con un enfoque de desarrollo sustentable.

Fecha: 26 de Noviembre de 2014.



Ing. Jorge Granja

Director de Tesis



Gonzalo Andrés Farinango Vallejos

Autor

PRESENTACIÓN

Yo, Gonzalo Andrés Farinango Vallejos como autor de la Tesis Titulada **“CRITERIOS DE OPTIMIZACIÓN EN LA OPERACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES HUAYCOPUNGO NORTE, EN LA PARROQUIA SAN RAFAEL, CANTÓN OTAVALO, PROVINCIA IMBABURA”**, me hago responsable de los resultados, discusión, conclusiones y demás parte de la investigación; y pongo este documento como fuente de apoyo para consultas dirigidas a todos los estudiantes.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, mis Padres y hermanos, por su amor, apoyo y permanecer a mi lado en cada paso, a los buenos amigos y docentes de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, por mi formación académica y su aporte para el desarrollo del presente trabajo.

Gonzalo Farinango V

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento está dirigido con amor a las personas que hicieron todo en la vida para que alcanzara este objetivo. Principalmente, a mi madre Teresa Vallejos por su cariño y apoyo incondicional que me dio fuerza para seguir adelante sin recaer, de igual manera a mi padre Gabriel Farinango por su comprensión y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. A mis hermanos por su confianza, apoyo y consejos.

Agradezco a la Universidad Técnica del Norte, a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales y en especial a los docentes de la Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, que influyeron en mi formación profesional, al comité asesor; Ing. Jorge Granja, Lcd. Galo Pabón, Ing. Tania Oña, Ing. Ancelmo Yépez por el apoyo a lo largo del proceso investigativo realizado en el presente documento.

Gonzalo Farinango V

RESUMEN

El Gobierno Municipal de Otavalo, en el sector del Lago San Pablo implementó 11 plantas de tratamiento biológico de aguas residuales funcionando desde el año 2012 y requiere optimizar su operación con un enfoque sustentable; frente a esta problemática surgió la necesidad de implementar procesos orientados a la optimización operativa de los sistemas de tratamiento biológico bajo condiciones técnicas y ambientales. El trabajo se realizó a través de una investigación – acción del proceso en el sitio, para identificar los puntos débiles, evaluar y determinar las mejores alternativas de optimización operativa, en base a los análisis físico, químico y microbiológico del agua residual como sólidos, pH, DBO, DQO, amoníaco, nitratos, nitritos, fosfatos, sulfuros, metales pesados, coliformes; el método identificó la eficiencia depuradora de la planta de tratamiento. Llegándose a determinar que la ejecución de un mantenimiento continuo en las rejillas, caja de captación, la oportuna extracción de lodos en el sedimentador y filtro anaeróbico, el manejo de los humedales con lechuguín de agua (*Eichhornia crassipes*) e inspecciones periódicas, mantienen un control óptimo de los procesos removiendo altas concentraciones de sólidos, turbidez, DBO, DQO, NH₃, entre otros. Concluyéndose, que una vez implementados los criterios de optimización, la calidad del agua tratada cumple con los requerimientos de la normativa ambiental establecida, siendo apta como agua de riego agrícola y adecuado para descarga hacia cuerpos de agua dulce.

SUMMARY

The Municipal Government of Otavalo, in the area of San Pablo Lake implemented 11 biological treatment plants sewage running since 2012 and optimize its operation requires a sustainable approach; address this problem arose from the need to implement oriented operating system optimization techniques on biological treatment processes and environmental conditions. The work was conducted through research - action process in place to identify weaknesses, assess and determine the best alternatives for operational optimization, based on the physical, chemical and microbiological analysis of residual water and solids, pH BOD, COD, ammonia, nitrate, nitrite, phosphate, sulfur, heavy metals, coliforms; method determined the efficiency of the sewage treatment plant. Getting itself to determine that the execution of continuous maintenance on gates, pickup box, the timely removal of sludge in the settler and anaerobic filter, the management of wetlands with water lechuguín (*Eichhornia crassipes*) and periodic inspections, maintain control removing processes optimum high solids, turbidity, BOD, COD, NH₃, among others. Concluding that once implemented the optimization criteria, the quality of treated water meets the requirements of the established environmental regulations, as being suitable water for agricultural irrigation and adequate discharge into freshwater bodies.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	X
SUMMARY	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1.OBJETIVOS	3
1.1.1. <i>Objetivo General</i>	3
1.1.2. <i>Objetivos Específicos</i>	3
1.2.PREGUNTAS DIRECTRICES	3
2.REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1.AGUAS RESIDUALES.....	4
2.1.1. <i>Características del efluente</i>	4
2.2.PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	6
2.2.1. <i>Pre-tratamiento o tratamiento preliminar</i>	6
2.2.2. <i>Tratamiento primario</i>	6
2.2.3. <i>Tratamiento secundario</i>	7
2.2.3.1.Humedales Artificiales	7
2.2.4. <i>Tratamiento terciario</i>	7
2.2.5. <i>Reutilización o vertimiento</i>	8
2.3.USO DE MACRÓFITAS COMO DEPURADORES DE AGUA RESIDUAL.....	8
2.3.1. <i>Tratamiento biológico con macrófitas</i>	9
2.4.CONTROL DE CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES	10
2.4.1. <i>Parámetros físicos</i>	10
2.4.1.1.Temperatura	11
2.4.1.2.Conductividad eléctrica.....	11
2.4.1.3.Turbiedad	11
2.4.1.4.Sólidos totales (ST)	11
2.4.1.5.Sólidos en suspensión (SST)	11
2.4.1.6.Sólidos disueltos totales (SDT)	12
2.4.1.7.Sólidos sedimentables (SS)	12
2.4.2. <i>Parámetros químicos</i>	12
2.4.2.1.Potencial hidrógeno (pH)	12
2.4.2.2.Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5)	12

2.4.2.3.Demanda química de oxígeno (DQO)	12
2.4.2.4.Nitrógeno	13
2.4.2.5.Fósforo	13
2.4.3.Parámetros microbiológicos	13
2.5.OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL... 13	
2.5.1.Responsabilidad de la población.....	13
2.5.2.Mantenimiento de una planta	14
2.6.OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	15
2.7.DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	15
2.8.MARCO LEGAL DEL PROYECTO	16
3.MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
3.1.MATERIALES	18
3.2.EQUIPOS	19
3.3.DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	19
3.4.DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE LA PLANTA TRATAMIENTO.....	19
3.5.MANEJO DEL LECHUGUÍN DE AGUA	20
3.5.1.Manejo del cultivo	20
3.5.1.1.Proceso de siembra	20
3.5.1.2.Proceso de cosecha	20
3.5.2.Análisis Fisiológico del Lechuguín de Agua	21
3.5.3.Determinación del Crecimiento, Capacidad de Carga Operacional (KOP) y Rendimiento de la Biomasa.	22
3.5.4.Evaluación de los niveles de depuración del lechuguín de agua en los humedales artificiales.....	23
3.6.MONITOREO DE AGUA RESIDUAL	23
3.6.1.Diagnóstico inicial	23
3.6.2.Medición del caudal	24
3.6.2.1.Aforo Volumétrico	24
3.6.2.2.Cálculo del área mojada	25
3.6.3.Planificación y ubicación de los puntos de muestreo	25
3.6.3.1.Selección de los parámetros a analizar	26
3.6.3.2.Localización de los puntos de muestreo	26
3.6.4.Metodología de recolección de muestras	27

3.6.4.1.Fase Preliminar - Muestra Simple	27
3.6.4.2.Fase Complementaria - Muestra Compuesta	28
3.6.4.3.Monitoreos de Rutina para Control de Calidad de Agua Residual	30
3.6.5.Recolección de agua residual	30
3.6.6.Procedimiento de etiquetado y registro	30
3.6.7.Cadena de custodia	31
3.6.8.Conservación y almacenamiento de muestras	32
3.7.DETERMINACIÓN DE CRITERIOS PARA OPTIMIZACIÓN.....	32
3.7.1.Comportamiento del caudal.....	32
3.7.2.Tiempo de retención hidráulica	32
3.7.3.Carga hidráulica.....	33
3.7.4.Comportamiento de la carga contaminante.....	33
3.7.5.Relación de DBO5-DQO.....	33
3.7.6.Operación, seguimiento y control	33
3.7.6.1.Pretratamiento	34
3.7.6.2.Tratamiento Primario – Sedimentador	34
3.7.6.3.Tratamiento Secundario – Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente.....	34
3.7.6.4.Tratamiento Terciario – Humedales Artificiales de Flujo Superficial (Seis estanques).....	35
3.7.6.5.Servicios Auxiliares	35
3.7.6.6.Control de Operación	35
3.7.7.Seguridad industrial y riesgo ocupacional	35
3.7.8.Capacitación	36
3.8.ANÁLISIS EN EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO	36
3.9.PLAN DE TABULACIÓN Y ANÁLISIS	37
3.9.1.Prueba de t pareada. (Grupos dependientes)	37
CAPÍTULO IV	38
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	38
4.1.DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	38
4.2.CONDICIONES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	39
4.2.1.Captación.....	39
4.2.2.Tanque sedimentador.....	40
4.2.2.1.Manejo de Lodos.....	41

4.2.3. Filtro anaerobio de flujo ascendente	41
4.2.4. Humedal artificial de flujo superficial	42
4.2.5. Descarga final	43
4.2.6. Lechos de secado	44
4.3. REHABILITACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO	44
4.4. COMPORTAMIENTO DEL CAUDAL	45
4.4.1. Tiempo de retención hidráulica	46
4.5. COMPORTAMIENTO DEL LECHUGUÍN DE AGUA	48
4.5.1. Análisis morfológico	48
4.5.2. Comportamiento de la biomasa	51
4.5.2.1. Capacidad de Carga Operacional (KOP)	51
4.5.2.2. Rendimiento de Biomasa	54
4.5.3. Criterios de optimización para el manejo del cultivo	56
4.6. DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LA CALIDAD DE AGUA	57
4.6.1. Resultados de los análisis de laboratorio	57
4.6.1.1. Fase Preliminar - Muestra Simple - Primer Muestreo	57
4.6.1.2. Fase Complementaria - Muestras Compuestas	58
4.6.1.3. Monitoreos de Rutina para Control de Calidad de Agua Residual	62
4.6.2. Análisis del comportamiento, remoción y límites de permisibilidad del agua tratada ...	64
4.6.2.1. Parámetros Físicos	64
4.6.2.2. Parámetros Químicos	69
4.6.2.3. Parámetros Microbiológicos	76
4.7. EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO	78
4.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	82
4.9. CRITERIOS DE OPTIMIZACIÓN PARA EL MANEJO Y OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO	83
4.9.1. Mantenimiento emergente de la planta de tratamiento	84
4.9.1.1. Mantenimiento de las Unidades de Pretratamiento	85
4.9.1.2. Mantenimiento del Tanque Sedimentador	86
4.9.1.3. Mantenimiento del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente	87
4.9.1.4. Mantenimiento de Lechos de Secado de Lodos	89
4.9.1.5. Mantenimiento de Humedales Artificiales	90
4.9.1.6. Mantenimiento de espacios y estructuras auxiliares	92

4.9.1.7.Alternativas de Control de Vectores	92
4.9.1.8.Alternativas para Manejo de Residuos Sólidos.....	94
CAPÍTULO V	98
5.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
5.1.CONCLUSIONES	98
5.2.RECOMENDACIONES	99
6.BIBLIOGRAFÍA	100
ANEXOS	104

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2. 1 Contaminantes importantes de las aguas residuales	5
Cuadro 2. 2 Composición típica del agua residual doméstica.....	5
Cuadro 2. 3 Propiedades de las Macrófitas y su Rol en el Proceso de Tratamiento	10
Cuadro 3. 1 Listado de materiales.....	18
Cuadro 3. 2 Listado de equipos	19
Cuadro 3. 3 Metodología empleada para análisis de calidad de agua	26
Cuadro 3. 4 Plan de frecuencia de muestreo preliminar – Captación del Afluente.....	28
Cuadro 3. 5 Plan y frecuencia de muestreo compuesto en fases de tratamiento	29
Cuadro 3. 6 Plan y frecuencia de muestreo compuesto en Humedales Artificiales (Estanques)	29
Cuadro 3. 7 Plan y frecuencia de muestreo compuesto en Humedales Artificiales (Estanques)	30
Cuadro 3. 8 Etiqueta de Muestreo	31
Cuadro 3. 9 Cadena de Custodia	31
Cuadro 4. 1 Ubicación UTM del área de estudio, WGS 84 Zona 17 Sur.....	39
Cuadro 4. 2 Tiempo de retención hidráulica teórica	46
Cuadro 4. 3 Tiempo de retención hidráulica primera etapa	47
Cuadro 4. 4 Tiempo de retención hidráulica segunda etapa.....	47
Cuadro 4. 5 Medias de Crecimiento de <i>Eichhornia crassipes</i> en Humedales Artificiales..	48
Cuadro 4. 6 Crecimiento de biomasa en <i>Eichhornia crassipes</i> (g/m ²).....	55
Cuadro 4. 7 Cantidad de <i>Eichhornia crassipes</i> cosechada.....	56
Cuadro 4. 8 Resultados de análisis de agua del primer muestreo en la captación.....	58
Cuadro 4. 9 Resultados de análisis de agua del segundo muestreo en fases de tratamiento	59
Cuadro 4. 10 Resultados de análisis de agua del tercer muestreo en fases de tratamiento .	60
Cuadro 4. 11 Resultados de análisis de agua del cuarto muestreo en los Estanques.....	61
Cuadro 4. 12 Comportamiento de Metales Pesados	62
Cuadro 4. 13 Resultados de análisis de agua del sexto muestreo en fases de tratamiento ..	62
Cuadro 4. 14 Resultados de análisis de agua del séptimo muestreo en fases de tratamiento	63
Cuadro 4. 15 Tasa de Carga Orgánica.....	72
Cuadro 4. 16 Porcentaje en eficiencia de los sistemas de tratamiento	79

Cuadro 4. 17 Resultados prueba t pareada dependiente.....	83
Cuadro 4. 18 Frecuencia recomendada para limpieza de lodos en Estanques con lechuguín de agua.....	91

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 4. 1 Comportamiento del Caudal en el Afluente.....	46
Gráfica 4. 2 Crecimiento de <i>Eichhornia crassipes</i>	49
Gráfica 4. 3 Crecimiento de <i>Eichhornia crassipes</i> en el Estanque 1	52
Gráfica 4. 4 Crecimiento de <i>Eichhornia crassipes</i> en el Estanque 2	52
Gráfica 4. 5 Crecimiento de <i>Eichhornia crassipes</i> en el Estanque 3	53
Gráfica 4. 6 Crecimiento de <i>Eichhornia crassipes</i> en el Estanque 4	53
Gráfica 4. 7 Crecimiento de <i>Eichhornia crassipes</i> en el Estanque 5	54
Gráfica 4. 8 Crecimiento de <i>Eichhornia crassipes</i> en el Estanque 6	54
Gráfica 4. 9 Crecimiento diario en biomasa de <i>Eichhornia crassipes</i>	55
Gráfica 4. 10 Comportamiento de contaminantes diario.....	58
Gráfica 4. 11 Comportamiento de la temperatura	65
Gráfica 4. 12 Comportamiento de la Conductividad Eléctrica	65
Gráfica 4. 13 Comportamiento de sólidos totales	66
Gráfica 4. 14 Comportamiento de sólidos disueltos totales	67
Gráfica 4. 15 Comportamiento de sólidos disueltos totales	68
Gráfica 4. 16 Comportamiento de sólidos sedimentables	69
Gráfica 4. 17 Comportamiento del pH	70
Gráfica 4. 18 Comportamiento de DQO	71
Gráfica 4. 19 Comportamiento de DBO.....	72
Gráfica 4. 20 Comportamiento de N- Amoniaco (NH ₃).....	73
Gráfica 4. 21 Comportamiento de P - Fosfatos (PO ₄) ³⁻	74
Gráfica 4. 22 Comportamiento de N - Nitratos (NO ₃) ⁻ + N - Nitritos (NO ₂) ⁻	75
Gráfica 4. 23 Comportamiento de sulfuros (S ²⁻)	76
Gráfica 4. 24 Comportamiento de coliformes totales	77
Gráfica 4. 25 Comportamiento de coliformes fecales.....	78
Gráfica 4. 26 Diagrama Sankey, Degradación de DQO	80
Gráfica 4. 27 Diagrama Sankey, Degradación de DBO ₅	81

Gráfica 4. 28 Diagrama Sankey, Degradación de NH ₃	81
Gráfica 4. 29 Diagrama Sankey, Disminución de Coliformes Totales	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Humedal Artificial de Flujo Superficial.....	7
Figura 2. 2 Plantas Acuáticas	8
Figura 2. 3 Taxonomía de <i>Eichhornia crassipes</i>	8
Figura 3. 1 Manejo del Cultivo.....	20
Figura 3. 2 Proceso de Cosecha.....	21
Figura 3. 3 Análisis Fisiológico.....	22
Figura 3. 4 Comportamiento de la Biomasa	23
Figura 3. 5 Muestreos – Medición del caudal, pH, Temperatura, Conductibilidad	24
Figura 3. 6 Cálculo del Área Mojada	25
Figura 3. 7 Puntos de Muestreo	27
Figura 4. 1 Área de influencia.....	39
Figura 4. 2 Rejilla y Caja de captación.....	40
Figura 4. 3 Tanque Sedimentador	41
Figura 4. 4 Pozo de Manejo de lodos	41
Figura 4. 5 Filtro de Flujo Ascendente	42
Figura 4. 6 Humedales Artificiales.....	43
Figura 4. 7 Lechos de Secado.....	44
Figura 4. 8 Rehabilitación de Sistemas de Tratamiento	45
Figura 4. 9 Biofiltro de lecho fijo	94
Figura 4. 10 Pilas estáticas	95
Figura 4. 11 Biodigestor	96

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para la vida y soporte del desarrollo de cualquier país; es un elemento fundamental para los ecosistemas y requisito para la sustentabilidad. El hombre ha alterado su disponibilidad con el afán de satisfacer sus crecientes necesidades, principalmente por las actividades agrícolas, industriales y domésticas (Muciño, 2001). Situación que ha provocado la contaminación con aguas residuales de los acuíferos someros y cuerpos de aguas superficiales. Según la Organización Mundial de la Salud (1995), en el Ecuador solo 5 de cada 100 litros de aguas servidas son tratados antes de ser arrojados a nuestros ríos, pese a que las leyes prohíben arrojar aguas contaminadas. Por lo que es necesario establecer procesos articulados de manejo de las aguas residuales, las cuales después de un tratamiento adecuado, pueden ser utilizadas para reducir las demandas del sector municipal, industrial, agrícola y recreativo, particularmente en sitios con poca disponibilidad (Da Ros, 1995).

Es entonces, que el programa “Juntos”, por medio de la Organización Internacional para las Migraciones (OIM) y el Gobierno Municipal de Otavalo, en cumplimiento de su Plan Estratégico de Desarrollo Cantonal en su proyecto “ Recuperación de la Cuenca del Lago San Pablo” implementaron Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, en varias comunidades aledañas al lago San Pablo, para velar que las aguas residuales no alteren la calidad de los medios receptores, y a la vez contribuyan a la recuperación, protección y aprovechamiento de los recursos hídricos. La cuenca del Imbakucha - Lago San Pablo es un referente natural y cultural para sus pobladores, tiene un área de 150 km² y una población aproximada de 38.055 habitantes, en la cuenca conviven 38 comunidades indígenas, de las cuales 22 son de la etnia Otavalo y 16 del pueblo Kayambi, el 87 % de la

población son indígenas y el 13 % mestizos, por otro lado se tiene cuatro cabeceras parroquiales más las dos comunidades de una parroquia urbana de Otavalo (Torres, 2014).

El análisis de la eficiencia técnica en las plantas de tratamiento de aguas residuales se muestra de una creciente actualidad. Son muchas las razones que justifican la necesidad de conocer en detalle las posibles ineficiencias existentes en los procesos de tratamiento. El término eficiencia se asocia con un uso racional de los recursos disponibles, es decir, se utiliza para describir aquel proceso productivo que emplea de una manera óptima todos sus factores de producción, según la tecnología existente; por tal motivo es necesario efectuar una serie de labores de supervisión en las diferentes fases de tratamiento. Estas labores son conocidas por el nombre de Control de la Calidad las Aguas Residuales (Hernández, Saz, & Sala, 2014).

El Municipio de Otavalo construye la Planta de tratamiento de agua residual en el sector denominado “Huaycopungo Norte”, en la parroquia San Rafael, con el fin de tratar el agua servida proveniente de las actividades domésticas de la zona. Esta planta es de un diseño básico, cuenta con tanque sedimentador, filtro anaerobio de flujo ascendente, humedales de flujo superficial y lechos de secado. La falta de un adecuado mantenimiento y control de la planta ocasiona que las unidades no operen con normalidad, convirtiéndola en protagonista del deterioro de la calidad de agua del lago San Pablo y afectan a familias aledañas por la generación de malos olores y proliferación de mosquitos debido a los rebosamientos de agua que sufre la planta durante el proceso. El municipio cuenta con cierto tipo de registros de operación y mantenimiento de la planta, sin embargo el control del sistema no ha sido suficiente. Por tal motivo se planteó determinar criterios para optimizar el sistema de tratamiento bajo condiciones técnicas ambientales con enfoque sustentable, optando por la ejecución de un programa de mantenimiento de la planta en su conjunto, que busca mejorar la calidad de agua tratada y cumpla los límites admisibles de descarga.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Analizar y recomendar criterios de optimización en la operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales de la Planta N°4 Huaycopungo Norte, para un eficiente proceso de depuración y reutilización del efluente.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Valorar las condiciones físicas y operativas de los sistemas de tratamiento.
- Seleccionar un adecuado manejo de *Eichhornia crassipes* en los humedales artificiales.
- Comparar los parámetros de calidad de agua residual que intervienen en cada fase de tratamiento, aplicando la normativa vigente.
- Recomendar estrategias que optimicen el funcionamiento de la planta de tratamiento con miras sustentables a futuro.

1.2. Preguntas Directrices

- ¿La propuesta metodológica garantizará eficiencia en el tratamiento de agua residual doméstica?
- ¿Los criterios recomendados para la optimización operativa de los sistemas de tratamiento permitirán que el agua tratada cumpla con los límites permisibles de descarga a cuerpos de agua dulce y riego agrícola?

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

La siguiente información secundaria, resume conceptos científicos enfocados en saneamiento ambiental, tecnologías para tratamiento de agua residual, manejo y optimización de plantas de tratamiento, útiles en el desarrollo de la presente investigación.

2.1. Aguas Residuales

Las aguas residuales consisten de dos componentes, un efluente líquido y un constituyente sólido, conocido como lodo que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportadas mediante el sistema de alcantarillado. La generación de aguas residuales es una consecuencia inevitable de las actividades humanas. Estas actividades modifican las características de las aguas frescas, contaminándolas e invalidando su posterior aplicación para otros usos. (Falcón, 1990; J. Glynn & Gary. W, 1999).

2.1.1. Características del efluente

Las características de cada agua residual se asignan en función del tamaño de la población, sistema de alcantarillado empleado, grado de industrialización e incidencia pluviométrica; pueden establecerse en rangos de variación habituales, según caudales y características fisicoquímicas de los vertidos (Mena, 2004). Es un hecho que el vertido de aguas residuales sin depurar provoca daños, en ocasiones irreversibles, al ambiente, afectando tanto a la salud pública como ecosistemas acuáticos (Tchobanoglous & Burton, 1995). En el cuadro 2.1 se describen los componentes más significativos de las aguas residuales.

Cuadro 2. 1 Contaminantes importantes de las aguas residuales

CONTAMINANTE	FUENTE	IMPORTANCIA AMBIENTAL
Sólidos suspendidos.	Uso doméstico, desechos industriales y agua infiltrada.	Causa depósitos de lodo y condiciones anaerobias en ecosistemas acuáticos.
Compuestos orgánicos biodegradables.	Desechos domésticos e industriales.	Causa degradación biológica, que incrementa la demanda de oxígeno en los cuerpos receptores y ocasiona condiciones indeseables.
Microorganismos patógenos.	Desechos domésticos.	Causan enfermedades transmisibles
Nutrientes.	Desechos domésticos e industriales.	Pueden causar eutroficación
Compuestos orgánicos refractarios.	Desechos industriales.	Pueden causar problemas de sabor y olor, pueden ser tóxicos o cancerígenos.
Metales pesados.	Desechos industriales, minería, entre otros.	Son tóxicos, pueden interferir con el tratamiento y reuso del efluente.
Sólidos inorgánicos disueltos.	Debido al uso doméstico o industrial.	Pueden interferir con el reuso del efluente.

Fuente: (CEPIS, 2002; Crites & Tchobanoglous, 2000)

Mientras tanto en el cuadro 2.2 se muestra datos típicos de la concentración y composición del agua residual doméstica.

Cuadro 2. 2 Composición típica del agua residual doméstica

PARÁMETROS	COMPOSICIÓN		
	Fuerte	Media	Débil
Sólidos totales	1000	500	200
Fijos	300	150	80
Volátiles	700	350	120
Sólidos en suspensión	500	300	100
Fijos	100	50	30
Volátiles	400	250	70
Sólidos disueltos	500	200	100
Fijos	200	100	50
Volátiles	300	100	50
Sólidos sedimentables	250	180	40
Fijos	150	108	24
Volátiles	100	72	16
DBO ₅	400	220	110
DQO	1000	500	250
COT	290	160	80
N _{total}	86	50	25
N _{orgánico}	35	20	10
NH ₄ ⁺	50	30	15
NH ₃	0,4	0,2	0,1
NO ₂ ⁻	0,1	0,05	0
P _{total}	15	8	4
P _{orgánico}	5	3	1
P _{inorgánico}	10	5	3
pH	6-9	6-9	6-9
Grasas	150	100	50

Fuente: (Gutiérrez, 1996)

2.2. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

La planta de tratamiento de Agua Residual es un conjunto integrado de equipos e instalaciones que cumple procesos físicos, químicos y biológicos, adecuados para depurar las aguas residuales hasta un nivel tal que permita alcanzar la calidad requerida para su disposición final. La complejidad del sistema de tratamiento está en función de los objetivos establecidos para el efluente resultante (Arellano Díaz & Guzman Pantoja, 2011). En el diseño de una planta de tratamiento se debe considerar, como objetivos importantes, la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno, fósforo, sustancias inorgánicas disueltas, sólidos suspendidos y microorganismos patógenos. De acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (1997), las instalaciones para el tratamiento de las aguas residuales urbanas constan de las siguientes fases principales:

2.2.1. Pre-tratamiento o tratamiento preliminar

Son sistemas auxiliares cuyo objetivo es retener sólidos gruesos y finos con densidad mayor al agua. Estas unidades evitan problemas por el paso de arena, basura, plásticos, entre otros, hacia los procesos de tratamiento posteriores (Crites & Tchobanoglous, 2000), para este proceso de desbaste se utiliza rejillas, además esta primera etapa permite distribuir el caudal de forma continua y constante hacia la planta (Kuklinski, 2011).

2.2.2. Tratamiento primario

Consiste en la remoción de los sólidos orgánicos sedimentables y material en suspensión, excepto material coloidal o sustancias disueltas presentes en el agua. Así, la remoción permite quitar entre el 60 a 70% de sólidos suspendidos totales y hasta un 30% a 70% de DBO presente en el agua residual. Se emplea tanque Imhoff, tanques de sedimentación primaria, tanques de flotación, entre otros.

2.2.3. Tratamiento secundario

Consiste en la remoción de la carga orgánica, sólidos suspendidos y nutrientes mediante la inclusión de procesos biológicos en los que predominan las reacciones bioquímicas, generadas por microorganismos que logran eficientes resultados en la remoción de entre el 50% y 95% de DBO. Los sistemas más empleados son: humedales artificiales, filtros-percoladores, filtros rotatorios o biodiscos, entre otros (ONU, 2008).

2.2.3.1. Humedales Artificiales

De acuerdo a Celis (2005), son sistemas, que emulan los pantanos o humedales naturales en el tratamiento de aguas residuales industriales, negras y lixiviados. Los humedales tienen tres funciones básicas; estas son: fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica, utilizar y transformar los elementos por intermedio de los microorganismos, y lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento. El más utilizado es el humedal de flujo libre donde el nivel de agua está sobre la superficie del terreno; la vegetación está sembrada emergiendo o flotando sobre la superficie del agua (Caicedo, 1995). El medio filtrante elimina sólidos, fija las bacterias, y a la vegetación que desarrolla raíces profundas (Delgadillo O., Camacho, Pérez, & Andrade, 2010). Ver figura 2.1.

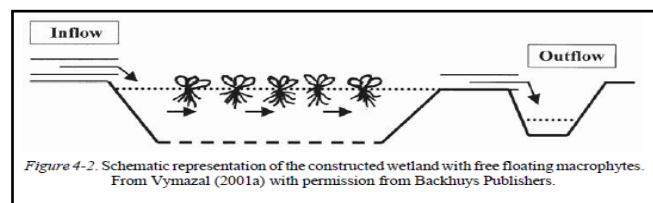


Figura 2. 1 Humedal Artificial de Flujo Superficial
Fuente: Caicedo, 1995

2.2.4. Tratamiento terciario

Tiene como objetivo eliminar agentes patógenos del efluente cuya finalidad es prevenir que la descarga del agua residual tratada previamente, contamine cultivos o cuerpo de agua receptor. Los sistemas más utilizados en desinfección son la clorificación o el empleo de radiación UV.

2.2.5. Reutilización o vertimiento

De acuerdo a Tchobanoglous & Burton (1995), a medida que el nivel de tratamiento aumenta, la potencialidad de un uso benéfico para las aguas tratadas también aumenta. En los sistemas de manejo de aguas residuales, las formas más posibles de reutilización son para riego agrícola, tratamientos en el suelo y recarga de acuíferos.

2.3. Uso de Macrófitas como Depuradores de Agua Residual

Las macrófitas están adaptadas a crecer bajo condiciones de suelos saturados por agua, básicamente tienen los mismos requerimientos nutricionales de las plantas terrestres y se pueden clasificar en: flotantes, sumergidas y emergentes (Caicedo, 1995; J. Glynn & Gary. W, 1999). Véase figura 2.2.

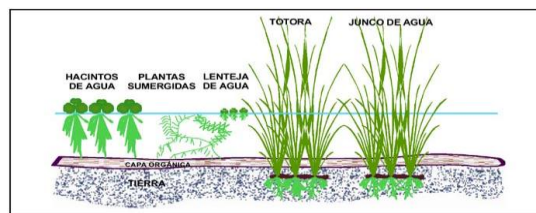


Figura 2. 2 Plantas Acuáticas
Fuente:(León & Lucero, 2009)

Una de las principales especies utilizadas es *Eichhornia crassipes* planta acuática originaria del amazonas, esta especie necesita de climas templados y cálidos; además interviene en la recuperación de la calidad del agua. Ver figura 2.3.

Reino:	Plantae	
División:	Magnoliophyta	
Clase:	Liliopsida	
Orden:	Commelinales	
Familia:	Pontederiaceae	
Género:	<i>Eichhornia</i>	
Especie:	<i>crassipes</i>	

Figura 2. 3 Taxonomía de *Eichhornia crassipes*

Macrófita flotante libre de raíces sumergidas. Carece de tallo aparente, el tallo vegetativo es sumamente corto. Está provista de un rizoma muy particular, emergente, del que se abre un rosetón de hojas obovadas y redondeadas, con pecíolos cortos hinchados (bulbosos) de tejido parenquimatoso con muchas cámaras de aire (más del 70% de su volumen está ocupada de aire) que facilitan la flotación en la superficie del agua; crecen agrupadas con dimorfismo foliar. Su inflorescencia es por espigas agrupadas, abiertas, situadas unos 30cm por encima de las hojas, donde brotan flores lilas y azuladas; de fruto en cápsula de 1,5cm. Se propaga mediante la producción de estolones, semillas, rizomas, turiones, tubérculos, ya que cualquier fragmento de la planta es capaz de regenerar un nuevo individuo, lo que destaca su elevado potencial biótico. En las rosetas que surgen de la multiplicación, se forman raíces adventicias muy desarrolladas, laterales y con pelos epidérmicos, cuando son adultas el sistema radicular representa entre un 10-48% del total de la biomasa de la planta (Wetzel, 1981 citado por López, 2012).

El componente principal es el agua, correspondiente al 95% de la masa total. Gracias a su extenso sistema de raíces tiene excelente poder de filtración y capacidad de absorber impurezas y contaminantes como el Ni, Cd, Pb, Hg, Cr, Cu, fenoles y otros. Además, la capacidad de adsorber, atrapar y fijar los distintos elementos del agua. Puede duplicar su tamaño en diez a quince días (Romero, 2000). Esta macrófita ha sido empleada en la fitorremediación, efectiva para el tratamiento de aguas residuales, y en la utilización como un bioindicador del agua en humedales y embalses. De igual manera ha sido investigado en la producción de pulpa para elaborar papel, abono orgánico, compost, biogás y alcohol.

2.3.1. Tratamiento biológico con macrófitas

El tratamiento biológico se produce gracias a la participación de bacterias asociadas a las plantas de pantano, quienes les proveen de oxígeno a través de sus raíces. La degradación aeróbica coexiste con la anaeróbica a corta distancia de las raíces. Las plantas absorben materiales por sus raíces y los utilizan para el crecimiento y almacenamiento en raíces, tallos y hojas. En el cuadro 2.3 se detalla el rol de las macrófitas en el proceso de tratamiento.

Cuadro 2. 3 Propiedades de las Macrófitas y su Rol en el Proceso de Tratamiento

ROL EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO	
Tejido Vegetal Aéreo	Atenuación de la luz: reduce el crecimiento del fitoplancton Influencia del microclima: aislamiento en invierno Reduce la velocidad del viento: menor riesgo de resuspensión Brinda estética agradable a la apariencia del sistema Almacenamiento de nutrientes
Tejido de la planta en agua	Efecto de filtrado: filtrar los residuos de gran tamaño Reduce la velocidad de la corriente: aumento de la frecuencia de sedimentación, reducción del riesgo de resuspensión Proporciona un área de superficie para biofiltros adjuntos Excreción de oxígeno fotosintético: aumenta la degradación aeróbica. Eliminación de contaminantes Captación de nutrientes.
Raíces y rizomas en el sedimento	Estabilización de los sedimentos superficiales: menor erosión Evitar que el medio de la obstrucción en los sistemas de flujo vertical Libera oxígeno para aumentar la degradación y nitrificación Consumo de nutrientes Eliminación de contaminantes Libera antibióticos

Fuente:(Cárdenas, 2005; Martínez & Rodríguez 2009)

2.4. Control de Calidad de las Aguas Residuales

Las plantas de tratamiento de agua residual y en general todo centro de producción de agua debe cumplir con el objetivo primordial de suministrar agua segura para la salud de los seres humanos, y la conservación de un medio adecuado para su sano desarrollo. Con este fin, es necesario efectuar una serie de labores de supervisión de las diferentes fases del producto final de la planta de tratamiento. Estas labores son conocidas por el nombre de Control de la Calidad las Aguas Residuales. Para tener éxito en este Control de Calidad, es necesario conocer las propiedades del agua susceptibles al cambio, en las diversas formas en que esta existe y como la usa el hombre. Por lo tanto, se examina el agua para identificar sus principales propiedades y, en caso necesario, modificar sus características (Hernández, 2002; citado por Mayorga, 2012). Para cuantificar los contaminantes los principales parámetros para caracterizar las aguas residuales son los siguientes.

2.4.1. Parámetros físicos

Inciden de forma directa sobre las condiciones estéticas del agua y se detectan fácilmente con los sentidos (Arellano Díaz & Guzman Pantoja, 2011), los principales son:

2.4.1.1. Temperatura

Magnitud que expresa el nivel de calor; la temperatura de los efluentes urbanos no plantea grandes problemas, ya que oscila entre 10 y 20° C; facilitando así el desarrollo de una fauna bacteriana y una flora autóctona, ejerciendo una acción amortiguadora frente a la temperatura ambiente (Crites et al. 2000).

2.4.1.2. Conductividad eléctrica

Refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua, especialmente iones de Ca, Mg, Na, bicarbonatos, cloruros y sulfatos (Sierra, 2011).

2.4.1.3. Turbiedad

Es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otras arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos y microorganismos (Cárdenas, 2005).

2.4.1.4. Sólidos totales (ST)

Los sólidos totales es la suma de los sólidos disueltos y en suspensión que la muestra de agua pueda contener (Rodier, 1981; Romero, 2000).

2.4.1.5. Sólidos en suspensión (SST)

Se denomina de este modo a la fracción de los sólidos totales que quedan retenidos por una membrana filtrante de un tamaño determinado (0,45 µm). Dentro de los sólidos en suspensión se encuentran los sólidos sedimentables y los no sedimentables (Romero, 2000).

2.4.1.6. Sólidos disueltos totales (SDT)

La cantidad total de sólidos disueltos en el agua, principalmente de las sales minerales. La medida comprende coloides y sólidos disueltos.

2.4.1.7. Sólidos sedimentables (SS)

Sólidos que se sedimentan por fuera de la suspensión dentro de un periodo de tiempo específico (Crites et al. 2000).

2.4.2. Parámetros químicos

Su grado de concentración determina la calidad de agua, los principales son:

2.4.2.1. Potencial hidrógeno (pH)

Medida del grado de acidez o alcalinidad de un agua. La importancia dentro del agua residual radica en determinar la acidez, un nivel alto puede atacar químicamente tanto a los sistemas de distribución como a los órganos de las plantas de tratamiento, el pH óptimo debe estar entre 6,5 y 8,5 (Rodier, 1981; Cárdenas, 2005).

2.4.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5)

Es la cantidad equivalente de oxígeno (mg/l) necesaria para oxidar biológicamente los componentes de las aguas residuales. En el transcurso de los cinco días de duración del ensayo se consume aproximadamente el 70% de las sustancias biodegradables (Seoáñez, 2005).

2.4.2.3. Demanda química de oxígeno (DQO)

Es la cantidad equivalente de oxígeno (mg/l) necesaria para oxidar los componentes orgánicos del agua utilizando agentes químicos oxidantes (Seoáñez, 2005).

2.4.2.4. Nitrógeno

Se presenta en las aguas residuales en forma de nitrógeno orgánico, amoníaco y, en menor cantidad, de nitratos y nitritos. Para su cuantificación se recurre generalmente a métodos espectrofotométricos, las formas de interés en aguas residuales son las del nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitritos y nitratos. (Romero, 2000).

2.4.2.5. Fósforo

Aparece principalmente como fosfatos orgánicos y polifosfatos. Al igual que las distintas formas nitrogenadas, su determinación se realiza mediante métodos espectrofotométricos. El fósforo en aguas superficiales genera un crecimiento incontrolado de algas, acelerando el proceso de eutrofización (Rodier, 1981).

2.4.3. Parámetros microbiológicos

Se refiere a los organismos patógenos se encuentran en las aguas residuales en muy pequeñas cantidades siendo muy difícil su aislamiento, por ello, se emplean habitualmente los coliformes como organismo indicador (Romero, 2000; Crites, 2000).

2.5. Operación y Mantenimiento de una Planta de Tratamiento de Agua Residual

Operar es hacer funcionar en forma correcta el sistema de tratamiento a través de un trabajo permanente y responsable en las instalaciones, para tener un servicio constante, evitar la contaminación del ambiente y, sobre todo, asegurar la satisfacción de los usuarios.

2.5.1. Responsabilidad de la población

Los usuarios de un sistema de alcantarillado tienen una gran parte de la responsabilidad en su operación y mantenimiento. Los responsables de mantener el sistema deben comunicar permanentemente a los usuarios que no debe utilizarse el alcantarillado sanitario para evacuar aguas de lluvia estas arrastran partículas de arena que sedimentan en las tuberías y con el tiempo pueden bloquearlas; no arrojar bolsas plásticas, pañales desechables, toallas

higiénicas, papel periódico y objetos similares en los inodoros y tratar en lo posible verter cada cuatro meses agua hervida en su inodoro para disolver y eliminar residuos de grasa.

2.5.2. Mantenimiento de una planta

Para evitar que un determinado sistema de tratamiento de aguas residuales que está diseñado para funcionar de manera continua, se detenga por falta de control ocasionando problemas ambientales y riesgos para la población aledaña a la planta, es necesario tener adicional al diseño un manual de mantenimiento, el cual detalla los por menores de las actividades y medidas, a tener en cuenta para una adecuado funcionamiento del sistema de tratamiento y definir los procedimientos para el mantenimiento de todas las operaciones del sistema. El mantenimiento de un sistema de tratamiento requiere de la capacitación de un operario calificado que conozca el funcionamiento del sistema y las posibles eventualidades que son necesarias controlar (Mayorga, 2012).

Los aspectos operacionales y de mantenimiento deben ser considerados desde la fase de planeación del proyecto. Usualmente en la localidad se conforma un ente para administrar el sistema de abastecimiento de agua, sin embargo es el operador quien juega un papel importante en la operación y mantenimiento del sistema. Las funciones principales del operador de una planta de tratamiento consideran entre otras, el control del flujo, el monitoreo de la calidad del agua, la limpieza de los filtros y la ejecución de actividades generales de mantenimiento.

La manipulación debe efectuarse con mucha precaución, empleando guantes, botas y mascarilla. Una vez concluida esta tarea, debe lavarse y desinfectarse todas las herramientas empleadas y el operador debe realizar un buen aseo personal. Una herramienta importante para el operador y que contribuye a alcanzar un mejor control sobre el funcionamiento del sistema, es la ficha de control, la cual debe ser llevada según el programa de seguimiento acordado con el ente de soporte en control y vigilancia de la calidad del agua. Los registros obtenidos para los parámetros de interés deben ser comparados con los valores deseables, a fin de establecer la eficiencia en el funcionamiento de la planta de tratamiento y tomar las acciones en caso de ser necesarias (Asfahl & Rieske, 2010).

2.6. Optimización de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales

El análisis de la eficiencia técnica en las plantas de tratamiento de aguas residuales se muestra de una creciente actualidad. Son muchas las razones que justifican la necesidad de conocer en detalle las posibles ineficiencias existentes en los procesos de tratamiento. Desde un punto de vista económico el término eficiencia se asocia con un uso racional de los recursos disponibles, es decir, se utiliza para describir aquel proceso productivo que emplea de manera óptima todos sus factores de producción, según la tecnología existente (Hernández, Saz, & Sala, 2014).

La mayoría de empresas proveedoras de sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales domésticas, generalmente instalan plantas de tratamiento compactas, prefabricadas o diseños desarrollados en el extranjero. Estas plantas tienden a perder eficiencia con el tiempo debido al desconocimiento de parámetros de control requeridos y la forma de hacerlo. Constantes fundamentales para el diseño de la planta como el tiempo de retención hidráulico, la relación alimento/microorganismo y tiempo de retención celular, son ignoradas y el manejo eficiente del tratamiento en escala real se dificulta (Moncayo & Ayala, 2011).

2.7. Determinación de la Eficiencia de una Planta de Tratamiento

La determinación de la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales rurales o urbanas tienen una relativa complejidad, debido a las oscilaciones que se producen en los flujos de las aguas residuales de ingreso y salida, como también el tiempo de retención del líquido en las instalaciones de la planta. El grado de eficiencia de una planta de tratamiento de agua residual, se define como la reducción porcentual de los indicadores de contaminación apropiados para tal proceso. Para la determinación de tal reducción, se establece a la vez un indicador específico, para el cual se determina una relación entre la carga que ingresa a la planta y la correspondiente carga en el flujo de salida de la planta. En este contexto, debe considerarse también la importancia de las particularidades de la planta y las diferencias en las condiciones específicas del agua, desde el punto de vista técnico (Mayorga, 2012).

La evaluación de una planta de tratamiento puede efectuarse en base a los objetivos por los cuales fue diseñada en principio ya sea para eliminación de residuos, aceites, grasas, flotantes, arenas, materias orgánicas o inorgánicas, nutrientes, entre otros, y que éstos sean correctamente dispuestos. Para determinar el grado de eficiencia de la planta se utiliza la siguiente fórmula: **% Remoción** = $[(C \text{ afluente} - C \text{ efluente}) / C \text{ afluente}] \times 100$. (1)

2.8. Marco Legal del Proyecto

Todo proyecto de desarrollo debe regirse en base a la normativa tal como lo expresa la Constitución de la República Ecuatoriana; como se cita en el Título II-derechos, capítulo segundo, Sección segunda-Ambiente sano **Art. 14 y Art. 15** que reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay, declarando de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados. Además el Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

Por otra parte para este tipo de proyectos en el Título VI: Régimen de Desarrollo, Capítulo primero - Principios generales, el **Art. 276** establece al régimen de desarrollo como objetivo Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural. En base a esto en el Título VII – régimen del buen vivir, **Art. 411** el Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

De igual importancia se presenta Ley De Prevención Y Control De La Contaminación Ambiental, donde el **Art. 6** establece que queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades. Todo en bases al Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente (**TULS-MA**)- **Recurso agua-Libro VI-Anexo 1**, con los literales: **4.1.4** Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego, **4.2.3** Normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor: Agua dulce y agua marina.

Finalmente todo proyecto debe registrarse tomando en cuenta los objetivos del Plan Nacional para el Buen Vivir (2009-2013), para plantas de tratamiento de aguas residuales se rige el **Objetivo 4:** para garantizar los derechos de la naturaleza y promover un ambiente sano y sustentable. Guiándose por la **Política 4.2.** Manejar el patrimonio hídrico con un enfoque integral e integrado por cuenca hidrográfica, de aprovechamiento estratégico del Estado y de valoración sociocultural y ambiental; y **Política 4.4.** Prevenir, controlar y mitigar la contaminación ambiental como aporte para el mejoramiento de la calidad de vida.

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La siguiente metodología de evaluación ha sido estructurada para determinar cualitativa y cuantitativamente el manejo de la planta de tratamiento.

3.1. Materiales

El listado de materiales utilizados se detalla clasificado por fases, el detalle se presenta en el siguiente cuadro 3.1.

Cuadro 3. 1 Listado de materiales

FASE DE CAMPO	
Materiales de Siembra: <ul style="list-style-type: none">● <i>Eichhornia crassipes</i>	Materiales Generales: <ul style="list-style-type: none">● Frascos● Etiquetas● Cooler● Libretas de campo● Flexómetro● Fundas● Palas● Rastrillos● Machete● Podadora manual● Redes de limpieza
Materiales de Protección Personal: <ul style="list-style-type: none">● Mascarilla● Uniforme completo● Guantes de caucho y quirúrgicos● Gorra● Botas de caucho● Jabón, gel antiséptico	
FASE DE LABORATORIO	
<ul style="list-style-type: none">● Imagen Quickbird de la parroquia San Rafael● Plano de alcantarillado de la Cuenca del Lago San Pablo● Diseños arquitectónicos de la Planta de Tratamiento Huaycopungo Norte	

Fuente: Autor

3.2. Equipos

En el siguiente cuadro 3.2 se indican los equipos utilizados en las diferentes fases del proyecto.

Cuadro 3.2 Listado de equipos

FASE DE CAMPO	FASE DE LABORATORIO
<ul style="list-style-type: none">● Ecolit portátil de medición de parámetros: pH, Temperatura, Conductividad, Sólidos disueltos totales● Cámara fotográfica● GPS Garmin● Calculadora	<ul style="list-style-type: none">● Computador● Impresora● Proyector● Scanner● Disco Extraíble● Software ArcGIS 10.2● Espectrofotómetro

Fuente: Autor

3.3. Descripción del Área de Estudio

Los datos para la caracterización de la zona de estudio se recopilaron de información secundaria obtenida del INEC y del estudio de factibilidad y diseño de las plantas de tratamiento de agua residual dentro la comunidad Huaycopungo Norte en el cantón Otavalo. Mientras tanto la ubicación se obtuvo mediante el levantamiento de coordenadas utilizando GPS, esta información se editó utilizando imagen satelital y el programa ArcGis 10.2 cartografiando el mapa de ubicación y mapa base.

3.4. Determinación del Estado de la Planta Tratamiento

En base a los diseños arquitectónicos se describió las características de los Sistemas de Tratamiento de Agua Residual de la planta N°4, “Huaycopungo Norte”. Mientras tanto para detallar las condiciones de la planta al inicio de la investigación se realizó inspecciones in situ de los procesos de tratamiento y su interacción con el lodo y agua residual, tomando en cuenta el control que se ha realizado, la presencia de malos olores y proliferación de mosquitos. Identificados los problemas se procedió a la rehabilitación de todas las instalaciones, incluyendo áreas verdes y exteriores.

3.5. Manejo del Lechuguín de Agua

El manejo de esta especie se dio en base su rendimiento y a los condicionantes civiles que se presentan. El estudio se realizó en varias etapas como se detallan a continuación:

3.5.1. Manejo del cultivo

El manejo del cultivo se realizó disciplinariamente, para garantizar que las plantas eliminen la mayor cantidad de contaminantes presentes en el agua.

3.5.1.1. Proceso de siembra

Como técnica de siembra se utilizó la implantación por depósito, el método consistió en transportarlas desde un humedal a otro, escogiendo individuos con desarrollo avanzado y de mayor crecimiento radicular. Tomando en cuenta la distribución de la vegetación de forma heterogénea y diversa, de manera que se favoreció la mayor ocupación de espacio en cada estrato de agua a lo largo, ancho y profundidad del estanque. Rodríguez (2001) recomienda mantener una homogeneidad en los estanques sembrando en proporciones de 5 kg/m². Ver figura 3.1.



Figura 3. 1 Manejo del Cultivo
Fuente: Autor

3.5.1.2. Proceso de cosecha

Durante el manejo se realizó varias cosechas seleccionando las plantas amarillentas, secas y con bulbos blanquecinos, permitiendo el crecimiento de los individuos en buenas condiciones. Ver figura 3.2.



Figura 3. 2 Proceso de Cosecha
Fuente: Autor

3.5.2. Análisis Morfológico del Lechuguín de Agua

Para este estudio se seleccionó 40 individuos al azar, distribuyéndolos en cuatro secciones de depuración a lo largo de cada estanque, en total se analizaron 240 plantas etiquetadas para su identificación y medición, registrando su crecimiento durante 21 días con períodos de 3 días entre cada medición, ver figura 3.3. A continuación se enuncian los parámetros a analizar:

- Altura y diámetro de raíz.
- Ancho de la cobertura vegetal de la planta, parámetro tomando de las dos hojas extendidas, desde el ápice izquierdo al derecho.
- Altura de la cobertura vegetal de la planta, parámetro medido desde donde inicia el pseudotallo hasta el ápice de la hoja más alta.
- Longitud del pseudotallo.
- Número de bulbos.
- Peso de la planta en gramos, dejando escurrir el agua por 10 minutos antes de cada medición.



Figura 3. 3 Análisis Fisiológico
Fuente: Autor

3.5.3. Determinación del Crecimiento, Capacidad de Carga Operacional (KOP) y Rendimiento de la Biomasa.

Para este estudio se depositó plantas etiquetadas en cuadrantes distribuidos en cada sección de depuración a lo largo de cada estanque, ver figura 3.4. La metodología aplicada fue la siguiente:

- Se analizó el crecimiento de las plantas en seis cuadrantes de madera de 50 cm x 50cm, distribuidos en las cuatro secciones de tratamiento ubicados a lo largo de cada uno de los seis estanques.
- Se registró el peso durante 21 días con períodos de 3 días entre cada medición. Este proceso consistió en la extracción de los individuos de cada cuadrante y se dejó escurrir durante 10 minutos, debido a que el sistema radicular retiene agua pudiendo alterar el peso en el valor real.
- Una vez establecido la densidad inicial y el incremento de ésta en un período de 3 a 21 días, se graficaron los promedios de crecimiento del lechuguín de agua para cada uno de los estanques estableciendo la capacidad de carga operacional y rendimiento máximo de la biomasa por el método gráfico.

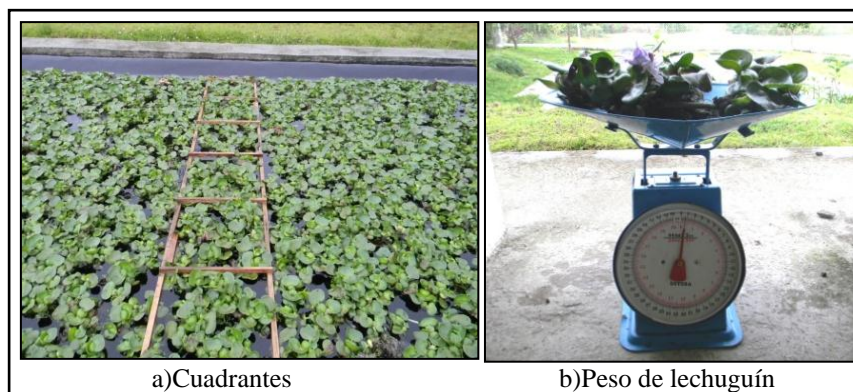


Figura 3. 4 Comportamiento de la Biomasa
Fuente: Autor

3.5.4. Evaluación de los niveles de depuración del lechuguín de agua en los humedales artificiales.

Para evaluar la capacidad depuradora de esta especie se tomó en cuenta la disminución en concentración de los parámetros analizados en base a los resultados del análisis de agua realizado en la etapa de muestreo de cada estanque como se indicará posteriormente en la fase de monitoreo.

3.6. Monitoreo de Agua Residual

Se entiende por monitoreo a la medición y observaciones continuas y estandarizadas del agua residual, sirve para evaluar su funcionamiento y permite detectar posibles anomalías y/o verificar el cumplimiento de los objetivos propuestos en cuanto a la calidad de agua. Así, las principales herramientas para realizar un plan de monitoreo son el muestreo, análisis de las aguas, medición de caudales, y un registro donde se incluyan los resultados obtenidos (Delgadillo O. , Camacho, Pérez, & Andrade, 2010). A continuación se detallan las etapas:

3.6.1. Diagnóstico inicial

El proceso de diagnóstico inicial del sistema de tratamiento implicó la determinación in situ de valores de conductividad, temperatura y pH, valores que fueron determinados utilizando el Ecolit de Ambiente, cada 2 horas desde las 7:00 hasta las 21:00, el día miércoles. En la elaboración del plan de muestreo, el parámetro más importante de los

citados anteriormente en tomar en cuenta fue el caudal, para lo cual se elaboró una gráfica de caudal – tiempo, tales valores se tomaron en cuenta para la elaboración del plan de muestreo. Ver figura 3.5.



a) Toma de muestras b) Medición de parámetros
Figura 3. 5 Muestras – Medición del caudal, pH, Temperatura, Conductibilidad
Fuente: Autor

3.6.2. Medición del caudal

El comportamiento del caudal se caracterizó, mediante mediciones desde las 7:00am hasta las 21:00 pm con intervalos de 30 min en los puntos de captación del afluente y en cada descarga de los sistemas de tratamiento. Para la medición de caudal en la planta de tratamiento se utilizó dos métodos de aforo como se explica a continuación.

3.6.2.1. Aforo Volumétrico

Este método se aplica cuando la corriente o vertimiento presenta una caída de agua en la cual se pueda interponer un recipiente; se requiere un cronómetro y un recipiente aforado con graduaciones de 1 litro. Al momento de aforar se tomó la muestra colocando el recipiente bajo el vertimiento de tal manera que reciba todo el flujo; simultáneamente se activó el cronómetro, dependiendo de la velocidad de llenado, se midió el tiempo transcurrido desde que se introdujo a la corriente hasta que se retiró de ella.

El caudal se calcula de la siguiente manera: $Q = V / T$ (2)

Donde:

Q = Caudal en litros por segundo (L/s); V = Volumen en litros; T = Tiempo en segundos.

3.6.2.2. Cálculo del área mojada

Para esta medición se emplearon fórmulas matemáticas que relacionan el diámetro de las tuberías con la pendiente del sitio. Se aplicó el método recomendado por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) para el cálculo de sistemas de alcantarillado, citado en la Guía de Implementación para Análisis de Vulnerabilidades a Nivel Municipal (SNGR, 2012). Las fórmulas se indican a continuación. Ver figura 3.6.

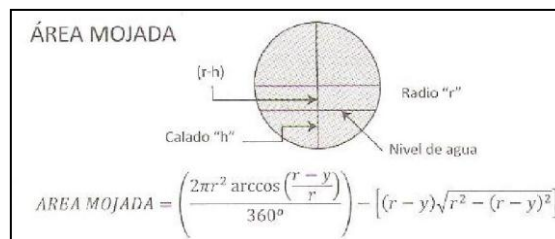


Figura 3. 6 Cálculo del Área Mojada
Fuente: SNGR, 2012.

Donde: r = radio del colector; y=altura del espejo de agua con relación a la base del colector.

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (3)$$

Donde: c= distancia (hipotenusa); $\sqrt{a^2 + b^2}$ = suma de catetos (pendiente)

$$V = \sqrt{(2g/1 + k)x h} \quad (4)$$

Donde: v= velocidad; g= gravedad (9,81 m/s²) (sen∞); d= distancia (c); k= 0,5;
h= altura desnivel

$$Q=A x V \quad (5)$$

Donde: Q= Caudal, A= Área mojada, V= Velocidad

3.6.3. Planificación y ubicación de los puntos de muestreo

En esta etapa es necesario tener claro el objetivo del muestreo y tomar en cuenta la disponibilidad económica. Para el presente caso se asumió que el objetivo es realizar un monitoreo de rutina en la planta de tratamiento de aguas residuales “Huaycopungo Norte”.

3.6.3.1. Selección de los parámetros a analizar

La selección de parámetros depende del destino final de las aguas tratadas y las exigencias de la normativa legal de acuerdo a TULS-MA, teniendo en cuenta que estas aguas se utilizarán en cultivos y hacia descarga de cuerpos de agua dulce. En el cuadro 3.3 se indican los parámetros que se analizaron y los métodos oficiales según Standard Methods for the Examination of Waters and Wastewaters.

Cuadro 3. 3 Metodología empleada para análisis de calidad de agua

METODOLOGÍA EMPLEADA			
N°	Parámetro	Unidades	METODOLOGÍA
ANÁLISIS FÍSICOS			
1	Temperatura	°C	APHA-5550 B
2	Conductividad Eléctrica	uS/cm	APHA-2510 A
3	Sólidos Totales	mg/l	APHA-2540 B
4	Sólidos Disueltos Totales	mg/l	APHA-2510 A
5	Sólidos suspendidos	mg/l	APHA-2540 D
6	Sólidos sedimentables	mg/l	APHA-2540 F
ANÁLISIS QUÍMICOS			
7	pH	-	APHA-4500H+B
8	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	APHA-5210 B
9	Demanda Química Oxígeno	mg/l	APHA-5220 D
10	Amoníaco	mg/l	APHA-4500-NH3-C
11	Fosfatos	mg/l	APHA-4500-P-C
12	Nitratos	mg/l	APHA-4500-NO3-B
13	Nitritos	mg/l	APHA-4500-NO2-B
14	Sulfuros	mg/l	APHA-4500-S-D
METALES PESADOS			
15	Plomo	mg/l	-----
16	Cromo	mg/l	-----
17	Hierro	mg/l	-----
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS			
18	Coliformes fecales (Escherichia Coli)	NPM/100 ml	APHA-9222 A O E.P.A. -40 CFR
19	Coliformes Totales	NPM/100 ml	APHA-9222 A O E.P.A. -40 CFR

Fuente: Standard Methods for the Examination of Waters and Wastewaters

3.6.3.2. Localización de los puntos de muestreo

La localización de los puntos de muestreo depende del objetivo del muestreo. Para una mejor comprensión de este apartado, considérese la planta de tratamiento de aguas residuales Huaycopungo Norte esquematizada en la figura 3.7.

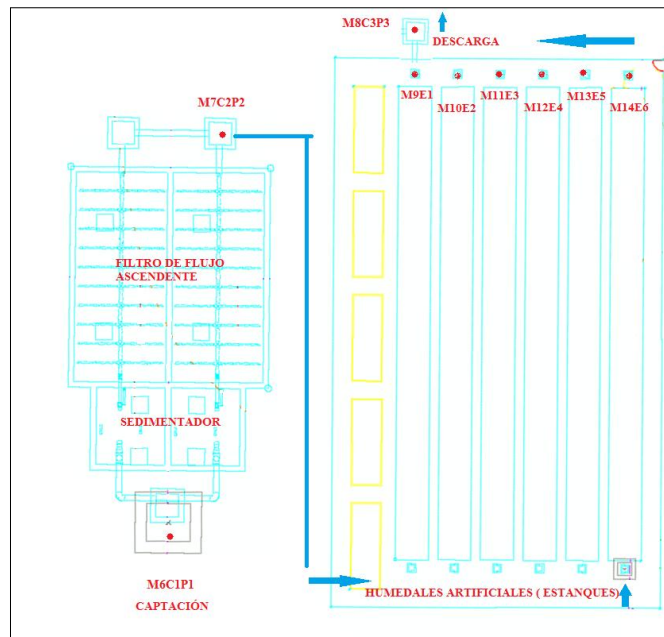


Figura 3. 7 Puntos de Muestreo
Fuente: Autor

Siendo el objetivo del muestreo evaluar el funcionamiento y eficiencia de remoción, entonces los puntos de muestreo serían la captación del afluente, a la salida del filtro, a la salida de los estanques o humedales artificiales y a la descarga final, cada punto se codificó como se observa en la figura 3.7.

3.6.4. Metodología de recolección de muestras

Al momento del muestreo se recolectó una porción representativa al material original, cuidando la manipulación de la muestra de forma tal que no se produzcan cambios significativos hasta su análisis (Andreu & Camacho, 2002 citado en Delgadillo et al., 2010). Para el análisis del agua residual se tomó un litro de volumen siguiendo los requerimientos de manejo, almacenamiento y preservación (Cárdenas, 2005). La frecuencia de los muestreos se realizó en tres fases:

3.6.4.1. Fase Preliminar - Muestra Simple

Las muestras simples o puntuales, representan un punto de muestreo en un momento determinado y se toman para su análisis individual. Es adecuada para representar cuerpos de agua con una composición estable en el tiempo, y para cuando se quiera representar un

pico máximo o mínimo de la composición o de un indicador de calidad de agua (Delgadillo et al., 2010).

a) Plan de Muestreo

En la captación del afluente, se realizó muestreos diarios del agua residual a las 11:00 am; durante cinco días de lunes a viernes respectivamente, posteriormente en base a los resultados obtenidos del análisis de las muestras se determinó el día de mayor concentración de contaminantes. A continuación se detalla el plan de muestreo preliminar, ver cuadro 3.4.

Cuadro 3. 4 Plan de frecuencia de muestreo preliminar – Captación del Afluente

LOCALIZACIÓN DE MUESTREO	CÓDIGO DE LA MUESTRA	LUGAR DE MUESTREO	DÍAS DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	TOTAL DE MUESTRAS
X: 0809666; Y:10021347	M1C1P1 - M5C1P1	Captación Afluente	5 (Lunes a Viernes)	11:00 am	5

Fuente: Autor

3.6.4.2. Fase Complementaria - Muestra Compuesta

Las muestras compuestas resultan de la mezcla de muestras puntuales recogidas en un mismo punto a lo largo de un periodo de tiempo. Se utilizan para evaluar la calidad promedio de aguas cuya composición varía en el tiempo lo que ayuda a evaluar la eficiencia de PTAR (Cárdenas, 2005; Delgadillo et al. 2010).

a) Plan de Muestreo

En base a los resultados de análisis de agua de la fase preliminar se determinó al día miércoles como el de mayor carga orgánica, y por consiguiente designado para la toma de las muestras compuestas, tomando un periodo de tiempo de dos horas desde las 7:00 hasta las 21:00 en cada fase de tratamiento, es decir; en la captación del efluente, salida del filtro anaerobio, descarga final (agua depurada), y salida de los seis humedales artificiales (estanques). Dicho esto para garantizar una confiabilidad al momento de la toma de muestras es importante que la contribución de cada muestra a la mezcla sea proporcional al

caudal registrado al momento de su recolección, por lo que se realizó la toma de muestras compuestas, considerando la siguiente ecuación:

$$Vm = \frac{(Qt \times Vt)}{(Qm \times Nm)} \quad (6)$$

Dónde:

V_m = volumen de muestra que se toma (alícuota)

Q_t = caudal en el momento que se toma la muestra

V_t = volumen final de la muestra compuesta

Q_m = caudal promedio

N_m = número de muestras que se tomaran para constituir la muestra compuesta.

El cuadro 3.5 detalla el plan de muestreo realizado en cada sistema de tratamiento.

Cuadro 3. 5 Plan y frecuencia de muestreo compuesto en fases de tratamiento

LOCALIZACIÓN DE MUESTREO	CÓDIGO DE LA MUESTRA	LUGAR DE MUESTREO	DÍAS DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	TOTAL DE MUESTRAS
X: 0809666; Y:10021347	M6C1P1	Captación del afluente	2 (Miércoles)	7:00 – 21:00	2
X: 0809716; Y:10021443	M7C2P2	Salida del Filtro	2 (Miércoles)	7:00 – 21:00	2
X: 0809759; Y:10021456	M8C3P3	Descarga efluente	2 (Miércoles)	7:00 – 21:00	2

Fuente: Autor

A continuación el cuadro 3.6 detalla el plan de muestreo realizado en cada estanque.

Cuadro 3. 6 Plan y frecuencia de muestreo compuesto en Humedales Artificiales (Estanques)

CÓDIGO DE LA MUESTRA	LUGAR DE MUESTREO	DÍAS DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	TOTAL DE MUESTRAS
M9E1	Estanque 1	Miércoles	7:00 – 21:00	1
M10E2	Estanque 2	Miércoles	7:00 – 21:00	1
M11E3	Estanque 3	Miércoles	7:00 – 21:00	1
M12E4	Estanque 4	Miércoles	7:00 – 21:00	1
M13E5	Estanque 5	Miércoles	7:00 – 21:00	1
M14E6	Estanque 6	Miércoles	7:00 – 21:00	1

Fuente: Autor

3.6.4.3. Monitoreos de Rutina para Control de Calidad de Agua Residual

Ejecutados los trabajos de manejo y optimización en la operación de las unidades de tratamiento, se procedió realizar dos muestreos simples con el fin de verificar que la planta se mantenga con el transcurso del tiempo en condiciones óptimas; manteniendo los requerimientos de calidad de agua. A continuación el cuadro 3.7 detalla el plan de muestreo ejecutado, el análisis de estos muestreos se realizó en laboratorios acreditados.

Cuadro 3. 7 Plan y frecuencia de muestreo compuesto en Humedales Artificiales (Estanques)

LOCALIZACIÓN DE MUESTREO	CÓDIGO DE LA MUESTRA	LUGAR DE MUESTREO	DÍAS DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	TOTAL DE MUESTRAS
X: 0809666; Y:10021347	M6C1P1	Captación del afluente	(Lunes, 11/11/2013)	11:00 am	1
X: 0809759; Y:10021456	M8C3P3	Descarga efluente	(Lunes, 11/11/2013)	11:00 am	1
X: 0809666; Y:10021347	M6C1P1	Captación del afluente	(Miércoles, 23/04/2014)	11:00 am	1
X: 0809759; Y:10021456	M8C3P3	Descarga efluente	(Miércoles, 23/04/2014)	11:00 am	1

Fuente: Autor

3.6.5. Recolección de agua residual

La técnica de recolección implica garantizar una muestra representativa, se enfrentó el recipiente contra el flujo evitando tomar agua de los bordes sin tocar los sólidos sedimentados (Cárdenas, 2005). En el proceso de recolección de agua residual se tomó en cuenta las medidas de seguridad esto se refiere a las previsiones que deben aplicar el personal para evitar contaminarse o enfermarse. Delgadillo et al., 2010 indica que todas las partes en contacto con el líquido o gases, deben estar totalmente protegidas con material impermeable, por tal motivo al recolectar las muestras se utiliza guantes, botas de caucho, ropa de protección, mascarillas, gafas, entre otros. Se recomienda contar con un botiquín de primeros auxilios acordes con los riesgos que implica el muestreo de aguas residuales.

3.6.6. Procedimiento de etiquetado y registro

Para que el muestreo tenga éxito es imprescindible una buena identificación. MDSMA, 1997; Tapias, 2008 afirman que conviene pegar tarjetas en cada frasco de muestreo con el mínimo de información necesaria, como se indica en el cuadro 3.8.

Cuadro 3. 8 Etiqueta de Muestreo

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
MUNICIPIO DE OTAVALO			
TEMA DEL PROYECTO:			
TIPO DE MUESTRA			
CÓDIGO DE MUESTRA			
UBICACIÓN GEOGRÁFICA		X	
		Y	
FECHA Y HORAS DE LA TOMA DE MUESTRA		FECHA Y HORA DE INGRESO A LABORATORIO ACU-CHEM	
PARÁMETROS ANALIZAR			
RESPONSABLE DEL MUESTREO Y TRANSLADO		Tesista:	
		Firma:	
RESPONSABLE DEL LABORATORIO		Firma:	

Fuente: Autor

Además se puede incrementar a la etiqueta condiciones de muestreo (normal, turbulencia, colores u olores anormales), datos meteorológicos al momento del muestreo, datos de caudal, origen del agua, aspecto del medio natural, entre otros. Se utilizó marcadores indelebles y material apto para resistir las distintas inclemencias y situaciones a las que se exponen recipientes con muestras de agua.

3.6.7. Cadena de custodia

En el cuadro 3.9 se detallan los procesos de muestreos, movilización, entrega y recepción de las muestras, cadena de custodia utilizada durante el monitoreo de agua residual.

Cuadro 3. 9 Cadena de Custodia

FORMULARIO DE REGISTRO DE MUESTRAS Y CADENA DE CUSTODIA										
PROYECTO:		CRITERIOS DE OPTIMIZACIÓN EN LA OPERACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES HUAYCOPUNGO NORTE, EN LA PARROQUIA SAN RAFAEL, CANTÓN OTAVALO, PROVINCIA IMBABURA.								
MUESTREADO POR:							FIRMA			
Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	VOLUMEN	TIPO DE MUESTRA					ANÁLISIS REQUERIDO		
			AGUA	SUELO	LODO	SIMPLE	COMPUESTA	FÍSICO-QUÍMICO	BIOLÓGICOS	OTROS
	NOMBRE	INSTITUCIÓN	FIRMA		HORA	MUESTRA INTACTA		SI	NO	
ENTREGADO POR:								RECIPIENTE ADECUADO		
								TIEMPO ADECUADO DE ENTREGA		
RECIBIDO POR:								CONSERVACIÓN DE MUESTRAS		
								FRÍO AMBIENTE		

Fuente: Autor

3.6.8. Conservación y almacenamiento de muestras

Para asegurar que las muestras no sufran alteraciones significativas, se transportaron hasta el laboratorio de análisis de agua, en una nevera portátil con hielos, para conservarlas a baja temperatura y proteger las muestras de la acción directa a la luz.

3.7. Determinación de Criterios para Optimización

Para recomendar criterios de optimización operativa de una PTAR se analizó varios aspectos técnicos referentes al funcionamiento, aprovechamiento y mantenimiento de los elementos integrantes del pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario. Como paso previo se analizó los resultados del monitoreo de agua residual para identificar el tipo de agua que se está depurando con la planta, analizando:

3.7.1. Comportamiento del caudal

El caudal se determinó aplicando el método de aforo volumétrico y de área mojada siguiendo la metodología anteriormente mencionada. Posteriormente mediante gráficas se determinó el comportamiento del caudal y se identificó si existen variaciones significativas que alteren la depuración durante el transcurso de cada unidad de tratamiento.

3.7.2. Tiempo de retención hidráulica

Se analizó este parámetro con el fin de identificar que los tiempos de retención del agua residual en cada unidad de tratamiento se mantengan para controlar que los procesos depurativos se ejecuten óptimamente. Se calculó aplicando siguiente fórmula:

$$\mathbf{TRH= V/Q} \quad (7)$$

Donde:

V= volumen del sistema o reactor; Q= caudal de agua que ingresa

3.7.3. Carga hidráulica

Este análisis identifica si la carga hidráulica que ingresa se mantiene en un rango adecuado y no altera la estabilidad de los sistemas. Se calculó aplicando la siguiente fórmula:

$$CH= Q/A \quad (8)$$

Donde:

Q= caudal de agua que ingresa; A= área (superficie)

3.7.4. Comportamiento de la carga contaminante

Se determinó la materia orgánica soluble y particulada que ingresa a la PTAR, aplicando la siguiente fórmula:

$$Cc = (C \times Q)/A \text{ (superficie ha)} \quad (9)$$

Donde,

Cc= Carga contaminante (kg/ ha.d); C= concentración de DBO₅ o DQO; A= superficie (ha).

3.7.5. Relación de DBO₅-DQO

La relación se calculó dividiendo el DBO₅/DQO del afluente, el resultado afirma si los residuos son fácilmente tratables en procesos biológicos. El análisis de estos parámetros identificó claramente las características del agua que se depura en la PTAR, esto es de suma importancia ya que pronostica que entre menos altos y bajos tengamos en las cargas contaminantes, y carga hidráulica la PTAR va a operar en forma mucho más estable.

3.7.6. Operación, seguimiento y control

Conjuntamente al monitoreo se inspeccionó las condiciones físicas y operativas de todos los elementos integrantes de la PTAR, se identificó si existen partes que hay que cambiar u otras medidas a tomar para obtener mayor eficiencia durante el tiempo de vida útil de los equipos. Tomando en cuenta esta situación se utilizó una ficha técnica de inspección de los procesos de tratamiento para cada unidad y se procedió a la vigilancia periódica para que

conjuntamente con los resultados analíticos de proceso se puedan ajustar las diferentes fases de tratamiento, y mantener un funcionamiento óptimo (Hernández Lehmann, Galán, & Hernández Muñoz, 2004). Las principales operaciones de seguimiento en general se concretaron a continuación en cada fase de tratamiento:

3.7.6.1. Pretratamiento

Las actividades realizadas fueron:

- a) Supervisión, extracción y limpieza de sólidos en la rejilla y caja de captación.
- b) Detección de olores e impactos físicos.
- c) Inspección de los brazos de distribución del afluente.

3.7.6.2. Tratamiento Primario – Sedimentador

Las actividades realizadas fueron:

- a) Control de costras u otros flotantes presentes.
- b) Verificación del nivel de los lodos en las tuberías de revisión.
- c) Detección de olores fuertes y observación de burbujas en el agua, esto verifica que el proceso de tratamiento anaerobio se ejecuta apropiadamente.
- d) Control de la sedimentación.
- e) Revisión de los sistemas de aireación y tapas de protección.
- f) Mantenimiento o limpieza del tanque.

3.7.6.3. Tratamiento Secundario – Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

Las actividades realizadas fueron:

- a) Control de material flotante.
- b) Detección de olores fuertes y burbujas en el agua.
- c) Control del proceso de filtrado.
- d) Revisión de los sistemas de aireación y tapas de protección.
- e) Mantenimiento del filtro y cajas de descarga.

3.7.6.4. Tratamiento Terciario – Humedales Artificiales de Flujo Superficial (Seis estanques)

Las actividades realizadas fueron:

- a) Limpieza de los repartidores de caudales.
- b) Manejo del lechuguín de agua.
- c) Control de los humedales y lodos acumulados.
- d) Mantenimiento de repartidores de caudales, cajas de descarga e inspección de tapas de protección.

3.7.6.5. Servicios Auxiliares

Las actividades realizadas fueron:

- a) Muestreos rutinarios de agua residual y medición de caudal.
- b) Mantenimiento de la caja de descarga final del efluente depurado.
- c) Control de lechos de secado y manejo del material de desecho acumulado.
- d) Mantenimiento de la instrumentación y equipamiento.
- e) Adecuación de las obras civiles y aspecto exterior, mimetización con el paisaje.

3.7.6.6. Control de Operación

Con base a las actividades de vigilancia y manejo se comprobará los aspectos funcionales y de rendimiento de la depuradora. Todos estos datos servirán para establecer los resultados obtenidos, y para escoger modificaciones de optimización durante la operación de los sistemas de tratamiento en conjunto (Hernández et al., 2004).

3.7.7. Seguridad industrial y riesgo ocupacional

Se investigó mediante información secundaria recopilada por distintos autores y tomando en cuenta la experiencia al realizar la investigación al estar en exposición directa a los factores infecciosos que se pueden ocasionar durante el trabajo directo se seleccionó todas las normas que deben regirse para cuidar las buenas prácticas de Seguridad Industrial y Riesgo Ocupacional en las tareas asociadas en el manejo de plantas de tratamiento;

determinando un conjunto de recomendaciones destinadas a controlar el riesgo de exposición.

3.7.8. Capacitación

Al momento de realizar el control de la PTAR se capacitó al personal a cargo, en temas de agua residual, procesos depurativos, funcionamiento, mantenimiento de PTAR, y labores de seguridad y salud ocupacional, entre otros. Finalmente frente a las características del proyecto se recomendó proyectos que se pueden ejecutar a partir del efluente, los lodos del sistema, recuperación de residuos para transformarlos en subproductos o materia prima y así obtener mayores beneficios para el sector.

3.8. Análisis en Eficiencia de los Sistemas de Tratamiento

El grado de eficiencia de la Planta de Tratamiento de Agua Residual “Huaycopungo Norte”, se realizó tomando en cuenta la reducción porcentual de los indicadores de contaminantes en el proceso; es decir se analizó en base los 16 parámetros evaluados para determinar la calidad de agua residual tratada. De esta manera se logró evaluar el desempeño en base a la capacidad de remoción de carga orgánica en cada sistema de tratamiento (sedimentador, filtro y humedales artificiales). Por tanto se determinó el grado de eficiencia de la planta utilizando las siguientes fórmulas.

Para el cálculo de remoción de DBO, DQO, Sólidos, sulfuros, fosfatos, nitratos, nitritos, conductividad eléctrica, coliformes totales y fecales se utiliza el indicador:

$$\% \text{ Remoción} = [(C \text{ afluente} - C \text{ efluente}) / C \text{ afluente}] \times 100 \quad (10)$$

Para determinar la tasa de degradación de contaminantes por hora se utilizó la ecuación modificada de Monod, expresada a continuación:

$$K = \ln (C_0/C_f) / t \quad (11)$$

La tasa de decrecimiento bacteriano para coliformes se calculó con la siguiente fórmula:

$$N = \ln N_0 - \ln N_f / t_0 - t_f \quad (12)$$

Posteriormente en base a los resultados obtenidos se evaluó la capacidad de rendimiento de los procesos. Comparando los resultados de la capacidad de remoción de cada tratamiento, con la capacidad teórica estimada, o exigida. Para establecer indicadores donde se identifique posibles ineficiencias operacionales y eventualmente optimizar los diferentes aspectos de la planta de tratamiento y recomendar mejoras en las unidades.

3.9. Plan de Tabulación y Análisis

A fin de facilitar el análisis comparativo de los datos y determinar la condición actual el dimensionamiento y la optimización del Sistema de Tratamiento, todos los datos recolectados se los registró en cuadros diferentes, a fin de que se facilite mediante gráficas, el análisis comparativo de los mismos. Adema se realizó un análisis estadístico aplicando las siguientes pruebas:

3.9.1. Prueba de t pareada (Grupos dependientes)

Se utilizó para comparar dos tratamientos, para este caso se estudió el comportamiento del agua residual a la captación y a la descarga del agua depurada por los sistemas de tratamiento, el resultado demuestra la eficiencia en disminución de contaminantes. Para lo cual se emplea la siguiente fórmula:

$$t = \frac{\bar{x}_{di}}{S(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)} ; \quad S(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) = \sqrt{\frac{\sum di^2 - (\sum di)^2 / n}{n(n-1)}} \quad (13)$$

Donde:

\bar{x}_{di} = media de la diferencias; n = número de observaciones; di = diferencia de las observaciones

Planteamiento de Hipótesis: $H_0: T_1 = T_2$; $H_a: T_1 \neq T_2$.

H_0 : Afluente residual = Efluente depurado

H_a : Afluente residual \neq Efluente depurado

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Este capítulo pone en consideración los resultados del diagnóstico de la Planta de Tratamiento de Agua Residuales Huaycopungo Norte, que engloba la determinación en eficiencia de los sistemas de tratamiento, tiempo de retención hidráulica, caudales, capacidad depuradora, control de calidad, límites permisibles según el TULS-MA y medidas de seguridad industrial. Como datos preliminares que se citan en el cuadro 4.1, la planta de tratamiento fue diseñada para cumplir un tiempo de vida útil de 20 años; es decir hasta el año 2030, tomando en cuenta la población al momento de la construcción con 680 habitantes que en base al índice de crecimiento de 1.2% alcanzará para ese tiempo 1.087 habitantes con una dotación diaria actual de 120 L/hab hasta la futura con 140 L/hab; valores que ayudaron a determinar el caudal de diseño que es de 1,97 L/s de agua residual a tratar.

4.1. Descripción del Área de Estudio

El presente estudio se desarrolló en el Sistema de Tratamiento de Agua Residual de la Planta N° 4 Huaycopungo Norte, Parroquia San Rafael, al sur oriente en el cantón Otavalo, provincia de Imbabura; la cual recibe el agua residual proveniente de la comunidad gracias a la cual lleva su nombre y cuya agua tratada desemboca primordialmente en un humedal natural de totoras hacia el Lago San Pablo y en menor cantidad se utiliza como agua de riego.

En base a datos del INEC la comunidad Huaycopungo Norte tiene una población aproximada de 845 habitantes con un índice de crecimiento de 1.2%, presenta una topografía irregular, con una precipitación promedio de 984.8 mm y una temperatura media de 13.6 °C. Ver ubicación geográfica en el cuadro 4.1 y figura 4.1.

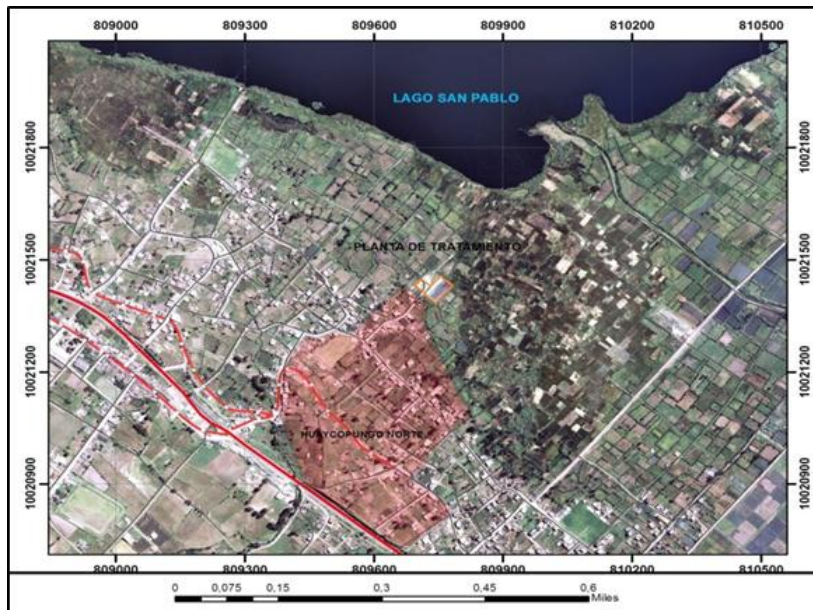


Figura 4. 1 Área de influencia
Fuente: Autor

Cuadro 4. 1 Ubicación UTM del área de estudio, WGS 84 Zona 17 Sur

PUNTO	COORDENADA X	COORDENADA Y	ALTITUD
1	0809725	10021433	2682 msnm

Fuente: Autor

4.2. Condiciones de la Planta de Tratamiento

A continuación se describen las condiciones de la Planta de Tratamiento de Agua Residual al inicio de la investigación.

4.2.1. Captación

El agua residual a tratar abarca una cobertura futura del 60% dentro de la comunidad Huaycopungo Norte con una descarga independiente que llega al lago San Pablo previo un tratamiento a través de una sola línea de alcantarillado sanitario por una tubería PVC de 200 mm de diámetro, la captación consta de una caja de concreto de forma cuadrangular de 1,70 m x 1,70m en la que se incluye una rejilla; después de 10m llega a un cajón distribuidor de 1,20m x 1,20m donde se localizan dos tuberías que distribuyen el afluente hacia los tanques sedimentadores, el agua se transporta a favor de la gravedad. Ver figura 4.2.



Figura 4. 2 Rejilla y Caja de captación
Fuente: Autor

4.2.2. Tanque sedimentador

La planta de tratamiento presenta dos tanques sedimentadores divididos entre sí, para permitir la retención de espumas, grasas, la sedimentación de sólidos y la digestión progresiva de la materia orgánica sedimentada; fabricada de hormigón armado con dimensiones de 2,45m (ancho) x 2,75m (largo) x 2,40m (profundidad), el enlucido interior se fabricó con cemento contra ataques de sulfuros e impermeabilizantes, poseen aireadores, la parte superior de la cámara sale una línea o tubería de 75mm PVC hacia la parte inferior del filtro para el tratamiento biológico del líquido que ha pasado entre las capas que se forman de lodo, la sección inferior del tanque presenta una inclinación de 10% hacia la tubería de lodos mismos que cuentan con una tubería PVC de limpieza de 75mm. El tanque cuenta con cuatro respiraderos y dos tapas de revisión que permiten verificar la reacción anaerobia que se hace evidente por la formación de burbujas; sin embargo el actual estado no permite la libre circulación del agua en el interior del tanque, ni el correcto funcionamiento del mismo por lo que el agua presenta un aspecto cloacal y se encuentran colapsando debido al rebosamiento del agua hacia la superficie del tanque. Ver figura 4.3.



Figura 4. 3 Tanque Sedimentador
Fuente: Autor

4.2.2.1. Manejo de Lodos

Los lodos acumulados en los sedimentadores y filtros son extraídos y depositados en una fosa improvisada cavada en el suelo, el manejo es aerobio se realiza una mezcla con cal, sin embargo el manejo no ha sido el adecuado ya que el producto no se descompone normalmente presenta estados de putrefacción con presencia de mal olor, larvas y mosquitos. Ver figura 4.4.



Figura 4. 4 Pozo de Manejo de lodos
Fuente: Autor

4.2.3. Filtro anaerobio de flujo ascendente

La planta de tratamiento presenta dos filtros de flujo ascendente divididos entre sí, de forma rectangular con las siguientes dimensiones 7.75m (largo) x 3.22m (ancho) x 2.60m (profundidad), el agua llega desde la parte superior del sedimentador hacia la parte inferior del filtro a través de tuberías PVC de 110mm con orificios de 20mm a 1.25cm de diámetro

por el cual surge el agua residual hacia el filtro de ripio y arena. El filtro funciona como unidad de tratamiento secundario del tipo biológico con medio adherido o asistido, es decir que el agua residual pasa a través de un medio filtrante donde un grupo de bacterias y otros microorganismos permiten la degradación biológica de la materia orgánica. En este caso el medio filtrante utilizado en la parte inferior es piedra bola con un diámetro de 20cm ocupando una capa de 50cm y la parte superior se utiliza grava que va desde una granulometría de 5cm hasta 7.5cm ocupando una capa de 1.2m y finalmente se libera el agua tratada por una serie de tuberías de PVC de 200mm de diámetro con orificios de 20mm a 2.25cm de diámetro hacia los cajones de descarga mismos que no se encuentran debidamente cubiertos. Debido a la falta de control y mantenimiento del material, el flujo del agua a través del filtro se ha detenido por el espesamiento del agua, seguramente debido al engrosamiento de la biopelícula en el material filtrante. Ver figura 4.5.



Figura 4. 5 Filtro de Flujo Ascendente
Fuente: Autor

4.2.4. Humedal artificial de flujo superficial

Estos humedales artificiales funcionan como sistemas de tratamiento terciario, consiste en seis estanques conectados paralelamente, con dimensiones de 50.00m (largo) x 3.00m (ancho) x 1.05m (profundidad), el agua llega a través de una tubería PVC de 200mm desde la descarga de los filtros hacia los estanques por medio de los seis repartidores de caudales, actualmente se cultivan plantas acuáticas flotantes, *Eichhornia crassipes*, la longitud de los estanques aumenta el tiempo de retención del agua incrementando la depuración en todo el transcurso del agua hacia la descarga final. La ventaja del uso de las plantas macrófitas como la *Eichhornia crassipes*, tienen un potencial para la remoción de nutrientes de las

aguas residuales debido a su rápido crecimiento y alta capacidad para asimilar los nutrientes, sin embargo no se ha llevado un adecuado manejo de esta especie lo que impide que cumpla con su función depuradora normal, de ahí que sea necesario tomar en cuenta la frecuencia en la cosecha de las plantas, a fin de evitar el riesgo de que estas plantas incrementen la carga orgánica en el agua (Oron, 1990). Ver figura 4.6.

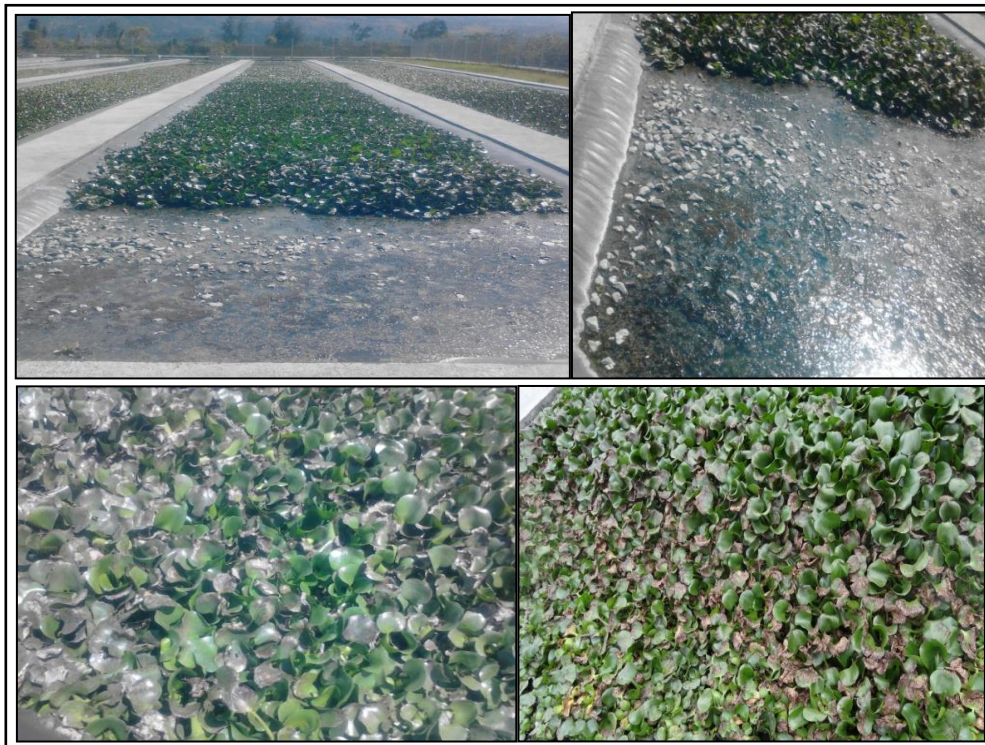


Figura 4. 6 Humedales Artificiales
Fuente: Autor

4.2.5. Descarga final

El agua depurada se desplaza hacia una caja de concreto donde se concentra el efluente tratado de los seis estanques, descarga que se utiliza como agua de riego para un pequeño cultivo y un humedal natural de totoras, hasta llegar al lago san pablo. Actividad que se justifica ya que la producción de totoras, para la fabricación de esteras, entre otros, es una de las principales actividades económicas del sector.

4.2.6. Lechos de secado

El sistema cuenta con cinco lechos de secado con dimensiones de 9.20m (largo) x 3.20m (ancho) x 0.58m (profundidad) con una ligera inclinación para ayudar a la concentración de los lodos mediante su deshidratación de esta manera el exceso de agua concentrada se evacúa a través de dos sifones con rejillas de aluminio por una tubería PVC de 110mm, mismos que se encuentran taponados y en cuyo fondo no existe ningún material para la filtración del agua. El lecho no tiene ninguna cubierta para proteger material de la lluvia, y como se indicó tampoco cuenta con material filtrante. Según se indica en el municipio el material es retirado cada tres meses para usarlo como fertilizante, pero por las condiciones actuales de la planta, no existe lodos en el lecho son utilizados para la acumulación y deshidratación de lechuguín proveniente de las cosechas ocasionando un problema por la gran cantidad de producto que se produce mensualmente. Ver figura 4.7.



Figura 4. 7 Lechos de Secado
Fuente: Autor

4.3. Rehabilitación de los Sistemas de Tratamiento

Con la participación de operarios del Municipio de Otavalo se trabajó en la rehabilitación de la planta, ver figura 4.8. Las actividades realizadas fueron:

- Limpieza de rejillas, caja de captación del afluente y brazos distribuidores del caudal.
- Mantenimiento del tanque sedimentador y filtro anaerobio, mediante bombeo se extrajo los lodos acumulados y mediante agua a presión se lavó las estructuras internas.

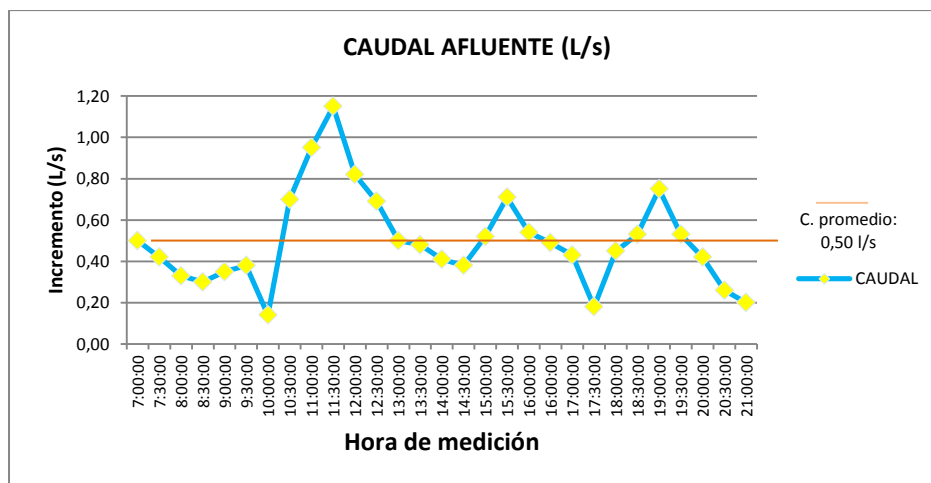
- Cosecha del exceso de lechuguín de agua propagada en los estanques (plantas amarillentas, secas y muertas).
- Limpieza de los lechos de secado.
- Limpieza general exterior de los sistemas de tratamiento, obras civiles y espacios verdes.



Figura 4. 8 Rehabilitación de Sistemas de Tratamiento
Fuente: Autor

4.4. Comportamiento del Caudal

El gráfico 4.1 muestra que el comportamiento del caudal de agua residual producido a lo largo del día varía de acuerdo a las horas de medición, con un caudal promedio de 0,50 L/s; con picos de mayor producción en la mañana desde las 10H30 hasta las 12H30, destacando el caudal máximo a las 11H30 con 1,15 L/s, en la tarde el caudal presentó variaciones siendo el pico mayor a las 15H30 con 0,71 L/s; a la noche el aumento de caudal se presentó a las 19H00 con 0,75 L/s; mientras tanto la producción menor de caudal ocurrió a las 10H00 y 17h30 con 0,14 a 0,18 L/s respectivamente. El comportamiento del caudal para el efluente de los sistemas de tratamiento primario, secundario y terciario a lo largo del día presentó flujos constantes debido al tiempo de retención se mantiene estable.



Gráfica 4.1 Comportamiento del Caudal en el Afluyente
Fuente: Autor

4.4.1. Tiempo de retención hidráulica

Como se indica en el cuadro 4.2, para la ejecución del proyecto fue necesario investigar los valores teóricos para tiempo de retención considerados adecuados para un eficiente proceso de operación en los sistemas de tratamiento, esto permite establecer los requerimientos que necesarios para optimizar las unidades en base a las condiciones técnicas existentes.

Cuadro 4.2 Tiempo de retención hidráulica teórica

TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA TEÓRICOS EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO					
Tanque Sedimentador		Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente		Estanques con Lechuguín de agua	
Horas	Autor	Horas	Autor	Días	Autor
0,5 – 2,5	(OPS; CEPIS, 2005)	4 – 6,5	(RAS;, 2000)	6 - 18	(EPA;, 1988)
		24 - 48	Metcalf & Eddy (1991)		

Fuente: Autor

Los tiempos de retención en los tres sistemas de tratamiento sedimentador, filtro y estanques se representan en función de los datos de diseño del consultor; es decir tomando en cuenta el volumen de ingreso y el caudal, estos valores se resumen en el cuadro 4.3.

Cuadro 4. 3 Tiempo de retención hidráulica primera etapa

TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRAÚLICA ACTUAL EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO							
Caudal Diseño Primera Etapa (L/s)	Tanque Sedimentador	Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente	Estanques			Tiempo de Retención Total	
1,3	V= 16,17m ³	V= 62,95m ³	V. 1 unidad 157,5m ³	V.6 unidades 945m ³		Horas	Días
	Horas	Horas	Horas	Horas	Días	225,76	9,41
	3,56	13,87	34,72	208,33	8,68		

Fuente: Autor

El cuadro 4.4 detalla los tiempos de retención estimados para la segunda etapa, durante el tiempo de vida útil de la planta.

Cuadro 4. 4 Tiempo de retención hidráulica segunda etapa

TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRAÚLICA FUTURA EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO							
Caudal Diseño Segunda Etapa (L/s)	Tanque Sedimentador	Filtro Anaerobio	Estanques			Tiempo de Retención Total	
1,97	Horas	Horas	Horas	Horas	Días	Horas	Días
	2,28	8,9	22,21 (1unidad)	133,25 (6unidades)	5,55	144,43	6,02

Fuente: Autor

En base a los datos expuestos en los cuadros 4.2, 4.3 y 4.4, los conceptos de tiempo de retención se manejaron adecuadamente para el diseño de cada sistema de tratamiento primario, secundario y terciario, tomando en cuenta el caudal de ingreso y los valores de diseño empleados en anteriores investigaciones. Cabe recalcar que el sistema no posee ningún sistema de regulación de caudales, por consiguiente durante la investigación se manejó con el mismo caudal.

Tasa de Carga Hidráulica.- es el volumen de agua residual aplicada por día, dividido por el área de superficie del sistema acuático, ($CH= Q/A$ (superficie)). Siguiendo este concepto la carga hidráulica actual del afluente alcanzó 1209,6 m³/ha día o 0,005 m³/m² hora, mientras que la carga futura será de 1801,14 m³/ha día o 0,007 m³/m² hora; es decir, estos valores se encuentran en el rango adecuado, de acuerdo a (EPA;, 1988), las tasas de carga hidráulica para sistemas de Lechuguín de agua puede variar entre 240 a 3,570 m³/ha día, estas concentraciones ayudan a cumplir los objetivos de tratamiento.

4.5. Comportamiento del Lechuguín de Agua

Se utilizó esta especie debido a las cualidades físicas y depurativas que brinda en el tratamiento de agua residual doméstica, a la facilidad de manejo del cultivo, y por sus características morfológicas que se adaptan a las variaciones ambientales y a las estructuras físicas o de obra civil de los estanques, como el crecimiento longitudinal de la raíz que alcanza hasta 1m de profundidad permitiendo absorber la mayor cantidad de contaminantes. A continuación se detalla el análisis de los resultados en cada estanque.

4.5.1. Análisis morfológico

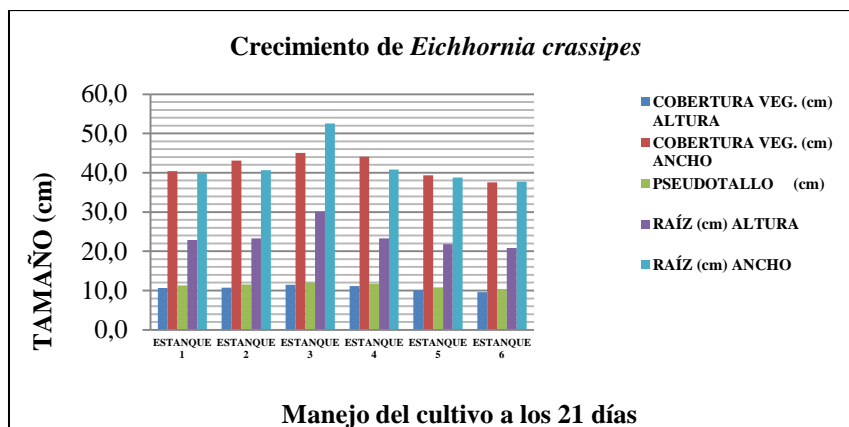
La especie *Eichhornia crassipes* es considerada muy buena purificadora de agua debido a la alta eficiencia en niveles de remoción de contaminantes, y una fuente de biomasa susceptible de convertirse en energía (Izembart & Le Boudec, 2008). Recopilada la información que se planteó en la metodología, se procedió a tabular los datos registrados, obteniendo las medias para cada parámetro fisiológico, como se detalla en el cuadro 4.5.

Cuadro 4. 5 Medias de Crecimiento de *Eichhornia crassipes* en Humedales Artificiales

MEDIAS DEL CRECIMIENTO MÁXIMO DE <i>Eichhornia crassipes</i>							
N°	Peso (Gramos)	Cobertura Veg. (cm)		Estolones (cm)	Bulbos (unidad)	Raíz (cm)	
		ALTURA	ANCHO			ALTURA	ANCHO
Estanque 1	331,4	10,7	40,4	11,3	40	22,9	39,8
Estanque 2	355,6	10,7	43,1	11,6	44	23,3	40,7
Estanque 3	396,0	11,4	45,0	12,0	47	30,1	52,5
Estanque 4	362,5	11,2	44,1	11,7	45	23,3	40,8
Estanque 5	325,3	10,1	39,3	10,8	38	21,8	38,8
Estanque 6	320,3	9,6	37,5	10,4	36	20,8	37,7

Fuente: Autor

La grafica 4.2, detalla el desarrollo fisiológico de la especie *Eichhornia crassipes*, en un periodo de crecimiento de 21 días para cada parámetro seleccionado en los seis estanques, a continuación se detallan los resultados:



Gráfica 4. 2 Crecimiento de *Eichhornia crassipes*

Fuente: Autor

Durante el crecimiento la altura de la cobertura vegetal alcanzó promedios de 9,6cm a 11,4cm, en los estanques tres y cuatro se registraron medias de crecimientos más altas de 11,2cm a 11,4cm, en los estanques uno y dos su media de crecimiento osciló en 10,7cm y en los estanques cinco y seis alcanzaron tamaños de 9,6cm a 10,1cm; cabe recalcar que se presentaron individuos que alcanzaron crecimientos de 12cm a 13cm en los estanques cinco primeros estanques, destacando al estanque tres donde se registró alturas de hasta 13,86cm. De igual manera el ancho de la planta varía con medias de crecimiento de 37,5cm a 45cm; en los estanques tres y cuatro se registraron crecimientos más altos de 44,1cm a 45cm; en los estanques uno y dos su crecimiento osciló en 40,4cm a 43,1cm; en los estanques cinco y seis alcanzaron tamaños de 37,5cm a 39,3cm; sin descartar individuos que alcanzaron crecimientos de 46cm a 50cm en los estanques dos, tres y cuatro, destacando el estanque tres donde se registró anchos de hasta 51,17cm.

Además durante el desarrollo de las plantas se determinó que el crecimiento en altura de la raíz alcanzó promedios de 20,8cm a 30,1cm; en el estanque tres se registraron medias de crecimientos más altas de hasta 30,1cm; en los estanques uno, dos y cuatro su crecimiento osciló en 22,9cm a 23,3cm; mientras en los estanques cinco y seis alcanzaron menores tamaños entre 20,8cm a 21,8cm; cabe recalcar que se presentaron individuos que alcanzaron crecimiento radicular de hasta 54cm destacando principalmente el estanque tres. De igual manera el análisis del crecimiento en ancho o diámetro de la raíz alcanzó medias de 37,7cm a 52,5cm; las medias más altas se registraron en los estanques dos, tres y cuatro con crecimientos de 40,7 a 52,5cm; mientras en los estanques uno, cinco y seis

alcanzaron crecimiento bajos de 37,7cm a 39,8cm; de igual manera se presentaron individuos que alcanzaron diámetros entre 75cm a 100cm.

Las plantas se propagan a través de estolones gracias a este proceso los bulbos se van separando de la planta principal a través de rizomas que generalmente llegan a medir hasta 25cm de longitud. En base a esto la media de crecimiento máxima de los estolones en las plantas osciló entre 10,4cm a 12cm; en los estanques tres y cuatro se registraron crecimientos altos de 11,7cm a 12cm; en los estanques uno y dos su media alcanzó de 11,3cm a 11,6cm; en los estanques cinco y seis alcanzaron tamaños de 10,4cm a 10,8cm; sin descartar crecimientos de hasta 13cm en los estanques uno, dos, tres y cuatro, destacando al estanque tres donde se registró longitudes de hasta 13,92cm. El incremento de bulbos en la planta alcanzó una media de 36 a 40 con variaciones de entre tres a 11 bulbos por planta; en los estanques tres y cuatro se presentaron la mayor cantidad de bulbos de entre 45 a 47; en los estanques uno y dos se presentaron de 40 a 44 bulbos; mientras tanto en los estanques cinco y seis el incremento alcanzó entre 36 a 38; sin descartar plantas que alcanzaron incrementos de bulbos de hasta 56 en los estanques dos, tres y cuatro. Es importante indicar que los datos señalados se expresaron en forma global; es decir representan tanto bulbos maduros como hijuelos, sin embargo cabe recalcar que en general cada planta posee una media de bulbos maduros de entre 12 a 25 con hijuelos que van desde a 10 a 20.

Para finalizar el incremento de peso durante el crecimiento de la planta alcanza promedios de 320g a 396g. En los estanques tres y cuatro se registraron pesos más altos de 362,5g a 396g, en los estanques uno y dos su peso osciló entre 331,4g a 355,6g y en los estanques cinco y seis se registraron los pesos más bajos de 320,3g a 325,3g; cabe recalcar que se presentaron individuos que llegaron a pesar de 400g a 500g en todos los estanques, destacando principalmente el estanque tres donde se registró pesos de hasta 556,3g.

En este sistema de tratamiento conformado por una serie de seis estanques a manera de paralelo, el agua residual ingresa directamente del sedimentador y filtro hacia cada uno de los estanques, distribuyéndose equitativa y de manera paulatina; por tal motivo las plantas en cada estanque alcanzan crecimientos con características fisiológicas similares en tiempos definidos; destacando los estanques tres y cuatro donde el desarrollo de las plantas

alcanzaron proporciones mayores en menor tiempo, debido a que absorbe una mayor concentración de nutrientes en el agua.

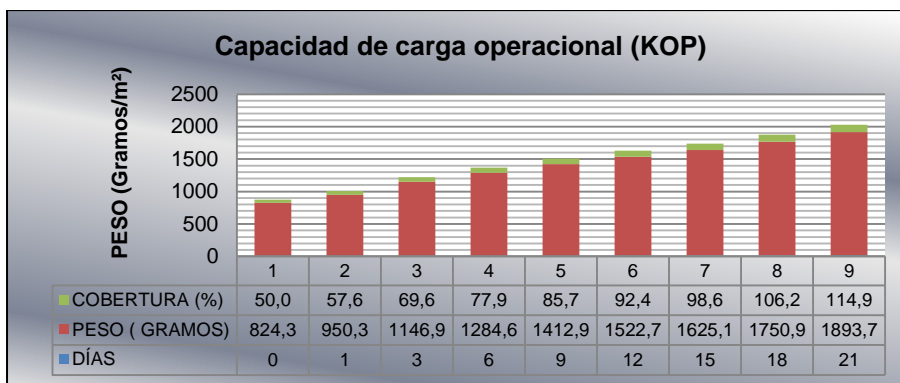
4.5.2. Comportamiento de la biomasa

En esta fase de estudio se analizó la densidad y velocidad de crecimiento de la especie *Eichhornia crassipes* todo en base a las concentraciones de contaminantes o nutrientes presentes en el agua residual y a las condiciones físicas civiles que se dispone en los estanques ya que intervienen directamente en los parámetros mencionados.

4.5.2.1. Capacidad de Carga Operacional (KOP)

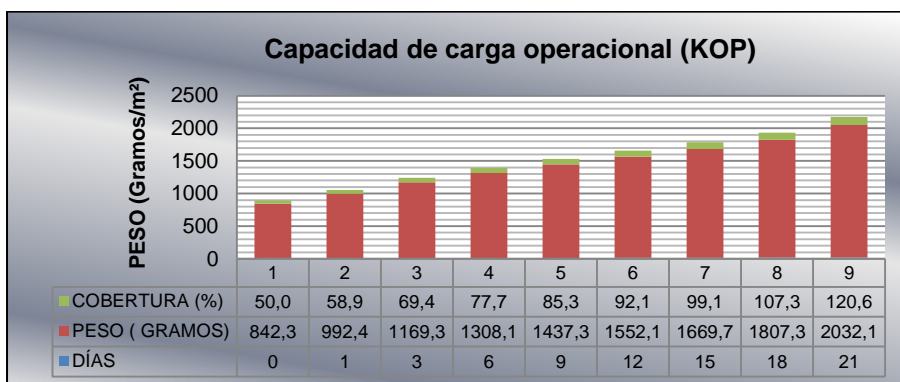
Se entiende por capacidad de carga operacional a la cantidad máxima de biomasa fresca, donde el manejo del cultivo se mantiene en condiciones óptimas, cuyo fin es lograr que el proceso de remoción de contaminantes realizado por las plantas se equilibre entre cada cosecha garantizando la depuración del afluente (León & Lucero, 2009). Recopilados los datos se analizaron mediante gráficas el crecimiento de la especie hasta llegar al 100% de peso en cada estanque. La investigación de KOP para cada estanque, se inició con una siembra en cobertura de 50% en espacio y peso de *Eichhornia crassipes* a manera de monocultivo para cada uno de los seis humedales artificiales, ubicando cuatro ensayos distribuidos en estratos a lo largo de cada estanque a manera de cuadrantes de 1m².

Estanque Uno.- Como se detalla en la gráfica 4.3 el cultivo necesitó 17 días para que las plantas alcancen niveles de crecimientos que duplicaron su peso y área de cobertura al 100%. Donde su capacidad de carga operacional alcanza rangos de 1625,10 g/m² a 1648,68 g/m², determinando a este periodo de manejo como el más adecuado para la cosecha ya que garantiza una adecuada depuración del afluente en el estanque uno.



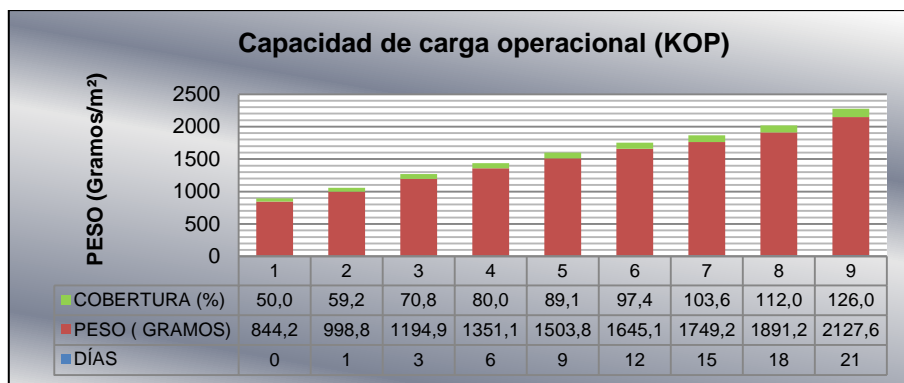
Gráfica 4.3 Crecimiento de *Eichhornia crassipes* en el Estanque 1
Fuente: Autor

Estanque Dos.- La gráfica 4.4, muestra que el desarrollo del cultivo fue similar a la del estanque uno, se necesitó 16 días para que las plantas alcancen niveles de crecimientos que duplicaron su peso y área de cobertura al 100%; su capacidad de carga operacional alcanza rangos de 1669,7 g/m² a 1684,34 g/m², determinando a este periodo de manejo como el más adecuado para la cosecha garantizando la depuración del afluente en el estanque dos.



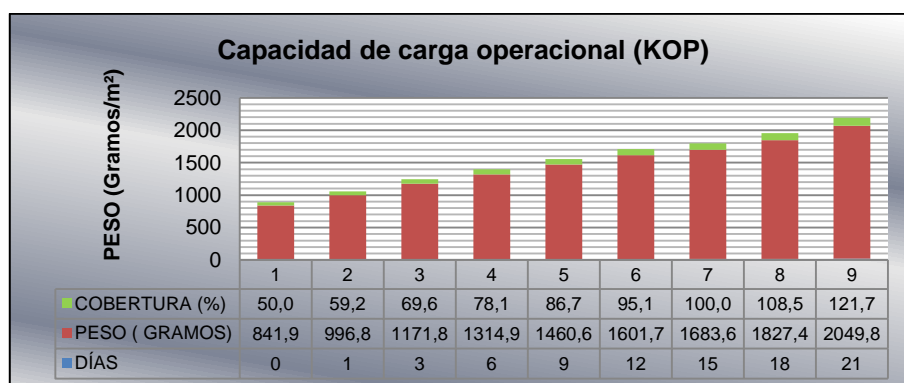
Gráfica 4.4 Crecimiento de *Eichhornia crassipes* en el Estanque 2
Fuente: Autor

Estanque Tres.- La gráfica 4.5, muestra que el crecimiento del cultivo fue más acelerado respecto a los demás estanques, donde el cultivo necesitó 14 días para que las plantas alcancen niveles de crecimientos que duplicaron su peso y área de cobertura al 100%; su capacidad de carga operacional alcanza rangos de 1645,1 g/m² a 1688,42 g/m², determinando a este periodo de manejo como el más adecuado para la cosecha garantizando la depuración del afluente en el estanque tres.



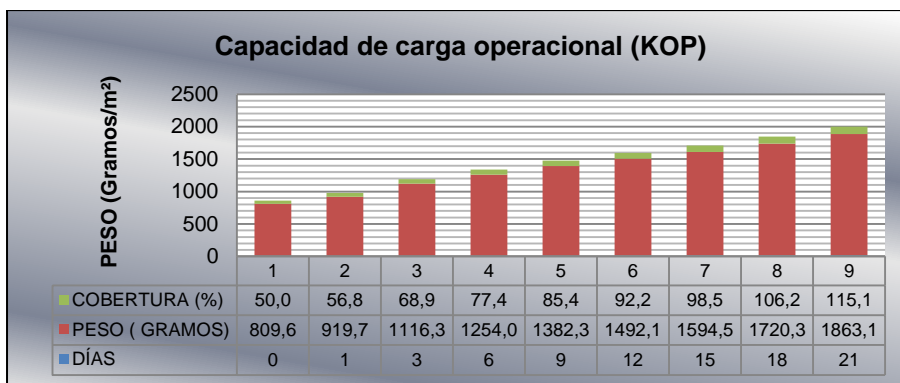
Gráfica 4. 5 Crecimiento de *Eichhornia crassipes* en el Estanque 3
Fuente: Autor

Estanque Cuatro.- La gráfica 4.6, detalla que el crecimiento del cultivo fue similar al estanque tres, donde el cultivo necesitó 15 días para que las plantas alcancen niveles de crecimientos que duplicaron su peso y área de cobertura al 100%; donde su capacidad de carga operacional alcanza 1683,6 g/m², determinando a este periodo de manejo como el más adecuado para la cosecha garantizando la depuración del afluente en el estanque cuatro.



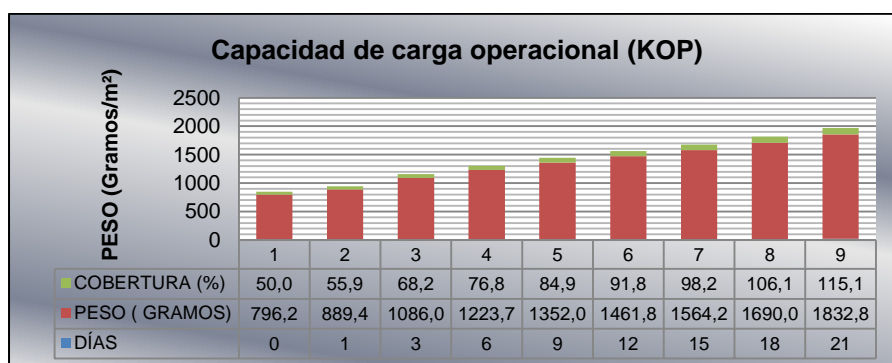
Gráfica 4. 6 Crecimiento de *Eichhornia crassipes* en el Estanque 4
Fuente: Autor

Estanque Cinco.- La gráfica 4.7, muestra que el crecimiento del cultivo fue similar al del estanque uno, donde el cultivo necesitó 17 días para que las plantas alcancen niveles de crecimientos que duplicaron su peso y área de cobertura al 100%; donde su capacidad de carga operacional alcanza 1619,87 g/m², determinando a este periodo de manejo como el más adecuado para la cosecha garantizando la depuración del afluente en el estanque cinco.



Gráfica 4. 7 Crecimiento de *Eichhornia crassipes* en el Estanque 5
Fuente: Autor

Estanque Seis.- La gráfica 4.8, muestra que el crecimiento del cultivo fue el menos acelerado; sin embargo similar a la de los estanque uno, dos y cinco, donde el cultivo necesitó 17 días para que las plantas alcancen niveles de crecimientos que duplicaron su peso y área de cobertura al 100%; donde su capacidad de carga operacional alcanza 1592,84 g/m², determinando a este periodo de manejo como el más adecuado para la cosecha.



Gráfica 4. 8 Crecimiento de *Eichhornia crassipes* en el Estanque 6
Fuente: Autor

4.5.2.2. Rendimiento de Biomasa

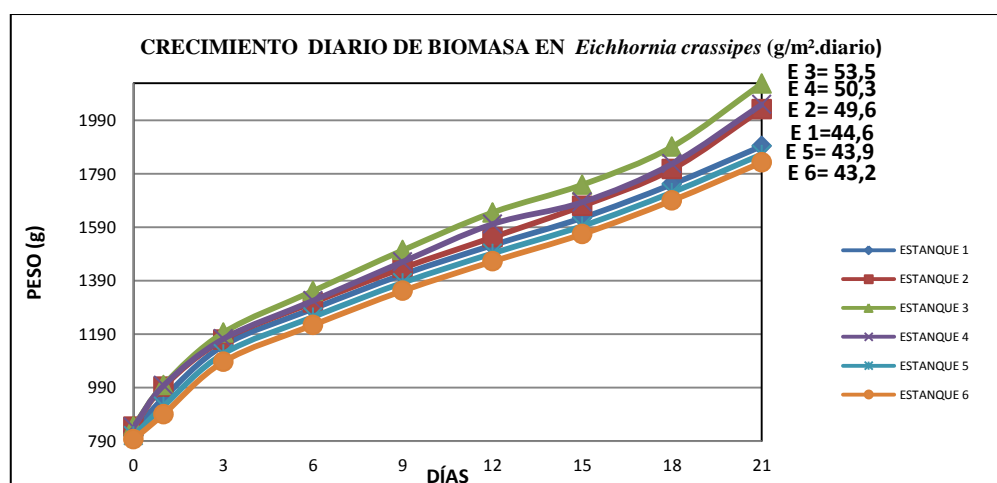
El rendimiento de biomasa determina la cantidad de producto adecuada para la cosecha en los humedales artificiales, útil en el control de densidades apropiadas durante el manejo del cultivo minimizando la competencia de los individuos por nutrientes, luz y espacio. Los datos del cuadro 4.6 ponen en consideración el análisis en la producción de biomasa, para esta especie el crecimiento fue medido en peso durante 24 días en intervalos de tres días.

Cuadro 4. 6 Crecimiento de biomasa en *Eichhornia crassipes* (g/m²)

CRECIMIENTO DE BIOMASA EN <i>Eichhornia crassipes</i> (g/m ²)						
Producción de Biomasa						
DÍAS	Estanque 1	Estanque 2	Estanque 3	Estanque 4	Estanque 5	Estanque 6
0	824,3	842,3	844,2	841,9	809,6	796,2
1	950,3	992,4	998,8	996,8	919,7	889,4
3	1146,9	1169,3	1194,9	1171,8	1116,3	1086,0
6	1284,6	1308,1	1351,1	1314,9	1254,0	1223,7
9	1412,9	1437,3	1503,8	1460,6	1382,3	1352,0
12	1522,7	1552,1	1645,1	1601,7	1492,1	1461,8
15	1625,1	1669,7	1749,2	1683,6	1594,5	1564,2
18	1750,9	1807,3	1891,2	1827,4	1720,3	1690,0
21	1893,7	2032,1	2127,6	2049,8	1863,1	1832,8
SUMA	12411,3	12810,7	13305,9	12948,5	12151,8	11896,0
Pf - Pi	1069,4	1189,8	1283,4	1207,9	1053,5	1036,6
Med Crec. Día	44,6	49,6	53,5	50,3	43,9	43,2

Fuente: Autor

La gráfica 4.9, indican la media de crecimiento diario del cultivo de *Eichhornia crassipes*. El análisis determinó que el crecimiento alcanza rangos de 43,2 g/m² a 53,5 g/m²; siendo el desarrollo más acelerado en los estanque tres con 53,5 g/m²; estanque cuatro con 50,3 g/m² y el estanque dos con 49,6 g/m²; mientras que el estanque uno con 44,6 g/m²; estanque cinco con 43,9 g/m² y el estanque seis con 43,2 g/m² presentaron un crecimiento menos acelerado; cabe recalcar que pese a esto los rangos de crecimiento en todos los estanques son similares debido a que el contenido de nutrientes o contaminantes en el agua son los mismos en cada estanque; en base a estos resultados la cosecha se puede realizar en el mismo periodo.



Gráfica 4. 9 Crecimiento diario en biomasa de *Eichhornia crassipes*

Fuente: Autor

En el cuadro 4.7 se detalla el aporte de masa fresca por cosecha que se obtiene de todos los estanques que en su conjunto ocupan un espacio de 900m², dando como producción en cada cosecha de 357,04 kg/cosecha; equivalente a 7140,8 kg/año ó 7,14 ton/año.

Cuadro 4. 7 Cantidad de *Eichhornia crassipes* cosechada

Cantidad de Biomasa <i>Eichhornia crassipes</i> Cosechada (Kg)					
Estanques	Cosecha Estanque (kg)	Cada cosecha (kg)	Cada cosecha (ton)	20 cosechas anuales (kg/año)	20 cosechas anuales (ton/año)
Estanque 1	59,35	357,04	0,36	7140,8	7,14
Estanque 2	60,64				
Estanque 3	60,78				
Estanque 4	60,61				
Estanque 5	58,32				
Estanque 6	57,34				

Fuente: Autor

4.5.3. Criterios de optimización para el manejo del cultivo

En base a todo el análisis se concluyó que para mantener en óptimo funcionamiento el proceso de depuración en los humedales artificiales es necesario mantener periódicamente un correcto manejo de la especie, siguiendo las siguientes indicaciones:

- a) Realizar una vez por semana inspecciones en los humedales artificiales, durante esta labor es importante verificar el estado de los repartidores de caudales del afluente, estado físico de los estanques con geomembrana, y de las cajas de revisión del efluente, esto evitará cualquier contaminación externa o falla en estructuras que puedan alterar la calidad del agua tratada durante el proceso.
- b) Durante el manejo del cultivo es necesario que al realizar las inspecciones se retire las plantas invasoras e individuos defectuosos; es decir aquellos que presenten aspectos amarillentos, secos o podridos, esto impedirá aumentar la carga orgánica en el agua residual tratada.
- c) Debido a la similitud en máxima carga operacional y el rendimiento de la biomasa de los estanques, se establece realizar el período de cosecha entre 15 a 18 días, tiempo en el que se satura el espacio por el aumento de cobertura vegetal del

cultivo, momento en el cual las plantas deben ser retiradas para permitir el desarrollo adecuado de nuevos individuos.

- d) Finalizado el periodo de cosecha distribuir las plantas jóvenes hacia todo el estanque para controlar un óptimo grado depurador en cada estrato a lo largo del humedal artificial.

4.6. Diagnóstico Actual de la Calidad de Agua

El monitoreo del agua residual permitió evaluar el funcionamiento, y detectar las causas dentro del proceso de tratamiento que garanticen el cumplimiento o no de los objetivos propuestos en cuanto a la calidad de agua y sus límites permisibles.

4.6.1. Resultados de los análisis de laboratorio

Una vez realizados los muestreos y los análisis de laboratorio se obtuvieron resultados con rangos similares para cada parámetro con variaciones definidas, debido a que la toma de muestras se la realizó en el mismo horario.

4.6.1.1. Fase Preliminar - Muestra Simple - Primer Muestreo

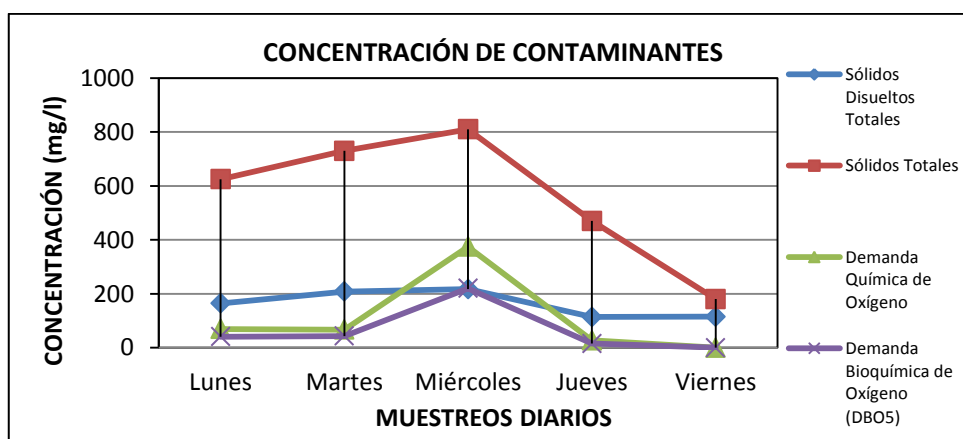
Como se indica en el cuadro 4.8 los resultados definieron al día miércoles como el de mayor carga contaminante, al poseer valores superiores respecto a los demás días, alcanzando concentraciones en DQO de 374,50 mg/l; DBO de 220 mg/l; sólidos disueltos totales con 217,20 mg/l y sólidos totales con 810 mg/l; estos resultados son característicos de una agua residual doméstica con elevados rangos de contaminación en carga orgánica y sólidos presentes, circunstancia que se propicia puesto que los ciudadanos arrojan directamente al sistema de alcantarillado los desechos acumulado en los criaderos de porcinos incluyendo las actividades cotidianas, económicas y sociales que practica la comunidad ocasionando que aumente la carga contaminante en el afluente; identificando a este día como el más propicio para continuar con el monitoreo de calidad de agua y organizar el plan de muestreo compuesto en cada fase de tratamiento de la planta.

Cuadro 4. 8 Resultados de análisis de agua del primer muestreo en la captación

RESULTADOS DE ANÁLISIS DEL EFLUENTE RESIDUAL EN LA FASE DE CAPTACIÓN						
FECHA DE MUESTREO : 02-03-04-05-06 de Septiembre de 2013			UBICACIÓN: Huaycopungo Norte - San Rafael-Otavalo			
Hora de toma de Muestras Simples: (11:00 am) Diariamente						
Parámetros Físicos	Unidad	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Temperatura	° C	16,00	16,13	16,22	16,30	16,15
Conductividad Eléctrica	us/cm	332,14	338,45	340,10	329,86	330,35
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	164,40	208,40	217,20	113,60	115,20
Sólidos Totales	mg/l	625,00	730,00	810,00	470,00	180,00
Parámetros Químicos						
pH		7,38	7,35	7,84	7,2	6,95
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	69,03	66,83	374,50	27,24	0,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	41,00	43,00	220,00	15,00	0,00

Fuente: Laboratorio de Análisis de agua ACU-CHEM

En la gráfica 4.10 se detallan las curvas de comportamiento diario de contaminantes que caracteriza al afluente típico del agua residual de la zona de estudio.



Gráfica 4. 10 Comportamiento de contaminantes diario
Fuente: Autor

4.6.1.2. Fase Complementaria - Muestras Compuestas

Siguiendo la metodología indicada, se aplicó el plan de muestreo compuesto el día miércoles, en cada fase de tratamiento; aplicando la ecuación para la toma de volumen, cuyos datos concluyeron que no existe mayor dispersión entre los valores obtenidos del caudal con el volumen de cada alícuota; esto permitió obtener una muestra representativa a la real garantizando la confiabilidad del muestreo.

Los resultados de estos análisis, demuestran que el proceso depurador efectuado en cada sistema de tratamiento es eficiente, implementado los criterios de control para la optimización puesto que disminuye la concentración de contaminantes especialmente en DQO, DBO5, sólidos y nutrientes, cumpliendo con los límites permisibles de descarga para riego agrícola y hacia fuentes agua dulce. A continuación se detallan los resultados de cada muestreo compuesto.

- **Segundo Muestreo**

El cuadro 4.9 detalla los resultados del segundo muestreo, cuyos valores demuestran que la tecnología existente mantiene controlada la depuración del agua residual en cada fase.

Cuadro 4. 9 Resultados de análisis de agua del segundo muestreo en fases de tratamiento

RESULTADOS DE ANÁLISIS COMPUESTO DE AGUA RESIDUAL				
Fecha de muestreo : 25 de Septiembre de 2013		Ubicación: Huaycopungo Norte - San Rafael-Otavalo		
Hora de toma de Muestras Compuestas: (07:00-09:00-11:00-13:00-15:00-17:00-19:00-21:00)				
Parámetros Físicos	Unidad	Captación	Salida Sed-Filt.	Descarga
		M6C1P1	M7C2P2	M8C3P3
Temperatura	°C	16,35	16,00	16,26
Conductividad Eléctrica	us/cm	337,54	257,60	246,69
Sólidos Totales	mg/l	692,23	618,64	368,54
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	195,50	149,85	142,76
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	300,00	13,00	9,00
Sólidos Sedimentables	mg/l	185,00	1,00	0,90
Parámetros Químicos				
pH	-	7,69	7,20	7,01
Demanda Química De Oxígeno (DQO)	mg/l	132,80	13,00	5,80
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	41,00	9,30	3,78
N - Amoníaco (NH ₃)	mg/l	5,96	5,78	3,00
P - Fosfatos (PO ₄) ³⁻	mg/l	7,92	5,20	4,97
N - Nitratos (NO ₃) ⁻	mg/l	3,10	0,08	0,06
N - Nitritos (NO ₂) ⁻	mg/l	0,70	0,38	0,05
Sulfuros (S ²⁻)	mg/l	2,58	0,28	0,15
Parámetros Microbiológicos				
Recuento de Coliformes totales	NPM/100 ml	1,35 x 10 ⁷	3,10 x 10 ⁶	2,90 x 10 ⁵
Recuento de Coliformes fecales	NPM/100 ml	6,2 x 10 ⁶	1,85 x 10 ⁴	3,3 x 10 ³

Fuente: Laboratorio de Análisis de agua ACU-CHEM

- **Tercer Muestreo**

En el cuadro 4.10 se detallan los resultados del tercer análisis, donde se aprecia que el tratamiento del agua residual se mantiene eficiente disminuyendo la concentración de contaminantes en cada sistema.

Cuadro 4. 10 Resultados de análisis de agua del tercer muestreo en fases de tratamiento

RESULTADOS DE ANÁLISIS COMPUESTO DE AGUA RESIDUAL				
Fecha de muestreo : 16 de Octubre de 2013		Ubicación: Huaycopungo Norte - San Rafael-Otavalo		
Hora de toma de Muestras Compuestas: (07:00-09:00-11:00-13:00-15:00-17:00-19:00-21:00)				
Parámetros Físicos	Unidad	Captación	Salida Sed-Filt.	Descarga
		M6C1P1	M7C2P2	M8C3P3
Temperatura	°C	16,20	15,58	16,05
Conductividad Eléctrica	us/cm	331,88	252,00	241,38
Sólidos Totales	mg/l	680,00	600,00	350,00
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	191,60	145,60	139,20
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	290,00	10,00	5,00
Sólidos Sedimentables	mg/l	200,00	<0,50	<0,50
Parámetros Químicos				
pH	-	7,63	7,16	7,01
Demanda Química De Oxígeno (DQO)	mg/l	125,90	10,00	4,50
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	37,00	8,00	3,00
N - Amoníaco (NH ₃)	mg/l	5,79	5,57	2,54
P - Fosfatos (PO ₄) ³⁻	mg/l	6,67	4,13	3,85
N - Nitratos (NO ₃) ⁻	mg/l	2,08	0,00	0,00
N - Nitritos (NO ₂) ⁻	mg/l	0,208	0,061	0,387
Sulfuros (S ²⁻)	mg/l	2,78	0,24	0,05
Parámetros Microbiológicos				
Recuento de Coliformes totales	NPM/100 ml	1,47 x 10 ⁷	3 x 10 ⁶	3 x 10 ⁵
Recuento de Coliformes fecales	NPM/100 ml	5,3 x 10 ⁶	1,7 x 10 ⁴	2 x 10 ³

Fuente: Laboratorio de Análisis de agua ACU-CHEM

- **Cuarto Muestreo**

Este muestreo compuesto al contrario de los anteriores se lo realizó a la descarga de cada uno de los seis humedales artificiales; al momento del muestreo se presentó un caudal promedio de 0,22 l/s. En el cuadro 4.11 se detallan los resultados del análisis de agua para cada estanque.

Cuadro 4. 11 Resultados de análisis de agua del cuarto muestreo en los Estanques

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO								
FECHA DE MUESTREO : 16 de Octubre de 2013			UBICACIÓN: SAN RAFAEL-OTAVALO					
Hora de toma de Muestras Compuestas: (07:00-09:00-11:00-13:00-15:00-17:00-19:00-21:00)								
Parámetros Físicos	Unid.	Salida Sed-Filt.	Estanque 1	Estanque 2	Estanque 3	Estanque 4	Estanque 5	Estanque 6
		M7C2P2	M9E1	M10E2	M11E3	M12E4	M13E5	M14E6
Temperatura	° C	15,58	15,60	15,70	17,10	16,30	16,40	16,10
Conductividad Eléctrica	us/cm	252,00	211,80	173,10	169,30	180,50	188,00	187,60
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	10,00	7,60	5,80	0,00	0,00	12,00	8,00
Parámetros Químicos								
pH	--	7,16	7,10	7,10	7,10	7,10	7,00	6,90
Demanda Química De Oxígeno (DQO)	mg/l	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Laboratorio de Análisis de agua ACU-CHEM

Los resultados de este análisis de agua, demuestran claramente que el proceso depurador efectuado por el lechuguín de agua en estos sistemas es eficiente en mayor grado, al disminuir gran cantidad de contaminantes del agua como se aprecia especialmente en la total disminución de DQO y DBO con valores de 0.00 mg/l; con niveles de pH prácticamente neutros de 6,9 a 7,10; con concentraciones de conductividad de 169,30 a 211,80 us/cm; y en sólidos suspendidos de 0.00 a 12 mg/l; cumpliendo con los límites permisibles de descarga para riego agrícola y hacia fuentes agua dulce.

- **Quinto Muestreo – Concentración de Metales Pesados**

El objetivo de este muestreo fue determinar la presencia de metales pesados en el agua tratada puesto que actualmente parte del afluente es utilizando para riego agrícola, siguiendo el plan de muestreo establecido se tomó muestras compuestas de 1 litro en la captación del afluente y a la descarga, los resultados se expresan en el cuadro 4.12.

Cuadro 4. 12 Comportamiento de Metales Pesados

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL PARA METALES PESADOS					
UBICACIÓN: Huaycopungo Norte-SAN RAFAEL-OTAVALO					
Parámetros	Unidad	Captación	Descarga	Límite máximo permisible	Criterio de resultado
Cromo	mg/l	0,00	0,00	0,1	Cumple
Plomo	mg/l	0,00	0,00	0,05	Cumple
Hierro Total	mg/l	0,6	0,06	5	Cumple

Fuente: Laboratorio de Análisis de agua EMAPA-I

El cuadro 4.12 detalla la concentración de metales pesados donde la presencia de Cromo y Plomo es nula desde el afluente, esto debido a que el agua residual es exclusivamente doméstica; por el contrario la concentración de hierro en el afluente es de 0,6mg/l y a la descarga 0,06mg/l, con una remoción de 90% durante el tratamiento realizado principalmente en los humedales producto de la capacidad de asimilación de metales que posee el lechuguín de agua. Se analizó estos metales pesados en vista de que su presencia en el organismo causa graves enfermedades; sin embargo los resultados verificaron que su concentración no causa peligro para los seres humanos.

4.6.1.3. Monitoreos de Rutina para Control de Calidad de Agua Residual

Finalmente ejecutados los trabajos de manejo y optimización en la operación de las unidades de tratamiento como se detallará posteriormente, se procedió a realizar dos muestreos simples con el fin de verificar que la planta se mantenga con el transcurso del tiempo en condiciones óptimas; los resultados de análisis de agua determinaron que la concentración de contaminantes disminuye notablemente manteniendo la calidad de agua bajo los límites permisibles de descarga hacia fuentes de agua dulce y para riego agrícola. A continuación en el cuadro 4.13 se detallan los resultados del primer muestreo de rutina realizado durante la fase de control de calidad, análisis realizado en laboratorios acreditados.

Cuadro 4. 13 Resultados de análisis de agua del sexto muestreo en fases de tratamiento

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE HUAYCOPUNGO NORTE					
FECHA DE MUESTREO : 11 de Noviembre de 2013		UBICACIÓN: SAN RAFAEL-OTAVALO			
Parámetros Físicos	Unidad	Captación	Descarga	Límite Máximo Permisible	Criterio de resultados
		N°1311075-AGO13	N°1311075-AGO14		
Conductividad eléctrica	us/cm	218,0	298,0	No aplica	No aplica
Sólidos Totales	mg/l	258,0	281,0	1600	Cumple

Sólidos Disueltos Totales	mg/l	120,0	164,0	3000	Cumple
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	25,0	8,0	100	Cumple
Parámetros Químicos					
Ph		7,30	7,90	5 a 9	Cumple
Demanda Química De Oxígeno (DQO)	mg/l	26,00	11,00	250	Cumple
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO5)	mg/l	5,00	<2	100	Cumple
Amonio (NH4)	mg/l	0,95	0,38	No aplica	No aplica
N - Amoniaco (NH3)	mg/l	0,74	0,29	No aplica	No aplica
P - Fosfatos (PO4) ³⁻	mg/l	0,70	0,60	No aplica	No aplica
Nitratos HNO3	mg/l	5,00	0,30	10	Cumple
N - Nitratos (NO3) ⁻	mg/l	1,10	0,07	10	Cumple
N - Nitritos (NO2) ⁻	mg/l	0,22	<0,05		Cumple
Nitritos HNO2	mg/l	0,73	<0,05	10	Cumple
Sulfuros (S2 ⁻)	mg/l	<0,013	<0,013	0,50	Cumple
Parámetros Microbiológicos					
Recuento de Coliformes totales	NPM/100 ml	>110000	230,00	1000	Cumple
Recuento de Coliformes fecales	NPM/100 ml	>110000	90,00	99,9%	Cumple

Fuente: GRUNTEC ENVIRONMENTAL SERVICES (Acreditación OAE N° LE 2C 05-008)

El cuadro 4.14 detalla el segundo muestreo de rutina realizado el 23 de abril de 2014, los resultados registran que aplicando los criterios de optimización recomendados mantiene eficiencia en la depuración del agua disminuyendo la carga contaminante.

Cuadro 4. 14 Resultados de análisis de agua del séptimo muestreo en fases de tratamiento

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE HUAYCOPUNGO NORTE					
FECHA DE MUESTREO : 23 de Abril de 2014		UBICACIÓN: SAN RAFAEL-OTAVALO			
Parámetros Físicos	Unidad	Captación	Descarga	Límite Máximo Permisible	Criterio de resultados
		N° 1.17	N° 1.18		
Conductividad eléctrica	us/cm	502,0	477,0	No aplica	No aplica
Sólidos Totales	mg/l	348,0	320,0	1600	Cumple
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	318,0	312,0	3000	Cumple
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	26,0	<10	100	Cumple
Parámetros Químicos					
Ph		6,90	6,85	5 a 9	Cumple
Demanda Química De Oxígeno (DQO)	mg/l	60,30	15,10	250	Cumple
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO5)	mg/l	30,10	7,40	100	Cumple
N - Amoniaco (NH3)	mg/l	5,87	4,91	No aplica	No aplica
P - Fosfatos (PO4) ³⁻	mg/l	5,63	5,38	No aplica	No aplica
N - Nitratos (NO3) ⁻	mg/l	<1	<1	10	Cumple
N - Nitritos (NO2) ⁻	mg/l	<0,01	0,02		Cumple
Sulfuros (S2 ⁻)	mg/l	<0,3	<0,3	0,50	Cumple
Parámetros Microbiológicos					
Recuento de Coliformes totales	NPM/100 ml	5,4 x 10 ⁶	1,6 x 10 ³	1000	No cumple
Recuento de Coliformes fecales	NPM/100 ml	1,1 x 10 ⁶	1,3 x 10 ²	99,9%	Cumple

Fuente: Laboratorio de Ensayo CORPLAB ECUADOR (Acreditación OAE N° LE 2C 05-005)

En base a estos resultados podemos determinar que el control de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales se mantiene de manera adecuada si se aplica durante la operación los criterios de optimización recomendados, ya que cumple con los objetivos para el que fue diseñado.

4.6.2. Análisis del comportamiento, remoción y límites de permisibilidad del agua tratada.

En base a los resultados de los análisis de agua realizados en los muestreos compuestos antes mencionados se procedió a la interpretación de los parámetros como se detalla a continuación.

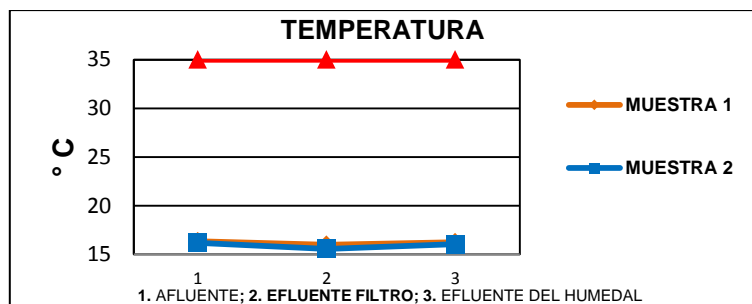
El comportamiento de cada parámetro analizado se lo estudió en base a la capacidad de remoción que sufrieron dichos contaminantes respecto a su concentración como afluente y efluente durante el transcurso hacia cada sistema dentro del proceso de tratamiento y a la vez se identificó si cumplen con los límites permisibles de descarga que exige el TULSMA en Ecuador.

4.6.2.1. Parámetros Físicos

Son características que tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua (Arellano & Guzmán, 2011).

- **Temperatura**

De acuerdo a la gráfica 4.11 los valores de temperatura en los dos muestreos se mantienen similares en cada fase de tratamiento, observando una fluctuación promedio que oscila entre 15,79 a 16,28 °C; alcanzando rangos de altos en la captación de 16,20 a 16,35 °C; en el efluente del filtro de 15,58 a 16 °C y a la descarga entre 16,05 a 16,26° C; en consecuencia cumple con el límite permisible de descarga. Estos niveles de temperatura la ubican en un rango psicrófilico característico de agua residual rural, óptimo para el desarrollo de microorganismos anaerobios, manteniendo al sistema estable durante la operación.

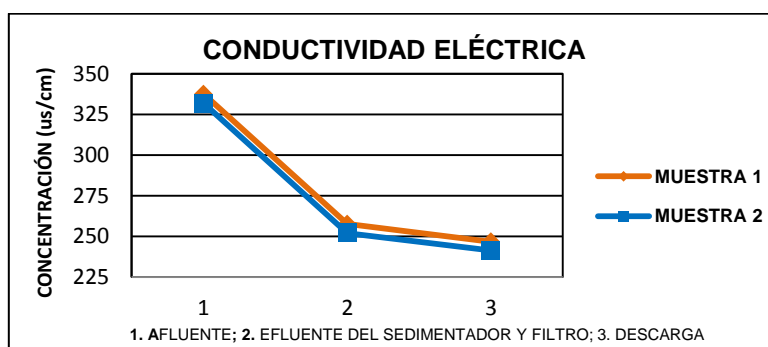


Gráfica 4.11 Comportamiento de la temperatura

Fuente: Autor

- **Conductividad Eléctrica**

La gráfica 4.12 muestra que los valores de conductividad o sales disueltas en los muestreos se mantienen similares en cada fase de tratamiento, generalmente la media del afluente es 334,71 us/cm representando un valor moderado; a la salida del filtro el efluente presenta una media de 254,8 us/cm; a la descarga se obtuvo 244.04 us/cm con remoción de 4,23%; siendo un nivel de depuración bajo durante el tratamiento terciario; en conjunto los sistemas remueven 27,09% la conductividad. Es necesario señalar que estas concentraciones son adecuadas para ser descargadas en fuentes dulceacuícolas puesto que estos rangos permiten la vida de la flora y fauna. En base a estos resultados los sistemas de tratamiento primario y secundario degradan los iones presentes en el agua a 0,02 mg/l/hora; mientras tanto en el tratamiento terciario la degradación alcanza 0,001 mg/l/hora; en conjunto los sistemas de tratamiento de la planta degradan 0.001 mg/l/hora.

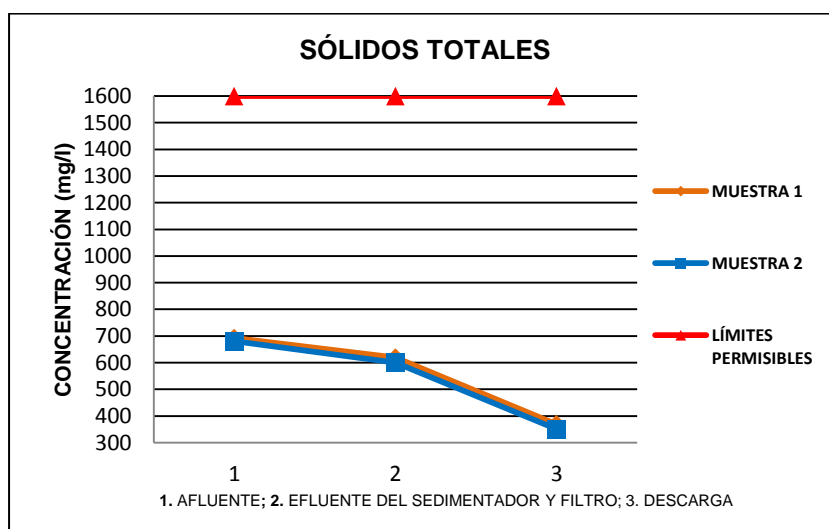


Gráfica 4.12 Comportamiento de la Conductividad Eléctrica

Fuente: Autor

- **Sólidos Totales**

En la gráfica 4.13 se presentan los valores de concentración en sólidos totales, los resultados de los dos muestreos se mantienen similares en cada fase de tratamiento, la media de ingreso del agua residual es de 686,12 mg/l representando una concentración media; a la salida del filtro el efluente presenta una media de 609,32 mg/l, siendo un nivel de depuración bajo; a la descarga la concentración bajó a 359,27 mg/l siendo un nivel de depuración óptimo efectuado en el humedal artificial; en conjunto el porcentaje de remoción de la planta sólidos totales es óptima ya que disminuye la concentración en un 47,64%; es necesario señalar que este parámetro cumple con el límite permisible de descarga al no sobrepasar los 1600 mg/l. En base a estos resultados se determinó que la eliminación de sólidos totales en el tratamiento primario y secundario alcanza 0,01 mg/l/hora; mientras tanto en el tratamiento terciario la degradación alcanza 0,02 mg/l/hora; en conjunto los sistemas de tratamiento de la planta degradan 0.01 mg/l/hora. Esto determina que los sólidos totales no pueden ser separados fácilmente del líquido por proceso de sedimentación y filtrado en estos sistemas, sin embargo en los humedales los rizomas de los lechuguines por adsorción y absorción disminuyen su concentración.

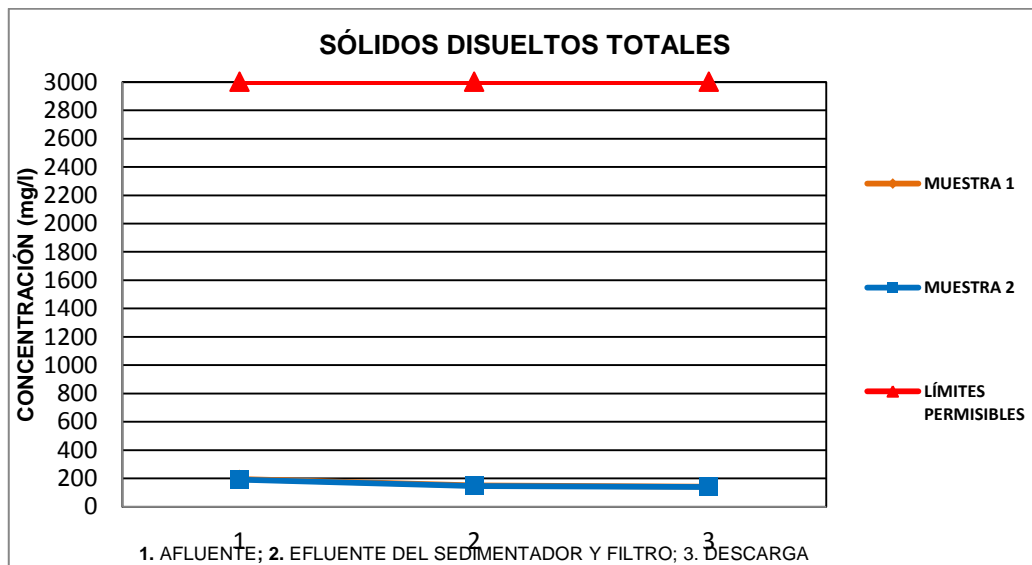


Gráfica 4. 13 Comportamiento de sólidos totales

Fuente: Autor

- **Concentración de Sólidos Disueltos Totales**

En la gráfica 4.14 se presentan los valores de concentración de sólidos disueltos totales, los resultados de los dos muestreos se mantienen similares, la media de ingreso del agua residual es de 193,55 mg/l representando un valor moderado; el efluente tratado en el tratamiento primario y secundario en conjunto presenta una media de 147,73 mg/l alcanzando un nivel de depuración bajo; por último el efluente disminuyó a 140,98 mg/l con una remoción leve; en conjunto el porcentaje de remoción de la planta para este parámetro es ineficiente disminuye en un 27,16% la concentración; es necesario señalar que este parámetro cumple con el límite permisible de descarga al no sobrepasar los 3000 mg/l. Los resultados determinaron que la eliminación de sólidos disueltos totales en el tratamiento primario y secundario alcanzó una reducción de 0,02 mg/l/hora; mientras tanto en el tratamiento terciario reduce 0,001 mg/l/hora; en conjunto los sistemas de tratamiento de la planta eliminan 0.01 mg/l/hora. Esto determina que existe una disminución lenta de sólidos disueltos en los sistemas de tratamiento.

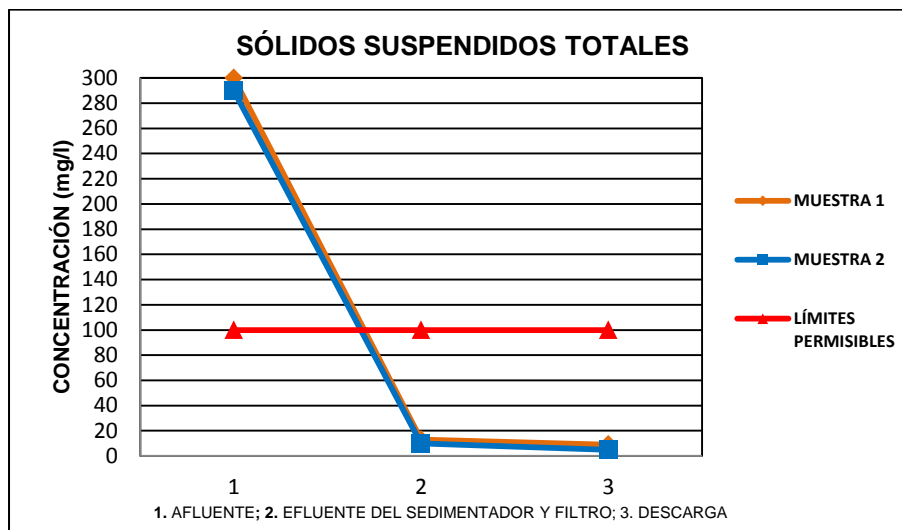


Gráfica 4. 14 Comportamiento de sólidos disueltos totales
Fuente: Autor

- **Sólidos Suspendidos Totales**

La gráfica 4.15 presentan los valores de concentración de sólidos suspendidos, los resultados de los dos muestreos no poseen variaciones significativas en cada fase de

tratamiento, la media de ingreso del agua residual es de 295 mg/l representando un valor alto; el efluente del tratamiento primario y secundario presentan una media de 11,5 mg/l mientras tanto a la descarga la concentración bajó a 7 mg/l siendo un nivel de depuración óptimo; en conjunto el porcentaje de remoción de la planta para este parámetro es eficiente disminuye en un 97,63% la carga contaminante; cumpliendo con las normas de descarga ya que una vez tratada la concentración disminuye a 7 mg/l mucho menor al límite permisible 100 mg/l. La disminución de sólidos suspendidos en el tratamiento primario y secundario alcanzó 0,19 mg/l/hora; mientras tanto en el tratamiento terciario se reduce 0,02 mg/l/hora; en conjunto los sistemas de tratamiento de la planta reducen 0.07 mg/l/hora. Esto determina que los sólidos suspendidos se separan del líquido sin dificultad en los procesos de sedimentación, filtrado, y adsorción en los humedales artificiales.

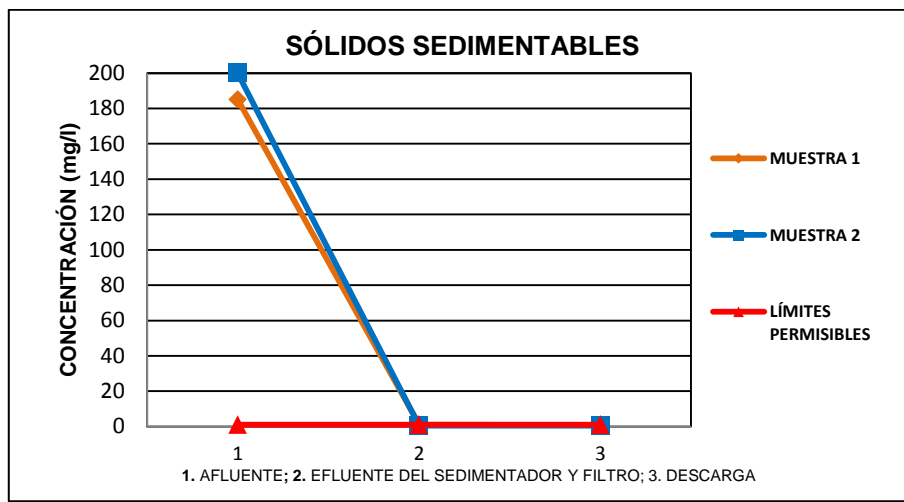


Gráfica 4. 15 Comportamiento de sólidos disueltos totales
Fuente: Autor

- **Sólidos Sedimentables**

Como se detalla en la gráfica 4.16 los valores de concentración de sólidos sedimentables para ambos muestreos permanecen similares en cada fase de tratamiento, la media de ingreso del agua residual es de 192,5 mg/l representando un valor alto; el efluente depurado del tratamiento primario y secundario alcanza una concentración media de 0,75 mg/l alcanzando un porcentaje de remoción alto; mientras tanto a la descarga el efluente obtuvo una concentración media de 0.70 mg/l; en conjunto el porcentaje de remoción de la planta para este parámetro es eficiente disminuye en un 99,64% la concentración; por tal

motivo se garantiza el cumplimiento del límite permisible de descarga ya que una vez tratada la concentración permanece bajo el límite permisible 1mg/l. En base al análisis la eliminación de sólidos sedimentables en el tratamiento primario y secundario alcanzó una mayor reducción 0,32 mg/l/hora; mientras tanto en el tratamiento terciario reduce 0,002 mg/l/hora; en conjunto los sistemas de tratamiento de la planta eliminan 0.11 mg/l/hora. Los resultados demuestran que los sólidos sedimentables se separan del líquido de manera adecuada en los procesos de sedimentación, filtrado.



Gráfica 4.16 Comportamiento de sólidos sedimentables
Fuente: Autor

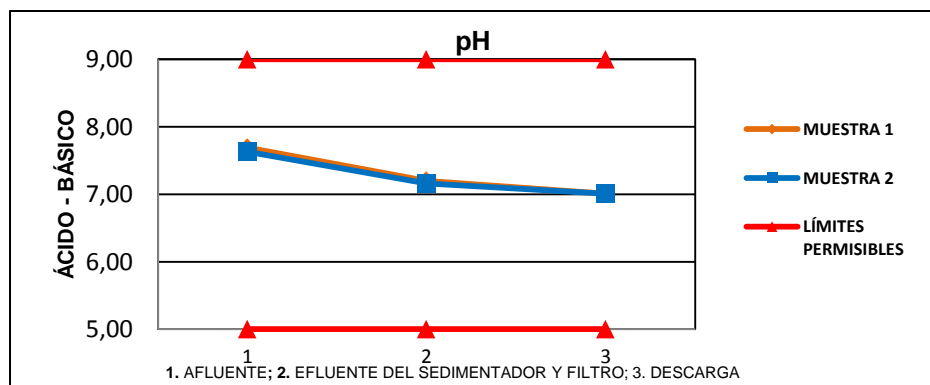
4.6.2.2. Parámetros Químicos

Son parámetros relacionados con la capacidad del agua para disolver, las concentraciones en el agua se deben a la presencia e interacción de varias sustancias (Arellano & Guzmán, 2011).

- **pH**

El comportamiento del pH, se visualiza en la gráfica 4.17, los niveles para ambos muestreos no presentan cambios significativos durante cada fase de tratamiento, el afluente con 7,66 representa un valor moderadamente neutro elevándose a básico; el efluente del tratamiento primario y secundario producen una disminución a 7,18; a la descarga el nivel bajó a 7,01 considerado un rango neutro ideal a ser descargado a fuentes de agua; por tal

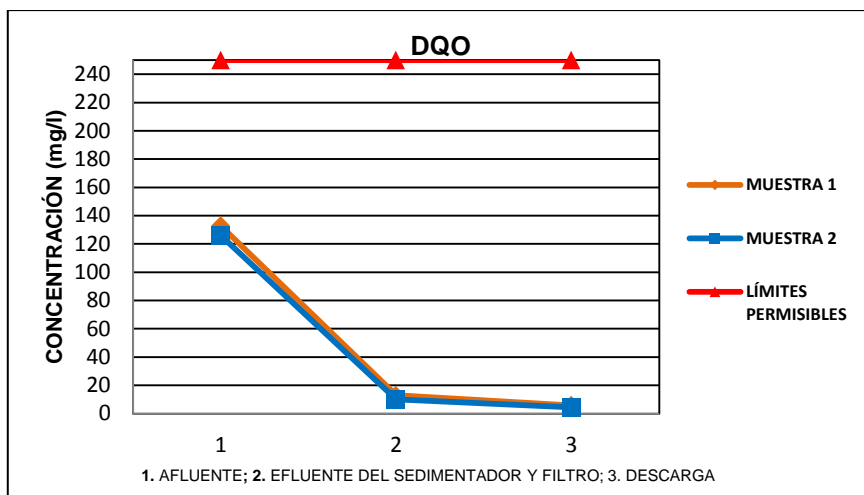
motivo los sistemas de tratamiento mantienen los niveles de pH a una escala de control óptima cumpliendo con el límite permisible de descarga. Los resultados determinan que los diferentes grupos bacterianos presentes en el proceso de digestión anaerobia presentan niveles de actividad óptimos durante las cuatro fase de descomposición de la materia orgánica Hidrólisis, Acidogénica, Acetogénica y Metanogénica, hecho que se confirma puesto que el líquido se mantiene a un pH adecuado sin salirse de los rangos óptimos entre 6,5 - 7,5; es decir no inhibe el crecimiento microbiano y mantiene cualidades energéticas óptimas.



Gráfica 4. 17 Comportamiento del pH
Fuente: Autor

- **Demanda Química de Oxígeno**

La gráfica 4.18 muestra que los valores de concentración en DQO para ambos muestreos permanecen similares en cada fase de tratamiento, la media de ingreso del agua residual es de 129,35 mg/l representando un nivel de concentración medio; el efluente del tratamiento primario y secundario presenta una media de 11,5 mg/l alcanzando un porcentaje de remoción óptimo; a la descarga disminuyó la concentración en 5,15 mg/l en el humedal artificial; en conjunto la remoción DQO en los sistemas de tratamiento es eficiente disminuyendo en un 96,02% manteniendo la concentración bajo el límite permisible de descarga 250 mg/l. La tasa de degradación de DQO en el tratamiento primario y secundario reduce 0,14 mg/l/hora; mientras tanto en el tratamiento terciario la degradación alcanza 0,02 mg/l/hora; en conjunto los sistemas de tratamiento de la planta biodegradan 0,06 mg/l/hora. Esto determina que los procesos dentro las unidades de tratamiento residual oxidan el total de la materia orgánica a CO₂ y agua de manera óptima.

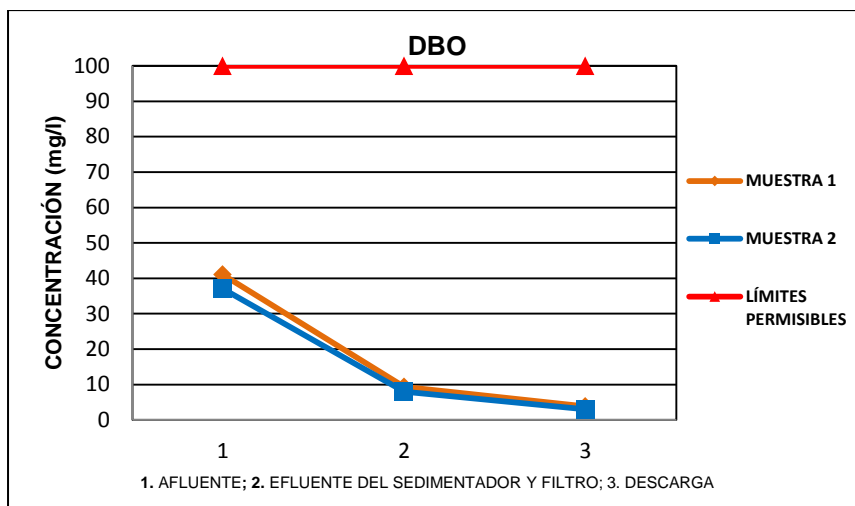


Gráfica 4. 18 Comportamiento de DQO

Fuente: Autor

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno**

La gráfica 4.19 indica que los valores de concentración en DBO₅ para ambos muestreos permanecen similares en cada fase de tratamiento, el afluente residual contiene 39 mg/l que representa un nivel de concentración medio; el efluente depurado durante el tratamiento primario y secundario presenta una media de 8,65 mg/l con una remoción óptima; a la descarga la concentración bajo a 3,39 mg/l que remueven en el humedal artificial; en conjunto la remoción de DBO en la planta es eficiente disminuyendo en un 91,31% manteniendo la concentración bajo el límite permisible de descarga 100 mg/l. La tasa de degradación de DBO en el tratamiento primario y secundario reduce 0,09 mg/l/hora; mientras tanto el tratamiento terciario biodegrada 0,027 mg/l/hora; en conjunto los sistemas de tratamiento biodegradan 0,05 mg/l/hora. Esto determina que las condiciones de oxígeno dentro los procesos de tratamiento residual son óptimos para que las bacterias oxiden y estabilicen la materia orgánica biodegradable.



Gráfica 4. 19 Comportamiento de DBO

Fuente: Autor

Análisis de Carga Orgánica.- Es la materia orgánica soluble y particulada aplicada al sistema de tratamiento por unidad de área. La carga orgánica general del afluente para DBO₅ alcanzó 73,73 kg/ha.día; es decir determinó que a los sistemas de tratamiento de la planta ingresa 6,64 kg/ha.día, este valor se encuentra en el rango adecuado para que los microorganismos degraden materia orgánica, hecho que se afirma puesto que las tasas de carga de DBO₅ para los sistemas de Lechuguín de agua puede oscilar entre 10 y 300 kg / ha. día (EPA;, 1988), de igual manera se trabaja para la carga de DQO que arrojó valores de 22,03 kg/ha. día, estas concentraciones evitan problemas de malos olores, los valores de carga orgánica se detallan en el cuadro 4.15.

Cuadro 4. 15 Tasa de Carga Orgánica

CARGA ORGÁNICA DEL AFLUENTE		
	CARGA ORGÁNICA DQO	CARGA ORGÁNICA DBO ₅
Tasa de carga orgánica general	244,8 kg/ha. d	73,73 kg/ha. d
Tasa de carga por Estanque	3,67 kg/ha. d	1,11 kg/ha. d
Tasa de carga en el Sistema Trat.	22,03 kg/ha. d	6,64kg/ha. d

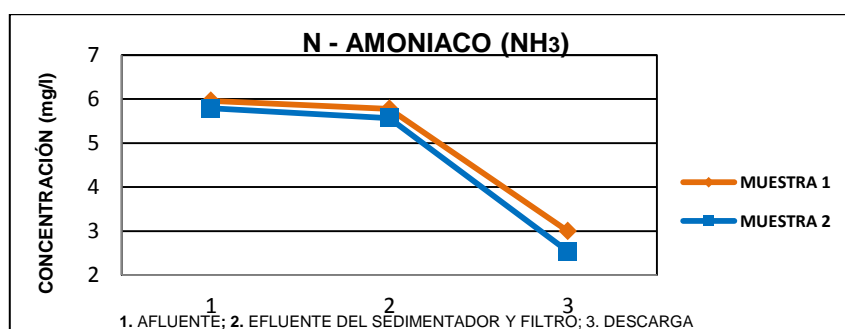
Fuente: Autor

Relación DBO₅/DQO.- El cálculo de relación DBO₅/DQO del afluente residual arrojó un valor de 0,30 este resultado afirma que el agua residual de la planta de tratamiento presenta residuos fácilmente tratables en procesos biológicos.

- **N- Amoniaco (NH₃)**

El comportamiento del amoniaco se detalla en la gráfica 4.20, los valores de concentración en ambos muestreos permanecen similares en cada fase de tratamiento, el afluente residual contiene 5,88 mg/l representando un nivel de concentración medio; el efluente del tratamiento primario y secundario presenta una media de 5,68 mg/l con una remoción baja; a la descarga la concentración bajo a 2,77 mg/l alcanzando un porcentaje de remoción óptimo en el humedales con Lechuguines estos permiten alta capacidad de remoción; en conjunto los sistemas son eficientes manteniendo una concentración de NH₃ adecuada. La tasa de degradación de amoniaco en el tratamiento primario y secundario alcanzó 0,002 mg/l/hora; mientras tanto en el tratamiento terciario la degradación alcanza 0,021 mg/l/hora; en conjunto los sistemas de tratamiento biodegradan NH₃ a 0,01 mg/l/hora.

El amoniaco es producto de la hidrolización del nitrógeno orgánico su disminución ocurre producto de la nitrificación realizada por bacterias autótrofas nitrificantes como las *Nitrosomas sp* y *Nitrobacter sp* que transforman los nitrógenos amoniacaes a nitratos, este proceso es más eficiente en medio aerobios, por tal motivo en los procesos físicos anaerobios la disminución es mínima las bacterias utilizan este nutriente para metabolismo celular, al contrario sucede en los humedales con Lechuguines donde se solubiliza más rápidamente y se reduce por procesos fotosintéticos y de adsorción realizado por la hojas y raíces de la planta incorporándolo como nutriente reduciendo así de manera óptima la concentración de NH₃ en el agua.

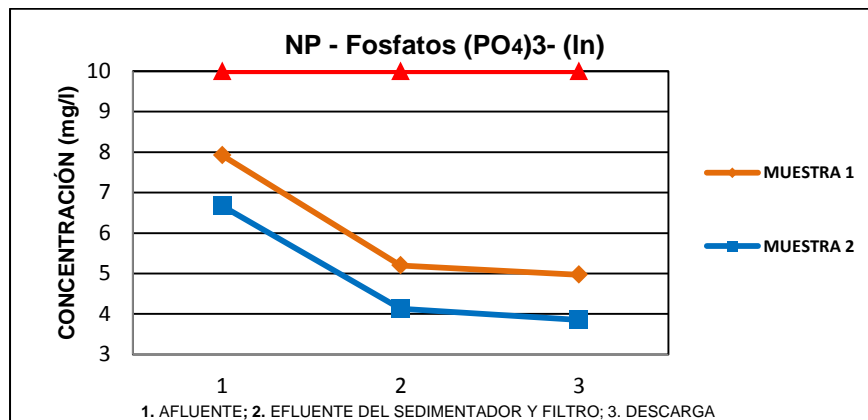


Gráfica 4. 20 Comportamiento de N- Amoniaco (NH₃)

Fuente: Autor

- **P - Fosfatos (PO_4^{3-})**

La gráfica 4.21 muestra que el comportamiento de fosfatos en ambos muestreos permanecen similares, la concentración del afluente residual es de 7,30 mg/l representando un nivel de concentración alto; el efluente de los sistemas primario y secundario contienen 4,67 mg/l alcanzando una remoción baja; a la descarga la concentración disminuyó a 4,41 mg/l alcanzando una remoción baja en el humedal con lechuguines pese a que esta especie permite alta capacidad de absorción; en conjunto los sistemas remueven óptimamente fosfatos manteniendo una concentración de 39,55%. La tasa de degradación de fosfatos en el tratamiento primario y secundario alcanzó 0,03 mg/l/hora; mientras tanto en el tratamiento terciario la degradación es de 0,002 mg/l/hora; en conjunto los sistemas de tratamiento biodegradan 0,01 mg/l/hora. La disminución de fosfatos determina que hubo una adecuada biodegradación de este nutriente tanto por las bacterias para metabolismo celular durante procesos anaerobios, precipitación en la columna de agua y por las plantas que lo asimilan como nutriente.



Gráfica 4. 21 Comportamiento de P - Fosfatos (PO_4^{3-})

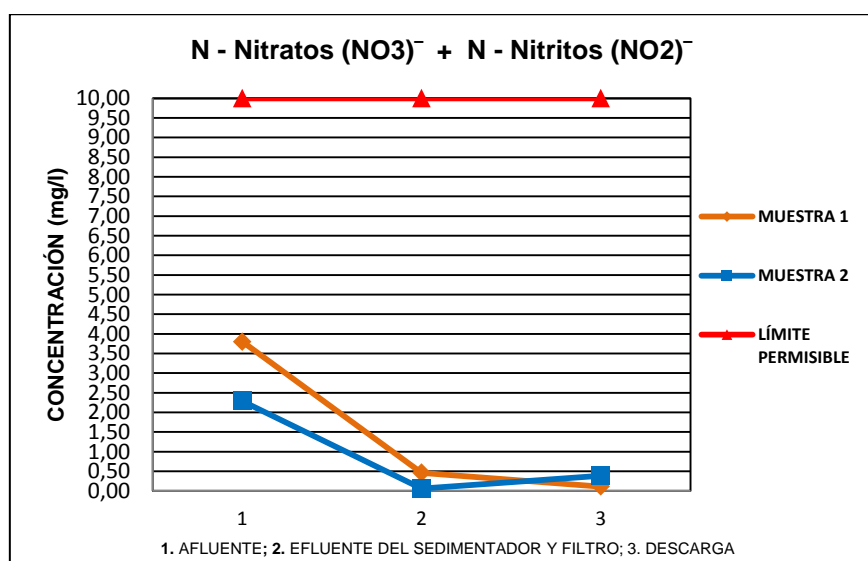
Fuente: Autor

- **N - Nitratos (NO_3^-) + N - Nitritos (NO_2^-)**

La gráfica 4.22 detalla los valores de concentración para nitratos + nitritos, la media de ingreso del afluente es de 3,05 mg/l representando un nivel de concentración bajo; el afluente del tratamiento primario y secundario presenta una media de 0,26 mg/l con un porcentaje de remoción alto de 91,44%; sin embargo a la descarga durante el tratamiento con humedales la concentración disminuyó levemente a 0,25 mg/l con una remoción de

3,84%, esto se debe por el aumento de nitritos debido a problemas de eutrofización y aumento de algas en los estanques, pese a esto el incremento no es considerable al ser muy bajo; en conjunto los sistemas remueven nitratos y nitritos de manera eficiente en un 91,8% manteniendo al afluente bajo el límite permisible de 10 mg/l.

La tasa de degradación de nitratos + nitritos en el tratamiento primario y secundario alcanzó 0,16 mg/l/hora; mientras tanto en el tratamiento terciario la degradación disminuye alcanzando los 0,001 mg/l/hora; en conjunto los sistemas de tratamiento biodegradan 0,05 mg/l/hora. La presencia de $(\text{NO}_3)^- + (\text{NO}_2)^-$, son el resultado del proceso de nitrificación, posterior a esto empieza el proceso de desnitrificación donde un gran porcentaje de estas moléculas son reducidas en medios anaerobios por bacterias heterótrofas, como *Pseudomonas fluorescens* a nitrógeno molecular N_2 (gas) que se libera a la atmósfera y una pequeña cantidad es asimilada por estas bacterias, este proceso evita la eutrofización.

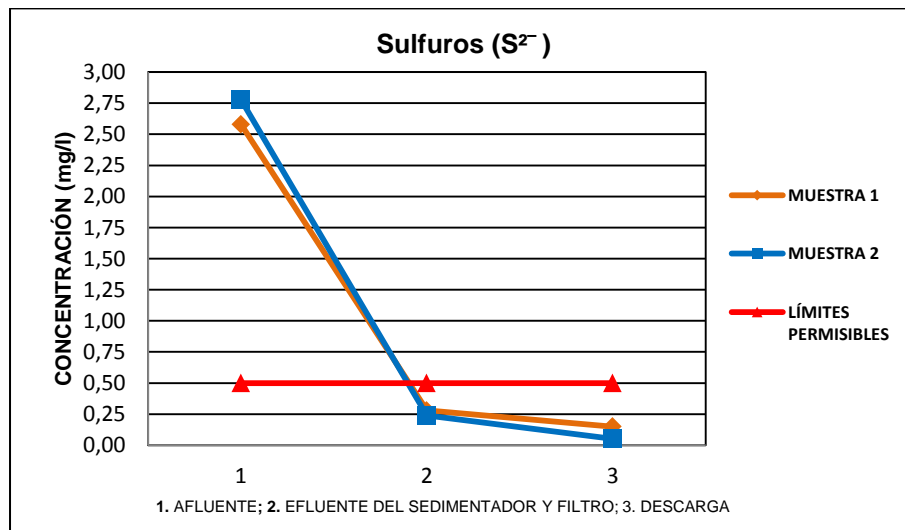


Gráfica 4. 22 Comportamiento de N - Nitratos $(\text{NO}_3)^- + \text{N}$ - Nitritos $(\text{NO}_2)^-$
Fuente: Autor

- **Sulfuros (S^{2-})**

Como se detalla en la gráfica 4.23 los valores de concentración de sulfuros para ambos muestreos permanecen similares, la media de ingreso del agua residual es 2,68 mg/l representando un valor de concentración muy alto; durante el tratamiento primario y

secundario el agua alcanza una media de 0,26 mg/l con una remoción óptima; la descarga contiene 0,10 mg/l alcanzando remociones eficientes de 61,54% el humedal artificial; en conjunto los sistemas remueven sulfuros en un 96,27% de concentración total manteniendo el efluente bajo el límite tolerable de descarga permisible 0,50 mg/l. La tasa de degradación para sulfuros en el tratamiento primario y secundario alcanzó 0,13 mg/l/hora; mientras en el tratamiento terciario la degradación es 0,03 mg/l/hora; en conjunto los sistemas de tratamiento degradan 0,07 mg/l/hora. La presencia de sulfuros es el resultado de la reducción de sulfatos, su disminución se debe a la actuación anaerobia de bacterias sulfatoredutoras, como *Thermodesulfovibrio* y *Desulfotomaculum*, que transforman estos compuestos producto del metabolismo celular a sulfuro de hidrógeno (H₂S).



Gráfica 4. 23 Comportamiento de sulfuros (S²⁻)

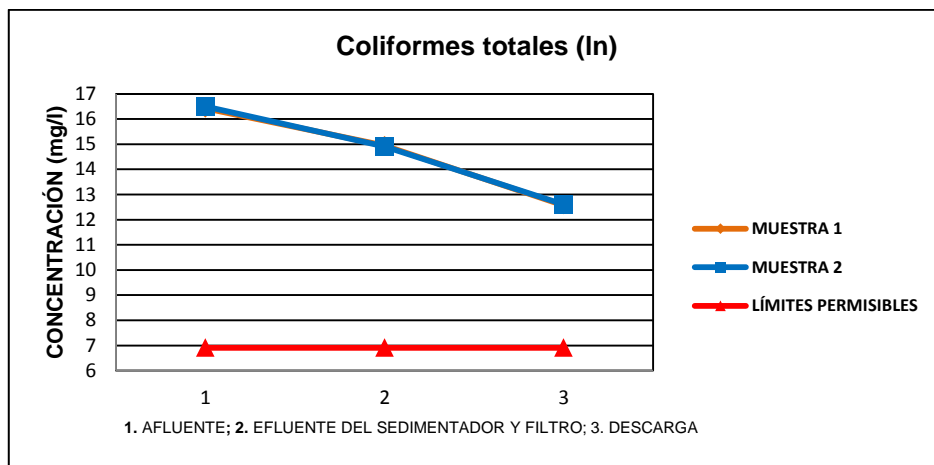
Fuente: Autor

4.6.2.3. Parámetros Microbiológicos

Los resultados del análisis microbiológico se los expresará en logaritmo natural para normalizar las gráficas, puesto que son valores muy altos y no se representan adecuadamente en la comparación. Para los criterios de calidad se utilizaron los límites permisibles de aguas destinadas a fuentes de agua dulce.

- **Coliformes Totales**

La gráfica 4.24 muestra la capacidad de remoción de coliformes totales presentes en cada fase de tratamiento manteniendo concentraciones altas y similares; la media de ingreso del afluente es $1,41 \times 10^7$ NPM/100ml representando un nivel alto; el efluente del tratamiento primario y secundario contiene $3,05 \times 10^6$ NPM/100ml alcanzando un porcentaje de remoción bajo; a la descarga la concentración disminuyó a $2,95 \times 10^5$ NPM/100ml removiendo un 90,33% en el humedal artificial; en conjunto la remoción en la planta de tratamiento no es aceptable al no alcanzar el límite permisible de descarga ya que una vez tratada la concentración de coliformes en el agua permanece en 97,91% sin disminuir a los 99,99% exigidos en el TULS-MA. En conclusión los sistemas de tratamiento disminuyen cada 0,07 fracciones de hora la cantidad de coliformes totales reduciendo estos a la mitad, durante las 52,15 horas de retención.



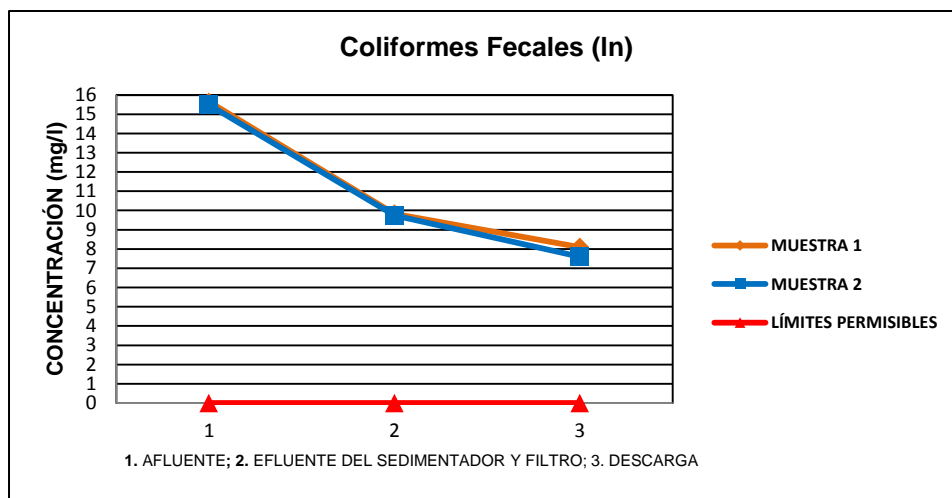
Gráfica 4. 24 Comportamiento de coliformes totales

Fuente: Autor

- **Coliformes Fecales**

La gráfica 4.25 muestra la capacidad de remoción de coliformes fecales presentes en cada fase de tratamiento manteniendo concentraciones de microorganismos altas y similares; el afluente presenta $5,75 \times 10^6$ NPM/100ml representando un valor alto; el efluente del tratamiento primario y secundario contiene $1,78 \times 10^4$ NPM/100ml alcanzando una remoción alta de; a la descarga la población bacteriana disminuyó a $2,65 \times 10^3$ NPM/100ml, alcanzando una remoción deficiente durante el tratamiento terciario; en conjunto la

remoción en la planta de tratamiento no es óptima alcanza levemente el límite permisible de descarga ya que una vez tratada la concentración de coliformes en el agua permanece en 99,95% que se acerca en gran medida, pese a esto no sobrepasa los 99,99% exigidos en el TULS-MA, estos resultados aparentemente demuestran que existe eliminación bacteriana sin embargo estos no representan una adecuada disminución como se representa en la gráfica 4.31. En conjunto los sistemas de tratamiento disminuyen cada 0,15 fracciones de hora la cantidad de coliformes fecales reduciendo estos a la mitad, durante las 52,15 horas de retención.



Gráfica 4. 25 Comportamiento de coliformes fecales
Fuente: Autor

4.7. Eficiencia de los Sistemas de Tratamiento

La eficiencia se determinó desde el inicio del mantenimiento emergente que se realizó en la planta, tomando en cuenta los resultados de análisis de agua en los afluentes y efluentes de cada uno de los sistemas de tratamiento muestreados que se mencionaron anteriormente. El cuadro 4.16 resume los resultados en porcentajes de remoción en conjunto e individual de los sistemas de tratamiento primario, secundario y terciario de la planta.

Cuadro 4. 16 Porcentaje en eficiencia de los sistemas de tratamiento

EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO			
PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES (%)			
Medias muestras compuestas: Muestreo 1 + Muestreo 2		Ubicación: Huaycopungo Norte - San Rafael - Otavalo	
Parámetros Físicos	Remoción Sedimentador y Filtro (%)	Remoción Humedales Artificiales (%)	Descarga Remoción en conjunto (%)
Conductividad Eléctrica	23,87	4,23	27,09
Sólidos Totales	11,19	41,04	47,64
Sólidos Disueltos Totales	23,68	4,57	27,16
Sólidos Suspendidos Totales	96,10	39,13	97,63
Sólidos Sedimentables	99,61	6,67	99,64
Parámetros Químicos			
Demanda Química De Oxígeno (DQO)	91,11	55,22	96,02
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO5)	77,82	60,81	91,31
N - Amoniaco (NH3)	3,40	51,19	52,85
P - Fosfatos (PO4)3 ⁻	36,05	5,47	39,55
N - Nitratos (NO3) ⁻ + N - Nitritos (NO2) ⁻	91,44	3,84	91,8
Sulfuros (S ²⁻)	90,30	61,54	96,27
Parámetros Microbiológicos			
Recuento de Coliformes totales	78,37	90,33	97,91
Recuento de Coliformes fecales	99,69	85,07	99,95

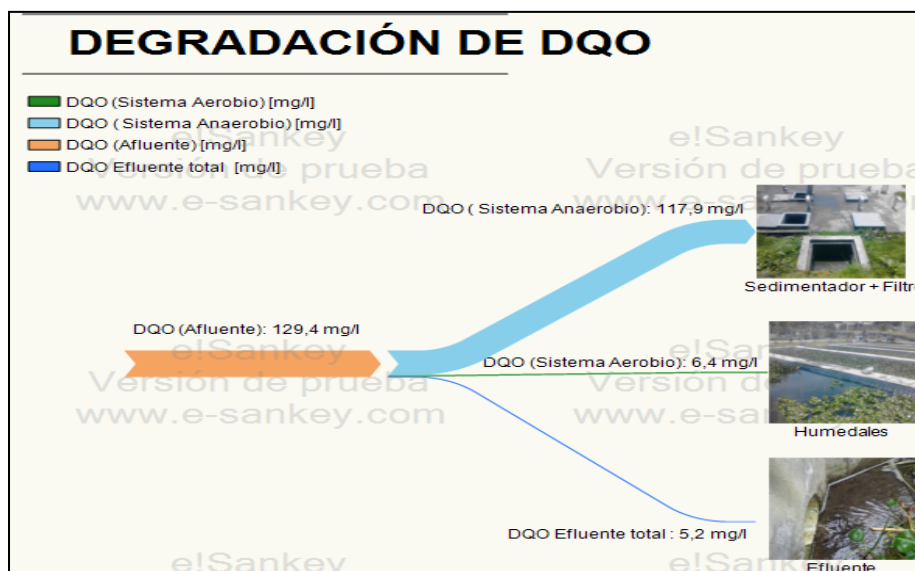
Fuente: Autor

En base a estos resultados la remoción de contaminantes en cada unidad de tratamiento es adecuada mientras se mantenga un manejo disciplinado destacando remociones altas de 50% hasta 90% en sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, DQO, DBO₅, amoniaco, nitratos, nitritos, sulfuros y coliformes fecales; y con bajas remociones en fosfatos y sólidos disueltos.

En conjunto la remoción de los tres sistemas de tratamiento resultó en una eficiencia óptima, donde las mayores remociones alcanzaron un rango mayor a 90% como se observa en el cuadro 4.10, principalmente en la remoción de Sólidos Suspendidos, Sólidos Sedimentables, DQO, DBO₅, Nitratos (NO₃)⁻ y Sulfuros (S²⁻); de igual manera se logró elevadas remociones para coliformes totales con 97,91% pese a esto su concentración no es suficiente para cumplir con los límites permisibles de descarga que son mayores a 99,9%; mientras en coliformes fecales se removió un 99,95% alcanzando levemente la norma requerida de descarga. Las remociones medias se presentaron para sólidos totales con 47,64%, amoniaco 52,85% y fosfatos con 39,55%; por otro lado se presentaron valores bajos en conductividad con 27,09% y sólidos disueltos con 27,16%; como se mencionó

anteriormente la remoción para nitritos en la planta de tratamiento fue leve debido a que en los estanques se encuentran con exceso de materia orgánica acumulada en el fondo por falta de un manejo adecuado del lechuguín de agua motivo por el cuál en el sistema ha iniciado un leve proceso de eutroficación aunque no significativo al presentar una concentración baja hasta el momento no ha causado inconvenientes y al igual que los demás parámetros analizados cumplen con los límites de permisibilidad exigidos. Estos resultados determinan que los porcentajes de remoción alcanzados en los sistemas de tratamiento son óptimos bajo un régimen de operación y mantenimiento disciplinado durante el manejo en cada unidad, a continuación en los Diagramas Sankey se representa la degradación de contaminantes que se ejecutan en cada fase de tratamiento de agua residual.

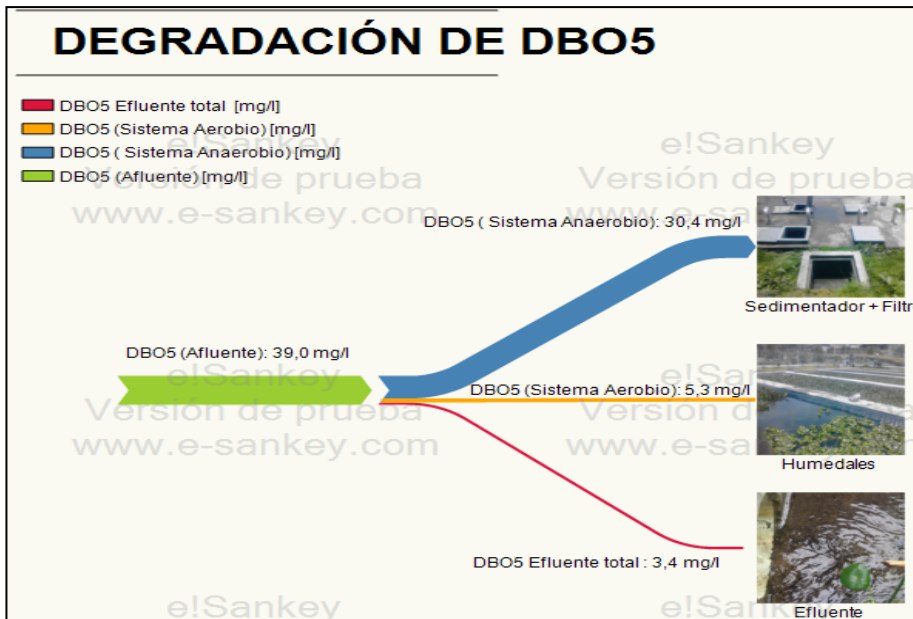
En las gráficas 4.26 y 4.27 se demuestra que los procesos degradación anaerobios producidos en el sedimentador y el filtro de flujo ascendente se ejecutan de manera adecuada brindando las condiciones óptimas para que las bacterias oxiden y estabilicen la mayor cantidad de materia orgánica. En conclusión actualmente cada sistema cumple con los objetivos para los que fueron diseñados durante cada etapa de tratamiento del agua residual.



Gráfica 4. 26 Diagrama Sankey, Degradación de DQO

Fuente: Autor

La gráfica 4.27 detalla gráficamente la degradación de DBO5 en cada sistema de tratamiento, hasta la descarga.



Gráfica 4. 27 Diagrama Sankey, Degradación de DBO5

Fuente: Autor

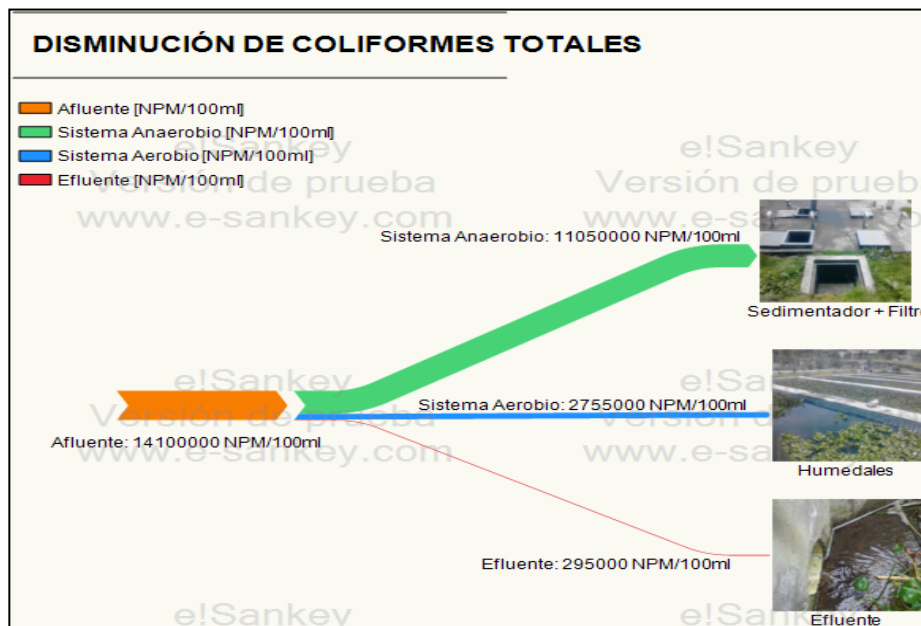
La gráfica 4.28 representa que los procesos de degradación aerobios producidos en los humedales artificiales con Lechuguines de agua se ejecutan de manera eficiente puesto que cumplen con su principal función degradar la mayor concentración de nutrientes presentes producto de la fotosíntesis, adsorción o absorción por rizomas y por acción de bacterias nitrificantes presentes en los estanques.



Gráfica 4. 28 Diagrama Sankey, Degradación de NH3

Fuente: Autor

En la gráfica 4.29 se observa que existe una elevada disminución de coliformes en el sistema anaerobio y aerobio sin embargo no alcanza una concentración adecuada para su reutilización al no cumplir la calidad adecuada para utilizarse en agua de riego y hacia fuentes de agua dulce, esto debido a que la concentración de poblaciones microbianas varia por tal motivo es factible someter el efluente a 10% de clorificación para mantener constantes disminuciones que alcancen los requerimientos exigidos.



Gráfica 4. 29 Diagrama Sankey, Disminución de Coliformes Totales
Fuente: Autor

Para una mejor comprensión se resume en el anexo 7.1 todos los procesos de remoción de contaminantes del agua residual tratada por parte de cada sistema de tratamiento, comparando con los límites permisibles de descarga para riego y hacia fuentes de agua dulce.

4.8. Análisis Estadístico

El análisis se realizó aplicando la prueba t Pareada de muestras dependientes, con el fin de estudiar el comportamiento del agua residual a la captación y a la descarga del agua depurada por los sistemas de tratamiento para demostrar la disminución de contaminantes que realiza la planta de tratamiento de aguas residuales. El cuadro 4.17 indica los valores obtenidos por parámetro.

Resultado: t calculada = 2,35

t tabular = 1,812

Cuadro 4. 17 Resultados prueba t pareada dependiente

Parámetro	CAPTACIÓN	DESCARGA	di	d - d/	di2
Sólidos Totales	348,00	320,00	28,00	17,17	294,75
Sólidos Disueltos Totales	318,00	312,00	6,00	-4,83	23,33
Sólidos Suspendidos Totales	26,00	10,00	16,00	5,17	26,73
Ph	6,90	6,85	0,05	-10,78	116,21
Demanda Química De Oxígeno (DQO)	60,30	15,10	45,20	34,37	1181,30
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO5)	30,10	7,40	22,70	11,87	140,90
N - Amoníaco (NH ₃)	5,87	4,91	0,96	-9,87	97,42
P - Fosfatos (PO ₄) ³⁻	5,63	5,38	0,25	-10,58	111,94
N - Nitratos (NO ₃) ⁻	1,00	1,00	0,00	-10,83	117,29
N - Nitritos (NO ₂) ⁻	0,01	0,02	-0,01	-10,84	117,51
Sulfuros (S ₂ -)	0,30	0,30	0,00	-10,83	117,29
$t = 2.35$ gl=10; tc 5%= 1,812;			$\Sigma:$ 119,15		$\Sigma:$
			X_{di} : 10,83		2344,64

Fuente: Autor

De acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba se concluyó lo siguiente:

Al ser t calculada $<$ t tabular; se rechaza H_0 y se acepta H_a , lo cual indica que los datos de las observaciones no son iguales; es decir que una vez el agua residual doméstica ingresa a los sistemas de tratamiento biológico los procesos depurativos que se ejecutan son capaces de disminuir la concentración de contaminantes, mejorando de esta manera la calidad del agua residual para ser reutilizada para riego agrícola o ser descargada hacia fuentes de agua dulce, destacando que los datos se mantienen bajo el límite permisible del TULS-MA.

4.9. Criterios de Optimización para el Manejo y Operación de los Sistemas de Tratamiento

Los criterios de optimización del Sistema de Tratamiento de Agua Residual de la Planta N° 4 sector “Huaycopungo Norte” de la parroquia San Rafael, se determinaron de acuerdo al diagnóstico actual de la infraestructura, procesos de manejo, mantenimiento e inspecciones de la planta y en base a los análisis físico-químicos y microbiológicos del afluente y efluente; los criterios de optimización implicarán el desarrollo de procesos de mejora encaminadas a lograr el funcionamiento óptimo del Sistema de Tratamiento, la

investigación se basó en la ejecución de un programa de mantenimiento emergente de la planta en su conjunto, relacionado con el drenado y limpieza de lodos acumulados en el sedimentador y filtros, disposición de aguas y lodos, manejo del lechuguín de agua y mantenimiento de los estanques, todo en función del diseño de la planta tomando en cuenta la proyección del incremento del caudal de agua residual a tratar en relación a la tasa de crecimiento poblacional, para mantener un normal funcionamiento.

4.9.1. Mantenimiento emergente de la planta de tratamiento

Como se describió anteriormente, la falta de un adecuado mantenimiento y control ha provocado que las condiciones de los Sistemas de Tratamientos no operen con normalidad. Las principales normas a tomar en cuenta en el mantenimiento emergente de la planta son: la identificación de los procesos básicos de operación y mantenimiento de cada uno de los componentes y la determinación de los requisitos de seguridad industrial e higiene que debe reunir la planta de tratamiento contribuyendo así a mejorar la calidad del Lago San Pablo, la protección de la población aledaña y protección del personal encargado. Por tal motivo para evitar posibles problemas de funcionamiento a futuro se ha determinado criterios de optimización para el mantenimiento.

En base a la metodología aplicada el mantenimiento de todas las unidades de tratamiento inician con la inspección para verificar que los procesos se lleven con normalidad y en caso de ser necesario diagnosticar la limpieza de las unidades que lo ameriten y de esta forma actuar rápidamente evitando problemas o riesgos sanitarios. Cuando se dé el caso de un mantenimiento emergente se debe iniciar la operación desviando el caudal que ingresa a la planta con el fin facilitar y efectivizar un correcto mantenimiento de la misma. El desvío tendrá que ser controlado en toda su descarga hasta su receptor inicial, el lago San Pablo y en el caso de los sistemas primario y secundario que corresponden a tratamientos de tipo anaerobio es necesario abrir las tapas de revisión y dejar ventilar el exceso de gases producidos como metano y evitar cualquier propagación de fuego cerca a estos, lo que garantizará la salud ocupacional de los operarios. A continuación se resumen las actividades de mantenimiento y control que se debe ejecutar según la unidad de tratamiento.

4.9.1.1. Mantenimiento de las Unidades de Pretratamiento

El permanente control de estas unidades mantendrá en condiciones óptimas y constantes las funciones de los siguientes sistemas depurativos, las actividades a realizar son las siguientes:

a) Mantenimiento Preventivo de la Rejilla

La función de esta unidad es retener objetos y sólidos de mayor tamaño que son arrastrados en el flujo del agua residual a través de la red de alcantarillado generalmente trozos de madera, telas, plásticos, papel, vidrio, parte de materia fecal, entre otros. Por tal motivo durante el mantenimiento de rutina se debe realizar lo siguiente:

- Las rejillas tienen que ser limpiadas manualmente una vez por día, por la mañana, esto debido al incremento de caudal de ingreso, periodo de tiempo donde suele arrastrar mayor cantidad de sólidos de gran tamaño. Si esta actividad no se ejecuta regularmente, puede impedir el paso del agua y en consecuencia se puede provocar un reflujó, alterando el proceso depurativo del agua hacia cada sistema de tratamiento. En periodos de lluvias la limpieza de una planta de tratamiento debería de repetirse dos o tres veces al día. Al proceder al mantenimiento se debe utilizar un rastrillo metálico cuya función será únicamente para este trabajo.
- Con el fin de proteger la salud de cada persona que realiza la limpieza se debe de usar overol, botas, mascarilla y guantes de protección de hule.
- Los residuos retirados de la rejilla se coloca en recipientes adecuados y clasificados para su disposición final según sea el caso, utilizando recipientes móviles y tapados. De igual manera es recomendable revisar si la rejilla se encuentran con puntos de corrosión para proceder a limpiar y pintar con pintura anticorrosiva.

b) Mantenimiento Preventivo de la Caja distribuidora de caudal

La función de esta unidad es captar el afluente residual desde la rejilla para distribuir por medio de sus brazos hacia cada tanque sedimentador, donde se observa acumulación de sedimentos que perjudican una adecuada repartición del caudal hacia los sistemas. Por tal

motivo durante el mantenimiento de rutina siguiendo la metodología antes descrita para las rejillas, realizar lo siguiente:

La caja distribuidora de caudal debe ser limpiada manualmente una vez por día, por la mañana, a la par con las rejillas esto debido al incremento de caudal, para evitar la acumulación y por ende el taponamiento de los brazos distribuidores de agua residual hacia los sedimentadores. Al proceder al mantenimiento se debe utilizar un rastrillo metálico cuya función será únicamente para este trabajo.

4.9.1.2. Mantenimiento del Tanque Sedimentador

Como se describió anteriormente, el funcionamiento del tanque se ha visto alterado por presencia de rebosamientos de agua residual, esto debido a un exceso en la acumulación de lodo por falta de mantenimiento y extracción oportuna de mismo. En base a las inspecciones y manejo periódico realizados en el sedimentador se sugiere extraer los lodos acumulados mínimo cada 6 meses, cantidad correspondiente $0,20 \text{ m}^3$ actividad que evitará posibles problemas operativos en la unidad. Esta actividad se debe realizar aplicando los siguientes criterios de manejo:

a) Extracción de la capa superficial

Utilizando un cernidor o malla fina retirar la capa superficial de natas acumuladas, y colocarlas en un recipiente adecuado hasta su deshidratación y manejo en los lechos de secado.

b) Extracción de Agua y Lodos

La evacuación de lodos y agua se realizara utilizando el Hidrosuccionador a base de bombeo.

- Al momento de realizar esta tarea es recomendable escoger un día en condiciones ambientales adecuadas. La extracción de lodo se realiza mediante una bomba de succión, a través de la tubería de mantenimiento de la unidad. Generalmente para

este caso no se debe extraer todos los lodos, se suele dejar una pequeña cantidad (20%) que servirá para que el proceso en la planta no sea interrumpido dejando de extraer el lodo cuando se vea que está muy diluido o el nivel del agua en la cámara ha bajado a la mitad. Asimismo, la cámara séptica se debe lavar y desinfectar. Concluida esta labor los lodos deben ser dispuestos a los lechos de secado para su manejo.

- Posterior al mantenimiento, debe dejarse al sedimentador, con todos sus componentes limpios para evitar que se genere un foco de infección y malos olores. Las tapas de inspección deben encontrarse aseguradas de manera hermética y no deben permitir filtraciones de aguas superficiales que arrastren sólidos. Se recomienda contar con tapas de cámaras de repuesto para reemplazar las dañadas y evitar el acceso de gente y animales a las instalaciones.
- La manipulación de lodos debe efectuarse con protocolos de seguridad más rigurosos, empleando overol impermeable, casco, guantes, botas, gafas y mascarilla para gases. Una vez concluida esta tarea, debe lavarse y desinfectarse las herramientas empleadas y el operador debe realizar un buen aseo personal.

4.9.1.3. Mantenimiento del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

Durante la operación del filtro ascendente suele presentarse problemas de taponamiento u obstrucción en el material filtrante, esto se concluyó debido a la presencia de rebosamientos de agua residual en el tratamiento primario ya que se impedía el paso del agua hacia el filtro. Para lograr el funcionamiento apropiado de los filtros es importante tener en cuenta que dicho proceso depende de que el fondo, a través del cual asciende el agua residual hasta el lecho de grava no esté saturado, por tal motivo el mantenimiento de esta unidad evitará la colmatación del medio filtrante por la acumulación de partículas en la arena y grava, evitando rebosamientos o presencia de natas, lo que pudiere ocasionar eutrofización en la unidad.

Por tal motivo en base a las inspecciones y manejo periódico que se ha venido realizando en el filtro se debe proceder a extraer los lodos acumulados cada 6 meses, cantidad correspondiente $0,10 \text{ m}^3$ esta actividad evitará posibles problemas operativos en las unidad. El mantenimiento del filtro y la manipulación de lodos deben efectuarse con protocolos de

seguridad rigurosos, empleando overol impermeable, casco, guantes, botas, gafas y mascarilla para gases. Una vez concluida esta tarea, debe lavarse y desinfectarse las herramientas empleadas y el operador debe realizar un buen aseo personal. Dicho esto es preciso realizar las inspecciones y limpieza del material filtrante siguiendo el procedimiento a continuación:

a) Mantenimiento Preventivo del Filtro

- Se procederá a abrir las tapas de revisión para liberar el exceso de gases acumulados, seguido se verificará la presencia de natas en la superficie del agua, y en caso de existir utilizando un cernidor o malla fina retirar la capa superficial de natas acumuladas.
- Como ya se mencionó el principal control que se debe realizar en el filtro, es evitar la colmatación del material filtrante por la acumulación de lodos, tal situación se puede evitar inspeccionando mínimo una vez al mes, posibles rebosamientos en el tanque sedimentador, si hay rebosamiento, se puede lavar el material filtrante para reducir la excesiva acumulación de biopelícula que impide el normal paso del flujo del tratamiento primario hacia el tratamiento secundario (filtro), que incluso altera el proceso depurador en la misma unidad. Al momento del mantenimiento se procederá a la extracción de lodo acumulado en el fondo del material filtrante a través de la tubería de mantenimiento presente en la unidad, utilizando una bomba de succión evitando extraer todo el lodo para no alterar el proceso depurador bacteriano que se adaptado al sistema. Una vez extraído el exceso de lodos se recomienda bajo agua a presión limpia terminar de eliminar las obstrucciones en el material filtrante.
- Los lodos y natas obtenidas deben ser dispuestos en el lecho de secado para su manejo.
- Una vez concluido el mantenimiento del filtro todos sus componentes deben limpiarse para evitar que se genere un foco de infección y malos olores. Las tapas de inspección deben encontrarse aseguradas de manera hermética y no deben permitir filtraciones de aguas superficiales además es importante evitar el acceso de gente y animales a las instalaciones.

Por el contrario en caso de que se necesite un mantenimiento más riguroso del sistema se procederá de la siguiente manera:

- Como paso previo se procede a cerrar la entrada de agua al filtro y esperar a que drene la unidad. Retirar las capas de arena y grava secuencialmente, procurando que éstas no se mezclen entre sí.
- La disposición final de los materiales evacuados requiere que la piedra y grava sea lavada en forma separada para evitar que se convierta en un foco de infección y posteriormente podría ser dispuesta como residuo de construcción, material para relleno, o ser reutilizada como medio filtrante de igual manera.
- Utilizando agua a presión clorificada lavar las tuberías, el fondo y paredes del filtro.
- En la colocación del nuevo material de soporte, es recomendable utilizar la grava o piedra cuarzítica de un material que no se disgregue fácilmente; asimismo debe encontrarse limpio de material fino como arcilla o limo y para terminar instalar las capas del material filtrante en el mismo orden y con igual espesor al que tenían antes de ser retiradas para el lavado.

4.9.1.4. Mantenimiento de Lechos de Secado de Lodos

Los lechos de secado son utilizados como depósito para la deshidratación del lechuguín de agua que se obtienen de la cosecha mensual en los humedales artificiales. El proceso de secado implica la eliminación de agua en un porcentaje no muy alto por deshidratación con ayuda de la inclinación de la superficie del lecho. Por lo que es preciso implementar medidas de mejora en la infraestructura que garanticen un adecuado manejo de los residuos durante las inspecciones y limpieza de la unidad. A continuación se mencionan las medidas y procedimientos a seguir:

a) Readecuación de Lechos de Secado

En vista de que el lecho no cuenta desde su funcionamiento con un material de filtro, y se quiere mejorar esta unidad, es necesario colocar un medio filtrante, en base a las

dimensiones del lecho, con espesor de 30cm compuesta de: una capa de arena de 10cm y debajo de esta, una capa de grava con espesor de 20cm, graduada entre 1,5 - 50mm.

- **Colocación de Cubierta**

La deshidratación continua de los residuos se ven interrumpidos por falta de una adecuada cubierta esto no presenta mayor problema en época de verano, pero en las épocas lluviosas, el ingreso de agua lluvia entorpece el secado y drenado en los lechos. Al construir la cubierta es preciso asegurar la protección de los residuos por lo cual es necesario colocar la estructura a 4 metros de altura desde la base del lecho y como material de cubierta utilizar láminas metálicas, o láminas de fibrocemento, junto con láminas de polipropileno que permitan el paso de la luz solar completando la dimensión total de la cubierta para el conjunto de los lechos de secado con una dimensión total de 50 x 20 m.

b) Mantenimiento preventivo de los lechos

- La manipulación debe efectuarse con mucha precaución, empleando overol, guantes, botas y mascarilla, cuidando la salud de infecciones.
- Una vez finalizado el manejo preventivo de los residuos del lechuguín o lodos se iniciará con la limpieza total del lecho, y puesto que el diseño no posee un sistema de drenaje adecuado, la primera acción será revisar que el material al interior de la unidad tenga la consistencia adecuada para su evacuación manual. Retirados los residuos se debe realizar la limpieza del lecho de secado, incluyendo el lavado y desinfección del interior de la unidad y posteriormente del equipo utilizado.

4.9.1.5. Mantenimiento de Humedales Artificiales

El adecuado manejo de los humedales garantiza mayor grado depurativo de nutrientes en el agua, los aspectos en tomar en cuenta son los siguientes:

a) Profundidad del agua

La profundidad de los estanques es de 1,05m misma que se considera óptima puesto que anteriores investigaciones recomiendan un rango de profundidad de 0,4 - 1,8m en estanques con Lechuguín de agua. El objetivo fundamental es proporcionar una profundidad adecuada para que el sistema de raíces se desplace a través del líquido que fluye en el estanque. Un mayor profundidad se recomienda cuando la cantidad de nutrientes presentes en el agua es baja lo que ocasiona que las raíces del lechuguín sean más largas cuando menos nutrientes estén presentes.

b) Manejo de Vegetación

La necesidad de la cosecha depende de los objetivos de calidad del agua del proyecto. Se necesita realizar cosechas periódicas cada tres semanas para mantener un cultivo con alta absorción metabólica de nutrientes y la recolección selectiva para impedir la proliferación de vectores infecciosos como mosquitos y mantener un sistema inodoro.

c) Gestión de Lodos en Estanques con Lechuguín de agua

Los lodos se componen de dos sólidos de aguas residuales y las planta detritus que con el tiempo se debe quitar del sistema acuático de la planta. Generalmente la tasa de la acumulación de lodos en un estanque de agua que contiene lechuguín en función de tratamiento previo es de 1,5 a 8×10^{-4} m³ de lodo/m³ de aguas residuales tratadas. La frecuencia de limpieza de estanques con lechuguín se basa según en el grado de tratamiento y la frecuencia de recolección de plantas, por lo que EPA, (1988) ha sugerido frecuencias de limpieza determinadas como se muestran en el cuadro 4.18.

Cuadro 4. 18 Frecuencia recomendada para limpieza de lodos en Estanques con lechuguín de agua

Tipo de estanque	Frecuencia de limpieza
Pilas en sistemas de alta tasa de poca profundidad	Anual
Células secundarias	2-3 años
Células terciarias	2-3 años
Las células secundarias profundas (cosechada regularmente)	5 años
Las células secundarias (irregularmente cosechado)	Anual
Sistemas utilizados únicamente por estacionalidad	Anual

Fuente: EPA, 1988

En base a estas recomendaciones se sugiere realizar la extracción o limpieza de lodos en los estanques cada cinco años dependiendo de las condiciones al momento de las inspecciones y las cualidades de la calidad de agua tratada. El lodo se maneja siguiendo las sugerencias indicadas en los anteriores sistemas de tratamiento.

d) Mantenimiento general

Posterior a los trabajos realizados en los estanques o en cada inspección es recomendable realizar el mantenimiento de los repartidores de caudales y cajas de descarga de efluentes esto evitará que la calidad del agua tratada se altere, y de igual manera los espacios afines a los estanques con todos sus componentes para evitar que se genere focos de infección y malos olores. Las tapas de revisión en los repartidores de caudal deben asegurarse de manera hermética y por último evitar el acceso de gente y animales.

4.9.1.6. Mantenimiento de espacios y estructuras auxiliares

Las instalaciones de la planta de tratamiento deben permanecer cercadas, para evitar el ingreso de personas no autorizadas o animales. Se recomienda arborizar el perímetro de la planta para proteger las condiciones sanitarias del área y mimetizar la construcción con el paisaje. Las estructuras auxiliares tales como la cabina del vigilante, cercado y espacios verdes deben mantenerse en buen estado realizando limpiezas periódicas. Si la planta no se opera correctamente, se generará un gran daño a la salud de las poblaciones aledañas.

4.9.1.7. Alternativas de Control de Vectores

Mantener bajo control los vectores infectocontagiosos, evitara problemas de salud, por lo que se recomienda realizar lo siguiente:

a) Control de Vectores (Mosquitos)

El programa de control de vectores consiste en evaluar el potencial de reproducción de mosquitos en los estanques de Lechuguines, actualmente el diagnóstico determinó que en las unidades de tratamiento existe una moderada presencia de mosquitos; sin embargo para

futuros problemas es preciso identificar medidas efectivas para controlar las poblaciones de mosquitos. El objetivo de estas medidas de control es suprimir la población de mosquitos por debajo del nivel de tolerancia necesario para evitar la transmisión de enfermedades o molestias. Las estrategias que se pueden utilizar para controlar las poblaciones de mosquitos incluyen lo siguiente:

- Controlar que el tratamiento previo opera en forma eficaz permanentemente, para reducir el total de carga orgánica en el sistema acuático y así mantener las condiciones aeróbicas del humedal.
- Cosechar los lechuguines como máximo cada 18 días, para retirar las plantas en mal estado, disminuir la cobertura y mantener el espacio necesario para el crecimiento de los individuos sanos permitiendo la oxigenación en el estanque y evitar la proliferación de mosquitos.
- En caso de ser necesario airear oxígeno artificialmente.
- Introduciendo a los estanques peces como la especie *Gambusia affinis* que se alimentan de los huevos y larvas de los dípteros, escarabajos, ácaros y otros invertebrados.
- Aplicación de agentes de control hechos por el hombre, como por ejemplo el uso de insecticidas como Dipel y Thuricide, basados en *Bacillus thuringiensis* que utilizados continuamente garantizan el éxito en el control de mosquitos. Estos pesticidas son considerados respetuosos con el ambiente, ya que su efecto sobre los humanos y la vida silvestre es casi nulo.

b) Control de Olores

Uno de los problemas más importantes relacionado con el rechazo de la población a la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales es la generación de olores, esto debido al desprendimiento de H₂S, NH₃, acumulación de materia orgánica, entre otros (Martínez & Zamorano, 1996). Actualmente los sistemas en estudio presentan un nivel de olor tolerable; sin embargo en caso de futuros problemas por causa de una mala operación principalmente en sistemas anaerobios, se recomienda utilizar biofiltros para su control.

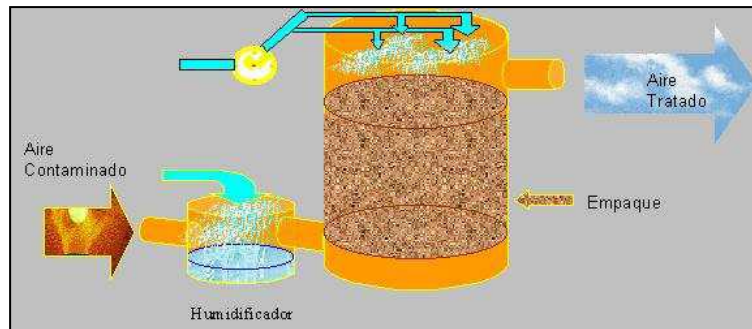


Figura 4. 9 Biofiltro de lecho fijo

Biofiltro de lecho fijo.- Los BLF constan de un lecho o material filtrante que puede ser sintético u orgánico, que sirve como soporte para los microorganismos y en el caso de los orgánicos como fuente de nutrientes para el crecimiento microbiano. Los materiales filtrantes utilizados en este tipo de filtros son rocas porosas, tierra de diatomeas, perlita, tierra, trozos de maderas, diferentes tipos de compostas, residuos orgánicos tales como cáscaras de cacahuate, de arroz o de coco, cortezas de pino, fibra de caña de azúcar, entre otros. El principio del Biofiltro consiste en hacer pasar la corriente gaseosa saturada de humedad que contiene al contaminante a través del lecho en donde los contaminantes son degradados por los microorganismos. Una característica importante de los BLF es la ausencia de la fase acuosa móvil que los hace convenientes para tratar contaminantes muy poco solubles en agua (Carslon & Leiser, 1966; EPA, 2004). Ver figura 4.9.

4.9.1.8. Alternativas para Manejo de Residuos Sólidos

Las técnicas propuestas para el manejo de residuos de este tipo resultan eficientes como un medio para recuperar parcialmente los costos de tratamiento de aguas residuales. Entre las principales técnicas que se recomiendan son el compostaje, la digestión anaeróbica para la producción de metano, y la fermentación de los azúcares en alcohol. Estas técnicas de digestión pueden tener uso en una gran operación de escala, sin embargo, es poco probable que un típico pequeño sistema de producción de tratamiento de aguas residuales se acerque al punto de equilibrio económico de la producción.

a) Manejo de biomasa de Lechuguín de agua

Las principales técnicas de obtención de abonos a considerar para este tipo de residuos son:

- **Compostaje**

Es un proceso biológico de transformación de la materia orgánica que se ejecuta bajo condiciones aerobias, por acción de microorganismos, que producen compost, un abono orgánico de calidad (Roger & Castellano, 1998). Tomando en cuenta la realidad del sector, su capacidad de inversión, funcionamiento, disponibilidad de terreno y complejidad operacional es conveniente manejar los desechos utilizando la técnica de compostaje en pilas estáticas con aireación pasiva.

Pilas estáticas es un sistema simple, con escasas complicaciones y económico. Los materiales se depositan sobre el suelo, sin comprimirlos en exceso, con una cubierta plástica, el óptimo proceso de tratamiento en la pila depende en gran medida de su forma y medida, esta debe ser trapezoidal con una altura de entre 1,2 - 2m, por 2-4 m de ancho, se debe tomar en cuenta que la altura siempre sea menor ($>3/4$) a su base o ancho, esto garantizará que el proceso no se detenga. Las pilas son ventiladas por convección natural y se voltean manualmente dependiendo del material, humedad y de la rapidez con que se desea obtener el producto, por lo general cada 6 o 10 días, también se puede incluir a la parte inferior del sistema una red de tuberías, de 3 a 5 pulgadas de diámetro, perforadas para aumentar el flujo de aire (Mathur, 1991). El proceso logra buenos resultados mientras se mantienen las condiciones aerobias y el contenido de humedad. La producción se estima en un tiempo de 5 o 6 meses todo depende de la cantidad de desechos a tratar. En la figura 4.10 se observa este tipo de pila estática.



Figura 4. 10 Pilas estáticas
Fuente: CONAF

Materiales del compostaje.- como paso previo al proceso es importante caracterizar la composición en C-N-P-y K del desecho orgánico seco a manejar, en este caso el Jacinto de agua, la relación que debe existir entre parámetros debería ser 3 de N, 1 de P y 1 de K esto equilibraría de manera adecuada las condiciones del proceso brindando las necesidades nutricionales requeridas por las bacterias asociadas al tratamiento de desechos, a este residuo se recomienda incorporar zeolita blanca , residuos cítricos y cascarillas de arroz que ayudarán a complementar y mejorar la estructura del material. Tomando en cuenta este análisis la composición ideal que se requiere para la elaboración del compost para este caso, será necesario incorporar 1kg de Zeolita Blanca de malla 200 + 5kg de Residuos Cítricos + 7kg de cascarilla de arroz, todo por cada 300 kg de materia seca cosechada de Lechuguines, estos elementos adicionales o cosustratos mejoran las condiciones y el proceso de compostaje.

- **Biodigestor**

Es un sistema digestor de desechos orgánicos, consiste en un contenedor cerrado, hermético e impermeable, dentro del cual se deposita los desechos a fermentar de manera anaerobia bajo una determinada dilución, su único fin es producir gas metano y fertilizantes orgánicos con alto contenido de N, P, K, y además disminuye el potencial contaminante de los excretos en un 90%, su producción puede ser aplicada fresca ya que este tipo de tratamiento elimina malos olores y la proliferación de mosquitos. Ver figura 4.11.

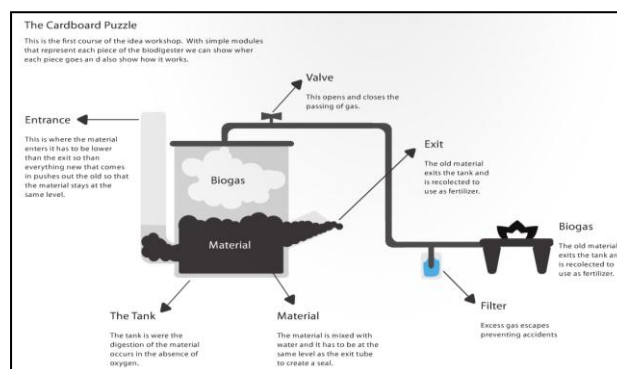


Figura 4. 11 Biodigestor
Fuente: www.miprv.com

b) Manejo de lodos

Para manejar los lodos extraídos de los sistemas de tratamiento se puede utilizar las técnicas sugeridas anteriormente ya sea el compostaje o los Biodigestores, previo a esto se deben someter a deshidratación y ser tratados individualmente o mezclarlos con los Lechuguines de agua para ser tratados conjuntamente. Es importante indicar que al momento de manipular estos residuos sean frescos o deshidratados, aún contienen microorganismos que causan enfermedades, por ello esta tarea es peligrosa para los operadores, por el riesgo para su salud. Su manipulación debe efectuarse con mucha precaución, empleando todo el equipo de protección personal.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- De acuerdo al historial de mantenimiento del tanque sedimentador y filtro anaeróbico, los lodos deben ser extraídos cada seis meses, esta actividad controla la eficiencia en los sistemas de tratamiento.
- Las aguas residuales procesadas en la planta de tratamiento son predominantemente de origen doméstico, presentan una carga orgánica en DBO5 de 6,64 kg/ha.día, con una relación DBO5/DQO de 0,30; este resultado refleja que los residuos son fácilmente tratables en procesos biológicos.
- La planta registra un tiempo de retención de 9,41 días con resultados satisfactorios, situación que determina una capacidad de reserva para operaciones futuras.
- El crecimiento diario del cultivo de *Eichhornia crassipes* alcanza valores de 43,2 g/m² a 53,5 g/m²; mejores resultados de crecimiento se observa en los estanque tres y cuatro; pese a esto los rangos de crecimiento en todos los estanques son similares con un funcionamiento satisfactorio.
- El funcionamiento óptimo de los humedales artificiales se logra con una cosecha entre 15 a 18 días del cultivo, para evitar el aumento de carga orgánica innecesaria.

- La planta de tratamiento opera satisfactoriamente dentro de los límites permisibles de descarga, excepto para coliformes cuya población se mantiene variable.
- La ejecución de un mantenimiento continuo en las rejillas, caja de captación, la oportuna extracción de lodos en el sedimentador, filtro anaeróbico, y el manejo de los humedales con lechuguín de agua (*Eichhornia crassipes*), permiten un control óptimo de los procesos disminuyendo las concentraciones de contaminantes.

5.2. Recomendaciones

- Estudiar las características de mecánica de fluidos en los estanques orientado a mantener un crecimiento uniforme de la especie en todos los estanques.
- Investigar técnicas eficientes en la eliminación de coliformes, con el fin de mantener controlada permanentemente la población bacteriana.
- Analizar la acumulación de lodo en el sedimentador, filtro y estanques para evitar eutroficación y aumentos de carga orgánica.
- Implementar proyectos de compostaje y biodigestores para el tratamiento de lodos y materia orgánica en general, siguiendo un adecuado control de calidad cuyo análisis garantice que el producto generado cumpla con los límites permisibles de contenido en metales pesados.
- Desarrollar proyectos acordes al cambio de la matriz productiva para la producción de abonos.

6. BIBLIOGRAFÍA

A continuación se encuentran las referencias bibliográficas, de las cuales se obtuvo la información necesaria para realizar el documento y sustentar la investigación.

- Andreu, E., & Camacho, A. (2002). *Recomendaciones para la toma de muestras de agua, biota y sedimentos en humedales Ramsar*. Madrid, España.
- Arellano Díaz, J., & Guzman Pantoja, J. E. (2011). *Ingeniería Ambiental* (1 ed.). México: Alfaomega Grupo editor S.A.de CV.
- Arellano, J., & Guzmán, J. (2011). *Ingeniería ambiental*. México: Alfaomega.
- Asfahl, C. R., & Rieske, D. (2010). *Seguridad Industrial y administración de la salud* (6 ed.). México: Pearson Educación.
- Cárdenas, J. (2005). *Calidad de Aguas para estudiantes de Ciencias Ambientales*. Colombia, Colombia: Francisco José de Caldas.
- Carlson, D., & Leiser, C. (1966). "Soil beds for the control of sewage odors". Recuperado el 19 de Marzo de 2014, de Journal WPCF: <http://www.jstor.org/discover/10.2307/25035556?uid=3737912&uid=2129&uid=2&uid=70&uid=4&sid=21103696296977>
- Celis, J. e. (2005). *Recientes Aplicaciones de la Depuración de Aguas Residuales con Plantas Acuáticas*. Chile.
- CEPIS. (2002). (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). *Manejo y Depuración de Aguas Residuales Domésticas en Centros Urbanos*.
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones*.
- Da Ros, G. (1995). *La contaminación de aguas en Ecuador: una aproximación económica; Instituto de Investigaciones Económicas*. Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador: Ediciones Abya Ayala.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., & Andrade, M. (2010). *Depuración de Aguas Residuales por medio de Humedales Artificiales*. Cochabamba, Bolivia.
- EPA. (2004). *Uso de Biorreactores para Controlar la Contaminación del Aire*. North Carolina, EE.UU.

- EPA;. (1988). *Design Manual Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment*. Cincinnati, Ohio, E.E.U.U.
- F, S. (1996). *Sistemas de colectores y tratamiento de residuales; Primer taller nacional de tecnologías del agua y saneamiento en polos turísticos*. Cuba: INRH.
- Falcón, C. (1990). *Manual de Tratamientos de Aguas Negras*. México: Limusa S.A 303p.
- García, A. G. (2008). *Seguridad Industrial, Charlas y Experiencias para un Ambiente Seguro*. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.
- Gil Rodríguez, M. (2005). *Procesos de Descontaminación de Aguas, Cálculos Infortizados Avanzados*. Madrid, España: Thomson Editores Spain.
- Gualoto, M. (2010). *Biorremediación de Hidrocarburos Utilizando Cepas Antárticas*. Ibarra.
- Gutiérrez, J. (1996). *Generalidades sobre la Reutilización de las Aguas Residuales Domésticas*. La Habana, Cuba.
- Hernández Lehmann, A., Galán, P., & Hernández Muñoz, A. (2004). *Manual de depuración uralita*. Madrid: Paraninfo, S.A.
- Hernández, A. (2002). *Calidad y Tratamiento de Agua* (5ta ed ed.). México: McGraw Hill.
- Hernández, Saz, D., & Sala. (23 de 04 de 2014). *Eficiencia técnica y estacionalidad en los procesos de tratamiento de aguas residuales.(Departamentos de Estructura Económica y Matemáticas para la Economía y la Empresa Universitat de Valencia)*. Obtenido de www.uv.es/asepuma/XVI/703.pdf: www.uv.es/asepuma/XVI/703.pdf
- Izembart, H., & Le Boudec, B. (2008). *El Tratamiento de Aguas Residuales mediante Sistemas Vegetales*. Barcelona: Gustavo Gili, SL.
- J. Glynn, H., & Gary. W, H. (1999). *Ingeniería Ambiental* (Segunda ed.). (M. e. García, Trad.) México: Prentice Hall HispanoamericaCNA, S.A.
- Kuklinski, C. (2011). *Medio Ambiente Sanidad y Gestión*.
- León, M., & Lucero, A. (2009). *Estudio de Eichhornia crassipes, Lemna gibba y Azolla filiculoides en el Tratamiento Biológico de Aguas Residuales Domésticas en Sistemas Comunitarios y Unifamiliares del Catón Cotacachi* . Ibarra.

- López, D. (2012). *Aprovechamiento del Lechuguín (Eichhornia crassipes) para la Generación de Abono Orgánico mediante la utilización de tres diseños diferentes de biodigestores*. Cuenca, Ecuador.
- Martínez Delgadillo, S. A., & Rodríguez Rosales, M. G. (2009). *Tratamiento de Aguas Residuales con MatLab*. Barcelona, España: Reverté.
- Martínez, C., & Zamorano, J. (1996). "Experiencia práctica sobre el tratamiento anaerobio y control de olores en efluentes de levadura" *Memorias del IV Seminario-Taller Latinoamericano sobre tratamiento anaerobio de aguas residuales*. Bucaramanga, Colombia.
- Mathur. (1991). *Composting processes: Bioconversion of waste materials to industrial products*. London.
- Mayorca Chávez, Á. D. (2012). *Optimización del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Planta N°2 Sector Cacahuango del Cantón Mocha*. Riobamba, Ecuador.
- Mena, M. (2004). *Diagnóstico de las Aguas Residuales y Prediseño de una Planta de Tratamiento Biológico para la Parroquia de Gonzáles Suárez, Cantón Otavalo. Tesis de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte*. Ibarra, Imbabura, Ecuador.
- Metcalf, & Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido, y Reutilización*. España: McGraw Hill.
- Moncayo, & Ayala, D. (2011). *Estudio de tratabilidad biológica de aguas residuales domésticas para optimizar resultados a escala real*. Quito.
- Morgan, J., Revah, S., & Noyola, A. (s.f.). *Malos Olores en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales: Su Control a través de Procesos Biotecnológicos*. Coyoacan, México.
- Muciño, D. (2001). *Estudio General del caso Lago de Texcoco México. Proyecto Regional. Sistemas Integrados de Tratamiento y uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial*. México. Mexico.
- OMS. (1995). *Directrices Sanitarias sobre el uso de las aguas residuales en agricultura y acuicultura*.
- ONU-HABITAT. (2008). *Manual de Humedales Artificiales*.
- OPS; CEPIS. (2005). *Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores*. Lima.

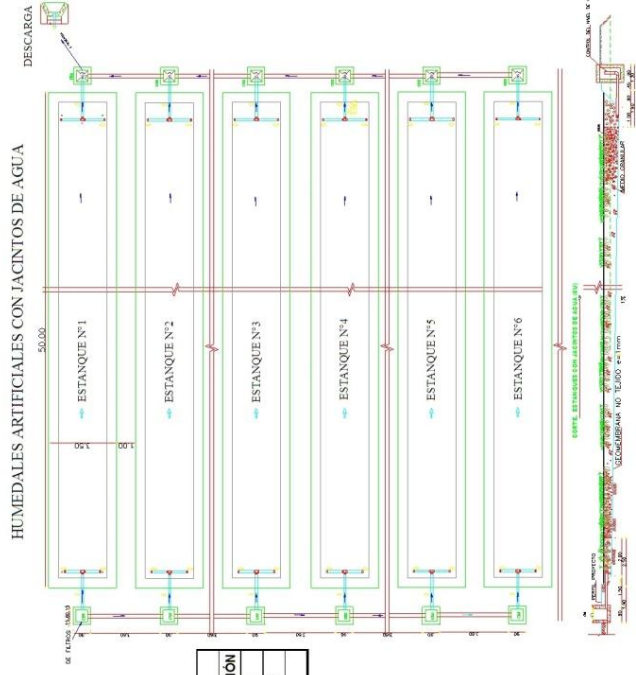
- Osorio, F., Torres, J., & Sánchez, M. (2010). *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes: Aplicación de procesos industriales a la reutilización de aguas residuales*. España: Díaz de Santos.
- RAS;. (2000). *Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico* (Vol. Sección II. Título E. Agua Residual).
- Rodier, J. (1981). *Análisis de las Aguas*. Barcelona, España: Omega.
- Roger, J., & Castellano, C. (1998). *Criterios fundamentales para resolver problemas de resistencia de materiales* (Vol. II). Venezuela, Venezuela.
- Romero, J. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y Principio de Diseño*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rozano, E., & Dapena, J. L. (2002). *Tratamiento Biológico de Aguas Residuales*. Madrid, España: Díaz de Santos S.A.
- Seoáñez, M. (2005). *Depuración de la aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo*. Barcelona: Aedos, S.A.
- Sierra Ramirez, C. A. (2011). *Calidad de Agua, Evaluación y Diagnóstico*. Medellín, Colombia: Ediciones de la Universidad de Medellín.
- Tchobanoglous, G., & Burton, F. L. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización* (Tercera ed., Vol. II). (A. G. Brage, Ed., & J. D. Montsoriu, Trad.) España, España.
- Torres L, J. (2014). *Diseño del Modelo de Gestión para la Operación y Mantenimiento de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en la Cuenca del Imbakucha Lago San Pablo, Provincia de Imbabura*. Otavalo.

ANEXOS

**1. EFICIENCIA OPERATIVA DE LOS SISTEMAS DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PLANTA N° 4
“HUAYCOPUNGO NORTE”**

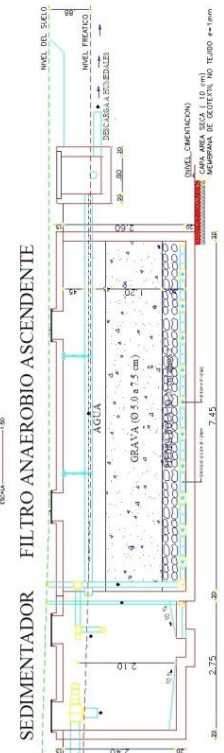
EFICIENCIA OPERATIVA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PLANTA N° 4 "HUAYCOPUNGO NORTE"

EFLUENTE 2 (DESCARGA)	
PARÁMETRO	mg/l % REMIACIÓN
DOO	5.15 55.22
DBO5	3.39 60.81
NH3	2.77 51.19



EFICIENCIA TOTAL	
PARÁMETRO	%
DOO	96.02
DBO5	91.31
NH3	52.90

EFLUENTE 1	
PARÁMETRO	mg/l % REMIACIÓN
DOO	11.5 91.11
DBO5	8.65 77.82
NH3	5.88 3.40



AFLUENTE	
PARÁMETRO	mg/l
DOO	129.35
DBO5	39.00
NH3	5.88

CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES DEL EFLUENTE			
PARÁMETRO	Unidad	EFLUENTE	LÍMITE PERMISIBLE
Parámetros Físicos			
Temperatura	°C	16 - 16.26	35
Conductividad Eléctrica	us/cm	244.04	—
Sólidos Totales	mg/l	359.27	1600
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	140.98	3000
Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	7	100
Sólidos Sedimentables	mg/l	0.7	1
Parámetros Químicos			
Ph	—	7.01	5-9
DOO	mg/l	5.15	250
DBO5	mg/l	3.39	100
N - Amoniaco (NH3)	mg/l	2.77	—
P - Fosfatos (PO4) ³⁻	mg/l	4.41	—
N - Nitros (NO2) ⁻ + N - Nitritos (NO2) ⁻	mg/l	0.25	10
Sulfuros (S ²⁻)	mg/l	0.10	0.5
Metas Pesados			
Plomo	mg/l	0.00	0.05
Cromo	mg/l	0.00	0.1
Hierro	mg/l	0.06	5
Parámetros Microbiológicos			
Coliformes Totales	NPW/100ml	2.85x10 ⁴	1000
Coliformes Fecales	NPW/100ml	2.65x10 ³	0.00

TASA DE BIODEGRADACIÓN DE CONTAMINANTES (ln)		Sistemas de Tratamiento en conjunto	TRH= 43.7 h
PARÁMETROS	Unidad	Sedimentador + Filtro Ascendente	TRH= 8.7 h
Parámetros Físicos			
Sólidos Totales	mg/lhora	0.01	0.02
Sólidos Disueltos Totales	mg/lhora	0.02	0.001
Sólidos Suspendedos Totales	mg/lhora	0.19	0.02
Sólidos Sedimentables	mg/lhora	0.32	0.002
Parámetros Químicos			
DOO	mg/lhora	0.14	0.02
DBO5	mg/lhora	0.09	0.03
N - Amoniaco (NH3)	mg/lhora	0.002	0.02
P - Fosfatos (PO4) ³⁻	mg/lhora	0.03	0.002
N - Nitros (NO2) ⁻ + N - Nitritos (NO2) ⁻	mg/lhora	0.16	0.001
Sulfuros (S ²⁻)	mg/lhora	0.13	0.03
Hierro	mg/lhora	—	—
Parámetros Microbiológicos			
Tasa de crecimiento bacteriano	N = Ln No - Ln Nf / (to - tf)	0.04	
Coliformes Totales	hora	Cada 0.07 fracciones de hora la cantidad	
Coliformes Fecales	hora	Cada 0.15 fracciones de hora la cantidad	

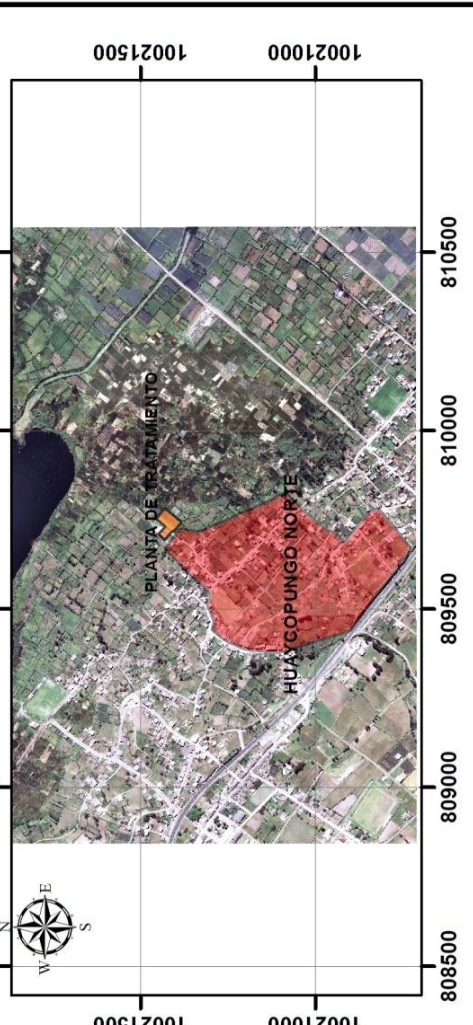
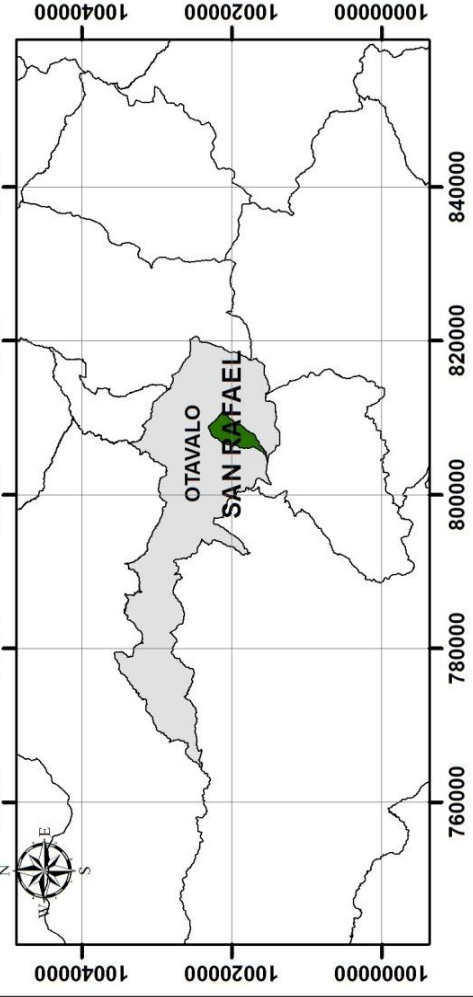
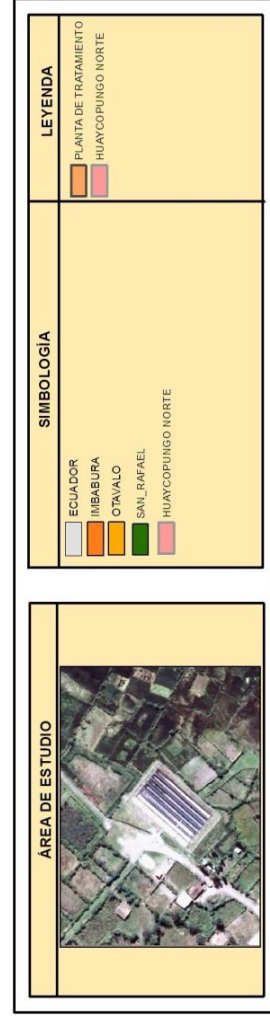
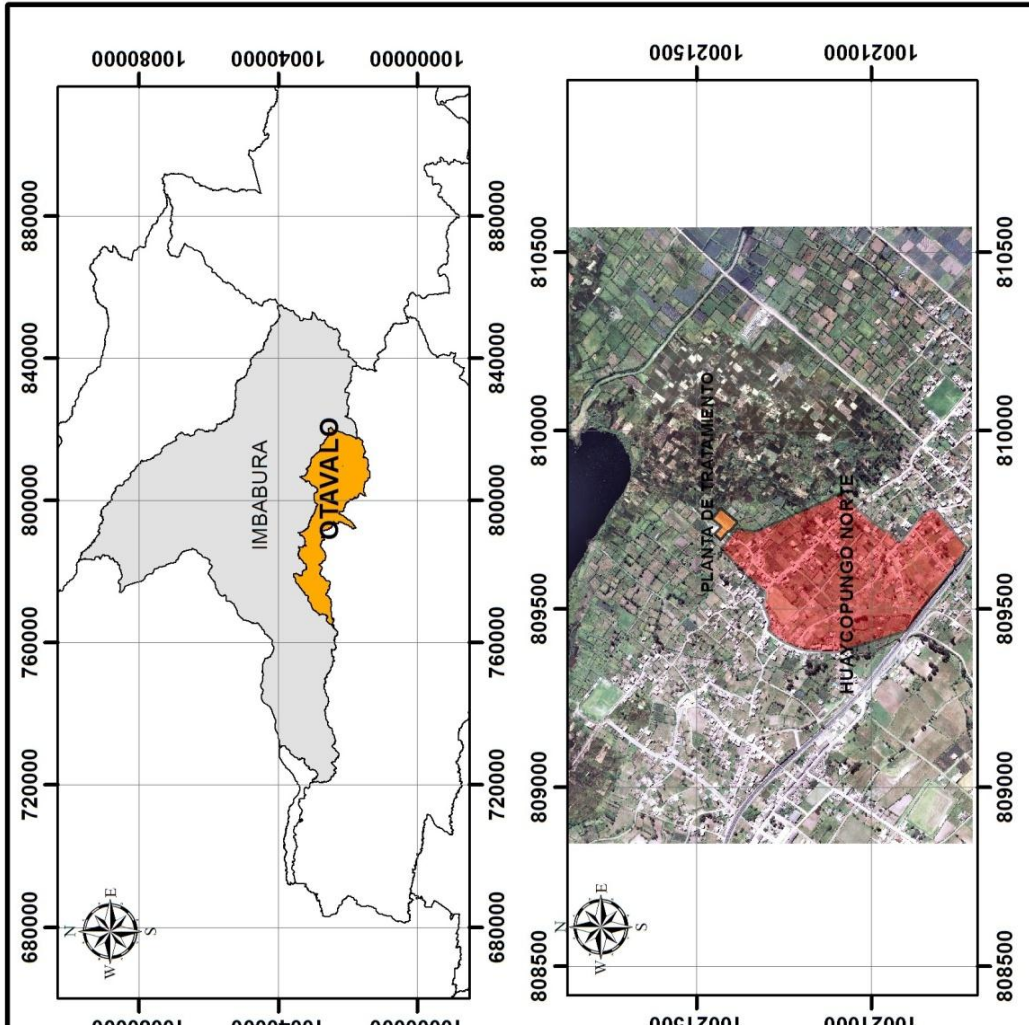
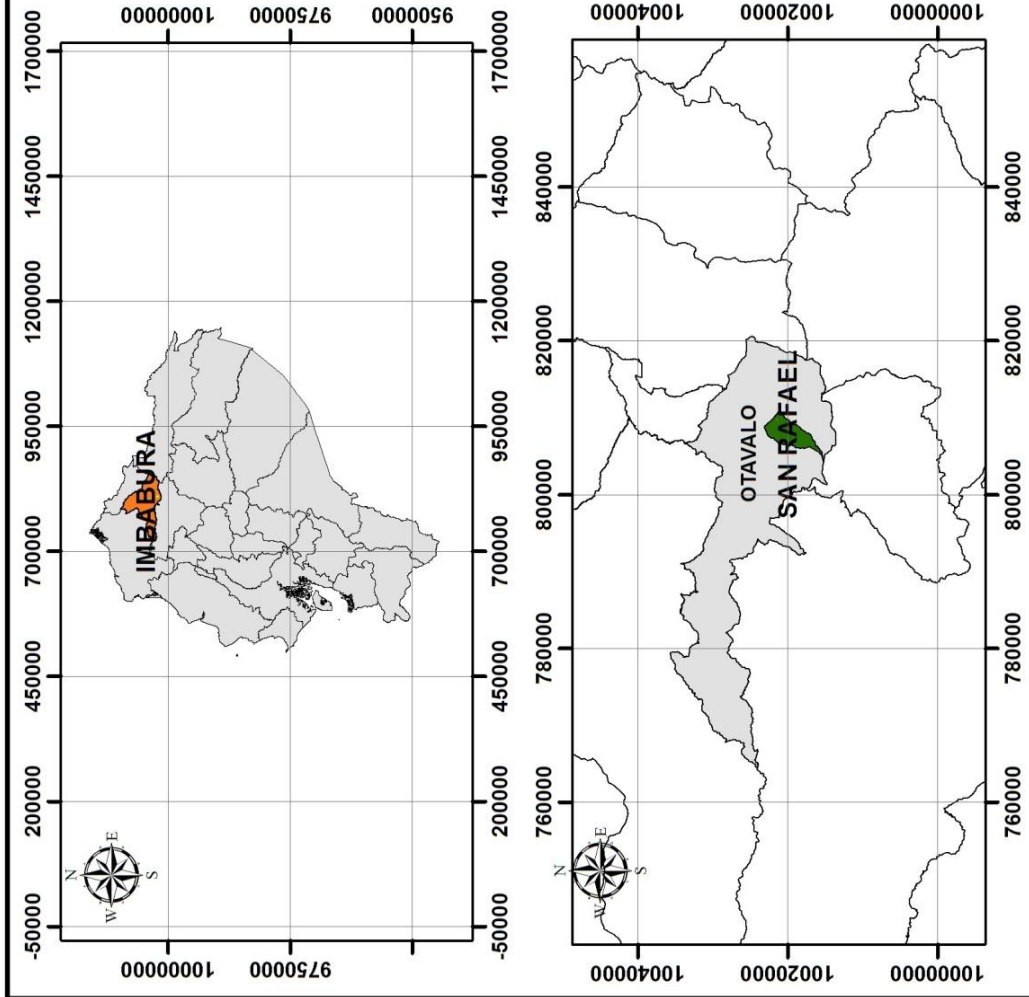
PROYECTO:
"CRITERIOS DE OPTIMIZACIÓN EN LA OPERACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES HUAYCOPUNGO NORTE, EN LA PARROQUIA SAN RAFAEL, CANTÓN OTAVALO, PROVINCIA IMBABURA"


CONTIENE:
 .CAJA DE CAPTACIÓN DEL AFLUENTE
 .TANQUE SEDIMENTADOR
 .FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE
 .HUMEDALES ARTIFICIALES (6 ESTANQUES)
 .CAJA DE CAPTACIÓN DEL EFLUENTE (DESCARGA)

DISEÑO DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO:
ING. ALONZO MOSCOSO C. (Consultor)

LÁMINA: 1 de 1
ESCALA: INDICADAS
FECHA: MAYO/ 2014
AUTOR: GONZALO ANDRÉS FARINANGO V.

2. MAPAS

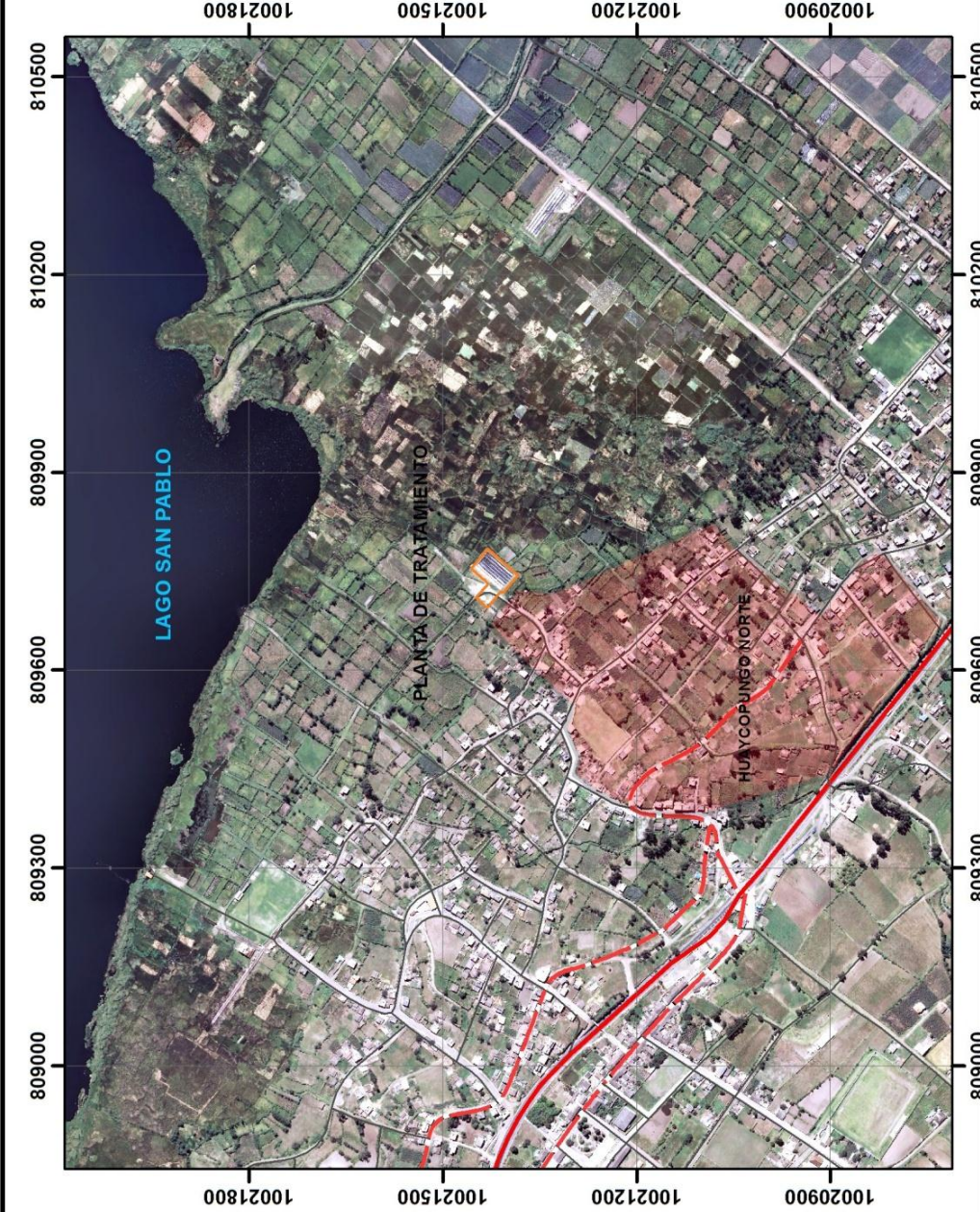


<p>ÁREA DE ESTUDIO</p> 	<p>SIMBOLOGÍA</p> <ul style="list-style-type: none"> ECUADOR IMBABURA OTAVALO SAN RAFAEL HUAYCOPUNGO NORTE <p>LEYENDA</p> <ul style="list-style-type: none"> PLANTA DE TRATAMIENTO HUAYCOPUNGO NORTE
---	--

<p>Logos</p> 	<p>CONTIENE: MAPA DE UBICACIÓN</p>
--	--

<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES</p>	<p>ELABORADO POR: Gonzalo Andrés Faramango Vallejos</p> <p>REVISADO POR: Ing. Oscar Rosales</p>
---	---

<p>DIRECTOR: Ing. Jorge Graña</p> <p>PROYECCIÓN: UTM Zona 17 Sur DATUM HORIZONTAL: WGS84 DATUM VERTICAL: Nivel Medio del Mar</p>	<p>FECHA: 2014 - 06 - 01</p> <p>HOJA No. 1 de 2 MAPA No. 1 de 2</p> <p>FUENTE: Información Cartográfica Base IGN 1:50.000</p>
--	---



SIMBOLOGIA		LEYENDA	
	HUAYCOPUNGO NORTE		PLANTA DE TRATAMIENTO
	RUTA PRIMARIA		HUAYCOPUNGO NORTE
	RUTA SECUNDARIA		LAGO SAN PABLO
	RUTA LOCAL		

	Logos:
TESIS: CRITERIOS DE OPTIMIZACIÓN EN LA OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LAS RESIDUALES HUAYCOPUNGO NORTE EN LA PARROQUIA SAN RAFAEL, CANTÓN OTAVALO, PROVINCIA IMBABURA	
CONTIENE: MAPA DE BASE	

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERIA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES	ELABORADO POR: Gonzalo Andrés Fajinaigo Vallejos	DIRECTOR: Ing. Jorge Granja
ESCALA DE ELABORACIÓN: 1:50.000 ESCALA DE IMPRESIÓN: 1:200.000	REVISADO POR: Ing. Oscar Rosales	FUENTE: In. Cartográfica Base IGN 1:50.000
FECHA: 2014 - 06 - 01	HOJA No.: 2 de 2 MAPA: 2 de 2	

3. REGISTRO FOTOGRÁFICO



Figura 3.1 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Huaycopungo Norte



Figura 3.2 Afluente Agua Residual Cruda

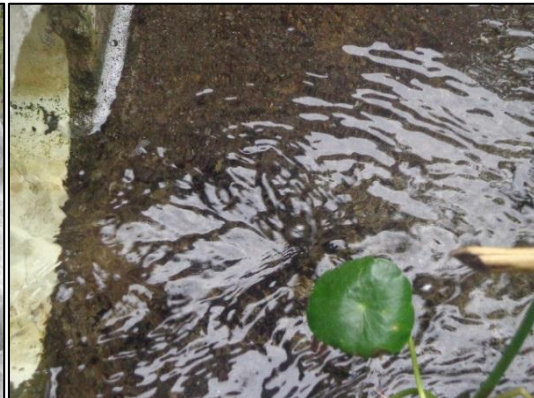


Figura 3.3 Efluente Agua Residual Depurada



Figura 3.4 Trabajo de Campo Monitoreos e Inspecciones



Figura 3.3 Trabajo de Laboratorio (Análisis de Agua Residual)

4. GRÁFICAS

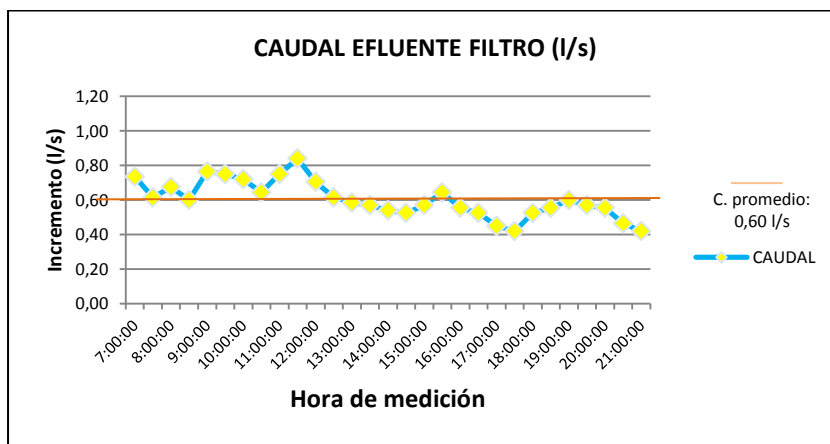
4.1. Datos Generales del Diseño

Cuadro 4.1 Datos generales del diseño de la planta de tratamiento Huaycopungo Norte

ETAPA	Índice	POBLAC. PROYEC. TOTAL	Dotación l/hab/día	ESTIMACION DEL CAUDAL TOTAL					
				Q Sanitario	Q Infiltración	Qilic	Q. mayor	Q T. Instant	Q. Tratamiento
1ra.	3,6%	680	120	0,60	0,67	0,57	3,84	3,52	1,26
2da.	2,4%	911	130	0,86	0,86	0,76	3,74	4,84	1,72
Total	1,2%	1.087	140	1,11	0,86	0,91	3,67	5,83	1,97

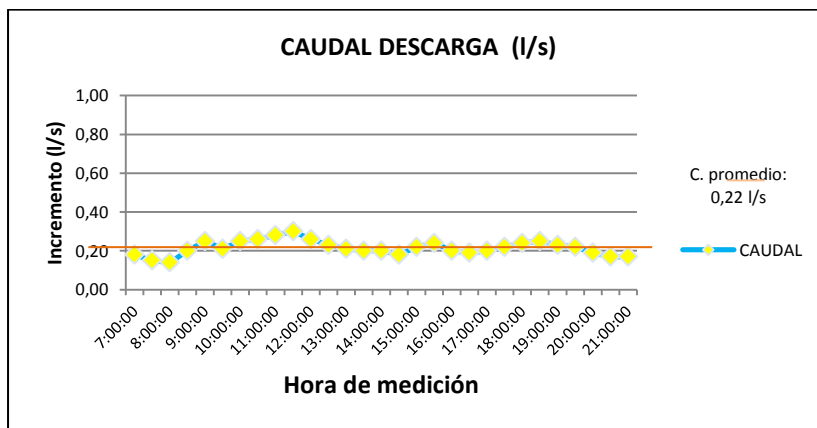
Fuente: Diseño – Municipio de Otavalo

4.2. Comportamiento del Caudal



Gráfica 4.1 Comportamiento del Caudal del efluente secundario

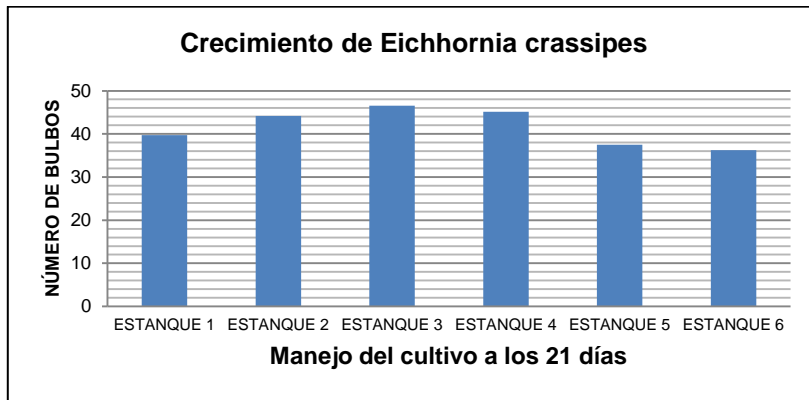
Fuente: Autor



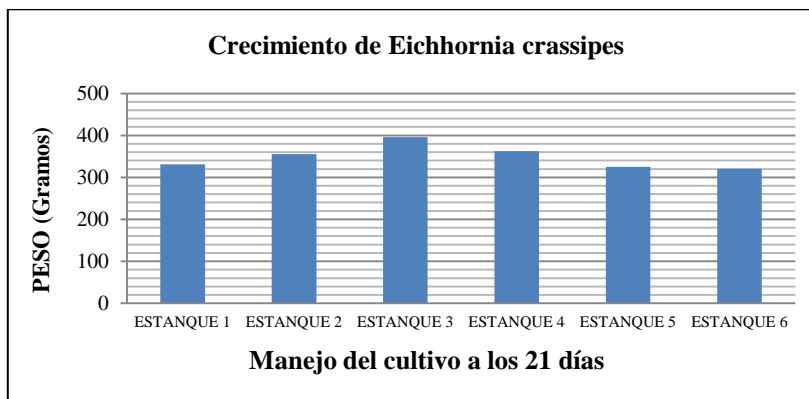
Gráfica 4.2 Comportamiento del Caudal en la Descarga

Fuente: Autor

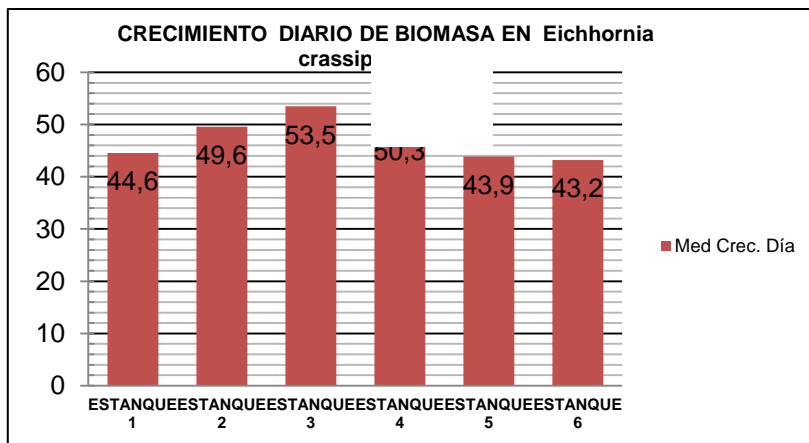
4.3. Análisis Fisiológico del Jacinto de Agua



Gráfica 4.3 Crecimiento en número de bulbos de Eichhornia crassipes
Fuente: Autor



Gráfica 4.4 Crecimiento en peso de Eichhornia crassipes
Fuente: Autor



Gráfica 4.5 Crecimiento diario en biomasa de Eichhornia crassipes
Fuente: Autor

5. INFORMES DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL

REPORTE DE ANALISIS DE AGUAS

DATOS DEL SOLICITANTE		DATOS DEL SITIO DE MUESTREO	
Nombre:	Sr. Gonzalo Farinango	Provincia:	Imbabura
Ciudad:	Ibarra	Cantón:	Otavalo
Teléfono:	62632458	Parroquia:	San Rafael
Fax:		Sitio:	Planta de tratamiento Huaycopungo Norte

CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA		DATOS DEL LABORATORIO	
Código:	C1M1P1	Nro. Reporte:	5 - 2013
Fecha:	02 de septiembre de 2013	Tipo de Análisis:	Parcial
Aspecto:	Incolora, turbia	Muestra:	Una, Simple
		Fecha de Ingreso:	02 de septiembre de 2013
		Fecha de Reporte:	11 de septiembre de 2013

Parámetros Físicos	Unidad	Valor	Método Aplicado
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	164,4	APHA 2510 B
Sólidos Totales	mg/l	625	APHA 2540 B

Parámetros Químicos	Unidad	Valor	Método Aplicado
Demanda Química De Oxígeno (DQO)	mg/l	69,03	APHA 5520 D
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	41,0	APHA 5210 B

Verónica Espinoza

Dra. Verónica Espinoza

ACU - CHEM
LABORATORIO DE ANÁLISIS
FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
DE AGUAS
IBARRA - ECUADOR

Dra. Verónica Espinoza

email: acu_chem@hotmail.com
Carlos Barahona Mera 1-107 y Eduardo Garzón Fonseca
0989753573
Ibarra - Ecuador

Misión:

Brindar Asistencia Ágil, Personalizada, Eficaz y Efectiva en la Demanda Analítica de Aguas, Ofreciendo Tecnología de Punta y Responsabilidad al Servicio del Usuario.

REPORTE DE ANALISIS DE AGUAS			
DATOS DEL SOLICITANTE		DATOS DEL SITIO DE MUESTREO	
Nombre:	Sr. Gonzalo Farinango	Provincia:	Imbabura
Ciudad:	Ibarra	Cantón:	Otavalo
Teléfono:	62632458	Parroquia:	San Rafael
Fax:		Sitio:	Planta de tratamiento Huaycopungo Norte
CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA		DATOS DEL LABORATORIO	
Código:	C2M1P1	Nro. Reporte:	6 - 2013
Fecha:	03 de septiembre de 2013	Tipo de Análisis:	Parcial
Aspecto:	Incolora, turbia	Muestra:	Una, Simple
		Fecha de Ingreso:	03 de septiembre de 2013
		Fecha de Reporte:	11 de septiembre de 2013

Parámetros Físicos	Unidad	Valor	Método Aplicado
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	208,4	APHA 2510 B
Sólidos Totales	mg/l	730	APHA 2540 B
Parámetros Químicos	Unidad	Valor	Método Aplicado
Demanda Química De Oxígeno (DQO)	mg/l	66,83	APHA 5520 D
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	43,0	APHA 5210 B

Verónica Espinoza

Dra. Verónica Espinoza

ACU - CHEM
LABORATORIO DE ANÁLISIS
FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
DE AGUAS
IBARRA - ECUADOR

Dra. Verónica Espinoza

email: acu_chem@hotmail.com
Carlos Barahona Mera 1-107 y Eduardo Garzón Fonseca
0989753573
Ibarra - Ecuador

Misión:

Brindar Asistencia Ágil, Personalizada, Eficaz y Efectiva en la Demanda Analítica de Aguas, Ofreciendo Tecnología de Punta y Responsabilidad al Servicio del Usuario.

REPORTE DE ANALISIS DE AGUAS			
DATOS DEL SOLICITANTE		DATOS DEL SITIO DE MUESTREO	
Nombre:	Sr. Gonzalo Farinango	Provincia:	Imbabura
Ciudad:	Ibarra	Cantón:	Otavalo
Teléfono:	62632458	Parroquia:	San Rafael
Fax:		Sitio:	Planta de tratamiento Huaycopungo Norte
CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA		DATOS DEL LABORATORIO	
Código:	C3M1P1	Nro. Reporte:	7 - 2013
Fecha:	04 de septiembre de 2013	Tipo de Análisis:	Parcial
Aspecto:	Incolora, turbia	Muestra:	Una, Simple
		Fecha de Ingreso:	04 de septiembre de 2013
		Fecha de Reporte:	11 de septiembre de 2013

Parámetros Físicos	Unidad	Valor	Método Aplicado
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	217,2	APHA 2510 B
Sólidos Totales	mg/l	810	APHA 2540 B
Parámetros Químicos	Unidad	Valor	Método Aplicado
Demanda Química De Oxígeno (DQO)	mg/l	374,5	APHA 5520 D
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	220,0	APHA 5210 B

Verónica Espinoza

Dra. Verónica Espinoza

ACU - CHEM
LABORATORIO DE ANÁLISIS
FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
DE AGUAS
IBARRA - ECUADOR

Dra. Verónica Espinoza

email: acu_chem@hotmail.com
Carlos Barahona Mera 1-107 y Eduardo Garzón Fonseca
0989753573
Ibarra - Ecuador

Misión:

Brindar Asistencia Ágil, Personalizada, Eficaz y Efectiva en la Demanda Analítica de Aguas, Ofreciendo Tecnología de Punta y Responsabilidad al Servicio del Usuario.

REPORTE DE ANALISIS DE AGUAS			
DATOS DEL SOLICITANTE		DATOS DEL SITIO DE MUESTREO	
Nombre:	Sr. Gonzalo Farinango	Provincia:	Imbabura
Ciudad:	Ibarra	Cantón:	Otavalo
Teléfono:	62632458	Parroquia:	San Rafael
Fax:		Sitio:	Planta de tratamiento Huaycopungo Norte
CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA		DATOS DEL LABORATORIO	
Código:	C4M1P1	Nro. Reporte:	8 - 2013
Fecha:	05 de septiembre de 2013	Tipo de Análisis:	Parcial
Aspecto:	Incolora, turbia	Muestra:	Una, Simple
		Fecha de Ingreso:	05 de septiembre de 2013
		Fecha de Reporte:	11 de septiembre de 2013

Parámetros Físicos	Unidad	Valor	Método Aplicado
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	113,6	APHA 2510 B
Sólidos Totales	mg/l	470	APHA 2540 B
Parámetros Químicos	Unidad	Valor	Método Aplicado
Demanda Química De Oxígeno (DQO)	mg/l	27,24	APHA 5520 D
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	15,0	APHA 5210 B

Verónica Espinoza

Dra. Verónica Espinoza

ACU - CHEM
LABORATORIO DE ANÁLISIS
FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
DE AGUAS
IBARRA - ECUADOR

Dra. Verónica Espinoza

email: acu_chem@hotmail.com
Carlos Barahona Mera 1-107 y Eduardo Garzón Fonseca
0989753573
Ibarra - Ecuador

Misión:

Brindar Asistencia Ágil, Personalizada, Eficaz y Efectiva en la Demanda Analítica de Aguas, Ofreciendo Tecnología de Punta y Responsabilidad al Servicio del Usuario.

REPORTE DE ANALISIS DE AGUAS

DATOS DEL SOLICITANTE		DATOS DEL SITIO DE MUESTREO	
Nombre:	Sr. Gonzalo Farinango	Provincia:	Imbabura
Ciudad:	Ibarra	Cantón:	Otavalo
Teléfono:	62632458	Parroquia:	San Rafael
Fax:		Sitio:	Planta de tratamiento Huaycopungo Norte

CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA		DATOS DEL LABORATORIO	
Código:	CSM1P1	Nro. Reporte:	9 - 2013
Fecha:	06 de septiembre de 2013	Tipo de Análisis:	Parcial
Aspecto:	Incolora, transparente	Muestra:	Una, Simple
		Fecha de Ingreso:	06 de septiembre de 2013
		Fecha de Reporte:	11 de septiembre de 2013

Parámetros Físicos	Unidad	Valor	Método Aplicado
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	115,2	APHA 2510 B
Sólidos Totales	mg/l	180	APHA 2540 B
Parámetros Químicos	Unidad	Valor	Método Aplicado
Demanda Química De Oxígeno (DQO)	mg/l	0,00	APHA 5520 D
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	0,00	APHA 5210 B

Verónica Espinoza
ACU - CHEM
 LABORATORIO DE ANÁLISIS
 FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
 DE AGUAS
 IBARRA - ECUADOR

Dra. Verónica Espinoza

Dra. Verónica Espinoza

email: acu_chem@hotmail.com
 Carlos Barahona Mera 1-107 y Eduardo Garzón Fonseca
 0989753573
 Ibarra - Ecuador

Misión:
 Brindar Asistencia Ágil, Personalizada, Eficaz y Efectiva en la Demanda Analítica de Aguas, Ofreciendo Tecnología de Punta y Responsabilidad al Servicio del Usuario.

REPORTE DE ANALISIS DE AGUAS

DATOS DEL SOLICITANTE		DATOS DEL SITIO DE MUESTREO	
Nombre:	Sr. Gonzalo Andrés Farinango Vallejos	Provincia:	Imbabura
Ciudad:	Ibarra	Cantón:	Otavalo
		Parroquia:	San Rafael
		Sitio:	Planta de Tratamiento Huaycopungo Norte

CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA		DATOS DEL LABORATORIO	
Código:	M6C1P1 Muestra compuesta	Nro. Reporte:	15 - 2013
	M7C2P2 Muestra compuesta	Tipo de Análisis:	SEMICOMPLETO
	M8C3P3 Muestra compuesta	Muestra:	Unica
Fecha:	16 de octubre de 2013	Fecha de Ingreso:	16 de octubre de 2013
		Fecha de Reporte:	25 de octubre de 2013

Parámetros Físicos	Unidad	Resultados			Método Aplicado
		M6C1P1	M7C2P2	M8C3P3	
Sólidos Totales	mg/l	680	600	350	APHA 2540 B
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	191,6	145,6	139,2	APHA 2510 B
Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	290	10,00	5,00	APHA 2540 D
Sólidos Sedimentables	mg/l	200	< 0,5	< 0,5	APHA 2540 F
Parámetros Químicos					
Demanda Química De Oxígeno (DQO)	mg/l	125,9	10	4,5	APHA 5520 D
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	37	8	3	APHA 5210 B
N - Amoniaco (NH ₃)	mg/l	5,79	5,57	2,54	APHA 4500 NH ₃ C
P - Fosfatos (PO ₄) ³⁻	mg/l	6,67	4,13	3,85	APHA 4500 P C
N - Nitratos (NO ₃) ⁻	mg/l	2,08	0,00	0,00	APHA 4500 NO ₃ ⁻ B
N - Nitritos (NO ₂) ⁻	mg/l	0,208	0,061	0,387	APHA 4500 NO ₂ ⁻ B
Sulfuros (S ²⁻)	mg/l	2,78	0,24	0,05	APHA 4500 S ²⁻ D
Parámetros Microbiológicos					
Recuento de Coliformes totales	NPM/100 ml	1,47 x 10 ⁷	3 x 10 ⁶	3 x 10 ⁵	EPA - 40 CFR
Recuento de Coliformes fecales	NPM/100 ml	5,3 x 10 ⁶	1,7 x 10 ⁴	2 x 10 ³	EPA - 40 CFR

Nota: Los resultados pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas en el laboratorio.

Dra. Verónica Espinoza

ACU - CHEM
LABORATORIO DE ANÁLISIS
FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
DE AGUAS
IBARRA - ECUADOR

email: acu_chem@hotmail.com
Carlos Barahona Mera 1-107 y Eduardo Garzón Fonseca
0989753573
Ibarra - Ecuador

Misión:
Brindar Asistencia Ágil, Personalizada, Eficaz y Efectiva en la Demanda Analítica de Aguas, Ofreciendo Tecnología de Punta y Responsabilidad al Serviciodel Usuario.

REPORTE DE ANALISIS DE AGUAS

DATOS DEL SOLICITANTE		DATOS DEL SITIO DE MUESTREO	
Nombre:	Sr. Gonzalo Andrés Farinango Vallejos	Provincia:	Imbabura
Ciudad:	Ibarra	Cantón:	Otavalo
		Parroquia:	San Rafael
		Sitio:	Planta de Tratamiento Huaycopungo Norte

CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA		DATOS DEL LABORATORIO	
Código:	M7C2P2 Muestra compuesta	Nro. Reporte:	16 - 2013
	M9E1 Salida de estanque 1	Tipo de Análisis:	SEMICOMPLETO
	M10E2 Salida de estanque 2	Muestra:	Unica
	M11E3 Salida de estanque 3	Fecha de Ingreso:	16 de octubre de 2013
Fecha:	16 de octubre de 2013	Fecha de Reporte:	25 de octubre de 2013

Parámetros Físicos	Unidad	Resultados				Método Aplicado
		M7C2P2	M9E1	M10E2	M11E3	
Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	10,00	7,60	5,80	0,00	APHA 2540 D
Parámetros Químicos						
Demanda Química De Oxígeno (DQO)	mg/l	10,00	0,00	0,00	0,00	APHA 5520 D
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	8,00	0,00	0,00	0,00	APHA 5210 B

Nota: Los resultados pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas en el laboratorio.


Dra. Verónica Espinoza

ACU - CHEM
LABORATORIO DE ANÁLISIS
FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
DE AGUAS
IBARRA - ECUADOR

email: acu_chem@hotmail.com
Carlos Barahona Mera 1-107 y Eduardo Garzón Fonseca
0989753573
Ibarra - Ecuador

Misión:
Brindar Asistencia Ágil, Personalizada, Eficaz y Efectiva en la Demanda Analítica de Aguas, Ofreciendo Tecnología de Punta y Responsabilidad al Serviciodel Usuario.

REPORTE DE ANALISIS DE AGUAS

DATOS DEL SOLICITANTE		DATOS DEL SITIO DE MUESTREO	
Nombre:	Sr. Gonzalo Andrés Farinango Vallejos	Provincia:	Imbabura
Ciudad:	Ibarra	Cantón:	Otavalo
		Parroquia:	San Rafael
		Sitio:	Planta de Tratamiento Huaycopungo Norte

CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA		DATOS DEL LABORATORIO	
Código:	M7C2P2 Muestra compuesta	Nro. Reporte:	17 - 2013
	M12E4 Salida de estanque 4	Tipo de Análisis:	SEMICOMPLETO
	M13E5 Salida de estanque 5	Muestra:	Unica
	M14E6 Salida de estanque 6	Fecha de Ingreso:	16 de octubre de 2013
Fecha:	16 de octubre de 2013	Fecha de Reporte:	25 de octubre de 2013

Parámetros Físicos	Unidad	Resultados				Método Aplicado
		M7C2P2	M12E4	M13E5	M14E6	
Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	10,00	0,00	12,00	8,00	APHA 2540 D
Parámetros Químicos						
Demanda Química De Oxígeno (DQO)	mg/l	10,00	0,00	0,00	0,00	APHA 5520 D
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	8,00	0,00	0,00	0,00	APHA 5210 B

Nota: Los resultados pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas en el laboratorio.

Verónica Espinoza

Dra. Verónica Espinoza

ACU - CHEM
LABORATORIO DE ANÁLISIS
FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
DE AGUAS
IBARRA - ECUADOR

email: acu_chem@hotmail.com
Carlos Barahona Mera 1-107 y Eduardo Garzón Fonseca
0989753573
Ibarra - Ecuador

Misión:

Brindar Asistencia Ágil, Personalizada, Eficaz y Efectiva en la Demanda Analítica de Aguas, Ofreciendo Tecnología de Punta y Responsabilidad al Servicio del Usuario.



LABORATORIO DE
ANÁLISIS DE AGUAS
ENSAYOS
No. OAE LE 2C 05-008

REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: Municipio de Otavalo
García Moreno 505
Telf: 062920460

Atn: Ing. Diego Benavides

Proyecto: Evaluación plantas de tratamiento A.R

Muestra Recibida: 11-Nov-13

Tipo de Muestra: 24 Muestras de Agua

Análisis Completado: 26-Nov-13

Número reporte Grüntec: 1311075-AG001-24

Rotulación Muestra:	Entrada planta 4 Huaycopungo Norte	Salida planta 4 Huaycopungo Norte	Método Adaptado de Referencia
Fecha de Muestreo:	11-Nov-13	11-Nov-13	
No. Reporte Grüntec:	1311075-AG013	1311075-AG014	

Físico Químico:			
pH ^(1,2,3)	7.3	7.9	SM 4500 H
Conductividad µS/cm ^(1,2,3)	218	298	EPA 9050 A
Sólidos disueltos mg/L ^(1,3)	120	164	SM 2510 A
Sólidos Suspendedos Totales mg/L ^(1,2,3)	25	8	SM 2540 D
Sólidos Totales Gravimétricos mg/L ^(1,3)	258	281	SM 2540 B

Aniones y No Metales:			
Amonio mg/L ^(1,2,3)	0.95	0.38	SM 4500 Norg
Amonio expresado como Nitrógeno mg/L ^(1,2,3)	0.74	0.29	SM 4500 Norg
Fosfato mg/L ^(1,2,3)	0.7	0.6	EPA 300.1
Nitrato mg/L ^(1,2,3)	5.0	0.3	EPA 300.1
Nitrato expresado como Nitrógeno mg/L ^(1,2,3)	1.1	0.07	EPA 300.1
Nitrito mg/L ^(1,2,3)	0.73	<0.05	EPA 300.1
Nitrito expresado como Nitrógeno mg/L ^(1,2,3)	0.22	<0.05	EPA 300.1
Sulfuro mg/L ^(1,3)	<0.013	<0.013	EPA 376.2

Parámetros Microbiológicos:			
Coliformes Fecales NMP/100 mL ^(1,3)	>110000	90	SM 9223 A, B
Coliformes Totales NMP/100 mL ^(1,3)	>110000	230	SM 9223 A, B

Parámetros Orgánicos:			
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L ^(1,3)	5	<2	SM 5210 B, D
Demanda Química de Oxígeno mg/L ^(1,2,3)	26	11	SM 5220 D

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. OAE LE 2C 05-008

⁽²⁾ Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

⁽³⁾ Acreditación CALA No. A3154

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación del OAE

Ing. Isabel Estrella

Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opciones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien ha realizado este informe en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

PROTOCOLO N°: 0414-2442	RU-49
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Revisión: 05
	Página 2 de 3

RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO CORPLAB	UNIDAD	A-1520	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽²⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				1.17		
GENERALES						
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)	Standard Methods Ed-22-2012,, 2510 B	PA - 06.00	uS/cm	502	NO APLICA	NO APLICA
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	Standard Methods Ed-22-2012, 4500 H- B	PA - 05.00	UpH	6,90	5 a 9	CUMPLE
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	Standard Methods Ed-22-2012, 2540-C	PA - 15.00	mg/l	318	NO APLICA	NO APLICA
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	Standard Methods Ed-22-2012, 2540-D	PA - 16.00	mg/l	26,0	100	CUMPLE
SÓLIDOS TOTALES	Standard Methods Ed-22-2012, 2540B	PA - 14.00	mg/l	348	1600	CUMPLE
ANIONES Y NO METALES						
ORTOFOSFATO(*)	Standard Methods Ed-22-2012, 4500 P - B & C	PA - 49.00	mg/l	5,63	NO APLICA	NO APLICA
NITRATOS	HACH 371	PA - 48.00	mg/l	<1,00	10,0	CUMPLE
NITRITOS	Standard Methods Ed-22-2012, 4500NO ₂ - B	PA - 13.00	mg/l	<0,01	10,0	CUMPLE
NITRÓGENO AMONICAL	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5220 A & D	PA - 30.00	mg/l	5,865	NO APLICA	NO APLICA
SULFUROS	Standard Methods Ed-22-2012, 4500S ²⁻ -D	PA - 58.00	mg/l	<0,3	0,5	CUMPLE
ORGANICOS						
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed-22-2012, 5210B	PA - 45.00	mg/l	30,1	100	CUMPLE
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5220-D	PA - 01.00	mg/l	60,3	250	CUMPLE
MICROBIOLOGIA						
COLIFORMES FECALES(*)	Standard Methods Ed. 21 2005 9222 D	TERCERIZADO (PARÁMETRO ACREDITADO)			⁽³⁾ REMOCIÓN > AL 99,9%	
COLIFORMES TOTALES(*)	Standard Methods Ed. 21 2005 9222 D				NO APLICA	NO APLICA



REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

La información (1), (2) y (3) que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del OAE.

⁽¹⁾ TULAS, Libro VI, Anexo 1, Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: recurso agua, Tabla 12, límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

⁽²⁾ Criterio de resultados

⁽³⁾ Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.

PROTOCOLO N°: 0414-2443	RU-49
	Revisión: 05
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Página 2 de 3

RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO CORPLAB	UNIDAD	A-1521	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽²⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				1.18		
GENERALES						
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)	Standard Methods Ed-22-2012,, 2510 B	PA - 06.00	uS/cm	477	NO APLICA	NO APLICA
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	Standard Methods Ed-22-2012, 4500 H-B	PA - 05.00	UpH	6,85	5 a 9	CUMPLE
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	Standard Methods Ed-22-2012, 2540-C	PA - 15.00	mg/l	312	NO APLICA	NO APLICA
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	Standard Methods Ed-22-2012, 2540-D	PA - 16.00	mg/l	<10	100	CUMPLE
SÓLIDOS TOTALES	Standard Methods Ed-22-2012, 2540B	PA - 14.00	mg/l	320	1600	CUMPLE
ANIONES Y NO METALES						
ORTOFOSFATO(*)	Standard Methods Ed-22-2012, 4500 P - B & C	PA - 49.00	mg/l	5,38	NO APLICA	NO APLICA
NITRATOS	HACH 371	PA - 48.00	mg/l	<1,00	10,0	CUMPLE
NITRITOS	Standard Methods Ed-22-2012, 4500NO ₂ ⁻ - B	PA - 13.00	mg/l	0,019	10,0	CUMPLE
NITRÓGENO AMONIAICAL	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5220 A & D	PA - 30.00	mg/l	4,91	NO APLICA	NO APLICA
SULFUROS	Standard Methods Ed-22-2012, 4500S ²⁻ -D	PA - 58.00	mg/l	<0,3	0,5	CUMPLE
ORGANICOS						
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed-22-2012, 5210B	PA - 45.00	mg/l	7,40	100	CUMPLE
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5220-D	PA - 01.00	mg/l	15,1	250	CUMPLE
MICROBIOLOGIA						
COLIFORMES FECALES(*)	Standard Methods Ed. 21 2005 9222 D	TERCERIZADO (PARÁMETRO ACREDITADO)			⁽³⁾ REMOCIÓN > AL 99,9%	
COLIFORMES TOTALES(*)	Standard Methods Ed. 21 2005 9222 D				NO APLICA	NO APLICA



REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

La información (1), (2) y (3) que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del OAE.

⁽¹⁾ TULAS, Libro VI, Anexo 1, Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: recurso agua, Tabla 12, límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

⁽²⁾ Criterio de resultados

⁽³⁾ Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.

6. ARTÍCULO CIENTÍFICO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS

AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

TEMA:

“CRITERIOS DE OPTIMIZACIÓN EN LA OPERACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES HUAYCOPUNGO NORTE, EN LA PARROQUIA SAN RAFAEL, CANTÓN OTAVALO, PROVINCIA IMBABURA”

AUTOR:

Gonzalo Andrés Farinango Vallejos

DIRECTOR:

Ing. Jorge Granja

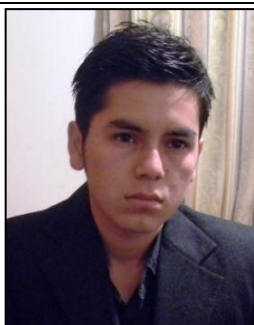
LUGAR DE INVESTIGACION

Imbabura, Otavalo, Parroquia San Rafael

Ibarra- Ecuador

2014

HOJA DE VIDA DEL INVESTIGADOR



NOMBRES: Gonzalo Andrés Farinango Vallejos

CEDULA DE CIUDADANIA: 1003567482

DIRECCION: Imbabura, Ibarra, Ciudadela Rosita Paredes/ Manzana B /#2-38

TELEFONO FIJO: 2 632458

TELEFONO CELULAR: 0986921661

E- MAIL: andres_v88@hotmail.es

Fecha de defensa 20 de octubre de 2014

RESUMEN

El Gobierno Municipal de Otavalo, en el sector del Lago San Pablo implementó 11 plantas de tratamiento biológico de aguas residuales funcionando desde el año 2012 y requiere optimizar su operación con un enfoque sustentable; frente a esta problemática surgió de la necesidad de implementar procesos orientados a la optimización operativa de los sistemas de tratamiento biológico bajo condiciones técnicas y ambientales. El trabajo se realizó a través de una investigación – acción del proceso en el sitio, para identificar los puntos débiles, evaluar y determinar las mejores alternativas de optimización operativa, en base a los análisis físico, químico y microbiológico del agua residual como sólidos, pH, DBO, DQO, amoníaco, nitratos, nitritos, fosfatos, sulfuros, metales pesados, coliformes; el método identificó la eficiencia depuradora de la planta de tratamiento. Llegándose a determinar que la ejecución de un mantenimiento continuo en las rejillas, caja de captación, la oportuna extracción de lodos en el sedimentador y filtro anaeróbico, el manejo de los humedales con lechuguín de agua (*Eichhornia crassipes*) e inspecciones periódicas, mantienen un control óptimo de los procesos removiendo altas concentraciones de sólidos, turbidez, DBO, DQO, NH₃, entre otros. Concluyéndose, que una vez

implementados los criterios de optimización, la calidad del agua tratada cumple con los requerimientos de la normativa ambiental establecida, siendo apta como agua de riego agrícola y adecuado para descarga hacia cuerpos de agua dulce.

ABSTRACT

The Municipal Government of Otavalo, in the area of San Pablo Lake implemented 11 biological treatment plants sewage running since 2012 and optimize its operation requires a sustainable approach; address this problem arose from the need to implement oriented operating system optimization techniques on biological treatment processes and environmental conditions. The work was conducted through research - action process in place to identify weaknesses, assess and determine the best alternatives for operational optimization, based on the physical, chemical and microbiological analysis of residual water and solids, pH BOD, COD, ammonia, nitrate, nitrite, phosphate, sulfur, heavy metals, coliforms; method determined the efficiency of the sewage treatment plant. Getting itself to determine that the execution of continuous maintenance on gates, pickup box, the timely removal of sludge in the settler and anaerobic filter, the management of wetlands with water lechuguín (*Eichhornia crassipes*) and periodic inspections, maintain control removing processes optimum high solids, turbidity, BOD, COD, NH₃, among others. Concluding that once implemented the optimization criteria, the quality of treated water meets the requirements of the established environmental regulations, as being suitable water for agricultural irrigation and adequate discharge into freshwater bodies.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para la vida y soporte del desarrollo de cualquier país; es un elemento fundamental para los ecosistemas y requisito para la sustentabilidad. El hombre ha alterado su disponibilidad con el afán de satisfacer sus crecientes necesidades, principalmente por las actividades agrícolas, industriales y domésticas (Muciño, 2001). Situación que ha provocado la contaminación con aguas residuales de los acuíferos someros y cuerpos de aguas superficiales. Según la Organización Mundial de la Salud (1995), en el Ecuador solo 5 de cada 100 litros de aguas servidas son tratados antes de ser arrojados a nuestros ríos, pese a que las leyes prohíben arrojar aguas contaminadas. Por lo que es necesario establecer procesos articulados de manejo de las aguas residuales, las

cuales después de un tratamiento adecuado, pueden ser utilizadas para reducir las demandas del sector municipal, industrial, agrícola y recreativo, particularmente en sitios con poca disponibilidad (Da Ros, 1995).

JUSTIFICACIÓN

El Municipio de Otavalo construye la Planta de tratamiento de agua residual en el sector denominado “Huaycopungo Norte”, en la parroquia San Rafael, con el fin de tratar el agua servida proveniente de las actividades domésticas de la zona. Esta planta es de un diseño básico, cuenta con tanque sedimentador, filtro anaerobio de flujo ascendente, humedales de flujo superficial y lechos de secado. La falta de un adecuado mantenimiento y control de la planta ha ocasionado que las unidades no operen con normalidad, convirtiéndola en protagonista del deterioro de la calidad de agua del lago San Pablo y afectan a familias aledañas por la generación de malos olores y proliferación de mosquitos debido a los rebosamientos de agua que sufre la planta durante el proceso.

OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar y recomendar criterios de optimización en la operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales de la Planta N°4 Huaycopungo Norte, para un eficiente proceso de depuración y reutilización del efluente.

Objetivos Específicos

- Valorar las condiciones físicas y operativas de los sistemas de tratamiento.
- Seleccionar un adecuado manejo de *Eichhornia crassipes* en los humedales artificiales.
- Comparar los parámetros de calidad de agua residual que intervienen en cada fase de tratamiento, aplicando la normativa vigente.
- Recomendar estrategias que optimicen el funcionamiento de la planta de tratamiento con miras sustentables a futuro.

PREGUNTAS DIRECTRICES

- ¿La propuesta metodológica garantizará eficiencia en el tratamiento de agua residual doméstica?
- ¿Los criterios recomendados para la optimización operativa de los sistemas de tratamiento permitirán que el agua tratada cumpla con los límites permisibles de descarga a cuerpos de agua dulce y riego agrícola?

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de la investigación se emplearon los siguientes materiales descritos en el siguiente cuadro.

Cuadro. Materiales y equipos

MATERIALES			EQUIPOS	
MATERIALES DE SIEMBRA:	MATERIALES GENERALES:	FASE DE LABORATORIO	FASE DE CAMPO	FASE DE LABORATORIO
- <i>Eichhornia crassipes</i>	-Fracos -Etiquetas	-Imagen Quickbird de la parroquia San Rafael -Plano de alcantarillado de la Cuenca del Lago San Pablo -Diseños arquitectónicos de la Planta de -Tratamiento Huaycopungo Norte	-Ecokit portátil de medición de parámetros: pH, Temperatura, Conductividad, TDS. -Cámara fotográfica -GPS Garmin -Calculadora	-Computador -Impresora -Proyector -Scanner -Disco Extraíble -Software ArcGIS 10.2 -Espectrofotómetro
Materiales de Protección Personal:	-Cooler -Libretas -Flexómetro			
-Mascarilla -Uniforme completo -Guantes de caucho y quirúrgico -Gorra -Botas de caucho -Jabón, gel antiséptico	Fundas -Palas -Rastrillos -Machete -Podadora manual -Red de limpieza			

Fuente: Farinango, 2014.

El desarrollo de la investigación constó de tres fases: fase de campo en donde se recolectó información in situ en lo referente al área de estudio, las características físicas de la planta, las condiciones, análisis de eficiencia en cada sistema de tratamiento, fase de laboratorio y el análisis de las muestras de agua; y la fase de oficina en donde con todos los datos obtenidos se realiza la redacción del documento técnico para recomendar los criterios de optimización operativa de la planta de tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

La falta de un adecuado mantenimiento y control ha provocado que las condiciones de los Sistemas de Tratamientos no operen con normalidad. Las operaciones que se han realizado de mantenimiento y control de las instalaciones han ayudado a determinar los criterios de

optimización operativa. Para que la planta trabaje con normalidad es necesario cumplir rigurosamente con todas las actividades de mantenimiento periódicamente de las rejillas, extracción oportuna de lodos en los sedimentadores y filtros cada seis meses, todas estos trabajos evitarán posibles problemas a futuro.

Siguiendo las recomendaciones de operación y mantenimiento la remoción de contaminantes en los tres sistemas de tratamiento resultó en una eficiencia óptima, donde las remociones alcanzaron un rango mayor a 90%, principalmente en la remoción de Sólidos Suspendedos, Sólidos Sedimentables, DQO, DBO5, Nitratos (NO_3^-) y Sulfuros (S^{2-}); de igual manera se logró elevadas remociones para coliformes pese a esto su concentración no es suficiente para cumplir con los límites permisibles de descarga. Las remociones medias se presentaron para sólidos totales con 47,64%, amoniaco 52,85% y fosfatos con 39,55%; por otro lado se presentaron valores bajos en conductividad con 27,09% y sólidos disueltos con 27,16%; como se mencionó anteriormente la remoción para nitritos en la planta de tratamiento fue leve debido a que en los estanques se encuentran con exceso de materia orgánica acumulada a manera de detritus por falta de un manejo adecuado del lechuguín de agua motivo por el cuál en el sistema ha iniciado un leve proceso de eutroficación aunque no significativo al presentar una concentración baja hasta el momento no ha causado inconvenientes y al igual que los demás parámetros analizados cumplen con los límites de permisibilidad exigidos.

Los procesos degradación anaerobios producidos en el sedimentador y el filtro de flujo ascendente se ejecutan de manera adecuada brindando las condiciones óptimas para que las bacterias oxiden y estabilicen la mayor cantidad de materia orgánica. Los procesos de degradación aerobios producidos en los humedales artificiales con Lechuguines de agua se ejecutan de manera eficiente puesto que cumplen con su principal función degradar la mayor concentración de nutrientes presentes producto de la fotosíntesis, adsorción o absorción por rizomas y por acción de bacterias nitrificantes presentes en los estanques. En conclusión actualmente cada sistema cumple con los objetivos para los que fueron diseñados durante cada etapa de tratamiento del agua residual.

CONCLUSIONES

- De acuerdo al historial de mantenimiento del tanque sedimentador y filtro anaeróbico, los lodos deben ser extraídos cada seis meses, esta actividad controla la eficiencia en los sistemas de tratamiento.
- Las aguas residuales procesadas en la planta de tratamiento son predominantemente de origen doméstico, presentan una carga orgánica en DBO5 de 6,64 kg/ha.día, con una relación DBO5/DQO de 0,30; este resultado refleja que los residuos son fácilmente tratables en procesos biológicos.
- La planta registra un tiempo de retención de 9,41 días con resultados satisfactorios, situación que determina una capacidad de reserva para operaciones futuras.
- El crecimiento diario del cultivo de *Eichhornia crassipes* alcanza valores de 43,2 g/m² a 53,5 g/m²; mejores resultados de crecimiento se observa en los estanques tres y cuatro; pese a esto los rangos de crecimiento en todos los estanques son similares con un funcionamiento satisfactorio.
- El funcionamiento óptimo de los humedales artificiales se logra con una cosecha entre 15 a 18 días del cultivo, para evitar el aumento de carga orgánica innecesaria.
- La planta de tratamiento opera satisfactoriamente dentro de los límites permisibles de descarga, excepto para coliformes cuya población se mantiene variable.
- La ejecución de un mantenimiento continuo en las rejillas, caja de captación, la oportuna extracción de lodos en el sedimentador, filtro anaeróbico, y el manejo de los humedales con lechuguín de agua (*Eichhornia crassipes*), mantienen un control óptimo de los procesos disminuyendo las concentraciones de contaminantes.

RECOMENDACIONES

- Estudiar las características de mecánica de fluidos en los estanques orientado a mantener un crecimiento uniforme de la especie en todos los estanques.
- Investigar técnicas eficientes en la eliminación de coliformes, con el fin de mantener controlada permanentemente la población bacteriana.

- Analizar la acumulación de lodo en el sedimentador, filtro y estanques para evitar eutroficación y aumentos de carga orgánica.
- Implementar proyectos de compostaje y biodigestores para el tratamiento de lodos y materia orgánica en general, siguiendo un adecuado control de calidad cuyo análisis garantice que el producto generado cumpla con los límites permisibles de contenido en metales pesados.
- Desarrollar proyectos acordes al cambio de la matriz productiva para la producción de abonos.

BIBLIOGRAFÍA

- Arellano Díaz, J., & Guzman Pantoja, J. E. (2011). *Ingeniería Ambiental* (1 ed.). México: Alfaomega Grupo editor S.A.de CV.
- Cárdenas, J. (2005). *Calidad de Aguas para estudiantes de Ciencias Ambientales*. Colombia, Colombia: Francisco José de Caldas.
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones*.
- Gualoto, M. (2010). *Biorremediación de Hidrocarburos Utilizando Cepas Antárticas*. Ibarra.
- Hernández, Saz, D., & Sala. (23 de 04 de 2014). *Eficiencia técnica y estacionalidad en los procesos de tratamiento de aguas residuales.*(Departamentos de Estructura Económica y Matemáticas para la Economía y la Empresa Universitat de Valencia).
- López, D. (2012). *Aprovechamiento del Lechuguín (Eichhornia crassipes) para la Generación de Abono Orgánico mediante la utilización de tres diseños diferentes de biodigestores*. Cuenca, Ecuador.
- Mena, M. (2004). *Diagnóstico de las Aguas Residuales y Prediseño de una Planta de Tratamiento Biológico para la Parroquia de Gonzáles Suárez, Cantón Otavalo. Tesis de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte*. Ibarra, Imbabura, Ecuador.
- Seoánez, M. (2005). *Depuración de la aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo*. Barcelona: Aedos, S.A.