

UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

ESCUELA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**ESTUDIO DE *Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* y *Azolla filiculoides* EN EL
TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS
EN SISTEMAS COMUNITARIOS Y UNIFAMILIARES DEL CANTÓN
COTACACHI**

Tesis previa a la obtención del título de

Ingeniero en Recursos Naturales Renovables

AUTORAS

Mónica León Espinoza
Ana María Lucero Peralta

DIRECTOR:

Ing. Guillermo Beltrán

Ibarra-Ecuador
2009



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

ESCUELA DE INGENIERIA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**ESTUDIO DE *Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* y *Azolla filiculoides* EN EL
TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS
EN SISTEMAS COMUNITARIOS Y UNIFAMILIARES DEL CANTÓN
COTACACHI**

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:

..... Director
Ing. Guillermo Beltrán

..... Asesor
Dr. Marcelo Dávalos

..... Asesor
Dr. Nelson Gallo

..... Asesor
Biol. Galo Pabón

Ibarra – Ecuador

2009

Mónica León
Ana María Lucero



PRESENTACIÓN

Este trabajo de investigación se lo realizó con la colaboración financiera de la ONG Italiana UCODEP, “Unión de Cooperación para el Desarrollo de los Pueblos” y la UNORCAC, “Unión de Organizaciones Campesinas del Cantón Cotacachi”, con el fin de buscar una propuesta alternativa a la descontaminación de las aguas residuales domésticas producidas a nivel unifamiliar y comunitario en las sectores rurales del cantón Cotacachi.

Este documento es de responsabilidad y propiedad exclusiva de las autoras.

León Espinoza Mónica
Lucero Peralta Ana María



DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mi madre forjadora de mi existencia, por ser ejemplo de constancia, dedicación y sacrificio aquella que jamás me ha dejado sola en la lucha de la vida.

Y con amor lo dedico a mis hermanas por estar siempre a mi lado y convertirse en cómplices de mis sueños, logros y alegrías.

León Espinoza Mónica



AGRADECIMIENTO

A Dios y a todos quienes han sido apoyo en todo momento antes, durante y después de la elaboración de este documento, por depositar en mi, confianza, conocimientos y mucho cariño.

Por eso mi agradecimiento especialmente a mi universidad quien me ha acogido por muchos años y por convertirme en una profesional orgullosa que ha surgido de sus aulas.

A mis maestros quienes directamente han sido parte fundamental en mi carrera. A mis asesores Biol. Galo Pabón, Dr. Nelson Gallo y Dr. Marcelo Dávalos, por sus acertadas sugerencias para que mejoremos siempre y un agradecimiento especial al Ing. Guillermo Beltrán y al Ing. Hugo Carrera por su apoyo, colaboración y por todo el cariño y confianza depositada en nosotras, al Ing. Walter Palacios por las sugerencias aportadas para mejorar este documento.

A Anita Lucero por su amistad, compañerismo y paciencia demostrada durante estos cinco años de vida universitaria y durante la ejecución de nuestra tesis. Y a su familia por el gran aporte realizado a este proyecto.

A mi familia por confiar siempre en mí por su apoyo, cariño y sacrificio en especial a mi madre y a mis hermanos, a mis compañeros y amigos, y a todos aquellos que hicieron posible alcanzar este objetivo en mi vida.

León Espinoza Mónica



DEDICATORIA

Este trabajo, fruto de la constancia de mi etapa profesional, se lo dedico especialmente a mi madre, por apoyarme incondicionalmente en las facetas de mi vida, inculcándome principios y sobre todo su ejemplo.

Asimismo a mi padre, por demostrarme que el éxito se lo alcanza con la disciplina, objetividad y lucha incesante para conseguir una meta.

A toda mi familia que me brindó vivamente el aliento en los momentos de difíciles, mostrándome con su cariño su respaldo.

Lucero Peralta Ana Maria



AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por encontrar personas que durante este proceso me ofrecieron su ayuda incondicional.

La gratitud a la Universidad Técnica del Norte, a los catedráticos de nuestra escuela de manera especial al director de tesis Ing. Guillermo Beltrán y a los apreciados asesores Dr. Marcelo Dávalos, Dr. Nelson Gallo y Lic. Galo Pabón, quienes con sus conocimientos contribuyeron a dirigir y optimizar el documento.

Un reconocimiento a las instituciones UNORCAC, UCODEP y al municipio de Cotacachi por creer en esta investigación, en las personas del Ing. Hugo Carrera, Dra. Antonella Ronco y Arq. Rosalinda Gavilanes. Además a todo el equipo técnico Lic. Luís Fichamba, coordinador del proyecto, a los señores promotores Antonio Andrango, y Francisco Guitarra por la predisposición en colaborar en las actividades de campo.

A la comunidad de Turucu por participar vivamente en las mingas y por demostrar el interés por mejorar la calidad de tratamiento de sus sistemas de depuración.

A los señores Ernesto Andrade, José Guandinango, Alejandro Morales por colaborar y acoger la propuesta de implementación de los sistemas de tratamiento en sus domicilios.

A mi compañera Mónica León que durante los años universitarios y en la elaboración de la investigación hemos conseguido conjuntamente alcanzar nuestros objetivos.

Y finalmente a la Ing. Myriam Méndez por guiarnos en las distintas etapas de investigación, especialmente por su aporte en los conocimientos de construcciones civiles.



ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
1.INTRODUCCIÓN	1
1.2. OBJETIVOS.....	4
1.2.1.Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos.....	4
1.3. PREGUNTAS DIRECTRICES	5
CAPITULO II	6
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. ENFOQUE SITUACIONAL EN LATINOAMÉRICA	6
2.2. FASES DE SANEAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	8
2.2.1. Recolección de las aguas residuales	8
2.2.2. Pre tratamiento de las aguas residuales	8
2.2.3. Tratamiento de las aguas residuales	8
2.3. AGUAS RESIDUALES	9
2.3.1. Clasificación de las aguas residuales.....	9
2.3.1.1. Aguas blancas o de lluvia	9
2.3.1.2. Aguas de origen doméstico.....	10
2.3.1.3. Aguas de origen industrial	10
2.3.1.4. Aguas de origen agrícola	10
2.3.2. Constituyentes del agua residual	11
2.3.3. Compuestos orgánicos agregados en el agua residual.....	12
2.4. TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS ...	12
2.4.1. Conclusiones para la selección de tecnologías	13
2.5. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	14
2.5.1. Tipos de sistemas de tratamiento biológico.....	15
2.5.1.1. Lagunajes.....	15
2.5.1.2. Humedales o wetlands	16
2.6. CLASES DE PLANTAS ACUÁTICAS	18
2.6.1. Flotantes	18
2.6.2. Sumergidas	19
2.6.3. Emergentes	19
2.7. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON PLANTAS ACUÁTICAS	20
2.7.1. Actuación de las plantas acuáticas en sistemas de tratamiento	20
2.7.2. Plantas acuáticas utilizadas en el tratamiento de aguas residuales domésticas	21
2.7.2.1. Taxonomía y características morfológicas de <i>Eichhornia crassipes</i> ...	21
2.7.2.2. Taxonomía y características morfológicas de <i>Azolla filiculoides</i>	22
2.7.2.3. Taxonomía y características morfológicas de <i>Lemna sp</i>	24
2.8. PARÁMETROS QUE SE ANALIZAN EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	26
2.8.1. Parámetros físicos.....	26
2.8.2. Parámetros químicos	27
2.8.3. Parámetros biológicos	32
2.8.3.1. Organismos patógenos.....	33
2.8.3.2. Tiempo de supervivencia de organismos patógenos.....	35
2.8.3.3. Empleo de organismos indicadores	36
2.9. NORMAS DE PERMISIBILIDAD DE AGUAS.....	36
2.9.1. Norma para descarga de efluentes en Ecuador.....	36
2.9.2. Criterios generales de descarga de efluentes	37
2.9.3. Normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua dulce	37
2.10. MARCO LEGAL.....	38



CAPITULO III.....	41
3. MATERIALES Y MÉTODOS	41
3.1. MATERIALES Y EQUIPOS	41
3.2. METODOLOGÍA.....	43
3.2.1. Ubicación geográfica.....	44
3.2.1.1. Caracterización del área de estudio	44
3.2.2. Factor en estudio	48
3.2.3. Tratamientos.....	49
3.2.4. Descripción breve de la investigación	49
3.2.5. Análisis de tratamientos	50
3.2.6. Variables a evaluarse.....	50
3.3. MANEJO ESPECÍFICO DE LA INVESTIGACIÓN	51
3.3.1. Descripción de los sistemas de tratamiento.....	53
3.3.2. Diagnóstico del funcionamiento de los sistemas de tratamiento	55
3.3.3. Limpieza de los sistemas de tratamiento	56
3.3.3.1. Construcción del tanque para tratamiento de lodos	57
3.3.3.2. Limpieza del sistema	59
3.3.3.3. Muestreo de lodos.....	61
3.3.4. Manejo de los cultivos en los sistemas de tratamiento	62
3.3.4.1. Tratamiento uno: cultivo y manejo de <i>Eichhornia crassipes</i>	62
3.3.4.2. Tratamiento dos: cultivo y manejo de <i>Azolla filiculoides</i>	64
3.3.4.3. Tratamiento tres: cultivo y manejo de <i>Lemna gibba</i>	65
3.3.4.4. Tratamiento cuatro: cultivo y manejo en asociación (<i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Azolla filiculoides</i> y <i>Lemna gibba</i>)	66
3.3.5. Evaluación de los tratamientos en la depuración de las aguas residuales domésticas	67
3.3.5.1. Plan de muestreo.....	67
3.3.6. Aplicación de sistemas de tratamiento a nivel unifamiliar.....	69
3.3.6.1. Fase de preselección	70
3.3.6.2. Fase de construcción.....	71
3.3.7. Evaluación en los sistemas de tratamiento unifamiliares	79
CAPITULO IV	81
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	81
4.1. DIAGNÓSTICO DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO EN LA COMUNIDAD DE TURUCU 81	
4.1.1. Nivel organizacional de los sistemas de tratamiento	82
4.1.2. Calidad de las aguas tratadas	83
4.1.2.1. Funcionamiento sistema uno de Turucu	83
4.1.2.2. Funcionamiento del sistema dos de Turucu.....	85
4.1.3. Infraestructura de los sistemas.....	86
4.1.3.1. Sistema uno.....	86
4.1.3.2. Sistema dos	88
4.2. LIMPIEZA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO.....	90
4.2.1. Resultados del análisis de lodos	90
4.3. ESTUDIO FISIOLÓGICO DE LAS ESPECIES APLICADAS	92
4.3.1. Análisis fisiológico de <i>Eichhornia crassipes</i>	92
4.3.1.1. Requerimientos nutricionales	94
4.3.1.2. Análisis del comportamiento de <i>Eichhornia crassipes</i> en época seca y lluviosa	94
4.3.2. Análisis fisiológico de <i>Azolla filiculoides</i>	102
4.3.3. Análisis fisiológico de <i>Lemna gibba</i>	104



4.4. COMPORTAMIENTO DE LA BIOMASA EN <i>Eichhornia crassipes</i>	106
4.4.1. Determinación de carga operacional (KOP).....	106
4.4.2. Rendimiento de biomasa	110
4.4.2.1. Producción de biomasa.....	110
4.4.3. Manejo de desechos de plantas acuáticas	112
4.5. ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE REMOCIÓN Y ANÁLISIS DE PERMISIBILIDAD.....	113
4.5.1. Parámetro temperatura.....	113
4.5.2. Parámetro pH.....	115
4.5.3. Parámetro conductividad.....	116
4.5.4. Parámetro sólidos disueltos totales.....	118
4.5.5. Parámetro sólidos suspendidos.....	119
4.5.6. Parámetro sólidos sedimentables.....	121
4.5.7. Parámetro demanda química de oxígeno.....	122
4.5.8. Parámetro demanda bioquímica de oxígeno.....	123
4.5.9. Parámetros N-nitratos y N-nitritos	124
4.5.10. Parámetro N-amoniaco.....	127
4.5.11. Parámetro nitrógeno total de Kjeldahl.....	128
4.5.12. Parámetro fósforo total	129
4.5.13. Parámetro fosfatos	130
4.5.14. Parámetros microbiológicos	131
4.6. CUARTO TRATAMIENTO ASOCIACIÓN DE ESPECIES ACUÁTICAS	133
4.7. ANÁLISIS DE LA REMOCIÓN PARA LOS CUATRO TRATAMIENTOS	135
4.7.1. Análisis de los porcentajes de remoción por especie	136
4.8. MEJOR TRATAMIENTO APLICADO A LA DESCONTAMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.....	141
4.8.1. Parámetros ambientales	142
4.8.1.1. Comparación de los cuatro tratamientos con los límites de permisibilidad.....	143
4.8.2. Parámetros sociales y económicos	144
4.8.2.1. Aspectos sociales	144
4.8.2.2. Aspectos económicos.....	144
4.9. COMPORTAMIENTO DEL CULTIVO DE <i>Eichhornia crassipes</i> EN EL SISTEMA DOS	145
4.10. APLICACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO A NIVEL UNIFAMILIAR	147
4.10.1. Comparación del porcentaje de remoción de parámetros contaminantes.....	147
4.10.1.1. Análisis de parámetros físicos	148
4.10.1.2. Análisis de parámetros químicos	150
4.10.1.3. Análisis de parámetros microbiológicos.....	153
4.10.2. Comparación de la remoción en los sistemas unifamiliares con los límites de permisibilidad del TULAS	154
CAPITULO V.....	161
5. CONCLUSIONES.....	161
CAPITULO VI.....	163
6. RECOMENDACIONES	163
CAPITULO VII	164
7. RESUMEN.....	164
CAPITULO VIII.....	165
8. SUMMARY	165



CAPITULO IX.....	166
9. BIBLIOGRAFÍA.....	166
CAPÍTULO X.....	171
10. ANEXOS.....	171



ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Constituyentes de las aguas residuales.....	11
Cuadro 2.2. Factores y variables considerados para la selección de tratamientos de aguas residuales domésticas	12
Cuadro 2.3. Tiempo de supervivencia de los organismos patógenos	35
Cuadro 2.4. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	37
Cuadro 3.1. Detalle de materiales de campo, muestreo y siembra	41
Cuadro 3.2 Detalle de asesoría y materiales de limpieza y construcción de sistemas.....	42
Cuadro 3.3. Detalle de parámetros y reactivos	42
Cuadro 3.4. Detalle de equipos de campo, oficina y laboratorio.....	43
Cuadro 3.5. Ubicación geográfica de los sitios de estudio	44
Cuadro 3.6. Tratamientos aplicados en el proceso de depuración de aguas residuales domésticas	49
Cuadro 3.7. Parámetros seleccionados para la evaluación de los tratamientos	51
Cuadro 3.8. Materiales y volumen del filtro sistema uno	58
Cuadro 3.9. Materiales y volumen del filtro sistema dos	59
Cuadro 3.10. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos.....	69
Cuadro 3.11. Promedio del consumo diario de agua y disponibilidad en horas día de tres comunidades.....	71
Cuadro. 3.12. Resumen de cálculos en la construcción de sistemas de tratamiento por comunidad.....	75
Cuadro 3.13. Detalle de dimensiones del tanque sedimentador y estanques.....	76
Cuadro 3.14. Construcción de un sistema de tratamiento.....	77
Cuadro 3.15. Costo de construcción de un sistema de tratamiento unifamiliar.....	78
Cuadro 4.1. Diagnóstico de la calidad de las aguas tratadas en el sistema uno.....	84
Cuadro 4.2. Diagnóstico de la calidad de las aguas tratadas en el sistema dos	85
Cuadro 4.3. Resultados del muestreo de lodos	90
Cuadro 4.4. Crecimiento de biomasa en <i>Eichhornia crassipes</i> (g/m ²).....	110
Cuadro 4.5. Valores mínimos y máximos de peso alcanzado por <i>Eichhornia crassipes</i>	111
Cuadro 4.6. Cuadro de combinaciones de las especies en estudio	133
Cuadro 4.7. Valor de la remoción en cada parámetro por especie	134
Cuadro 4.8. Porcentajes de remoción en los cuatro tratamientos	136
Cuadro 4.9. Calificación de la remoción por especie en cada parámetro analizado.....	142
Cuadro 4.10 Comparación con los límites de permisibilidad por tratamiento	143
Cuadro 4.11. Comparación del porcentaje de remoción entre el cultivo <i>Lemna gibba</i> y <i>Eichhornia crassipes</i> en el sistema dos.....	145
Cuadro 4.12. Comparación de la descarga del sistema dos al río Pitzambiche	146



ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1. Esquema de un sistema de flujo subsuperficial	15
Fig. 2.2. Principales plantas acuáticas	19
Fig. 3.1. Esquema de metodología de investigación.....	52
Fig. 3.2. Esquema del sistema de tratamiento uno de la comunidad Turucu.....	54
Fig. 3.3. Esquema del sistema de tratamiento dos Turucu.....	55
Fig. 3.4. Esquema de cinco puntos de muestreo	68
Fig. 3.5. Esquema de dos puntos de muestreo Jacinto (época seca) y Asociación	68
Fig. 4.1. Comportamiento del caudal sistema uno.....	87
Fig. 4.2. Comportamiento del caudal sistema dos	89
Fig. 4.3. Crecimiento de <i>Eichhornia crassipes</i>	92
Fig. 4.4. Comportamiento de pH y temperatura, en <i>Eichhornia crassipes</i>	95
Fig. 4.5. Comportamiento en la remoción de s. totales y conductividad	96
Fig. 4.6. Remoción de s. suspendidos y s. sedimentables.....	97
Fig. 4.7. Remoción de DBO y DQO	97
Fig. 4.8. Remoción de N. amoniacal y NTK	98
Fig. 4.9. Remoción de nitritos y nitratos.....	99
Fig. 4.10. Remoción de fósforo total y fosfatos.....	100
Fig. 4.11. Remoción de coliformes totales y <i>Escherichia coli</i>	101
Fig. 4.12. Comportamiento en el desarrollo de <i>Azolla filiculoides</i>	102
Fig. 4.13. Crecimiento de <i>Eichhornia crassipes</i> en estanque uno	107
Fig. 4.14. Crecimiento de <i>Eichhornia crassipes</i> en estanque dos	108
Fig. 4.15. Crecimiento de <i>Eichhornia crassipes</i> en estanque tres	109
Fig. 4.16. Crecimiento de <i>Eichhornia crassipes</i> en estanque cuatro	109
Fig. 4.17 (a). Comportamiento de la temperatura por especie.....	114
Fig. 4.17 (b). Límites de permisibilidad de temperatura	114
Fig. 4.18. (a). Comportamiento de pH por especie.....	115
Fig. 4.18. (b). Límites de permisibilidad de pH	115
Fig. 4.19 (a). Comportamiento de conductividad por especie	117
Fig. 4.19 (b). Límites de permisibilidad de conductividad.....	117
Fig. 4.20 (a). Comportamiento de sólidos disueltos totales por especie.....	118
Fig. 4.20 (b). Límites de permisibilidad de sólidos disueltos totales.....	118
Fig. 4.21 (a). Comportamiento de sólidos suspendidos por especie.....	119
Fig. 4.21 (b). Límites de permisibilidad de sólidos suspendidos.....	119
Fig. 4.22 (a). Comportamiento de sólidos sedimentables por especie.....	121
Fig. 4.22 (b). Límites de permisibilidad de sólidos sedimentables	121
Fig. 4.23 (a). Comportamiento de remoción de DQO	122
Fig. 4.23 (b). Límites de permisibilidad de DQO.....	122
Fig. 4.24 (a). Comportamiento de remoción de DBO ₅ , por especie	123
Fig. 4.24 (b). Límites de permisibilidad de DBO ₅	123
Fig. 4.25. Comportamiento de remoción de nitratos por especie	125
Fig. 4.26. Comportamiento de remoción de nitritos por especie	125
Fig. 4.27. Límites de permisibilidad para nitritos más nitratos	126
Fig. 4.28. Comportamiento en la remoción de N. amoniacal	127
Fig. 4.29 (a). Comportamiento de remoción de NTK, por especie.....	128
Fig. 4.29 (b). Límites de permisibilidad de NTK.....	128
Fig. 4.30 (a). Comportamiento de remoción de fósforo total, por especie	129
Fig. 4.30 (b). Límites de permisibilidad de fósforo total.....	129
Fig. 4.31. Comportamiento en remoción de fosfatos, por especie.....	130



Fig. 4.32 (a). Comportamiento de las especies en la remoción de c. totales	131
Fig. 4.33 (a). Remoción de <i>E. coli</i> por especie.....	131
Fig. 4.32 (b). Permisibilidad coliformes totales	132
Fig. 4.33 (b). Permisibilidad <i>Escherichia coli</i>	132
Fig. 4.34. Remoción en porcentaje de los parámetros pH y temperatura	136
Fig. 4.35. Remoción porcentual de los parámetros conductividad y sólidos totales	136
Fig. 4.36. Remoción porcentual de sólidos suspendidos y sólidos sedimentables	138
Fig. 4.37. Remoción porcentual DQO y DBO.....	138
Fig. 4.38. Remoción porcentual nitratos, nitritos y N. amoniacal	139
Fig. 4.39. Remoción porcentual N. total; F. total y fosfatos.....	139
Fig. 4.40. Remoción porcentual <i>Escherichia coli</i> y coliformes.....	140
Fig. 4.41. Temperatura y pH en sistemas unifamiliares	148
Fig. 4.42. Conductividad y sólidos disueltos totales en sistemas unifamiliares	148
Fig. 4.43. Sólidos suspendidos en sistemas unifamiliares	150
Fig. 4.44. Sólidos sedimentables en sistemas unifamiliares	150
Fig. 4.45. DBO Y DQO en sistemas unifamiliares.....	151
Fig. 4.46. N-nitratos y N-amoniaco en sistemas unifamiliares	151
Fig. 4.47. N-nitritos en sistemas unifamiliares	152
Fig. 4.48. Nitrógeno total Kjeldahl en sistemas unifamiliares.....	152
Fig. 4.49. Fósforo total y fosfatos en sistemas unifamiliares.....	153
Fig. 4.50. Coliformes totales y <i>Escherichia coli</i> en sistemas unifamiliares	154
Fig. 4.51. Permisibilidad en pH, sistemas unifamiliares.....	155
Fig. 4.52. Permisibilidad de conductividad, sistemas unifamiliares	155
Fig. 4.53. Permisibilidad en s. totales, sistemas unifamiliares	156
Fig. 4.54. Permisibilidad en s. suspendidos, sistemas unifamiliares	156
Fig. 4.55. Permisibilidad s. sedimentables sistemas unifamiliares	157
Fig. 4.56. Permisibilidad en DQO, sistemas unifamiliares.....	157
Fig. 4.57. Permisibilidad en DBO, sistemas unifamiliares	158
Fig. 4.58. Permisibilidad en N-nitratos y N-nitritos, sistemas unifamiliares.....	158
Fig. 4.59. Permisibilidad en el parámetro NTK, sistemas unifamiliares	159
Fig. 4.60. Permisibilidad de Fósforo total, sistemas unifamiliares	159
Fig. 4.61. Permisibilidad en coliformes totales, sistemas unifamiliares	160
Fig. 4.62. Permisibilidad en <i>Escherichia coli</i> , sistemas unifamiliares	160



ÍNDICE DE FOTOS

Foto. 2.1. (a),(b) <i>Eichhornia crassipes</i>	22
Foto. 2.2. (a),(b) <i>Azolla filiculoides</i>	23
Foto.2.3. <i>Lemna gibba</i>	25
Foto.2.4. <i>Lemna sp</i>	25
Foto 3.1. Sistema uno	54
Foto 3.2. Sistema dos.....	54
Foto 3.3. Río Pitzambiche	54
Foto 3.4. Medición de caudales	56
Foto 3.5 Fases de construcción de tanque de lodos sistema uno. a) Cimentación del tanque, b) Elaboración del filtro.	58
Foto 3.6. Tanque de lodos sistemas dos	59
Foto 3.7. Participación comunitaria en las mingas de limpieza. a) Sistema uno, b) Sistemas dos	60
Foto 3.8. Retiro de lodos de las estanques.....	61
Foto 3.9. Cosecha de jacinto.....	62
Foto 3.10. Siembra sistema uno.....	62
Foto 3.11. Estudio fisiológico de <i>Eichhornia crassipes</i> . a) Selección de los individuos, b) Etiquetados, c) Medición de altura y ancho, y d) Medición de peso	63
Foto 3.12. Crecimiento y rendimiento de <i>E. crassipes</i> . a) Siembra en cuadrantes b) Incremento de la cobertura	64
Foto 3.13. Cosecha de azolla	65
Foto 3.14. Biomasa cosechada	65
Foto 3.15. Cultivo de <i>Lemna gibba</i>	66
Foto 3.16. Cultivo en asociación sistema uno	66
Foto 3.17. Mediciones “in situ”	68
Foto 3.18. Análisis en laboratorio	68
Foto 3.19. Taller en la comunidad de Itaquí.....	70
Foto 3.20. Construcción de sistemas unifamiliares	71
Foto 3.21. Siembra en sistemas	80
Foto 3.22. Toma de muestras unifamiliares	80



ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I (Mapas)

1. Mapa de ubicación espacial del área de estudio
2. Mapa base de sitios de investigación
3. Mapa de zonas de vida de sitios de investigación
4. Mapa de uso del suelo de sitios de investigación
5. Mapa de ubicación de sistemas de tratamiento
6. Mapa de concentración del parámetro temperatura en sistemas unifamiliares
7. Mapa de concentración del parámetro pH en sistemas unifamiliares
8. Mapa de concentración del parámetro conductividad en sistemas unifamiliares
9. Mapa de concentración del parámetro sólidos totales en sistemas unifamiliares
10. Mapa de concentración del parámetro sólidos suspendidos en sistemas unifamiliares
11. Mapa de concentración del parámetro sólidos sedimentables en sistemas unifamiliares
12. Mapa de concentración del parámetro DQO en sistemas unifamiliares
13. Mapa de concentración del parámetro DBO en sistemas unifamiliares
14. Mapa de concentración del parámetro nitritos+nitratos en sistemas unifamiliares
15. Mapa de concentración del parámetro nitrógeno amoniacal en sistemas unifamiliares
16. Mapa de concentración del parámetro fósforo total en sistemas unifamiliares
17. Mapa de concentración del parámetro fosfatos en sistemas unifamiliares
18. Mapa de concentración del parámetro coliformes totales en sistemas unifamiliares
19. Mapa de concentración del parámetro *Escherichia coli* en sistemas unifamiliares

ANEXO II (Tablas)

Tabla 1. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce (Norma Tulas)

Tabla 2. Parámetros de los niveles guía de la calidad del agua para riego (Norma Tulas)

ANEXO III (Cuadros)

Cuadro 1. Costo de construcción de tanque de lodos sistema uno

Cuadro 2. Costo de construcción de tanque de lodos sistema dos

Cuadro 3. Mediciones del caudal del sistema uno de la comunidad de Turucu

Cuadro 4. Mediciones del caudal del sistema dos de la comunidad de Turucu

Cuadro 5. Registro del crecimiento en *Eichhornia crassipes* por estanques en el sistema uno

Cuadro 6. Promedios por estanque en el tratamiento con *Eichhornia crassipes* (época lluviosa)

Cuadro 7. Promedios por estanque en el tratamiento con *Azolla filiculoides*

Cuadro 8. Promedios por estanque en el tratamiento *Lemna gibba*

Cuadro 9. Promedios en el tratamiento asociación (*Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* y *Azolla filiculoides*)

Cuadro 10. Comportamiento de *Eichhornia crassipes* versus *Lemna gibba* en el sistema dos

Cuadro 11. Promedios del tratamiento *Eichhornia crassipes* (época seca)

Cuadro 12. Promedios de *Eichhornia crassipes* en el sistema de la comunidad de Guitarra Ucu

Cuadro 13. Promedios de *Eichhornia crassipes* en el sistema de la comunidad de Iltaquí



Cuadro 14. Promedios de *Eichhornia crassipes* en el sistema de la comunidad de El Cercado

ANEXO IV (Figuras)

Figura 1. Corte A-A del diseño del tanque de lodos

Figura 2. Diseño en planta del sistema de tratamiento para aguas residuales domésticas unifamiliares

Figura 3. Corte en A-A' de los tres estanques y el sedimentador en el sistema

Figura 4. Medidas del tanque sedimentador

Figura 5. Detalle de dimensiones un estanque en corte A-A'

ANEXO V (Fotos)

Foto 1. Toma de muestras diagnóstico sistema uno

Foto 2. Mángas de Limpiezas sistema dos

Foto 3. Remoción de lodos sistema dos

Foto 4. Estanques después de la remoción de lodos sistema uno

Foto 5. Muestreo de lodos

Foto 6. Cultivo de *E. crassipes* sistema uno

Foto 7. Adaptación de *A. filiculoides* sistema uno

Foto 8. Presencia de ganado en sistemas

Foto 9. *Azolla filiculoides* en sistema dos

Foto 10. Adaptación de *E. crassipes* sistema dos

Foto 11. Biomasa seca de *E. crassipes*

Foto 12. Bulbos e hijuelos de jacinto de agua

Foto 13. *E. crassipes* asociado con *Lemna gibba*

Foto 14. *E. crassipes* asociado con *Azolla*

Foto 15. Incremento peso y cobertura

Foto 16. Formación de sólidos sistema uno

Foto 17. Visita a los sistemas de San Pablo

Foto 18. Sistema Unifamiliar en Guitarra Ucu

Foto 19. Sistema Unifamiliar en Iltaquí

Foto 20. Sistema Unifamiliar en El Cercado

Foto 21. Sistema tres de Turucu

Foto 22. Formación de algas por falta de cobertura

Foto 23. Sistema cuarto de Turucu construido en el 2007

Foto 24. Siembra de *Azolla filiculoides*

Foto 25. Sistema de comunidad la Calera construido en el 2007

ANEXO VI (Documentos)

1. Informe de limpieza de sistemas de tratamiento de la comunidad de Turucu, presentado en el Municipio de Cotacachi.
2. Encuesta para la selección de familias en la construcción de sistemas unifamiliares.

ANEXO VII

Glosario

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La pérdida constante de recursos naturales es uno de los mayores problemas que enfrenta el planeta en la actualidad, entre los más importantes para mantener la vida se encuentra el agua. Sin embargo con el crecimiento poblacional y la demanda diaria de este recurso, su contaminación ha incrementado de forma acelerada y la calidad ha disminuido a tal límite, que cada vez para más personas se vuelve difícil el acceso a este recurso en grandes cantidades y en buenas condiciones para el consumo humano.

Entre las alternativas que hoy se aplican en todas los países para solucionar este problema, se encuentra el tratamiento de aguas residuales, a grandes y pequeños niveles. En comunidades o pueblos de los países en desarrollo, especialmente en Latinoamérica, la contaminación de las fuentes de agua natural es causada por el vertido de aguas residuales domésticas. Y según Sánchez (2001), el tratamiento de estas aguas se constituyen en un reto, debido a que alrededor del 80% de las aguas residuales son dispuestas sin tratamiento en el ambiente o usadas para fines agrícolas, constituyéndose en un problema sanitario de envergadura en muchas localidades. Y en una oportunidad porque estas aguas representan un recurso valioso desde el punto de vista económico y ecológico.

Este trabajo surgió de la necesidad que el recurso agua amerita, en el Cantón Cotacachi, luego del análisis del proyecto Manejo de Recursos Naturales de la Micro Cuenca del río Pitzambiche (2003), donde se menciona el serio problema



que atraviesa el agua de los ríos debido al vertido de aguas residuales domésticas generadas por las comunidades por donde estos atraviesan.

Las comunidades tienen tendencia y conciencia para cuidar el recurso agua, siendo necesario aprovechar estos puntos a favor para involucrar a todos los actores, optimizando recursos humanos y económicos, a través del planteamiento de propuestas que aseguren la calidad y cantidad de agua en buenas condiciones para ser vertidas en fuentes de agua natural en comunidades rurales, agua que siempre termina siendo utilizada ya sea para regadío de huertos, bebedero de animales, y en algunos casos hasta para consumo humano.

UNORCAC y UCODEP ONGs que trabajan mancomunadamente en el cantón Cotacachi llevan adelante un proceso innovador de mejoramiento de la calidad de estas aguas, donde una de las propuestas apoyadas de forma incondicional por estas instituciones, es el tratamiento y mejoramiento de las aguas residuales domésticas. Proceso que se ha iniciado en el año 2004 con la implementación de dos sistemas de tratamiento comunitarios en la comunidad de Turucu, en los cuales inicialmente se manejaba la especie *Lemna gibba* para tratar aguas residuales provenientes de 36 familias.

Este documento pone en consideración el análisis diagnóstico de los dos sistemas determinando su funcionamiento y verificando la concentración de contaminantes con que se evacúan las aguas tratadas hacia el río Pitzambiche. A través de la aplicación de nuevas especies de plantas acuáticas flotantes, se dispuso mejorar el tratamiento que al inicio se daba aplicando *Lemna gibba*. Se han construido tres sistemas de tratamiento piloto a nivel unifamiliar en las comunidades rurales de Iltaquí, Guitarra Ucu y El Cercado.

La meta de este estudio es determinar la eficiencia de las especies, *Eichhornia crassipes*, *Azolla filiculoides*, y *Lemna gibba* aplicadas en asociación o en monocultivos en sistemas comunitarios y unifamiliares, en el proceso de remoción de contaminantes en aguas residuales domésticas.



Esta investigación pone a disposición información sobre el comportamiento fisiológico de *Eichhornia crassipes*, *Azolla filiculoides* y *Lemna gibba*, durante el tratamiento de las aguas residuales domésticas a nivel comunitario y unifamiliar. A la vez se cataloga como el primer estudio en la zona norte del Ecuador que aplica sistemas unifamiliares en áreas rurales.



1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la eficiencia *Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* y *Azolla filiculoides* en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas en sistemas comunitarios y unifamiliares del cantón Cotacachi

1.2.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar el funcionamiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas de la comunidad de Turucu, del cantón Cotacachi.
- ✓ Analizar la capacidad de depuración de las especies *Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* y *Azolla filiculoides*, en uno de los el sistema de tratamiento de Turucu.
- ✓ Probar un cuarto tratamiento utilizando una asociación de *Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* y *Azolla filiculoides*; en el tratamiento de las aguas residuales domésticas.
- ✓ Aplicar y evaluar el tratamiento de aguas residuales domésticas con plantas acuáticas a nivel unifamiliar, en tres comunidades rurales del cantón Cotacachi.



1.3. Preguntas directrices

- ✓ ¿La aplicación de las especies *Eichhornia crassipes*, *Azolla filiculoides*, y *Lemna gibba* en monocultivos y en asociación, no presentan diferencias en la remoción de contaminantes durante el tratamiento de las aguas residuales domésticas a nivel de sistemas comunitarios?

- ✓ ¿La aplicación de la especie *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de las aguas residuales domésticas, no presenta diferencias en la remoción de contaminantes, a nivel de sistemas unifamiliares construidos en diferentes sitios?

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

Este capítulo pone en consideración los fundamentos científicos necesarios empleados como base para el desarrollo de este estudio, los mismos que han sido extraídos de libros, investigaciones afines, revistas científicas y publicaciones en Internet. De tal manera que aquellos lectores e investigadores interesados tengan una percepción clara de los términos que se manejaron como íconos en el proceso investigativo.

2.1. Enfoque Situacional en Latinoamérica

Según Reynolds (2002) en Latinoamérica muchas corrientes son receptoras de descargas directas de residuos domésticos. La mayor parte de las aguas negras no han recibido tratamiento. Aun las grandes ciudades se encuentran a menudo altamente contaminadas y carecen de infraestructura de saneamiento para tratar los residuos peligrosos.

Como promedio, solamente 10% de las aguas de alcantarillado recolectadas en Latinoamérica son sujetas a cualquier tipo de tratamiento. De acuerdo al Banco Mundial (2005), menos del 5% de las aguas de alcantarillado de las ciudades en Latinoamérica reciben tratamiento. Con la ausencia de tratamiento, las aguas negras son por lo general vertidas en aguas superficiales, creando un riesgo obvio para la salud humana, la ecología y los animales.



Para Ecuador la situación no es diferente, según la Organización Mundial de la Salud (1995) en este país menos del 5% de las aguas residuales reciben algún tipo de tratamiento, provocando que el 65% de las aguas en las microcuencas de la región Sierra ecuatoriana actualmente se encuentren contaminadas.

Para mejorar las condiciones de salud y saneamiento en los países en vías de desarrollo, se necesitan sistemas de tratamiento eficientes para el manejo de agua potable y aguas residuales. En aquellas áreas donde no es factible construir plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales, podrían emplearse muchas otras opciones naturales de tratamiento.

En Ecuador se construyó la primera planta de tratamiento en el año 1999 en la ciudad de Cuenca con la finalidad de descontaminar y recuperar las aguas de los ríos Yanuncay y Tomebamba que atraviesan la zona central de la ciudad (Barros y Carrasco, 2000). En el año 2001 ha iniciado la construcción de sistemas de tratamiento en el sector Norte del Ecuador, esencialmente en los cantones de Otavalo y Cotacachi en la provincia de Imbabura, en los cuales la prioridad es la descontaminación de agua residual doméstica empleando plantas acuáticas flotantes, como *Lemna sp*, para mejorar los vertidos hacia las fuentes agua dulce natural como el lago San Pablo en Otavalo y los ríos Pitzambiche y Ambi en Cotacachi.

Para Kelly *et al.* (2004) la idea fundamental del tratamiento de aguas residuales a través de sistemas, es aprovechar las aguas captadas localmente, tratar el agua residual in situ, por medio de pequeños sistemas, y reutilizar los subproductos obtenidos (agua, biomasa vegetal, nutrientes, etc.).

Esto representa una oportunidad para poner en práctica estrategias de desarrollo territorial integrado y armonioso con los objetivos sociales, económicos y medioambientales, promoviendo la conservación y la valorización de los potenciales culturales y medioambientales. Para Reynolds (2002) el manejo



efectivo de aguas residuales debe dar como resultado un efluente ya sea reciclado o reusable, o uno que pueda ser descargado de manera segura al ambiente.

2.2. Fases de saneamiento de aguas residuales domésticas

De acuerdo a la APA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. 1997), los procesos que comprenden el de tratamiento de las aguas residuales encierran las siguientes fases.

2.2.1. Recolección de las aguas residuales

En zonas donde el incremento poblacional es constante y donde las condiciones topográficas lo permiten, este proceso se realiza a través de sistemas de alcantarillado.

2.2.2. Pre tratamiento de las aguas residuales

Consiste en retirar los sólidos de grandes tamaños, y en la mayoría de casos se realiza en estanques desarenadores, la finalidad es hacer más favorable el proceso de tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas (APPA, 1997).

2.2.3. Tratamiento de las aguas residuales

El objetivo del tratamiento de las aguas residuales es remover sólidos, grasas y aceites y otros materiales flotantes o sedimentables para que el agua residual pueda ser tratada eficientemente y reutilizada o vertida sin ningún riesgo. En el pasado, el objetivo del tratamiento era la remoción de parámetros como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos y patógenos hoy la finalidad es y la reutilización de los efluentes (APPA, 1997).



2.2.4. Reutilización o vertimiento

A medida que el nivel de tratamiento aumenta, la potencialidad de un uso benéfico para las aguas tratadas también aumenta. La reutilización de los efluentes tratados requiere que los criterios de calidad del agua tratada sean cada vez más exigentes. En los sistemas de manejo de aguas residuales de zonas rurales, las formas más posibles de reutilización serán:

- ✓ El riego agrícola y,
- ✓ El riego de campos.
- ✓ En zonas húmedas, los tratamientos en el suelo y,
- ✓ La recarga de acuíferos serán más usuales.

2.3. Aguas residuales

Miranda (2006) define al agua residual o agua servida como "una combinación de los líquidos y residuos arrastrados por el agua proveniente de casas, edificios comerciales, fábricas e instituciones combinada con cualquier agua subterránea, superficial o pluvial que pueda estar presente".

2.3.1. Clasificación de las aguas residuales

De acuerdo a Rodier (1998) las clases de aguas residuales según las principales fuentes de contaminación, se pueden clasificar de la siguiente forma.

2.3.1.1. Aguas blancas o de lluvia

Son aguas procedentes de drenajes o de escorrentía superficial, caracterizándose por grandes aportaciones intermitentes y escasa contaminación.



2.3.1.2. Aguas de origen doméstico

Se caracterizan estos vertidos por la incorporación de productos orgánicos, inorgánicos y microorganismos. Entre los productos orgánicos pueden señalarse residuos de origen vegetal, origen animal, deyecciones humanas, grasas, etc. Al sufrir procesos de fermentación huelen a ácido sulfhídrico, pasando su color a gris negruzco.

Las deyecciones humanas pueden considerarse con un contenido de 30% de N, 3% de ácido fosfórico (PO_4H_3) y 6% K_2 . El vertido de orina por habitante puede estimarse de 1,2 a 2,4 litros por día, constituyendo la urea el 50% de dicha cantidad. Los productos inorgánicos consisten en productos disueltos (sales) y elementos inertes como residuos de materiales, tierras, arena, papel, etc. (Hernández, 1997).

2.3.1.3. Aguas de origen industrial

Con independencia del posible contenido de sustancias similares a los vertidos de origen doméstico, pueden aparecer elementos propios de cada actividad industrial, entre los que puede citarse: Tóxicos, iones metálicos, productos químicos, hidrocarburos, detergentes, pesticidas, productos radioactivos, etc. (Hernández, 1997).

2.3.1.4. Aguas de origen agrícola

Sustancias de actividades agrícolas y ganaderas (pesticidas y herbicidas, residuos varios, estiércol, etc.). Para Hernández (1997) estos residuos perjudican sensiblemente a las características del agua del curso receptor. Otras sustancias son los fertilizantes, que antes eran de origen orgánico, y hoy han sido sustituidos por abonos de origen inorgánicos, tales como sulfatos, nitratos, fosfatos, etc.



2.3.2. Constituyentes del agua residual

Los constituyentes encontrados en las aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos (Cuadro 2.1). De los constituyentes del agua residual, los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos biodegradables y los organismos patógenos son de mayor importancia, y por ello la mayoría de instalaciones de manejo de aguas residuales deben ser diseñadas para su remoción. Antes de considerar las características físicas, químicas y biológicas del agua residual, es conveniente tratar brevemente los procedimientos analíticos usados para la caracterización de las aguas residuales.

Cuadro 2.1. Constituyentes de las aguas residuales

PRUEBA	ABREVIATURA	USO O SIGNIFICADOS DEL RESULTADO
Sólidos totales	ST	Determinar la clase de proceso u operación más apropiada para su tratamiento
Sólidos suspendidos	SST	
Sólidos disueltos	SDT (ST-SST)	Estimar la reutilización potencial del agua residual
Turbiedad	UNT	Evaluar la calidad del agua residual tratada
Olor	NUO	Determinar si el olor puede ser un problema
Temperatura	°C o °F	Importante en el diseño y operación de instalaciones de tratamiento con procesos biológicos
Conductividad	CE	Estimar si el efluente tratado es apto para su uso agrícola
Amonio libre	NH ₄ ⁺	Usado como medida de nutrientes y para establecer el grado de descomposición del agua residual
Nitrógeno total Kjeldahl	NTK (Norg+NH ₄ ⁺)	
Nitritos	NO ₃ ⁻	
Nitratos	NO ₂ ⁻	
Fósforo total	FT	
pH	pH= log1[H ⁺]	Medida de la acidez o basicidad de una solución acuosa
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	Estimar la formación potencial de olores y tratamiento apropiado de lodos residuales
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO ₅	Medida de la cantidad de oxígeno para estabilizar biológicamente un residuo
Demanda química de oxígeno	DQO	Usada frecuentemente como sustituto de la prueba de DBO
Organismos coliformes	NMP (número más probable)	Estimar la presencia de bacterias patógenos y la eficiencia del proceso de desinfección
Microorganismos específicos	Bacterias, protozoos, helmintos y virus	Estimar la presencia de organismos específicos en conexión con la operación de la planta de tratamiento y la reutilización del agua

Fuente: Rodier 1998



2.3.3. Compuestos orgánicos agregados en el agua residual

La materia orgánica en aguas residuales se constituye básicamente de proteínas (40% al 60%), carbohidratos (25% al 50%), grasas y aceites (8% al 12%). La urea, el mayor constituyente de la orina, es otro componente orgánico importante que hace parte de las aguas residuales frescas. Dada su rápida descomposición no es usual encontrarla en otro tipo de aguas. Además de estos compuestos, las aguas residuales contienen pequeñas cantidades de un gran número de moléculas orgánicas sintéticas, con estructuras que van desde las más simples hasta las extremadamente complejas. Cuando se descargan directamente a un cuerpo de agua ocasionan efectos negativos en los ecosistemas acuáticos y en los usos posteriores que se les de a futuro. Un cuerpo de agua contaminado disminuye el valor de su uso como agua para bebida o para fines agrícolas, afecta la vida acuática y los peces mueren por disminución del oxígeno disuelto.

2.4. Tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales domésticas

Según el ICUV¹ (2005), la selección tecnológica para los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas facilita el proceso en la toma de decisiones a la hora de implementar un sistema de tratamiento de este tipo de aguas. (Cuadro 2.2).

Cuadro 2.2. Factores y variables considerados para la selección de tratamientos de aguas residuales domésticas

FACTOR	VARIABLES
Factores demográficos y socioculturales	Tamaño de la población Nivel educativo Cobertura y cantidad de agua potable Existencia y tipo de alcantarillado
Características del agua residual	Origen del agua residual Composición del agua residual Caudal del agua residual

¹ICUV, Instituto Cinara de la Universidad del Valle, Cali Colombia



Cuadro 2.2. Factores y variables considerados para la selección de tratamientos de aguas residuales domésticas (continuación)

FACTOR	VARIABLES
Factores climáticos	Temperatura Precipitación Viento
Capacidad y disponibilidad a pagar	Capacidad de pago Tarifa Disponibilidad a pagar
Costos	Costos de inversión Costos de M & O Costos del terreno Recuperación de recursos
Objetivos de Tratamiento	Expectativas de calidad del efluente Nivel de tratamiento Descarga del efluente Stándares de uso en la agricultura Stándares de calidad del efluente
Disponibilidad de recursos	Recursos locales Requerimiento y disponibilidad de insumos químicos Requerimiento de energía Disponibilidad de mano de obra (local diseño & construcción) Necesidad de equipos mecánicos Disponibilidad local de materiales para la construcción
Aspectos Tecnológicos	Impacto ambiental del sistema de tratamiento Disponibilidad del terreno Generación de subproductos con potencial de aprovechamiento Eficiencia de tecnología Facilidad de O & M Datos de calidad mínima deseada para el efluente tratado

Fuente: Adaptado del ICUV, 2005

2.4.1. Conclusiones para la selección de tecnologías

Se han logrado identificar ocho factores básicos que influyen en el proceso de selección de la tecnología para la construcción de sistemas de tratamiento aguas residuales domésticas. Los cuales son demográficos y socioculturales, características del agua residual, climáticas, características del terreno, objetivos del tratamiento, aspectos tecnológicos, disponibilidad de recursos, costos,



capacidad y disponibilidad a pagar. ICUV (Instituto Científico de Universidad del Valle, CO. 2005).

Según ICUV 2005, los tres criterios claves en la selección de tecnologías de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas naturales, son la disponibilidad del terreno, características del terreno y las condiciones climáticas, estos marcan la diferencia entre las alternativas de tratamiento. La disponibilidad de áreas es una variable limitante en la selección de tecnologías de tratamientos naturales, ya que determinan la factibilidad de implementación de un sistema.

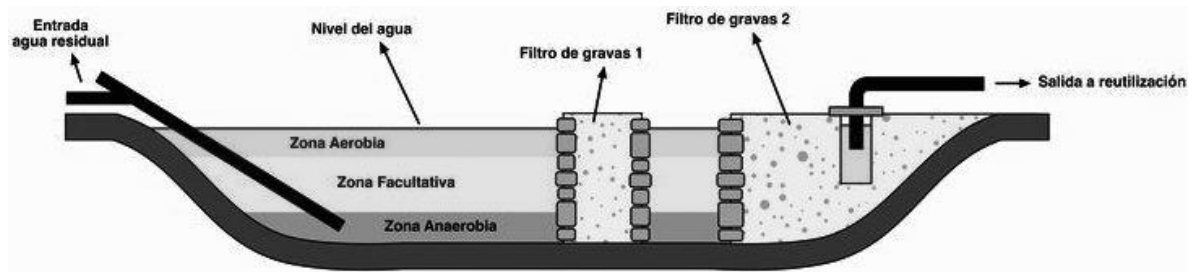
La selección de un sistema de tratamiento con enfoque tecnológico se ha logrado desarrollar tomando en cuenta diez fases como son, infraestructura del acueducto y alcantarillado, área requerida por el tipo de sistema a implantarse, características del agua residual y nivel de tratamiento, disponibilidad de recursos para construcción operación y mantenimiento, factibilidad de reuso, costos y capacidad, disponibilidad de pago y estándares de vertimiento.

2.5. Sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas

Los sistemas de depuración de bajo coste energético pueden ser una alternativa de tratamiento de las aguas residuales domésticas en entornos rurales al basarse en reproducir, en espacios limitados, los procesos de depuración que se dan en la naturaleza, necesitando pocos o nulos aportes energéticos externos. Además, los residuos que generan los procesos de depuración, así como el mantenimiento que requieren, son mínimos. Lo que representa una oportunidad para poner en práctica estrategias de desarrollo territorial integrado y armonioso con los objetivos sociales, económicos y medioambientales, promoviendo la conservación y la valorización de los potenciales culturales.

Entre los sistemas naturales de tratamiento de las aguas residuales que pueden generar productos aplicables directamente en el entorno rural, cabe destacar los filtros verdes, filtros de turba, los humedales artificiales, las lagunas facultativas y

de maduración o la combinación de diferentes métodos. (Fig. 2.1). Normalmente todos estos sistemas requieren un pretratamiento del agua residual a través de fosas sépticas o tanques Imhoff (APA 1997a).



Fuente: Instituto Tecnológico de Canarias, ITC, S.A; Gestión sostenible del agua residual en los entornos rurales.

Fig. 2.1. Esquema de un sistema de flujo subsuperficial

2.5.1. Tipos de sistemas de tratamiento biológico

Se basan en la creación de un flujo controlado de agua residual, en el que la actividad microbiológica y plantas emergentes actúan asociadas, en el proceso de depuración de las aguas disminuyendo los contaminantes.

Incluyen tres tipos:

- ✓ Lagunajes
- ✓ Humedales
- ✓ Cultivos acuáticos

2.5.1.1. Lagunajes

Se puede aplicar a núcleos de población superiores a los 200 habitantes, siempre que se disponga de una superficie de terreno de al menos $6.5 \text{ m}^2/\text{hab}$. Este tipo de tratamiento denominado también lagunas de estabilización, o de oxidación, tratan las aguas residuales crudas mediante la interacción de la luz solar, viento y algas, con o sin la ayuda de un equipo de aeración mecánica.



En función de los tipos de microorganismos, que dependen, a su vez, de la presencia de oxígeno disuelto, las lagunas se clasifican en:

- ✓ Aerobias, (el tratamiento se da a través de procesos naturales)
- ✓ Aireadas (se adiciona oxígeno para mejorar el tratamiento).
- ✓ Facultativas, la biodegradación ocurre por la combinación de microorganismos aerobios y anaerobios en el fondo de las lagunas y un gran número de microorganismos facultativos que se desarrollan bajo condiciones aerobias y anaerobias.

De acuerdo a la APA (1997^a) otros tipos de lagunas pueden ser:

- ✓ Lagunas de confinamiento total, donde las aguas residuales se evaporan (solo para clima secos).
- ✓ Lagunas hidrográficas de descarga controlada, donde las aguas residuales se descargan solo durante períodos de caudal alto.
- ✓ Lagunas de acuicultura, usadas para cultivar peces o plantas (especialmente jacintos de agua).
- ✓ Lagunas de pulimento, para el tratamiento terciario de aguas residuales a través de otros métodos biológicos.

2.5.1.2. Humedales o wetlands

La utilización de plantas acuáticas, ha sido desarrollado como un tratamiento secundario o terciario alternativo de aguas residuales y ha demostrado ser eficiente en la remoción de una amplia gama de sustancias, orgánicas así como nutrientes y metales pesados (Novotny y Olem citado por Celis *et al.* 1994). Dependiendo del tipo de terrenos a emplear los humedales se pueden clasificar en:



Humedales naturales

Son formaciones naturales en las que el ser humano vierte las aguas residuales con la finalidad de dar un tratamiento a estos desechos. Interactuando en la depuración especies propias del ecosistema, y como resultado final se obtiene el mejoramiento de la calidad de las aguas.

Humedales artificiales

Los humedales son zonas que se inundan con agua hasta 0,6 m para facilitar la vida de plantas emergentes con raíces fijadas al suelo, como cañas y carrizos. Los humedales construidos ofrecen todas las capacidades de tratamiento de los humedales naturales.

Usualmente, es necesario implementar sistemas de pretratamiento para el funcionamiento adecuado de los humedales construidos. El tratamiento ocurre con el paso lento del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación acuática y ésta proporciona la superficie necesaria para el desarrollo de capas de bacterias que filtran y adsorben los elementos presentes en el agua residual, transfieren oxígeno a la columna de agua y controlan el crecimiento de algas al impedir el paso de la luz solar.

Sistemas de plantas acuáticas flotantes

Los cultivos acuáticos o sistemas de plantas acuáticas flotantes son una variación de los humedales artificiales en el que el agua está en contacto con la atmósfera y constituye la fuente principal de oxígeno para aireación; en la que se introduce un cultivo de plantas flotantes, como *Eichhornia sp* o *Lemna sp*, cuya finalidad es la eliminación de determinados componentes de las aguas a través de sus raíces que constituyen un buen sustrato responsable del tratamiento. Aunque una de las desventajas que presenta este tipo de sistemas es la proliferación de larvas de insectos.



Para mejorar el tratamiento y asegurar el mantenimiento de las condiciones aerobias necesarias para el control biológico de los mosquitos, en los sistemas de plantas acuáticas flotantes se han empleado sistemas complementarios de aireación.

Según Metcalf y Eddy, citado por Celis *et al.* (1995) los sistemas que emplean plantas acuáticas como *Eichhornia crassipes* de agua están diseñados para proporcionar niveles de tratamientos secundarios avanzados. Estos sistemas han sido utilizados como medios de producción de proteínas por las grandes cantidades de biomasa que se generan.

2.6. Clases de plantas acuáticas

Las plantas acuáticas son aquellas que requieren una gran cantidad de agua en sus raíces para vivir, crecen en medios muy húmedos y completamente inundados Caicedo (1995), básicamente tienen los mismos requerimientos nutricionales de las plantas terrestres. Se pueden clasificar en flotantes, sumergidas y emergentes, (Fig. 2.2).

2.6.1. Flotantes

Son aquellas que tienen sus partes sintetizadoras sobre la superficie y sus raíces se extienden hacia debajo de la columna de agua. Las raíces no solo sirven para extraer nutrientes de agua sino además sirven de sustrato para bacterias y como sistema de adsorción de sólidos suspendidos. Impiden la penetración de luz evitando que crezcan algas en la profundidad. Entre las plantas flotantes podemos encontrar a jacinto acuático (*Eichhornia crassipes*); helechos de agua (*Salvinia sp* y *Azolla sp*), lechuga de agua (*Pistia sp*) y lentejas (*Lemna sp*; *Wolffia sp*, *Wolffiella sp*).

2.6.2. Sumergidas

Son aquellas que no flotan en la superficie y sus raíces están sueltas dentro del agua o arraigadas en el fondo. Sirven generalmente para oxigenar el agua y nunca se las encuentra en sitios donde existen plantas flotantes, pues estas impiden el ingreso de luz y las plantas sumergidas dejarían de realizar la fotosíntesis.

2.6.3. Emergentes

Estas plantas crecen enraizadas en el fondo y sus hojas sobresalen de la superficie del agua entre las más comunes para América del Sur se encuentran carrizo (*Phragmites sp*), juncos (*Juncus sp*) y la espadaña (*Typha sp*); este tipo de plantas es más usado en humedales artificiales en los que se adiciona un medio de soporte para el enraizamiento de las mismas.

Las plantas acuáticas facilitan la integración paisajística de los sistemas y recrean los ecosistemas complejos donde intervienen otros elementos como insectos, anfibios y aves, regulando el sistema. Además ofrecen la posibilidad de obtener productos valorizables con diversos fines. Entre los posibles aprovechamientos están los usos ornamentales, cama para ganado, producción de compost, producción de forrajeras, obtención de fibras para trabajos artesanales, etc.

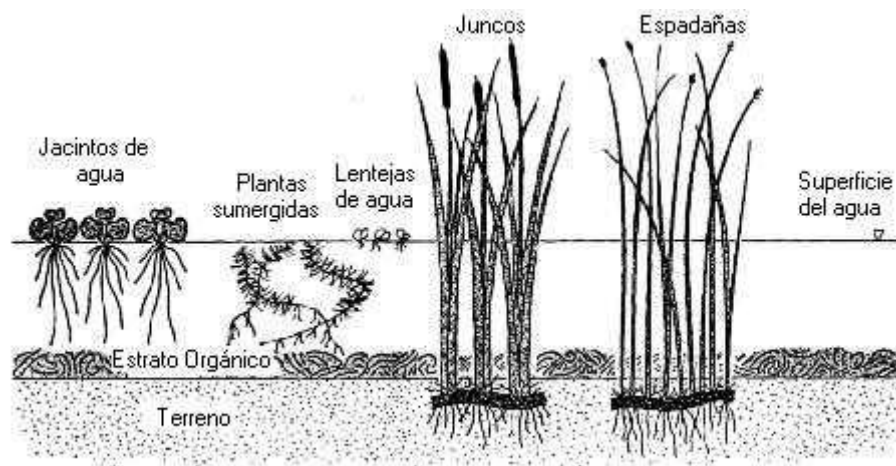


Fig. 2.2. Principales plantas acuáticas



Las libélulas, u odonatos, son algunas de las especies que viven en sistemas con plantas emergentes y flotantes utilizadas en los sistemas de depuración. Son insectos predadores que poseen hábitos carnívoros, alimentándose de otros invertebrados e incluso de larvas de peces.

2.7. Tratamiento de aguas residuales con plantas acuáticas

Según Bejarano (2006) en los últimos años se ha acentuado la contaminación del agua debido al manejo inadecuado de las aguas residuales de origen urbano, industrial y agrícola, especialmente en países en desarrollo.

De aquí nace el interés en la búsqueda de alternativas ecotecnológicas, que desde el punto de vista de sostenibilidad provean las mejores opciones de tratamiento de aguas y que además de obtener un efluente de buena calidad se generen productos con valor económico importante (Ly, 2005).

En los últimos años el tratamiento de aguas residuales por medio de estanques con plantas acuáticas ha despertado un gran interés, por el potencial que han presentado para la depuración de las mismas. Algunos de estos sistemas han logrado proporcionar un tratamiento integral en donde no solamente se remueven eficientemente material orgánico y sólidos suspendidos sino, que también se logran reducir nutrientes, sales disueltas, metales pesados y patógenos.

2.7.1. Actuación de las plantas acuáticas en sistemas de tratamiento

Las plantas juegan un papel fundamental en estos sistemas siendo sus principales funciones:

- ✓ Airear el sistema radicular y facilitar oxígeno a los microorganismos que viven en la rizósfera.
- ✓ Absorción de nutrientes (nitrógeno y fósforo).
- ✓ Eliminación de contaminantes asimilándolos directamente en sus tejidos.



- ✓ Filtración de los sólidos a través del entramado que forma su sistema radicular.

2.7.2. Plantas acuáticas utilizadas en el tratamiento de aguas residuales domésticas

Se han estudiado distintas plantas acuáticas en sistemas de depuración de aguas residuales, algas u otras sumergidas, con vistas a explorar su posible valor nutritivo, las así denominadas macrófitas acuáticas flotantes, la lenteja de agua o lemna (*Lemna spp*), azolla (*Azolla spp*), pistia y jacinto acuático (*Eichhornia crassipes*) son del grupo de las plantas que con más intensidad se han estado evaluando en el trópico como posibles integrantes de sistemas de recirculación de nutrientes a través de su cultivo en estanques cargados con efluentes provenientes de biodigestores anaeróbicos, en lagunas, o simplemente colectadas en su medio natural. Particularmente en estas macrófitas no se han encontrado factores antinutricionales que pudieran limitar su uso en alimentación animal, lo que las hace muy atractivas en este sentido.

2.7.2.1. Taxonomía y características morfológicas de *Eichhornia crassipes*

El jacinto de agua pertenece a la familia Pontederiaceae, se trata de una planta flotante compuesta por una larga ronda de esponjoso tallos, sus hojas son de color verde profundo, grande y erecto, las raíces son variables en longitud de unos 10 cm a 90 cm de largo (Reza citado por Pedraza, 2004). Los rizomas son generalmente de 1 a 25 cm de largo (Foto. 2.1 (a) y (b)), de vez en cuando producen entrenudos.

En aguas con alto contenido de nutrientes la planta está en crecimiento exuberante y se multiplica muy rápidamente. El promedio de altura de la planta es de unos 45cm en la etapa madura, pero en general oscila entre los 30 a 70 cm Reza citado por Pedraza, 2004 en países de Europa, África y Norteamérica.

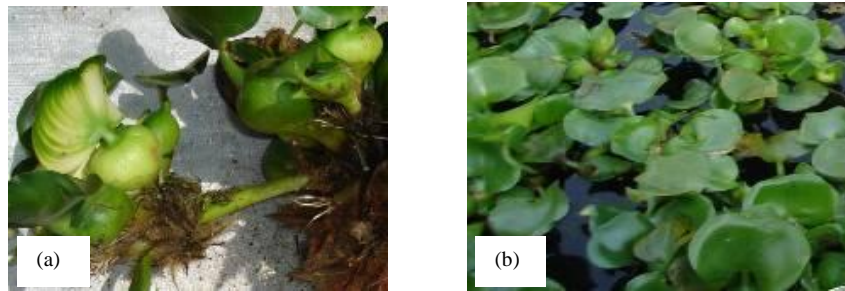


Foto. 2.1.(a),(b) *Eichhornia crassipes*

La planta se caracteriza por la formación de grandes esteras flotantes que normalmente cubren la superficie del agua. Es una de las especies acuáticas más estudiadas, debido a sus características depuradoras y facilidad de proliferación, especialmente en regiones tropicales y subtropicales, que incluyen las áreas comprendidas entre San Francisco (Estados Unidos) y Lebu (Chile).

Esta planta obtiene del agua todos los nutrientes que requiere para su metabolismo, siendo el nitrógeno y el fósforo, junto a los iones de potasio, calcio, magnesio, hierro, amonio, nitrito, sulfato, cloro, fosfato y carbonato, los más importantes.

Poseen un sistema de raíces, que tienen microorganismos asociados a ellas que favorece la acción depuradora de las plantas acuáticas Novotny y Olem, citado por Celis *et al.* (1994), retienen en sus tejidos metales pesados (cadmio, mercurio, arsénico). Además remueve algunos compuestos orgánicos, tales como fenoles, ácido fórmico, colorantes y pesticidas, y disminuye niveles de DBO (demanda biológica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno), y sólidos suspendidos Metcalf y Eddy, citado por Celis *et al.* (1995).

2.7.2.2. Taxonomía y características morfológicas de *Azolla filiculoides*

Azolla es un género perteneciente a la familia Salvinaceae, orden Hidropteridinales, clase Filicales (González, Luisier y Font Quer. 1989) que agrupa varias especies de pequeños helechos acuáticos tales como: *Azolla*



filiculoides, *Azolla microphylla*, *Azolla caroliniana*, *Azolla mexicana* y *Azolla pinnata*. Fig (2.3).

De acuerdo a Ruschel (1987), esta planta de forma individual usualmente alcanza entre 2 y 5cm de longitud, pero puede llegar a los 4 cm y su diámetro es de 1-2 cm. Posee rizomas y raíces individuales ramificadas (1-3 cm) en determinados puntos de los lóbulos. (Foto. 2.2(a) y (b)).

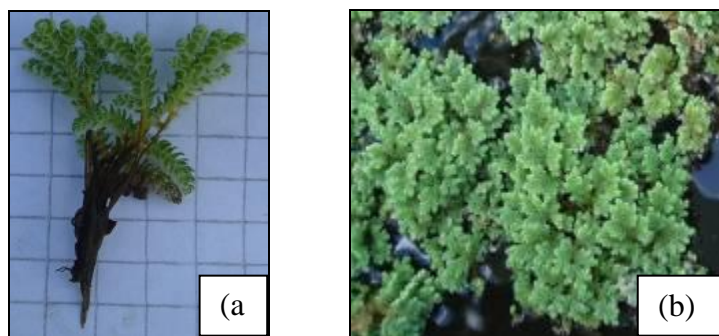
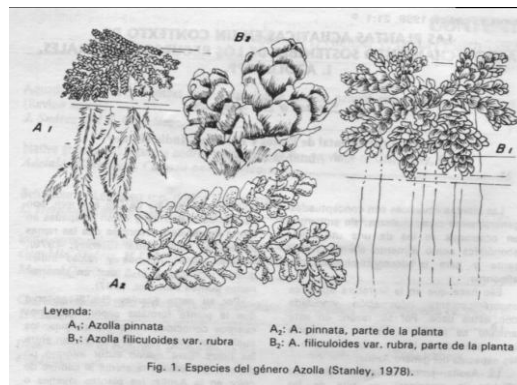


Foto. 2.2. (a),(b) *Azolla filiculoides*

El género *Azolla* se propaga por fragmentación de sus partes, forma muy común en las plantas acuáticas, y mediante esporas por ser un helecho (Stanley, 1978). Como se puede apreciar, la *Azolla* tiene muy diversificada su propagación, lo que la dota de una alta capacidad de adaptación en aquellas condiciones donde sea factible su crecimiento y desarrollo.

La azolla es una planta que consiste en un corto tallo ramificado que posee raíces las cuales cuelgan hacia abajo en el agua. Cada hoja es bilobulada, el lóbulo superior contiene clorofila verde mientras que el lóbulo inferior es incoloro.

Bajo ciertas condiciones, también existe un pigmento de antocianina, que le confiere al helecho un color entre rojiza y carmelita. La coloración mencionada está asociada con la sobrefertilización del reservorio acuático, mucha contaminación o también un exceso de luz solar. La azolla prefiere lugares sombreados.



Fuente: Suárez; Gonzáles. (2003)

Fig.2.3. Especies del género *Azolla*

Este helecho tiene la habilidad de fijar nitrógeno atmosférico gracias a su asociación en simbiosis con una cianobacteria que lo fija, *Anabaena azollae* (Peters *et al.* 1982, y Calvert *et al.* 1985). La *Anabaena azollae*, que vive en las cavidades de las frondas del helecho, es capaz de usar su propia energía fotosintética para fijar el nitrógeno atmosférico y producir amonio, lo que es aprovechado por la azolla para cubrir sus propios requerimientos de nitrógeno. Aún así, algunos factores ambientales tales como las condiciones del suelo y del agua, así como las técnicas de cultivo, influyen de una forma importante en el contenido de nutrientes de la azolla (Naegel, 1998).

La relación simbiótica entre el helecho y la cianobacteria permite a la azolla ser relativamente independiente de utilizar nitrógeno de su entorno, y ha atraído el interés de muchos científicos. Este hecho hace que la azolla tienda a contener niveles relativamente altos de nitrógeno y ser una fuente proteica atrayente para la alimentación animal, no solamente del ganado y en la avicultura Buckingham *et al.* (1986), sino en acuicultura, para alimentar peces en forma fresca Pantastico *et al.* (1986), o seca (Joseph *et al.* 1994).

2.7.2.3. Taxonomía y características morfológicas de *Lemna sp*

Las *Lemnas* o lentejas de agua son pequeñas macrófitas flotantes que prosperan en aguas estancadas o de corriente lenta. Su crecimiento es muy rápido, y constituyen



en su hábitat natural, un alimento apreciado por peces, aves palmípedas, roedores y hasta por comunidades humanas del Medio Oriente (Hillman y Culley citado por Clostre, 2007).



Foto.2.3. *Lemna gibba*



Foto.2.4. *Lemna sp*

Las lemnáceas constituyen una familia de plantas vasculares, que flotan libremente sobre la superficie del agua (Foto. 2.3), y que tienen una distribución mundial. Existen cuatro géneros: *Spirodela*, *Lemna*, *Wolffia* y *Wolffiella*, y cerca de 40 especies (Hillman, 1961).

Estas macrófitas tienen una morfología relativamente simple, puesto que no tienen tallos ni hojas verdaderas; comúnmente consisten en una o pocas frondas de forma ovalada que raramente exceden los 5 mm de longitud. Cada fronda puede tener una o algunas raíces, y las plantas florecen muy raramente (Foto. 2.4).

Se reproducen por vía vegetativa muy fácilmente, las plantas forman grandes masas o colonias que se distribuyen como una sábana o lámina sobre la superficie del agua (Hillman, 1961). Pueden duplicar su biomasa en cosa de dos o tres días, bajo condiciones ambientales propicias, y es así que se ha demostrado que pueden obtenerse rendimientos de 10 a 13 t MS/ha cada año en sistemas de pequeñas lagunas, mientras que en tanques al exterior los rendimientos se acercan a las 20 t MS/ha anuales (Said *et al.* 1979).

Las lemnáceas se han utilizado en algunas oportunidades para aprovecharlas como plantas depuradoras de aguas residuales Dingess *et al.* (1983) y particularmente,



han sido incluidas en circuitos complejos de depuración de excretas porcinas Corradi *et al.* (1991), mientras que en otras ocasiones, la atención de los investigadores se ha movido preferencialmente hacia su uso en nutrición animal (Rusoff *et al.* 1980; Bui Huy 2000 citado por Clostre, 2007).

2.8. Parámetros que se analizan en las aguas residuales domésticas

En breve una descripción de todos los parámetros que se pueden analizar en aguas residuales domésticas y se resalta además la importancia a nivel de contaminación.

2.8.1. Parámetros físicos

Los parámetros físicos, como su nombre lo explica son aquellos parámetros que dan las características físicas de visibles en el agua, se pone en consideración a continuación su descripción y los problemas que causan en el agua.

El **color y olor** sirven como indicadores del grado de contaminación por residuos y su presencia en aguas residuales es signo de un pre tratamiento inadecuado antes de la descarga.

El agua residual contiene una variedad de materiales **sólidos** que varían desde hilachas hasta materiales coloidales. En la caracterización de las aguas residuales, los materiales gruesos son removidos generalmente antes de analizar sólidos en la muestra. Existen tres tipos de sólidos que se pueden cuantificar en las aguas residuales entre estos están:

Los **sólidos totales** representan la suma de los SDT (Sólidos Disueltos Totales) y SST (Sólidos Suspendedos Totales), además estos poseen fracciones de sólidos fijos y sólidos volátiles, que pueden ser sedimentables y no sedimentables. Generalmente cerca del 60% del total de sólidos suspendidos en aguas residuales son sedimentables. La prueba de SST son usados comúnmente como una medida



de desempeño de las unidades de tratamiento y con propósitos de control, pues los **sólidos sedimentables** son aquellos que ocasionan la formación de bancos de lodos que producen olores desagradables.

2.8.2. Parámetros químicos

Son aquellos parámetros que solo se pueden determinar a través de análisis de laboratorio, su importancia radica en los efectos que producen todos estos sobre los organismos acuáticos ya sean estos, vegetales o animales. Además de las alteraciones que pueden causar en fuentes de agua natural si no se controlan en los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

El término pH es usado universalmente para determinar si una solución es ácida o básica, es la forma de medir la concentración de iones hidrógeno en una disolución. La escala de pH contiene una serie de números que varían de 0 a 14, esos valores miden el grado de acidez o basicidad de una solución. Los valores inferiores a 7 y próximos a cero indican aumento de acidez, los que son mayores de 7 y próximos a 14 indican aumento de basicidad, mientras que cuando el valor es 7 indican neutralidad.

Para Rodier (1986), el pH óptimo de las aguas debe estar entre 6,5 y 8,5 es decir, entre neutra y ligeramente alcalina, el máximo aceptado es 9 donde relativamente existe la mayor parte de la vida biológica. Las aguas residuales con valores de pH menores a 5 y superiores a 9 son de difícil tratamiento mediante procesos biológicos, si el pH del agua residual tratada no es ajustado antes de ser vertido, el pH de la fuente receptora puede ser alterado; por ello, la mayoría de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser descargados dentro de límites específicos de pH.

La presencia **oxígeno disuelto** en el agua es indispensable para la vida de peces y otros seres acuáticos, el problema es la baja solubilidad de este gas en el agua,



además la cantidad de oxígeno en el agua depende de las condiciones ambientales, ya que su cantidad aumenta al disminuir la temperatura o aumentar la presión.

Los desperdicios orgánicos que se encuentran en el agua son descompuestos por microorganismos que usan el oxígeno para su respiración, esto quiere decir que cuanto mayor es la cantidad de materia orgánica, mayor es el número de microorganismos y por tanto mayor consumo de oxígeno. En muchas ocasiones esta falta de oxígeno es la causa de la muerte de peces y otros animales acuáticos más que la existencia de los compuestos tóxicos.

La **temperatura** es importante, ya que muchos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales incluyen procesos biológicos que dependen de la temperatura, esta influye de forma muy significativa en las especies acuáticas determinando su metabolismo, productividad primaria, respiración y descomposición de materia orgánica. Puede también influir en las velocidades de las reacciones químicas, en los usos del agua y en la vida de la flora y la fauna acuática, puede provocar la coagulación de las proteínas de la materia orgánica y aumentar la toxicidad de algunas sustancias.

La temperatura de un agua residual varía de estación en estación y también con la posición geográfica. En regiones frías, la temperatura varía de 7 a 18°C mientras que en regiones cálidas la variación será de 13 a 30°C. La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana está en el rango 25 a 35°C.

Una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica se determina con la **conductividad**. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas así como de la temperatura de medición. Cuanto mayor sea la concentración de iones mayor será la conductividad.



En las aguas naturales los iones que son directamente responsables de los valores de conductividad son entre otros el calcio, magnesio, potasio, sodio, carbonatos, sulfatos y cloratos. Con respecto a las aguas naturales la medida de la conductividad tiene varias aplicaciones, tal vez la más importante sea la evaluación de las variaciones de la concentración de minerales disueltos en aguas naturales y residuales.

Los iones **amonio** tienen una escasa acción tóxica por sí mismo, pero su existencia aún en bajas concentraciones, puede significar un alto contenido de bacterias fecales, patógenas, etc. La formación de amonio se debe su descomposición bacteriana de urea y proteínas, siendo la primera etapa del proceso de naturaleza inorgánica. Su concentración máxima en las aguas potables de consumo público es de 0,5 mg/l.

El nitrógeno orgánico y el nitrógeno amoniacal se hallan contenidos en el **nitrógeno orgánico** este parámetro se determina por el método de Kjeldahl. Su presencia en altas concentraciones puede provocar el crecimiento acelerado de plantas acuáticas.

El método usado con mayor frecuencia en el campo de tratamiento para determinar la descomposición biológica en las aguas residuales es **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**. Si existe suficiente oxígeno disponible, la descomposición biológica aerobia de un desecho continuará hasta que el desecho se haya consumido.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es un indicador de la cantidad de sustancias orgánicas de origen biológico (proteínas, carbohidratos, grasas y aceites) y de productos químicos orgánicos sintéticos y biodegradables en las aguas residuales.

Usada para medir el material orgánico presente en las aguas residuales susceptible de ser oxidado químicamente se analiza **demanda química de**



oxígeno (DQO), la cual es oxidada con una solución de dicromato en medio ácido.

Aunque se podría esperar que el valor de la DBO fuera similar al de la DQO, éste sería un caso fortuito. Algunas razones para explicar tal diferencia se enumeran a continuación:

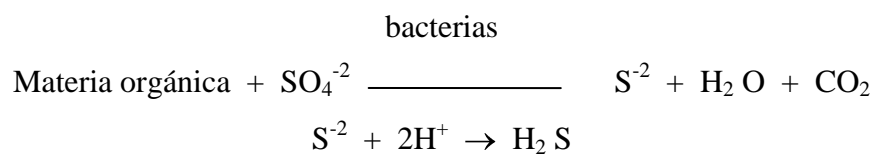
1. Muchas sustancias orgánicas las cuales son difíciles de oxidar biológicamente, tales como la lignina, pueden ser oxidadas químicamente.
2. Las sustancias inorgánicas que se oxidan con dicromato aumentan evidentemente el contenido orgánico de la muestra.
3. Algunas sustancias orgánicas pueden ser tóxicas para los microorganismos usados en la prueba de la DBO.
4. Valores altos de DQO se pueden obtener por la presencia de sustancias inorgánicas con las cuales el dicromato puede reaccionar.

La proporción entre la DBO_5 (demanda bioquímica de oxígeno en una prueba de 5 días) y la DQO es un indicador del tratamiento biológico. Generalmente, los procesos de descomposición biológica comienzan y ocurren de manera rápida con proporciones de DBO_5 :DQO de 0,5 o mayor. Las proporciones entre 0,2 y 0,5 son susceptibles al tratamiento biológico; sin embargo, la descomposición puede ocurrir de manera más lenta debido a que los microorganismos degradantes necesitan aclimatarse a las aguas residuales.

Según Fresenius *et al.* (1989), los valores de la relación DBO_5 / DQO en aguas residuales municipales no tratados oscilan entre 0,3 y 0,8. Si la relación DBO_5 / DQO para aguas residuales no tratadas es mayor que 0,5 los residuos se consideran fácilmente tratables mediante procesos biológicos. Si esta relación es menor de 0,3, el residuo puede contener constituyentes tóxicos o se pueden requerir microorganismos aclimatados para su estabilización.



El **Azufre** se encuentra en forma natural como ión sulfato en aguas de abastecimiento como en aguas residuales. El azufre es un elemento indispensable para la síntesis de proteínas y por eso se libera cuando ocurre la degradación de las mismas. Los sulfatos se reducen biológicamente a sulfuros bajo condiciones anaerobias y pueden formar sulfuro de hidrógeno (H₂S) al combinarse con el hidrógeno. A continuación se muestran las reacciones generales que rigen estos procesos:



Los sulfatos se reducen a sulfuros en los digestores de lodos y pueden alterar el desarrollo normal de los procesos biológicos si la concentración excede los 200 mg/l, afortunadamente estas concentraciones no son comunes. El **sulfuro** presenta riesgo de formación de gas sulfhídrico, el que en baja concentración genera olor desagradable y en alta concentración puede ser muy tóxico.

A los **Cloruros** se los considera aniones inorgánicos principales en el agua natural y residual. En el agua potable el sabor salado producido por el cloruro es variable y depende de la composición química del agua. Ese sabor es más detectable si el catión predominante en el medio es el sodio, y se nota menos si el catión es calcio o magnesio. La concentración de cloruros es mayor en las aguas residuales ya que el NaCl es muy común en la dieta y pasa inalterado a través del sistema digestivo. Un contenido elevado de cloruro puede dañar las conducciones, estructuras metálicas y perjudicar el crecimiento vegetal.

El **fósforo** es importante en el crecimiento de las algas y otros organismos biológicos. Debido al nocivo crecimiento incontrolado de algas en aguas superficiales, se han realizado grandes esfuerzos para controlar la cantidad de compuestos del **fósforo** provenientes de descargas de aguas residuales domésticas y de escorrentía natural. Las aguas residuales municipales por ejemplo, pueden



contener entre 4 y 12 mg/l de fósforo expresado como compuestos fosforados. Las formas más frecuentes en que se puede encontrar fósforo en soluciones acuosas incluyen ortofosfatos, polifosfatos y fósforo inorgánico. Los ortofosfatos (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , H_3PO_4 y complejos HPO_4^{2-}) están disponibles para el metabolismo biológico sin que sea necesaria una ruptura posterior.

2.8.3. Parámetros biológicos

Las características biológicas de las aguas residuales son de fundamental importancia en el control de enfermedades causadas por organismos patógenos de origen humano y por el papel activo y fundamental de las bacterias y otros microorganismos dentro de la descomposición y estabilización de la materia orgánica, bien sea en el medio natural o en plantas de tratamiento de aguas residuales.

En los depósitos de agua que proceden de las descargas de animales, existen microorganismos patógenos. La *Escherichia coli* en general coliformes, estreptococos fecales (*Streptococcus faecales*) y *Clostridium perfringens* son habitantes regulares del intestino grueso.

En las aguas negras hay millones de bacterias como coliformes, esporulados anaerobios (*Proteus sp.*) y también algunos protozoos patógenos y virus. El predominio de algunos tipos fisiológicos varía durante la digestión de las aguas. En un digestor en anaerobiosis, inicialmente predominan anaerobios facultativos (*Enterobacter sp.*, *Alcaligenes sp.*, *Escherichia sp.*, *Pseudomonas sp.*, etc) a los cuales siguen productores metano anaerobios estrictos, como *Metanobacterium*, *Metanosarcina* y *Metanococcus*. Los productos finales son metano y dióxido de carbono (Opazo, 1991).



2.8.3.1. Organismos patógenos

Los organismos patógenos presentes en las aguas residuales pueden provenir de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una enfermedad determinada. Las principales clases de organismos patógenos que pueden encontrarse en aguas residuales son: bacterias, parásitos (protozoos, helmintos) y virus.

Las **bacterias** se consideran uno de los principales grupos patógenos presentes en aguas residuales, entre ellos tenemos al género *Salmonella*, el cual contiene una gran variedad de especies que pueden causar enfermedades en humanos y animales. La fiebre tifoidea, ocasionada por *Salmonella typhi*, es la enfermedad más grave que puede transmitir este grupo. La enfermedad más comúnmente asociada con el grupo *Salmonella*, llamada salmonellosis, se origina por el consumo de comida envenenada. El grupo *Shigella*, uno de los grupos bacteriales menos comunes, es el responsable de una enfermedad intestinal conocida como disentería bacilar o shigellosis.

Entre otras bacterias, aisladas de aguas residuales crudas se encuentran: *Vibrio*, *Mycobacterium*, *Clostridium*, *Leptospira* y especies de *Yersinia*. El *Vibrio cholerae* es el agente causante de la enfermedad del cólera. Los únicos organismos huéspedes del cólera son los humanos y la vía más frecuente de transmisión es a través del agua. La *Mycobacterium tuberculosis* se ha encontrado en aguas residuales municipales, conociéndose casos de personas contagiadas por nadar en aguas contaminadas.

Es frecuente el reporte de casos de gastroenteritis producida por causas desconocidas, aunque en general se atribuye a agentes bacteriales. Una fuente potencial para la propagación de esta enfermedad es la presencia de bacterias gram negativas en el agua, a pesar de ser catalogadas como no patógenas. En este grupo se incluyen bacterias enteropatógenas como la *Escherichia coli* y algunas especies de *Pseudomonas*, capaces de afectar a niños recién nacidos.



Aunque se ha establecido con certeza que estos organismos causan enfermedades en animales también han sido involucrados como agentes etiológicos en la transmisión de enfermedades humanas de origen hídrico.

Algunas especies de **protozoos** como *Cryptosporidium parvum*, *Cyclospora* y *Giardia lamblia* son de gran interés debido a su impacto sobre individuos con deficiencias en su sistema inmunológico, como es el caso de niños, personas de avanzada edad, individuos con cáncer o aquellas personas víctimas del síndrome de inmunodeficiencia adquirida.

La infección es causada por la ingestión de agua contaminada con ooquistes y quistes. Es importante anotar que existen fuentes de origen diferente al hombre que pueden aportar a las aguas contaminadas organismos como *Cryptosporidium parvum* y la *Giardia lamblia*. Estos protozoos pueden ocasionar síntomas como diarrea severa, dolor estomacal, náuseas y vómito que pueden extenderse por largos períodos de tiempo. Las formas más resistentes del *Cryptosporidium parvum* son los ooquistes y para la *Giardia lamblia* los quistes.

Los más importantes parásitos **helmínticos** que pueden encontrarse en aguas residuales son las lombrices intestinales, como la lombriz estomacal *Ascaris lumbricoides*, la tenia solitaria *Taenia saginata* y *Taenia solium*, los gusanos intestinales *Trichuris trichura*, la lombriz intestinal *Ancylostoma duodenales* y el *Necator americanus*, y la lombriz filiforme *Strongyloides stercorales*. La etapa infecciosa de algunos helmintos es el estado adulto o de larva y en otros la etapa infecciosa es el estado de huevo. Los nemátodos son organismos libres en el estado de larva que no presenta ningún riesgo de tipo patógeno para humanos.

Los huevos y larvas cuyo tamaño oscila entre 10 μm y 100 μm , resisten condiciones ambientales desfavorables y pueden sobrevivir a los tratamientos convencionales de desinfección de aguas residuales, aunque algunos huevos pueden ser removidos mediante procesos convencionales de tratamiento como sedimentación, filtración y lagunas de estabilización.



Existen más de 100 clases diferentes de **virus** entéricos capaces de transmitir algún tipo de infección o enfermedad son excretados por el hombre. Los virus entéricos se reproducen en el tracto intestinal de personas infectadas y son posteriormente expulsadas en las heces.

Desde el punto de vista de salud humana, los virus entéricos más importantes son enterovirus (polio, eco, coxsackie), virus norwalk, rotavirus, reovirus, calcivirus, adenovirus y virus de hepatitis A. Entre los virus que causan enfermedades diarreicas, se ha demostrado que los rotavirus y virus norwalk son los principales patógenos de origen hídrico. Los reovirus y los adenovirus, causantes de enfermedades respiratorias, gastroenteritis e infecciones en los ojos se han logrado aislar a partir de muestras de agua residual.

2.8.3.2. Tiempo de supervivencia de organismos patógenos

Un tema de gran importancia en el manejo de organismos transmisores de enfermedades es su tiempo de supervivencia en diferentes ambientes, a una temperatura de 20 - 30 °C (Cuadro 2.3).

Cuadro 2.3. Tiempo de supervivencia de los organismos patógenos

ORGANISMO PATOGENO	TIEMPO DE SUPERVIVENCIA (días)		
	AGUA RESIDUAL Y DULCE	CULTIVOS	SUELO
Bacterias			
<i>Coliformes fecalis</i>	< 60 más común < 30	< 30 más común < 15	<120 más común<50
Salmonella (spp)	< 60 más común < 30	< 30 más común < 15	<120 más común<50
Shigella	< 30 más común < 10	< 10 más común < 5	<120más común<50
<i>Vibrio cholere</i>	< 30 más común < 10	< 5 más común < 2	<120 más común<50
Protozoos			
<i>E. hystolitica</i> , quiste	< 30 más común < 15	< 10 más común < 2	
Helmintos			
<i>A. lumbricoides</i> , h	Muchas veces	< 60 más común < 30	< muchas veces
Virus			
<i>Enterovirus</i>	<120 más común < 50	< 60 más común < 15	<100 más común<20

Fuente: Little; Muir (1987)



2.8.3.3. Empleo de organismos indicadores

En vista del gran número de organismos patógenos presentes en aguas residuales y poluidas es posible aislar e identificar solo algunos de ellos, eso sí con gran dificultad; los organismos coliformes se emplean como organismos indicadores por su fácil identificación y presencia abundante. El tracto intestinal humano contiene grandes poblaciones de bacterias con forma de bastoncillos, conocidas como bacterias coliformes.

Además de otras clases de bacterias, cada persona evacua de 100.000 a 400.000 millones de bacterias coliformes por día. Por eso la presencia de bacterias coliformes es un indicador de la posible presencia de organismos patógenos, y la ausencia de bacterias coliformes indica que las aguas están libres de organismos transmisores de enfermedades.

2.9. Normas de permisibilidad de aguas

Para evitar las consecuencias del uso del agua contaminada se han ideado mecanismos de control temprano de la contaminación. Existen normas que establecen los rangos permisibles de contaminación, que buscan asegurar que el agua que se utiliza no sea dañina. Cada país debe tener una institución que se encargue de dicho control.

2.9.1. Norma para descarga de efluentes en Ecuador

Para Ecuador existe una norma ambiental que consta en el Anexo I del Libro VI del TULAS (Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria). En el que el MAE (Ministerio del Ambiente), pone en consideración una serie de artículos y normas que rigen los límites de permisibilidad para las descargas de efluentes tratados sobre fuentes de agua natural.



La misma tiene como objetivo la prevención y control de la contaminación ambiental, en lo relativo al recurso agua. Cuyo objetivo principal es proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general. Las acciones tendientes a preservar, conservar o recuperar la calidad del recurso agua deberán realizarse en los términos de la actual norma vigente para el Ecuador.

2.9.2. Criterios generales de descarga de efluentes

Los criterios que deben tomarse para la descarga de aguas deben cumplir o regirse a los siguientes ítems.

1. Cumplir con lo estipulado en las normas, relacionado a la descarga de efluentes, tanto al sistema de alcantarillado como a los cuerpos de agua.
2. Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado.
3. Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor.
 - a) Descarga a un cuerpo de agua dulce.

2.9.3. Normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua dulce

Toda descarga a un cuerpo de agua dulce, deberá cumplir con los valores establecidos a continuación (Cuadro 2.4).

Cuadro 2.4. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		[1]Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	[2]Inapreciable en dilución: 1/20

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

2 La apreciación del color se estima sobre 10 cm. de muestra diluida.



Cuadro 2.4. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce (continuación)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Fósforo Total	P	mg/l	10
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Potencial de hidrógeno	pH		5_9
Sólidos Sedimentables		ml/l	1
Sólidos Suspendedos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ =	mg/l	1000
Sulfitos	SO ₃	mg/l	2
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35

Fuente: Modificado de la Tabla 12 Anexo Idel Libro VI de la Norma Técnica del TULAS.

2.10. Marco legal

Las leyes ambientales implementan los mecanismos necesarios para asegurar un ambiente sano; recurriéndose a las normas ambientales vigentes en Ecuador, como guía y respaldo a esta investigación y se consideran los siguientes artículos. El Artículo 16 de la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental manifiesta que: *“Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnica 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 y a las propiedades”*.

Los sistemas de tratamiento de las aguas residuales domésticas de la comunidad de Turucu descargan sus vertidos en el río Pitzambiche. Empleando el tratamiento biológico de *Lemna gibba* para la descontaminación de las aguas, de cual solo se



conoce sobre el porcentaje de remoción de la especie en el sistema sin realizar referencia a las normas técnicas de descargas.

En el Art.44 del reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental señala que *“cualquier norma técnica se dictare, a partir de la expedición del presente texto unificado de legislación secundaria ambiental, en el país a nivel sectorial, regional, provincial o local, deberá guardar concordancia con la norma técnica ambiental nacional vigente y, en consecuencia, no deberá disminuir el nivel de protección ambiental que ésta proporciona”*

En este contexto se enmarca la investigación, de establecer la especie o las especies (*Lemna gibba*, *Azolla filiculoides* y *Eichhornia crassipes*) con mayor remoción de contaminantes en aguas residuales, con el propósito de que a través del tiempo la eficiencia del tratamiento en los sistemas se mantenga acorde a la Norma Técnica actual.

En la primera disposición general de reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental indica que *“los términos del presente Libro VI De la Calidad Ambiental, se entenderán en su sentido natural, obvio y aplicable a las ciencias ambientales.”* En el cual consta el anexo I sobre la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: recurso agua.

En lo referente al inciso 4.2.1.2, de la mencionada norma, señala que en la Cuadro 12 de la presente se establecen los parámetros de descarga hacia los cuerpos de agua dulce, y los valores de los límites máximos permisibles, corresponden a promedios diarios. Del Cuadro anterior se seleccionaron 13 parámetros, que durante todo el proceso investigativo se aplicaron a las diferentes pruebas con las especies *Lemna gibba*, *Azolla filiculoides* y *Eichhornia crassipes*. Y los resultados serán comparados con los límites permisibles.



En el párrafo 4.2.1.21, de la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes señala que los sedimentos, lodos y sustancias sólidas provenientes de sistemas de potabilización de agua, tratamiento de desechos, de cualquier tipo de residuo doméstico o industrial, no deberán disponerse en aguas superficiales, subterráneas, marinas, de estuario, sistemas de alcantarillado y cauces de agua estacionales secos o no, y para su disposición deberá cumplirse con las normas legales referentes a los desechos sólidos no peligrosos.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales requieren de un mantenimiento periódico, para lo cual los sedimentos deben ser manejados y dispuestos de acuerdo a las normas establecidas, para evitar contaminación en los cuerpos de aguas cercanos.

En los articulados de este marco legal se basa la investigación considerando a los límites permisibles como el sistema evaluador y calificador de la aplicación de las especies (*Lemna gibba*, *Azolla filiculoides* y *Eichhornia crassipes*) en los tratamientos de las aguas residuales domésticas.

En el siguiente capítulo se especifica la metodología aplicada, basada en la utilización del Marco Lógico, permitiendo calificar la situación actual de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas de la comunidad de Turucu y se enumeran los materiales, equipos que fueron utilizados para el desarrollo de las actividades en el estudio

CAPITULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El siguiente acápite pone en consideración los equipos y materiales que fueron utilizados de forma específica durante el desarrollo del proyecto y además se detallan los procedimientos técnicos para alcanzar los objetivos planteados.

3.1. Materiales y Equipos

En los cuadros 3.1 y 3.4 se detalla los materiales, reactivos y equipos empleados en las diferentes etapas (campo, laboratorio y oficina) de la investigación

Cuadro 3.1. Detalle de materiales de campo, muestreo y siembra

MATERIALES CAMPO	MATERIALES MUESTREO
Libretas de campo	
Guantes de caucho y quirúrgicos Mascarillas desechables	Papel pH
Botas de caucho	Fascos winkler para DBO, pH Wide Range
Alcohol industrial y antiséptico	CODE 2193, OD Water Sampling Bottle
Recipientes de transporte de especies vegetales	CODE 0688-DO
Recipientes aforados	Etiquetas
Cernideros	Congelador para conservación y traslado de muestras
Cinta métrica	
Balanza circular de plato	MATERIALES DE SIEMBRA
Marcos de madera de 50x50 cm	<i>Azolla filiculoides.</i>
Carta topográfica digital de Imantag, Ibarra y Otavalo 1: 50000	<i>Eichhornia crassipes</i>
	<i>Lemna gibba</i>



Cuadro 3.2 Detalle de asesoría y materiales de limpieza y construcción de sistemas

Asesoría técnica	
Albañil Auxiliar de construcción Asistente de ingeniería civil Técnico coordinador	
Materiales de Construcción	
Tubos PVC 4” Codos plastigama plomos 4 x 90 TEE plastigama plomo 4” Pega tubos Cemento Impermeabilizante (Sika) Materiales pétreos (arena fina, arena gruesa, ripio, piedra)	Herramientas (barras, palas, combo, carretilla) Piola, nivel, manguera Cuadros de encofrado Varrilas #10 de 12m Alambre galvanizado Clavos con cabeza 2 ½” Grapas 1 ¼” de púas Alambre de púas espino
Materiales de Limpieza	
Bomba de succión marca Brish Stone Combustible gasolina. Herramientas (carretillas, palas)	Materiales de protección Materiales de aseo Herramientas de cosecha (trinchas, redes)

Cuadro 3.3. Detalle de parámetros y reactivos

Reactivos	
Coliformes	Coli Blu 24
Fósforo Total.	Persulfato de potasio (Hach).
Fosfatos.	Phosber, Fosfato total más persulfato
DQO.	Sulfato de mercurio, ácido sulfúrico, dicromato de potasio
DBO.	Nitrification inhibitor (n-allythiourea 5g/l c4h8n2s); hidróxido de sodio (perlas).
Amonio.	Nessler
Nitritos.	Nitriber (Hach)



NTK	Acido sulfúrico 98%; ácido bórico 2%; hidróxido de sodio; azul de metileno; ácido sulfúrico 1 %.
-----	--

Cuadro 3.4. Detalle de equipos de campo, oficina y laboratorio

Equipos de campo y oficina	Equipos de laboratorio
GPS	
Cámara digital	Espectrofotómetro PERKIN EINNER Modelo LAMBDA EZ201
Computadores	Espectrofotómetro HACH Modelo DR/2400
Software Arc GIS 9.2	Incubadora OXI TOP BOX
Infocus	Estufa para el análisis microbiológico
Pilas alcalinas	Cámara equipo empleado
Unidades de almacenamiento masivo (USB)	NTK Analizador portátil La Motte
Calculadoras	
Cronómetros	

3.2. Metodología

La metodología aplicada se basó en la utilización del Marco Lógico, que permitió:

1. Calificar la situación inicial de funcionamiento en los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas comunitarios de Turucu, a través de un diagnóstico que se complementó con actividades de:
 - ✓ Construcción de un filtro para lodos, en cada uno de los sistemas comunitarios
 - ✓ Análisis químico, microbiológico y físico de los lodos
2. Describir la aplicación de nuevas especies flotantes en los sistemas comunitarios, desarrollándose actividades adicionales como:
 - ✓ Analizar la fisiología de las especies *Eichhornia crassipes* y *Azolla filiculoides*.
 - ✓ Determinar la capacidad de carga operacional (KOP) para la especie *Eichhornia crassipes*.



3. Evaluar los niveles de depuración de las plantas acuáticas flotantes *Eichhornia crassipes*, *Azolla filiculoides* y *Lemna gibba* en aguas residuales domésticas, en monocultivos y como asociación.
4. Aplicar sistemas de tratamiento a nivel unifamiliar en comunidades rurales

3.2.1. Ubicación geográfica

El proyecto se desarrolló en la sierra norte del Ecuador en la provincia de Imbabura en el cantón Cotacachi en diferentes comunidades rurales como son Turucu, El Cercado, Iltaquí y Guitarra Ucu (Anexo I, Mapa 1).

El cuadro 3.5, hace referencia a la ubicación geográfica en coordenadas UTM y a la altitud de todos los sitios de investigación.

Cuadro 3.5. Ubicación geográfica de los sitios de estudio

COORDENADAS	LONGITUD	LATITUD	msnm
COMUNIDADES			
TURUCU (SISTEMA 1)	803474 E	10033410 N	2469
TURUCU (SISTEMA 2)	803328 E	10033214 N	2482
GUITARRA UCU	801273 E	10030968 N	2594
ILTAQUÍ	800744 E	10033329 N	2631
EL CERCADO	803187 E	10037143 N	2669

Fuente: Las autoras

3.2.1.1. Caracterización del área de estudio

El territorio de la Unión de Organizaciones Campesinas de Cotacachi (UNORCAC) comprende 43 comunidades del cantón; ubicadas 8 en la parroquia Imantag, 14 en la parroquia El Sagrario, 9 en San Francisco y 12 en Quiroga.

Por la distribución que tienen las comunidades en el cantón se optó por dividir el estudio en dos etapas. La **primera** consistió en evaluar el funcionamiento de los



dos sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas comunitarios ubicados en Turucu. Y la **segunda** fase fue la aplicación de sistemas a nivel unifamiliar en las comunidades de El Cercado, Iltaquí y Guitarra Ucu. (Anexo I, Mapa 2)

Estas comunidades forman parte de la zona de vida, de Bosque Húmedo Montano Bajo (bhMB) (Anexo I, Mapa 3), cuya flora agrícola caracteriza por cultivos de ciclo corto, cultivos de invernadero, vegetación arbustiva y pastizales (Anexo I Mapa 4). Los suelos de las comunidades son arenosos en la zona de Guitarra Ucu y Turucu, arcillo limosos, y duripanes en la comunidad de El Cercado e Iltaquí. Las áreas seleccionadas presentan precipitaciones que oscilan entre 1000 a 1250 mm y las temperaturas medias anuales varían entre 12 y 14°C.

Primera etapa

Se inició en la **comunidad de Turucu** “Eloy Alfaro” ubicada a 2 km de la cabecera cantonal, perteneciente a la parroquia San Francisco. Con un territorio aproximado a 30 hectáreas, incluida en las microcuencas de los ríos Yanayacu y Pitzambiche. Posee una población de 242 habitantes donde coexisten grupos indígenas y mestizos, y el 70,2% es bilingüe (kichwa-español). El analfabetismo presenta un porcentaje de 31,4%, con énfasis en la población femenina.

En base a los censos de UNORCAC en el año (2006) el 71,9% de los habitantes tienen ingresos mensuales superiores a los \$ 200 dólares, donde el rol de la mujer como fuente económicamente activa representa el 49,1%.

Los servicios básicos con los que cuenta la comunidad Turucu son agua, luz, teléfono, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales domésticas. No todos los habitantes tienen al alcantarillado, solamente el 32% de la población forma parte de este, mientras el resto poseen sistemas de saneamiento (pozos sépticos y letrinas) y un 19% no cuenta con ningún tipo tratamiento.



Los domicilios son de paredes de bloque y ladrillo en un 82%, seguido por construcciones en tapiales y adobe. El 66% de las cubiertas de las viviendas son de teja, seguidas de loza, eternit y zinc.

Según los datos de los censos UNORCAC (2006) en el aspecto agropecuario, la comunidad posee el servicio de agua de riego en un 73%. Lo que ha incentivado que los habitantes se dediquen a la agricultura, siendo los cultivos de mayor importancia, maíz, fréjol y arveja. Además los pobladores se dedican al cuidado de animales como cuyes, ganado vacuno y porcino.

Segunda etapa

En esta etapa se consideró a las comunidades que no poseen sistemas de alcantarillado, por la dispersión territorial, para implementar la construcción de sistemas piloto unifamiliares. Las comunidades seleccionadas fueron tres: Itaquí, El Cercado y Guitarra Ucu; las dos primeras pertenecientes a la parroquia El Sagrario y la última a la parroquia de Quiroga (Anexo I, Mapa 2.).

Comunidad de Guitarra Ucu

Se encuentra ubicada a 2 km del centro de la parroquia Quiroga, posee una población de 290 habitantes de los cuales 29,4% pertenece a la etnia indígena y el 70,6% a la población mestiza. El 36,9% no saben leer ni escribir siendo mayor el porcentaje en las mujeres; el resto de la población tiene estudios primarios y secundarios. De acuerdo con los censos de UNORCAC (2006) el 85,3% de los habitantes tienen ingresos mensuales sobre los \$200 dólares, donde la mujer como fuente económicamente activa representa el 30,9%.

La comunidad dispone de servicios básicos como: agua, luz y teléfono. Pero no posee sistemas de alcantarillado, razón por la cual el 57% de la población distribuye las aguas servidas en pozos sépticos, el 29% en letrinas y el porcentaje restante no tiene ningún sistema de recolección de estos vertidos.



En base a los censos de UNORCAC (2006) el 90% de las viviendas son de paredes de bloque y ladrillo a la vez existen viviendas de tapiales, adobes y bareques. El 62% de las cubiertas de las viviendas se hallan construidas por tejas, y el porcentaje adicional de lozas, eternit, zinc y paja.

En este sector el 88% no cuenta con agua para riego pero, esto no ha sido un obstáculo para que los pobladores ejerzan la agricultura como en las demás comunidades, el maíz es el principal cultivo seguido de fréjol y quinua. Los habitantes además se han dedicado al manejo y crianza de cuyes y chanchos.

Comunidad de Iltaquí

Ubicada a 8 km de la parroquia de Quiroga, donde se registran 245 habitantes de los cuales 90,7% son indígenas y el 9,3% son mestizos. El nivel de analfabetismo es del 42,4% con mayor porcentaje en la comunidad femenina.

Según los censos de UNORCAC (2006) el 67,4% de la población percibe ingresos mensuales sobre los \$ 200 dólares, donde la mujer representa el 20,9% de la economía del hogar.

La comunidad cuenta con servicios básicos como: agua entubada, luz, y carecen de sistemas de alcantarillado. En esta comunidad el 93% de los hogares no poseen servicios higiénicos, siendo el único sistema de evacuación de las aguas servidas las letrinas. El 68% de las viviendas se encuentran elaboradas con bloque y ladrillo y el resto son de abobe. Y las cubiertas están elaboradas con tejas en un 83%, seguidas de paja eternit y zinc.

Apenas el 8% dispone del servicio de agua de riego y este ha sido un limitante para el desarrollo de la agricultura en la comunidad. A pesar de este inconveniente sobresalen cultivos como papas y quinua, además del tradicional cultivo de maíz. El manejo de animales está orientado hacia el cuidado de cuyes, ganado vacuno y chivos.



Comunidad El Cercado

Ubicada a 7 km de la cabecera cantonal, con una población de 785 habitantes donde la población indígena representa el 98,7% y el 1,3% corresponde a la población mestiza. El analfabetismo en la comunidad es del 55,8% siendo uno de los porcentajes que destaca dentro del territorio de UNORCAC, con énfasis en la población femenina.

Según información de los censos de UNORCAC (2006) el 86,4% de los habitantes perciben ingresos mensuales entre 101-200 dólares, y la responsabilidad de la mujer en la economía del hogar representa el 22,7%.

Posee servicios básicos como: agua entubada y luz, carece de sistemas de saneamiento (alcantarillado) y apenas el 20% de la población posee letrinas con único sistemas de descarga de aguas servidas. El 43% de las viviendas son de paredes de bloque y ladrillo, el 33% de adobe y el otro porcentaje es de bareques y tapiales. El 91%, de cubiertas son de teja y el resto de paja, loza y eternit.

La comunidad no dispone de servicio de riego, pero sobresalen los cultivos de maíz, fréjol, cebada y trigo. En concordancia con el censo de UNORCAC (2006) los habitantes de la comunidad en su mayoría se hallan dedicados, al manejo y crianza de animales como ganado vacuno, cuyes, cerdos, pollos de engorde y borregos.

3.2.2. Factor en estudio

Capacidad que tienen las especies, *Eichhornia crassipes*, *Azolla filiculoides* y *Lemna gibba*, en la remoción de contaminantes durante el tratamiento de aguas residuales domésticas, aplicados en monocultivo y asociación.



3.2.3. Tratamientos

Se considera como tratamientos a los cultivos de *Eichhornia crassipes*, *Azolla filiculoides* y *Lemna gibba* aplicados de forma independiente y en asociación (Cuadro 3.6), fue considerado para la experimentación el sistema uno debido a las condiciones civiles homogéneas (tamaño de estanques, profundidad, tiempo de retención) que presenta.

Cuadro 3.6. Tratamientos aplicados en el proceso de depuración de aguas residuales domésticas

Nº TRATAMIENTO	TRATAMIENTO (Cultivos)
T1	<i>Eichhornia crassipes</i>
T2	<i>Azolla filiculoides</i>
T3	<i>Lemna gibba</i>
T4	Asociación de especies <i>Lemna gibba</i> , <i>Azolla filiculoides</i> , <i>Eichhornia crassipes</i>
TESTIGO	Evaluación del tratamiento de las aguas con <i>Lemna gibba</i> sin mantenimiento

3.2.4. Descripción breve de la investigación

Se revisaron Leyes y Normas Ambientales vigentes para el Ecuador, relacionadas con el tema de descargas de aguas depuradas. La norma ambiental utilizada se encuentra en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario (TULAS) publicado en marzo del 2003, en el Libro VI De la Calidad Ambiental, en el Anexo I de la Tabla 12 de los límites permisibles de descarga en cuerpos de agua dulce.

Del total de parámetros que contempla la Tabla 12 de la norma TULAS (Anexo II, Tabla 1), se estableció una lista de 13 parámetros en base a las características de las fuentes receptoras de agua natural (ríos, quebradas y acequias) que constituyeron las variables a evaluarse. Se incluyeron tres parámetros más, nitrógeno amoniacal, fosfatos, y conductividad este último parámetro citado de la



Tabla 7 del TULAS (Parámetros de los niveles guía de la calidad del agua para riego). (Anexo II, Tabla 2).

Una vez establecida la lista de parámetros se procedió a la aplicación de cada uno de los tratamientos en monocultivos y luego formando una asociación. En cada tratamiento se tomaron varias muestras de agua que fueron analizadas en los laboratorios de aguas de EMAPA-I (Empresa Municipal de agua potable y alcantarillado, Ibarra) y de la Universidad Técnica del Norte.

Los resultados fueron promediados de acuerdo al número de repeticiones, lo que proporcionó una caracterización de los efluentes para cada uno de los tratamientos. Valores que se compararon con los límites permisibles de descargas en cuerpos de agua dulce de la Norma Ambiental del TULAS. Y finalmente se determinó la aceptabilidad o no aceptabilidad de los parámetros para cada tratamiento a nivel comunitario y unifamiliar.

3.2.5. Análisis de tratamientos

Se analizó el comportamiento de cada tratamiento en la remoción de los parámetros seleccionados, confrontados luego con los valores de los límites máximos permisibles para descargas en fuentes de agua natural de la norma del TULAS Ecuador. Con el fin de establecer el tratamiento idóneo en base al número de parámetros eficientemente removidos. Logrando verificar la permisibilidad de cada tratamiento en base al porcentaje de remoción para cada parámetro.

3.2.6. Variables a evaluarse

Las variables a evaluarse son los parámetros físicos, químicos y microbiológicos seleccionados de la Norma Ambiental del TULAS, (Cuadro 3.7).



Cuadro 3.7. Parámetros seleccionados para la evaluación de los tratamientos

PARÁMETROS QUÍMICOS	PARÁMETROS FÍSICOS
Demanda Química de Oxígeno	pH
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	Temperatura
Fósforo Total	Conductividad eléctrica
Fosfatos	Sólidos disueltos totales
Nitrógeno Total Kjeldahl	Sólidos suspendidos
Nitratos	Sólidos sedimentables
Nitritos	PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS
Nitrógeno amoniacal	Coliformes totales
	Coliformes fecales (<i>E. coli</i>)

3.3. Manejo específico de la investigación

El orden cronológico de las actividades desarrolladas en el proyecto se simplifica en un esquema de metodología (Fig. 3.1).

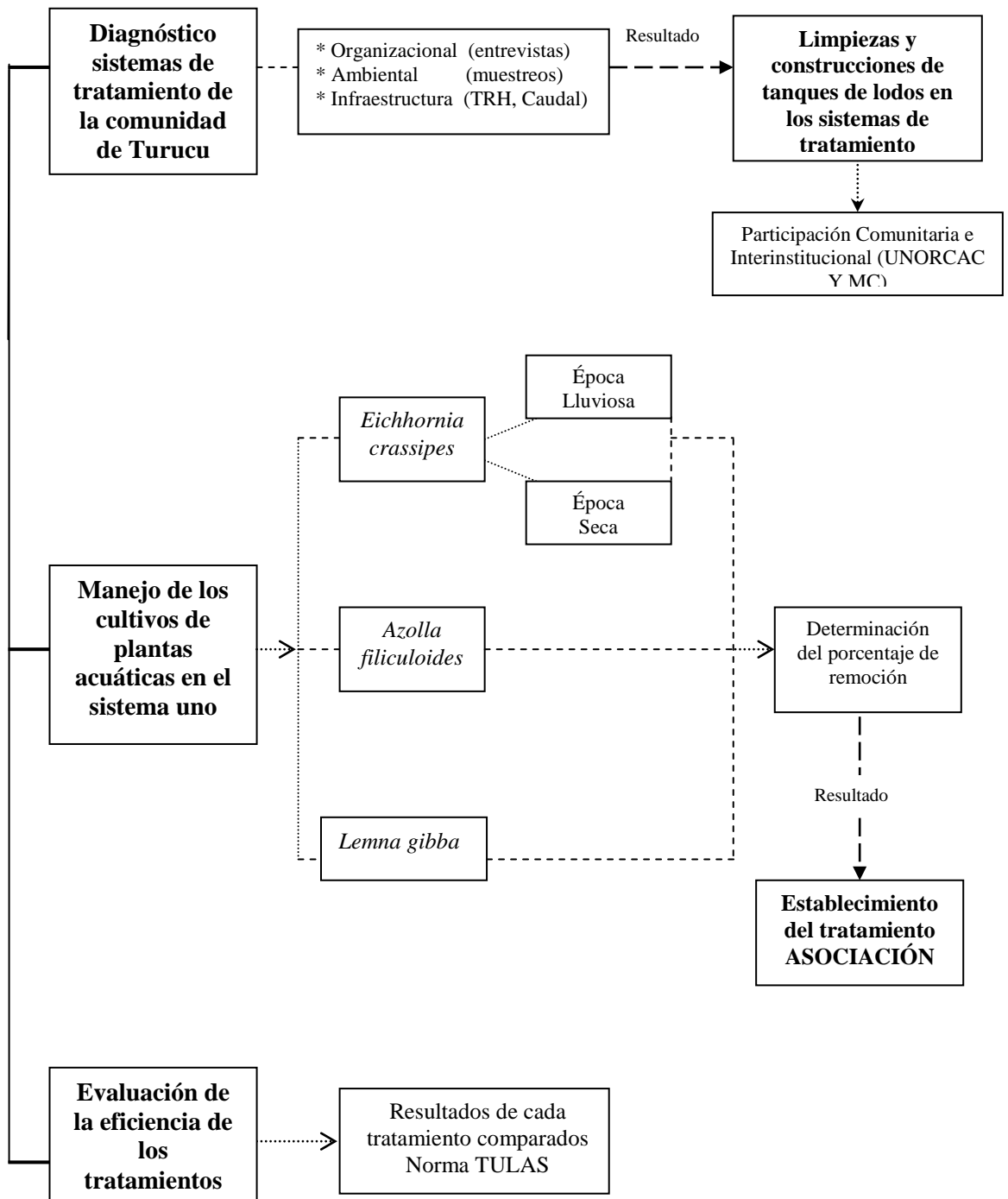


Fig. 3.1. Esquema de metodología de investigación

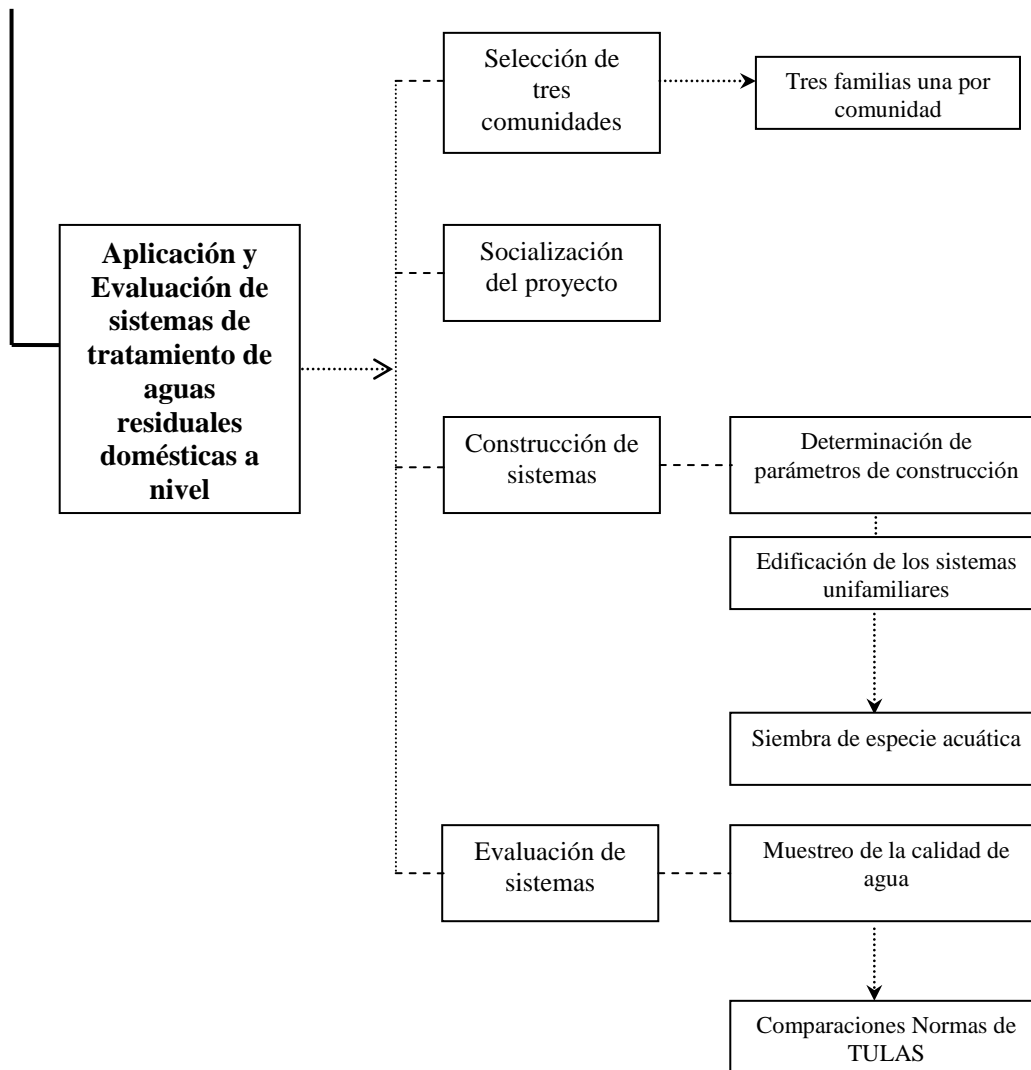


Fig. 3.1. Esquema de metodología de investigación (continuación)

3.3.1. Descripción de los sistemas de tratamiento

La comunidad de Turucu posee dos sistemas de tratamiento para aguas residuales domésticas, su funcionamiento inició con el empleo de *Lemna gibba* como tratamiento biológico (Foto 3.1 y 3.2). Los sistemas fueron construidos en el año 2004 (sistema uno) y 2005 (sistema dos) con la participación de la comunidad y con ayuda de la unión de organizaciones campesinas de Cotacachi UNORCAC.



Foto 3.1. Sistema uno



Foto 3.2. Sistema dos

El funcionamiento de los dos sistemas biológicos ubicados al margen izquierdo del río Pitzambiche (Foto 3.3), benefician a 36 familias es decir a 151 habitantes.



Foto 3.3. Río Pitzambiche

Sistema uno. Este sistema consta de un tanque sedimentador y de cuatro estanques de tratamiento, cada uno con similares dimensiones (1,95 m ancho x 23 m largo x 0,50 m profundidad) diseñado para una capacidad de 92 m³ de agua (Fig. 3.2)

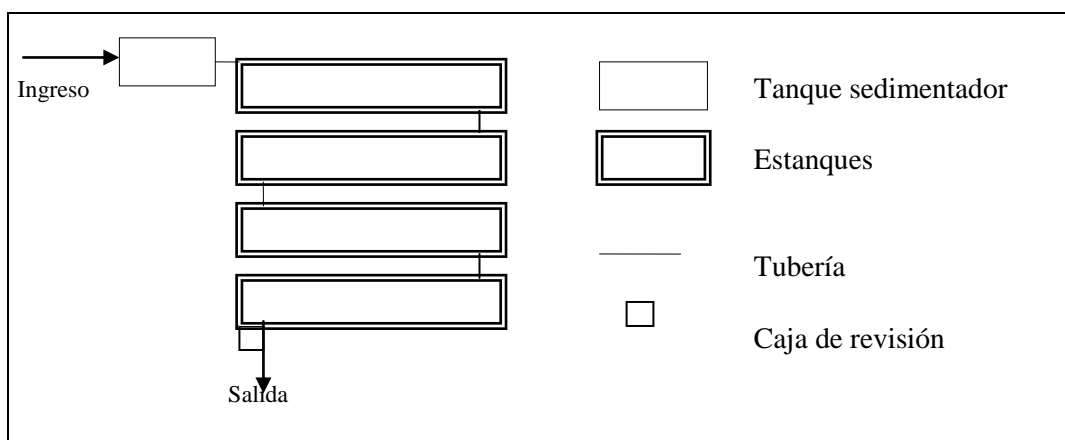


Fig. 3.2. Esquema del sistema de tratamiento uno de la comunidad Turucu.

Sistema dos.- Este sistema de tratamiento se constituye de un tanque sedimentador con dos cámaras internas; y de seis estanques de diferentes dimensiones (que van entre 23 m y 27 m de largo con 1 m de ancho y una profundidad de 0,5 m) tratándose 131,46 m³ de agua residual de la comunidad.

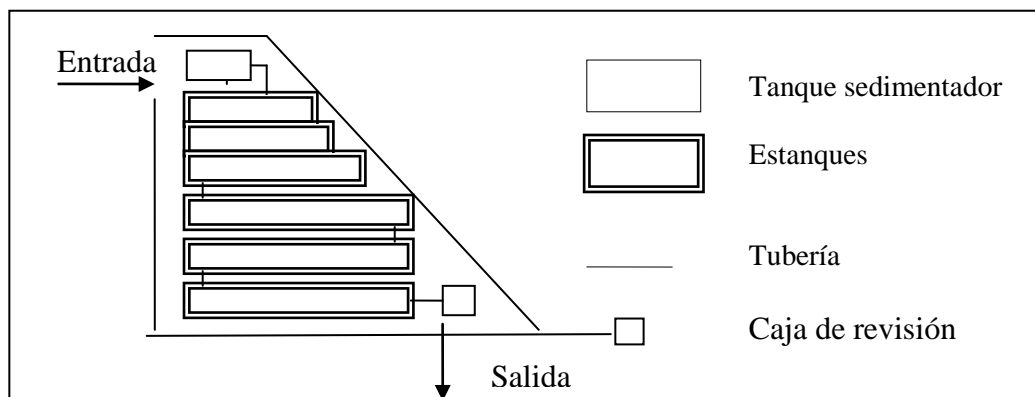


Fig. 3.3. Esquema del sistema de tratamiento dos Turucu

3.3.2. Diagnóstico del funcionamiento de los sistemas de tratamiento

Para conocer sobre el manejo y el funcionamiento de los sistemas se realizaron reuniones con el presidente de la comunidad, los coordinadores de cada sistema y los operadores de mantenimiento. Información que se empleó para la evaluación de los sistemas de tratamiento tanto a nivel administrativo como la eficiencia en el tratamiento de las aguas. Y además se realizaron las siguientes actividades.

- ✓ Censo de las viviendas que se encuentran conectadas a los sistemas de tratamiento.
- ✓ Determinar la frecuencia de limpieza y mantenimiento de los sistemas.
- ✓ Medición de caudales que se tratan actualmente en cada uno de los sistemas. (Foto 3.4)
- ✓ Verificar los tiempos de retención hidráulica (THR).
- ✓ Tomar muestras en cada una de los sistemas de tratamiento y analizarlas.



Foto 3.4. Medición de caudales

Medición de caudales.- Fue realizada durante un período de 12 horas que inició desde las 6 a.m. hasta las 18 p.m., con frecuencias de 15 minutos entre cada medición para los dos sistemas.

Determinación del tiempo de retención hidráulica TRH.-Efectuadas las limpiezas de cada uno de los sistemas en donde el agua de los estanques fue evacuada y los lodos removidos, se determinó el tiempo de retención hidráulica (tiempo total que se demora el agua en movilizarse por todo el sistema hasta descargarse al río), considerando la hora que empezó a ingresar el caudal nuevamente al sistema y se verificó diariamente el volumen de agua que se iba llenando en los estanques.

Toma de muestras.- Se muestrearon las aguas de los dos sistemas, en el sistema uno se establecieron tres puntos de muestreo (afluente, estanque medio, efluente), en el sistema dos por el número de estanques se fijaron cuatro puntos (afluente, estanque medio uno, estanque medio dos y efluente). En cada muestra colectada se analizaron los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que constan en las variables a evaluarse; para compararlos con normas TULAS, de descarga en cuerpos de agua dulce, la toma de muestra se realizó en enero de 2007.

3.3.3. Limpieza de los sistemas de tratamiento

El diagnóstico de los sistemas de tratamiento, ayudó a comprobar que no se había realizado limpieza de lodos desde su construcción. De acuerdo Chávez y Yandún



(2003) los sedimentos de los estanques en los sistemas de tratamiento que emplean plantas acuáticas deben ser limpiados cada seis meses o al menos una vez al año; el tanque sedimentador cada dos años para evitar la disminución de profundidad. Para Ly (2005) los lodos de los estanques deben ser tratados antes de ser manejados para otro tipo de uso (compostas).

3.3.3.1. Construcción del tanque para tratamiento de lodos

Las construcciones de los tanques para el depósito de lodos tuvieron que ser efectuadas con anterioridad a la evacuación de las aguas de cada sistema. Estas implementaciones se las realizó en los meses de marzo y abril del 2007 con la ayuda de los beneficiarios de cada sistema y con el apoyo económico de UNORCAC.

Los lodos evacuados tienen características semi-líquidas requiriéndose realizar la separación del agua del material sólido, empleándose para este fin un filtro conformado de piedra, ripio, arena gruesa y ladrillo. Además el propósito de elaborar el filtro fue evitar descargas de alta contaminación al río Pitzambiche.

Sistema uno. Por las condiciones de espacio en el sistema se decidió realizar el tanque de lodos junto a las planchas de pavimento que posee para disposición de la biomasa cosechada. (Anexo IV, Figura 1)

En este sistema el proceso de construcción se llevó a cabo en tres mingas: en la primera se efectuaron trabajos de la limpieza y excavación del área a utilizar y por el nivel freático alto previamente se empedró y se fundió los cimientos con una capa de hormigón simple de 5 cm (Foto 3.5). En la segunda minga se realizó la mampostería con bloque y para el empate de tubería del tanque de lodos se excavó hasta encontrar la tubería de salida del sistema al río; y en la tercera se culminó el trabajo de enlucido de paredes del tanque y elaboración del filtro.



Foto 3.5 Fases de construcción de tanque de lodos sistema uno. a) Cimentación del tanque, b) Elaboración del filtro.

El tanque tiene un área de construcción de $7,75 \text{ m}^2$ (ancho $2,30 \text{ m}$ y largo $3,37 \text{ m}$) con un volumen de $5,6 \text{ m}^3$ a lo cual se disminuirá el volumen del filtro ($1,79 \text{ m}^3$), teniendo una capacidad disponible de $3,81 \text{ m}^3$ para los lodos.

En el Cuadro 3.8, se detalla el grosor de las capas de cada uno de los constituyentes del filtro y la cantidad en volumen requerido de materiales. En el caso del ladrillo fue colocado en posición vertical ocupando 96 unidades para cubrir la base del tanque.

Cuadro 3.8. Materiales y volumen del filtro sistema uno

MATERIALES	ALTO DE CAPA m	AREA m^2	VOLUMEN m^3
Piedra bola	0,1	6,38	0,638
Ripio	0,05	6,38	0,319
Arena gruesa	0,05	6,38	0,319
Ladrillo	0,08	6,38	0,5104
			1,79

Fuente: Las autoras

Sistema dos. Por las condiciones de espacio del sistema se decidió realizar el tanque adheridos a los estanques 4 y 5 (Foto 3.6). En este sistema la construcción requirió tres mingas: la primera en la limpieza del área a utilizar y fundición de paredes de hormigón armado, la segunda cimientos y empate de tubería del tanque con la de descarga al río y la tercera elaboración del filtro.



El tanque tiene un área de construcción de 5,76 m² (ancho 2,40 m y largo 2,40m) y un volumen de 4,23 m³ a lo cual se disminuirá el volumen del filtro (1,48 m³), teniéndose una capacidad de almacenamiento de 2,75 m³ para los lodos.



Foto 3.6. Tanque de lodos sistemas dos

En el Cuadro 3.9, se detalla el alto de las capas de los componentes del tamiz y el volumen necesario de cada uno de los materiales. De igual forma que en tanque del sistema uno, los ladrillos fueron colocados en posición vertical ocupando 80 unidades para cubrir la base del tanque.

Cuadro 3.9. Materiales y volumen del filtro sistema dos

MATERIALES	ALTO DE CAPA m	AREA m ²	VOLUMEN m ³
Piedra bola	0,1	5,29	0,529
Ripio	0,05	5,29	0,2645
Arena gruesa	0,05	5,29	0,2645
Ladrillo	0,08	5,29	0,4232
			1,48

Fuente: Las autoras

Los costos de construcción de tanque de lodos para cada uno de los sistemas se detallan en el Anexo III, Cuadro 1 y 2 respectivamente.

3.3.3.2. Limpieza del sistema

Una vez culminadas los tanques de tratamiento de lodos se coordinó con los beneficiarios del sistema para realizar nuevas mingas de limpieza, efectuadas el



26 de mayo y el tres de junio en el sistema uno y el nueve de junio en el sistema dos (Foto 3.7). Además se recalca la colaboración del Municipio de Cotacachi a través del departamento de agua potable, quienes proporcionaron asistencia técnica y equipos necesarios para cumplir con esta actividad (Anexo VI, Informe).



Foto 3.7. Participación comunitaria en las mingas de limpieza. a) Sistema uno, b) Sistemas dos

Sistema uno. Este sistema no posee una tubería provisional que permita desviar el agua residual que proviene de la alcantarilla mientras se realizan los trabajos de limpieza. Percance por el cual se efectuó dos mingas para concluir el mantenimiento; primero se succionó el agua del tercer y cuarto estanque retirándose en forma manual los lodos; en la segunda minga se procedió a la excavación de un canal para la colocación de una tubería provisional que condujo el agua desde el tanque sedimentador hasta el tercer estanque, lográndose desalojar las aguas del primer y segundo estanque. En ambos caso el retiro de los sedimentos se los realizó con las medidas de precaución y protección (botas, guantes y mascarillas) necesarias para la comunidad.

El tiempo empleado en la evacuación de las aguas en los estanques tres y cuatro fue de tres horas considerándose que en esta minga hubo la participación de seis personas y el operador de la bomba de succión. En la segunda fase de limpieza se mantuvo el mismo lapso de tiempo, pero sin la presencia del ayudante de la municipalidad.

Sistema dos. El sistema posee un tanque sedimentador con doble compartimiento, diseñado para la desviación de las aguas provenientes de la alcantarilla durante el



proceso de limpieza, facilitando el desalojo del agua y consecuentemente la remoción de lodos. El tiempo aproximado en la evacuación de las aguas en los seis estanques de este sistema fue de cuatro horas (Foto 3.8).

Las actividades no podrían haber sido desarrolladas sin la cooperación de los todos los beneficiarios de este sector de la comunidad, que en una sola minga terminaron el mantenimiento del sistema. De igual manera contaron con material de protección provistos por UNORCAC.



Foto 3.8. Retiro de lodos de las estanques

3.3.3.3. Muestreo de lodos

Los organismos patógenos presentes en las aguas residuales pueden provenir de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una enfermedad determinada. Motivo por el cual se realizó el muestreo de lodos, una vez que estos fueron depositados en los tanques de filtración, previamente se esperó tres semanas hasta que los lodos tomen una contextura pastosa ideal como muestra de análisis de laboratorio; con el fin de conocer las posibles enfermedades que afectan a las familias de este sector. La limpieza de los sistemas fue necesaria antes de la aplicación de nuevas especies para conocer la incidencia de los lodos en el tratamiento biológicos.



3.3.4. Manejo de los cultivos en los sistemas de tratamiento

Por la homogeneidad de las dimensiones de los estanques del **sistema uno** se resolvió utilizarlo para el ensayo de los tratamientos con *Eichhornia crassipes*, *Azolla filiculoides* y *Lemna gibba* en la depuración de las aguas. Aplicándose las proporciones de siembra sugeridas por Rodríguez (2001), quien recomienda que la proporción de *Azolla sp* sea $1,71 \text{ kg/m}^2$, *Eichhornia crassipes* 5 kg/m^2 y *Lemna sp* de $1,5 \text{ kg/m}^2$.

3.3.4.1. Tratamiento uno: cultivo y manejo de *Eichhornia crassipes*

Proceso de siembra. La semilla de *Eichhornia crassipes* que consiste en individuos pequeños o hijuelos de plantas grandes, se obtuvieron de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de San Miguel Bajo perteneciente a la parroquia de San Rafael en la cuenca del lago San Pablo (Foto 3.9).

La siembra fue realizada el 30 de mayo de 2007 (época seca) y 15 de noviembre (época lluviosa) en el **sistema uno** de la comunidad de Turucu (Foto 3.10), dispersándose esporádicamente el jacinto de agua en los cuatro estanques con la finalidad de evitar un estrés en la planta y una mejor adaptación.



Foto 3.9. Cosecha de jacinto



Foto 3.10. Siembra sistema uno

Manejo de *Eichhornia crassipes*. Durante el cultivo se realizaron varias cosechas, seleccionado especialmente a las plantas con coloración amarillenta o



aquellas que presentaban bulbos blanquecinos, permitiendo el crecimiento de los individuos en buenas condiciones.

Considerando que *Eichhornia crassipes* no ha sido empleado como un tratamiento secundario en la depuración de aguas residuales en la provincia, se realizó un estudio fisiológico de la especie (Foto 3.11), para lo cual se seleccionaron 20 individuos en cada una de los estanques es decir 80 plantas etiquetadas; midiéndose los siguientes parámetros:

- ✓ Altura (considerada la medición desde la raíz hasta la hoja más alta)
- ✓ Ancho (considera la medida de las dos hojas extendidas, tomando desde el ápice del lado izquierdo al derecho).
- ✓ Numero de bulbos
- ✓ Numero de hijuelos
- ✓ Numero de bulbos por hijuelo
- ✓ Peso de la planta (en gramos)



Foto 3.11. Estudio fisiológico de *Eichhornia crassipes*. a) Selección de los individuos, b) Etiquetados, c) Medición de altura y ancho, y d) Medición de peso



Para la determinación del crecimiento, rendimiento de la biomasa y la capacidad de carga operacional KOP, se usó la siguiente metodología.

- ✓ Análisis el crecimiento de las plantas en cuatro cuadrantes de madera de 50 cm x 50 cm ubicados en la mitad de cada una de los estanques (Foto 3.12).
- ✓ Registro del 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 que se escurran 10 minutos, debido a que el sistema radicular de la planta retiene agua pudiendo alterar el peso en el valor real.

Una vez establecido la densidad inicial y el incremento de ésta en un periodo de 3 a 21 días, se graficaron las curvas de los promedios de crecimiento de *Eichhornia crassipes* para cada uno de los estanques y se estableció la capacidad de carga operacional y rendimiento máximo de la biomasa por el método gráfico.

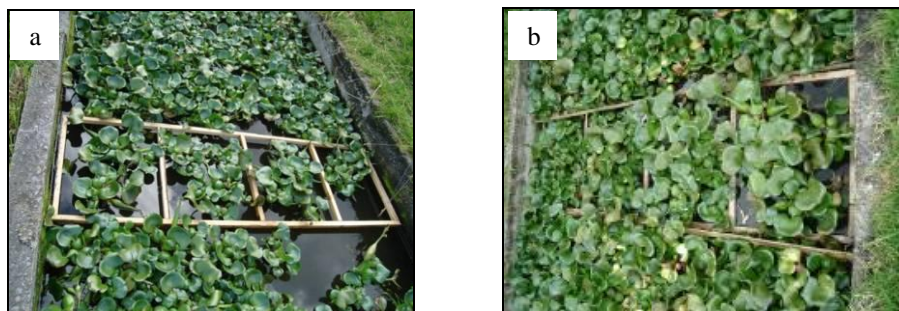


Foto 3.12. Crecimiento y rendimiento de *E. crassipes*. a) Siembra en cuadrantes b) Incremento de la cobertura

3.3.4.2. Tratamiento dos: cultivo y manejo de *Azolla filiculoides*

Realizado el estudio de *Eichhornia crassipes* en época seca, se cosechó en forma progresiva para dar lugar al nuevo cultivo de *Azolla filiculoides*.

Proceso de siembra. La semilla que consiste en pequeñas plantas de *Azolla filiculoides*, se obtuvieron en las orillas del Lago San Pablo (Foto 3.13) en el



tramo del mulle de la parroquia de Espejo hasta el sector del desagadero y en la comunidad de La Compañía. La siembra se realizó en el mes de septiembre 2007.

Manejo de *Azolla filiculoides*. En investigaciones antes realizadas en la provincia esta especie ha sido utilizada como un tratamiento terciario; en este estudio se consideró la posibilidad de emplearlo como un tratamiento secundario. Establecido el cultivo, la biomasa fue cosechada semanalmente (Foto 3.14), y se realizaron mediciones del tamaño de las raíces, altura de la planta en cada una de los estanques, con el propósito verificar su tolerancia en aguas con mayor contaminación.



Foto 3.13. Cosecha de azolla



Foto 3.14. Biomasa cosechada

3.3.4.3. Tratamiento tres: cultivo y manejo de *Lemna gibba*

El cultivo de *Lemna gibba* ha sido empleado en otras investigaciones proporcionando excelentes porcentajes en remoción de contaminante de aguas residuales domésticas. Para este proyecto se consideró como un tratamiento adicional el uso de la lenteja, para evaluar la incidencia del manejo adecuado en los procesos de depuración.

Proceso de siembra y manejo. El cultivo de *Lemna gibba* se estableció después de la cosecha de *Eichhornia crassipes* en época lluviosa; obteniéndose su semilla en los sistemas de tratamiento de la comunidad de Calera en el Cantón Cotacachi (Foto 3.15).



La siembra se efectuó en el mes de diciembre del 2007 y enero del año 2008 y las cosechas se realizaron cada 8 días, como sugiere Coral (2002).



Foto 3.15. Cultivo de *Lemna gibba*

3.3.4.4. Tratamiento cuatro: cultivo y manejo en asociación (*Eichhornia crassipes*, *Azolla filiculoides* y *Lemna gibba*)

La aplicación de este tratamiento se propuso para comparar la eficiencia de los cultivos solos y en asociaciones de las tres especies (Foto 3.16). La semilla de cada especie fue conservada en el sistema en cuadrantes protegidos con barreras con el objetivo de no perderla y no se dificulte el establecimiento de la asociación.



Foto 3.16. Cultivo en asociación sistema uno

El orden con que fueron cultivadas las especies se basó en los porcentajes de remoción en las diferentes pruebas realizadas en *Eichhornia crassipes*, *Azolla filiculoides* y *Lemna gibba* por separado. Elaborándose un cuadro con las variables a evaluarse (parámetros físicos, químicos y microbiológicos) y su



respectiva calificación en la que se acreditó el valor tres al porcentaje con mayor depuración, dos al de mediana purificación y al de menor remoción. (Cuadro 4.7).

Proceso de siembra y manejo. Durante la aplicación del tratamiento, las espéciese se cosecharon periódicamente, para el caso de jacinto de agua se efectuó en lapsos de 15 días y en las dos especies restantes semanalmente. Este cultivo se manejó en los meses de febrero y marzo 2008.

3.3.5. Evaluación de los tratamientos en la depuración de las aguas residuales domésticas

La evaluación de los tratamientos ensayados en la depuración de las aguas, se basó en los análisis de laboratorio.

3.3.5.1. Plan de muestreo

Se estableció un cronograma de muestreo de las aguas residuales del **sistema uno** con tres repeticiones, y una frecuencia de 8 días entre cada repetición. Los puntos de muestreo fueron cinco: el primero, el ingreso del agua proveniente del sedimentador al sistema; segundo, salida de agua del estanque uno; tercero, descarga del agua en el estanque dos; cuarto, salida del agua de del estanque tres; y quinto, efluente del sistema (Fig. 3.4). Este plan de muestro se aplicó para el T1 (*Eichhornia crassipes*), T2, (*Azolla filiculoides*) y T3 (*Lemna gibba*).

La selección de cinco puntos de muestreo ayudó a determinar la calidad de agua en cada una de las estanques, y comparar el porcentaje de remoción de cada especie en dichos estanques. De esta manera se pudo establecer el orden de las especies en el T4 (Asociación de especies), para el cual el muestreo se considero dos puntos afluente y efluente (Fig. 3.5).

Además en T1 (*Eichhornia crassipes*), se efectuó un muestreo adicional en época seca en el se determinaron dos puntos de muestreo, uno al ingreso del sistema y el

otro en la descarga (Fig. 3.5); con tres repeticiones y una frecuencia de toma de muestras de 8 días. El objetivo de este muestreo fue demostrar el comportamiento del jacinto de agua en distintas épocas del año.

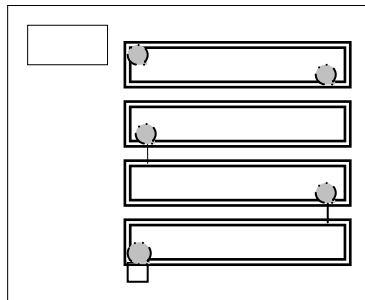


Fig. 3.4. Esquema de cinco puntos de muestreo

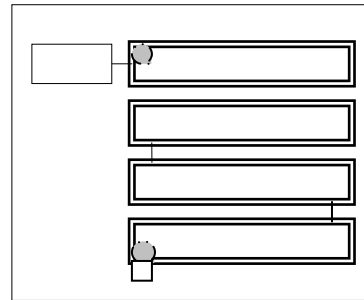


Fig. 3.5. Esquema de dos puntos de muestreo Jacinto (época seca) y Asociación

Colecta y análisis de muestras. Se tomaron muestras simples y la cantidad de muestras colectada fue de dos litros por punto. Existieron parámetros que se midió en el campo como el pH, temperatura y en algunas ocasiones oxígeno disuelto (Foto 3.17).

En los laboratorios de Universidad Técnica del Norte y EMAPA de la ciudad de Ibarra se analizaron los demás parámetros: Conductividad eléctrica, STD, S. Suspendidos, S. Sedimentables, DQO, DBO₅, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno Amoniacal, NTK, P. Total, Fosfatos y microbiológicos (Foto3.18).



Foto 3.17. Mediciones “in situ”



Foto 3.18. Análisis en laboratorio

Métodos de análisis. La metodología empleada en los análisis de agua para cada parámetro se especifica en el Cuadro 3.10, resaltando ser en su mayoría



colorimétricos y las lecturas fueron realizadas en los espectrofotómetros especializados para cada parámetro.

Cuadro 3.10. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos

	PARAMETROS	UNIDAD	METODOLOGÍA
1	Conductividad	us/cm	APHA 2510 B
2	Sólidos Totales	mg/L	APHA 2540 B
3	Sólidos suspendidos	mg/L	APHA 2540 D
4	Sólidos sedimentables	mg/L	APHA 2540 F
5	DQO	mg/L	APHA 5220 B
6	DBO	mg/L	APHA 5210 B
7	N-Nitratos	mg/L	APHA 4500-(NO ₃)-B
8	N-Nitritos	mg/L	APHA 4500- (NO ₂)
9	Nitrógeno amoniacal	mg/L	APHA 4500-(NH ₃)-D
10	Nitrógeno Total K	mg/L	ISO 7890/1
11	Fósforo Total	mg/L	APHA 4500-P
12	Fosfatos	mg/L	APHA 4500 - P
13	Coliformes Totales	ufc/100ml	E.P.A.-40CFR
14	<i>Escherichia Coli</i>	<i>Ufc/100ml</i>	E.P.A.-40CFR

Fuente: Análisis de parámetros EMAPA

Los análisis microbiológicos se realizaron con diluciones 1/100 es decir 1 ml de muestra en 100 ml de agua destilada, y luego fue tomado 1 ml de la nueva disolución en 100 ml de agua destilada. Esto se realizó por las altas concentraciones de microorganismos patógenos en las aguas analizadas.

3.3.6. Aplicación de sistemas de tratamiento a nivel unifamiliar

Se detallan los procesos seguidos para la implementación de sistemas de tratamiento a nivel unifamiliar, en comunidades del área rural que no cuentan con servicio de alcantarillado.



3.3.6.1. Fase de preselección

Simultáneamente mientras se ejecutaba los tratamientos en el sistema uno de la comunidad de Turucu, se inició la selección de tres comunidades en el cantón en la aplicación de sistemas unifamiliares usando plantas acuáticas. La selección se basó en la disponibilidad de los servicios básicos, es decir, aquellas comunidades que poseían agua de consumo, pero a la vez carecían de sistemas de alcantarillado público debido a la dispersión de viviendas.

Posteriormente elegidas a las tres comunidades (Guitarra Ucu, Iltaquí, El Cercado) se realizó talleres (Foto 3.19), y se aplicó una encuesta (Anexo VI, Encuesta) de donde se obtuvo una lista de las personas con las cuales se trabajaría en la fase de construcción.



Foto 3.19. Taller en la comunidad de Iltaquí

Parte del sondeo fue obtener información sobre el número de integrantes de las familias, interés de descontaminación de las aguas generadas, disponibilidad de espacios y ubicación de viviendas sobre los terrenos, factor esencial para el aprovechamiento de la pendiente necesaria para en la construcción.

Una de las condiciones determinantes para el diseño de sistemas de tratamiento son los caudales de ingreso (cuadro 3.11), siendo estos muy variables y reducidos debido a que en algunas comunidades del cantón la dotación de agua no es permanente.



Cuadro 3.11. Promedio del consumo diario de agua y disponibilidad en horas día de tres comunidades

COMUNIDADES	Número de integrantes de la familia	(Litros) Consumo diario	Disponibilidad de agua (horas/día)	Disponibilidad del Caudal (l/s)
Guitarra Ucu	7	600	12	0.014
Itaquí	5	500	12	0.012
El Cercado	6	500	6	0.023

Fuente: Censos UNORCAC, 2006

3.3.6.2. Fase de construcción

La fase de construcción dependiendo de la comunidad se desarrolló en los meses de abril, hasta agosto del 2007 en Guitarra Ucu y El Cercado; y en Itaquí noviembre 2007 a enero 2008. UNORCAC contribuyó con materiales, transporte y mano de obra calificada, y el aporte de los beneficiarios fue la mano de obra no calificada (Foto3.20).



Foto 3.20. Construcción de sistemas unifamiliares

Con anterioridad se definió la calidad de suelos en cada sitio, para emplear los materiales adecuados en la construcción y por las características geológicas de las comunidades algunos materiales como arena y piedras se obtuvieron en algunos casos en el lugar de construcción siendo no necesario su compra..

a) Diseño del sistema de tratamiento

En los diseños de los sistemas unifamiliares se mantuvieron las características en infraestructura de los sistemas comunitarios, es decir el sistema de tratamiento



consta de un tanque sedimentador que constituye un pretratamiento, tres estanques donde se cultivan las plantas acuáticas produciéndose la descontaminación de las aguas a través de procesos biológicos.

De acuerdo a Coral (2002) el TRH (Tiempo de retención hidráulica) en los sedimentadores se ha propuesto de ocho horas, para luego que las aguas se viertan a los estanques y circulen por un TRH de 8 días. En estos sistemas pequeños se propone una variación en el aumento del tiempo de retención durante todo el proceso el cual incrementa en el tanque sedimentador a una permanencia del agua a 1,5 días, proporcionando mejorar los procesos anaeróbicos. Y la permanencia del agua en los estanques se incrementó a un TRH de 10 días. Determinándose el tiempo de permanencia de las aguas residuales domésticas en estos sistemas unifamiliares en 11,5 días.

Además se conservó el 1% de pendiente en la base de cada estanque para mejorar la circulación del agua y en la colocación de tubos de salida de los estanques con relación al siguiente se estableció una inclinación del 2%. La tubería utilizada en todo el proceso de conducción de las aguas residuales tratadas y no tratadas fue de cuatro pulgadas de diámetro, en base a sugerencias de profesionales en construcciones civiles.

b) Esquema de construcción para un sistema de tratamiento unifamiliar

El diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel unifamiliar, resulta de aplicar las siguientes fórmulas, que fueron tomadas como base de la construcción de otros sistemas y han sido modificadas para esta investigación de acuerdo a los resultados que se desean obtener.

El dimensionamiento de los sistemas unifamiliares se obtiene de los datos que se muestran en el Cuadro 3.11, tomando en cuenta para este esquema de construcción el consumo promedio de 500 l/día.



Cálculo del caudal estimado.- La dotación de agua en las áreas rurales es relativamente baja, en relación a las cantidades disponibles en las zonas urbanas. A continuación se muestra el cálculo del caudal para una familia de seis personas con una dotación de agua por integrante de familia de 85 l/h/d.

Dotación estimada: 85l/h/d

$$Q = \text{Dotación} * \# \text{ de habitantes} * \% \text{ de agua}$$

$$Q = 85 \text{ l/h/d} * 6 \text{ h} * 0,70$$

$$Q = 0,36 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q = 0,0042 \text{ l/s}$$

De acuerdo a la norma de la Subsecretaría de Saneamiento Ambiental de Ecuador el porcentaje de aguas servidas es alrededor del 70% del agua requerida diaria por persona, siendo este valor la cantidad de agua que va directamente al sifón. El 30% restante se utiliza en el regadío de jardines y en otras actividades.

Cálculo del volumen de agua a retener en el tanque sedimentador.- El volumen a tratarse en el tanque sedimentador se obtuvo de la aplicación de la siguiente fórmula.

Tiempo de Retención Hidráulica TRH= 1,5 días

1 día = 86,400 segundos

$$V = Q * TRH$$

$$V = 0,0042 \text{ l/s} * 1,5 * 86,400 \text{ seg}$$

$$V = 544,32 \text{ l}$$

$$V = 0,544 \text{ m}^3$$

Cálculo del volumen de agua a tratar en los estanques.- Con la finalidad de mejorar el proceso de depuración en los sistemas unifamiliares se incrementó el período de retención a 10 días.



Tiempo de Retención TRH = 10 días

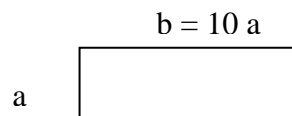
$$V = Q \times TRH$$

$$V = 0,0042 \text{ l/s} \times 864000 \text{ seg}$$

$$V = 3628,8 \text{ l}$$

$$V = 3,63 \text{ m}^3$$

Dimensiones de estanques. En el estudio de Coral (2002) el diseño de los estanques se establece como la relación (largo: ancho) 10:1 para que el flujo del agua residual cumpliera con la teoría del flujo pistón.



$$V = a \times b \times h$$

$$V = a \times 10a \times 0,4 \text{ m}$$

$$a^2 = V / (10 \times 0,4 \text{ m})$$

$$a^2 = 3,63 \text{ m}^3 / 4 \text{ m}$$

$$a^2 = 0,907 \text{ m}^2$$

$$a = 0,95 \text{ m}$$

$$b = 10 a$$

$$b = 9,5 \text{ m}$$

De acuerdo con los cálculos de dimensiones para la construcción del estanque, este podría ser uno solo de 0,95 m de ancho 9,5 m de largo y de 0,4 m de profundidad, pero por la disponibilidad del terreno en las comunidades, se ha sugerido realizar tres estanques. Las medidas de cada una de los estanques serán de 0,90 m de ancho x 3,4 m de largo y con una profundidad promedio de 0,4 m en el Cuadro 3.12, se indica las dimensiones de los sistemas para cada comunidad.



Cuadro. 3.12. Resumen de cálculos en la construcción de sistemas de tratamiento por comunidad

CÁLCULOS	Guitarra Ucu	Itaquí	El Cercado
Caudal estimado	0,0049 l/s	0,0042 l/s	0,0042 l/s
Volumen de agua en el Tanque sedimentador	0,635 m ³	0,544 m ³	0,544 m ³
Volumen agua a tratar en los estanques	4,23 m ³	3,63 m ³	3,63 m ³
Dimensiones de estanques	1m x 3,6m x 0,4m	0,90m x 3,4m x 0,4m	0,90m x 3,4m x 0,4m
Área del terreno	30	26	26

Fuente: Las autoras

c) Esquema de construcción de sistemas de tratamiento unifamiliares

Para cada una de las comunidades se elaboró un bosquejo con las dimensiones del Cuadro 3.12, que sirvieron de guía en la construcción así, el Anexo IV la Fig. 2, muestra el diseño en planta del sistema de tratamiento para aguas residuales domésticas unifamiliares; la Fig. 3, muestra un corte en A-A' de los tres estanques y el sedimentador en el sistema; en la Fig. 4, se detalla las medidas del tanque sedimentador; y la Fig.5, muestra las dimensiones de un estanque en corte A-A'.

d) Cálculo de materiales en volúmenes y costos para la construcción un sistema unifamiliar

A continuación en el Cuadro 3.13, se detallan los cálculos de materiales y costos que fueron requeridos para la construcción de un sistema de tratamiento unifamiliar para tratar un volumen de 500 litros diarios.



Cuadro 3.13. Detalle de dimensiones del tanque sedimentador y estanques

DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES (a x b x h) x v ²	N. DE LADOS	ÁREA m ²	VOLUMEN m ³
Tanque Sedimentador				
Base	1,2 x 1,2 x 0,05		1,44	0,072
Mampostería de ladrillo	1,20 x 1 1 x 1	2 2	4,40	
Loza	1,25 x 1,25x 0,10		1,56	0,156
Enlucido de interiores	(1,20 x 2 + 1 x 2) x 0,1 (1 x 1)	4	0,44 4,00	
Masillado de piso	1,2 x 1,2		1,44	
Estanques rectangulares (tres unidades)				
Base	3.6 x 1,1 x 0,05	3	11,88	0,60
Mampostería de ladrillo	(3,6 x 0,62) + (0,9 x 0,62)	6 6	16,74	
Enlucido de interiores	(3,4 x 0,62) + (0,9 x 0,62) (3,60 x 2+0,90 x 2)x 0,1	6 6 3	12,65 3,35 2,7	
Masillado de piso	3,6 x 1,1	3	11,88	

Fuente: Las autoras

Tipo de infraestructura.- Las paredes o mampostería del tanque sedimentador y de los tres estanques se construyeron con ladrillo en posición vertical y luego fueron enlucidas e impermeabilizadas. Las dimensiones del ladrillo que se empleó fueron 37 x 15 x 8 cm, necesitándose 17 ladrillos por 1 m² y cada sistema tuvo una superficie de 21.1 m², empleándose un total de 359 ladrillos.

Los **pisos** del tanque sedimentador al igual que de los estanques fueron previamente empedrados y luego recubiertos con una capa de hormigón simple de 5 cm. Y para la cubierta del tanque sedimentador se fundió una loza de hormigón simple de 5cm, con acero de refuerzo de 10 mm en dos direcciones y separaciones de 15 cm.

² v = ancho de borde



e) Participación de los beneficiarios en la construcción de los sistemas

Para la construcción del sistema unifamiliar fueron necesarios 30 m², donde el beneficiario aportó con el espacio de terreno y mano de obra para limpieza, desbroce y excavaciones respectivas.

El Cuadro 3.14, muestra las cantidades y los materiales que aportaron cada una de las partes colaboradoras para este proyecto.

Cuadro 3.14. Construcción de un sistema de tratamiento

Descripción	Unidad	Cantidad	Aporte
Acero de refuerzo	kg	16,88	UNORCAC
Agua	m ³	0,71	Beneficiario
Alambre de puas	m	60	UNORCAC
Alambre galvanizado	kg	0,34	UNORCAC
Arena fina	m ³	1,52	UNORCAC
Arena gruesa	m ³	0,54	UNORCAC
Cemento	kg	589,01	UNORCAC
Clavos	kg	0,2	UNORCAC
Codos de 2" y 4"	u	10	UNORCAC
Ladrillo	U	359	UNORCAC
Pega tubo	L	0,03	UNORCAC
Piedra (empedrado)	m ³	2	UNORCAC
Poste de madera	u	10,5	UNORCAC
Ripio triturado	m ³	0,79	UNORCAC
Tabla ordinaria	u	1,33	Beneficiario
Tubos de 2"	m	1	UNORCAC
Tubos de 4"	m	5,6	UNORCAC
Mano de obra			
Peón			Beneficiario
Albañil			UNORCAC

Fuente: Las autoras



f) Costos de construcción de un sistema de tratamiento unifamiliar

Los **costos directos** de la construcción del sistema se detallan en el cuadro 3.15, son aquellos que se emplearon únicamente en la construcción de los sistemas de tratamiento efectuados a partir de la captación de las aguas residuales domésticas de la caja de revisión.

Cuadro 3.15. Costo de construcción de un sistema de tratamiento unifamiliar

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Tanque Sedimentador				
Excavación manual	m ³	1,44	3,47	5,00
Encofrado	m ²	1	5,46	5,46
Empedrado base	m ²	1,44	3,57	5,14
Hormigón simple de F´C=210kg/cm ²	m ³	0,23	94,94	21,84
Masillado de piso	m ²	1,44	3,52	5,07
Acero de refuerzo	kg	16,88	1,42	23,97
Mampostería de ladrillo	m ²	4,40	6,87	30,23
Enlucido vertical	m ²	4,44	3,95	17,54
Accesorio del tanque	Glb	1	17,58	17,58
Estanques de plantas acuáticas (3 unidades)				
Excavación manual	m ³	4,16	3,47	14,44
Empedrado base	m ²	11,88	3,57	42,14
Hormigón simple de F´C=210kg/cm ²	m ³	0,60	94,94	56,98
Masillado de piso	m ²	11,88	3,52	41,82
Mampostería de ladrillo	m ²	16,74	6,87	115,00
Enlucido vertical	m ²	18,69	3,95	73,83
Accesorio del tanque	Glb	1	15,75	15,75
Cerramiento de alambre púas	ml ³	20,00	1,62	32,40
			TOTAL	524,30

Fuente: Las autoras

³ ml = 3 filas de alambre de 1m



Los valores del costo de los materiales se hallan en referencia a la época de construcción, es decir al período de abril 2007 a enero 2008.

Los **costos indirectos** son aquellos que se incrementan por motivos de la fiscalización de las obras y el pago de servicios profesionales. El valor del costo indirecto es el 20% adicional al total del costo directo de la construcción.

3.3.7. Evaluación en los sistemas de tratamiento unifamiliares

Una vez construidos los sistemas se optó por el manejo de una sola especie, que sea fácil de cosechar y que además presente una serie adicional de alternativas especialmente la posible elaboración de abonos.

El cultivo seleccionado fue el T1 (*Eichhornia crassipes*) por su crecimiento menos acelerado permitiendo cosechas en períodos más largos en relación a las otras especies, aspecto estético, disminución de olores y capacidad de depuradora. La siembra de la especie se realizó tanto en Guitarra Ucu y El Cercado en septiembre 2007 y en Iltaquí en Febrero 2008 (Foto 3.21).

Previa a la toma de muestras se capacitó a las familias en el manejo de la especie cultivada en temas de utilización de la biomasa y período de cosechas. Para el muestreo se consideraron dos puntos, el primero calidad de agua entrante a los estanques (afluente), el segundo salida del sistema (efluente). Se realizaron muestras simples, recolectando dos litros de muestras por cada punto (Foto 3.22). El número de repeticiones realizadas fueron dos por factores económicos; la frecuencia entre repetición fueron 8 días y los parámetros analizados (físico-químico y microbiológico) fueron los mismos que constan como variables en estudio. La toma de muestras se efectuó en la última semana de marzo y la primera de abril del 2008.



Foto 3.21. Siembra en sistemas



Foto 3.22. Toma de muestras unifamiliares

Realizadas las actividades antes descritas se procedió a la ordenación de la información con la tabulación de los datos de campo, elaboración de mapas, procesamientos de análisis de aguas de los diferentes tratamientos obtenidos en el laboratorio; cuyos resultados con los respectivos análisis se detalla en el siguiente capítulo.

CAPITULO IV

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Este capítulo pone en consideración los resultados del diagnóstico de los sistemas comunitarios de Turucu, diagnosis que engloba la determinación de calidad de aguas tratadas, caudales y tiempo de retención hidráulica para cada uno de los sistemas.

Se evalúa el comportamiento de los tratamientos (*Eichhornia crassipes*, *Azolla filiculoides* y *Lemna gibba*), y la Asociación propuesta, en el proceso de depuración de aguas residuales domésticas en el sistema uno. Del mismo modo se analiza el comportamiento de *Eichhornia crassipes* en el proceso de depuración en sistemas de aguas residuales domésticas a nivel unifamiliar. Todos los resultados de los análisis se comparan con la norma TULAS (Anexo II, Tabla 1) que rige para Ecuador.

4.1. Diagnóstico de los sistemas de tratamiento en la comunidad de Turucu

Como se ha mencionado la comunidad de Turucu posee dos sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, a los que se ha denominado como sistema uno, al que fue construido en el año 2004, y sistema dos, que empezó su funcionamiento en el 2005, descargándose los efluentes de los dos sistemas al río Pitzambiche.

De acuerdo al censo de UNORCAC (2006), existen 242 habitantes de la comunidad pero no todos poseen conexiones a los sistemas de tratamiento debido



a que tienen otros tipos de sistemas de saneamiento in situ (letrinas, pozos sépticos), y por la dispersión de viviendas. Sin embargo la distribución consolidada de las viviendas permitió que 36 familias formen parte del sistema de saneamiento (sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales domésticas), para las aguas residuales que producen.

El diagnóstico del sistema se basó en el análisis de tres factores: a) nivel organizacional de la comunidad en el manejo sistema, b) calidad ambiental de las aguas tratadas, y c) evaluación de la infraestructura, caudal y TRH (tiempo de retención hidráulica), con el fin, de obtener un panorama sobre las condiciones del sistema antes de la aplicación de nuevos tratamientos.

4.1.1. Nivel organizacional de los sistemas de tratamiento

El nivel organizacional al que se hace referencia es la conformación de asociaciones o comités en la comunidad responsables estrictamente en el manejo de los sistemas de tratamiento.

Al inicio de la construcción del sistema uno se creó un comité conformado por los dirigentes de turno, ocasionando que al culminar cada período de la dirigencia se detenga también el mantenimiento del sistema. En el sistema dos la asociación la integraron varios usuarios que hoy en día mantienen la participación comunitaria como herramienta útil en el manejo del sistema.

A pesar de que se designó el trabajo de limpieza a un operador, que se remuneraba con el cobro de 50 centavos de dólar mensual por familia, la falta de compromisos adquiridos por los beneficiarios de la comunidad, ha ocasionado que nadie asumiera con esta responsabilidad; esto indujo a que se descuide el mantenimiento de los sistemas, tornando deficiente su funcionamiento por la falta de cosechas adecuadas de la especie que se estaba manejando (*Lemna gibba*).



La falta de interés o el aprovechamiento poco apreciable que la población brinda al manejo de la biomasa generada, hace que no sea económicamente atractivo el manejo de este recurso. En base a las visitas realizadas (2008) a los sistemas de tratamiento de San Miguel Bajo en el lago San Pablo, se pudo observar que la conformación de una asociación jurídica facilita la utilidad de las cosechas en la elaboración de abonos y permitiendo obtener un valor agregado que proviene de sus ventas. Este es un ejemplo claro de la participación comunitaria en la protección de su ambiente, en el empleo permanente de un recurso y en la obtención ingresos económicos.

4.1.2. Calidad de las aguas tratadas

Parte del diagnóstico se basó en la caracterización del agua tratada en varios puntos de los sistemas, cuando se empleaba *Lemna gibba* como tratamiento biológico. Debido a la importancia que tienen los vertidos de estos sistemas en el río Pitzambiche se comparó con los límites permisibles de norma TULAS., necesaria esta actividad para conocer la situación actual.

4.1.2.1. Funcionamiento sistema uno de Turucu

Este sistema fue el primero en ser construido en el cantón Cotacachi y se aplicó *Lemna gibba* para la depuración de las aguas, buscando disminuir el impacto contaminante hacia el río Pitzambiche.

Gaibor (2005), durante su investigación sobre el manejo de recursos naturales en la microcuenca del Río Pitzambiche muestra los resultados del análisis de la calidad del efluente del sistema con ciertos problemas en los valores como: el parámetro de pH que se incrementan hasta llegar a 9,5 y la conductividad con porcentajes bajos de remoción del 15,54% (datos en el afluente 914 us/cm disminuyendo a 772 us/cm en la salida del sistema), pero hace hincapié en los altos porcentajes de remoción en los parámetros microbiológicos de hasta 99%.



Para ratificar los porcentajes de remoción obtenidos por Gaibor (2005), se realizó el muestreo y análisis de aguas en varios puntos del sistema (metodología), con el fin de tener una perspectiva de la remoción de *Lemna gibba* agua en los diferentes estanques y determinar disminuciones o incrementos de contaminantes (Cuadro 4.1). Además se compararon los datos del efluente del sistema con los límites permisibles de descarga de la norma ambiental del TULAS.

Cuadro 4.1. Diagnóstico de la calidad de las aguas tratadas en el sistema uno

	PARAMETROS	UNIDAD	AFLUENTE	MEDIO	EFLUENTE	REMOCIÓN%	LIM. PERMIS
1	Conductividad	us/cm	675	663	658	2,52	2000
2	Sólidos Totales	mg/L	337,9	332	324	4,11	1600
3	Sólidos suspendidos	mg/L	300	100	50	83,33	100
4	Sólidos sedimentables	ml/L	5	0,7	0,5	90,00	1
5	DQO	mg/L	450,13	300,13	271,63	39,66	250
6	DBO	mg/L	180	120	120	33,33	100
7	N-Nitratos	mg/L	7,63	8,01	8,29	-8,65	
8	N-Nitritos	mg/L	0,49	0,23	0,3	38,78	
9	Nitritos+Nitratos	mg/L	8,12	8,24	8,59	-5,79	9,9
10	Nitrógeno amoniacal	mg/L	5,85	4,53	4,15	29,06	
11	Nitrógeno total	mg/L	16	24	25	-56,25	15
12	Fósforo Total	mg/L	6,03	5,74	5,56	7,79	10
13	Coliformes Totales	ufc/100ml	2,43E+07	9,52E+06	2,76E+06	88,65	99,90%
14	<i>Escherichia coli</i>	ufc/100ml	4,44E+06	2,40E+06	1,28E+06	71,17	99,90%

Fuente: Análisis de aguas EMAPA

Elaborado: Las autoras

El Cuadro 4.1, muestra los resultado de los análisis de aguas, en el ingreso al sistema uno, estanque dos o punto medio y en el efluente del sistema. Este último punto es comparado con las normas ambientales y se determina su aceptabilidad para descargas en cuerpos de agua dulce.

Según el Cuadro 4.1, de los 14 parámetros establecidos para cada toma de muestra, en el punto del efluente cinco no son aceptables de acuerdo a la norma, siendo DQO, DBO, nitrógeno total, coliformes totales y *Escherichia coli*. En estos últimos parámetros se señala que el porcentaje de remoción esta entre los 71,17% al 88,65%. Dado para estos un rango de aceptabilidad del 99,9%

Lemna en este caso es una especie que no remueve el porcentaje esperado en los parámetros microbiológicos, debido al manejo del sistema por la falta de cosechas



realizadas, afectando la apariencia saludable del cultivo y a su vez a los procesos de descontaminación.

4.1.2.2. Funcionamiento del sistema dos de Turucu

A partir de la puesta en marcha del sistema se empleó *Lemna gibba* como tratamiento biológico para la depuración de las aguas residuales. Y por causas antes mencionadas sus estanques se habían convertido en un empozamiento de biomasa, ya que no se brindaron las cosechas oportunas.

Se resolvió muestrear en varios puntos del sistema (de acuerdo a la metodología), con el fin de tener un panorama del comportamiento de remoción en cada estanque (Cuadro 4.2). Se compararon los datos del efluente del sistema con los límites permisibles de descarga de la norma ambiental TULAS.

Cuadro 4.2. Diagnóstico de la calidad de las aguas tratadas en el sistema dos

	PARAMETROS	UNIDAD	AFLUENTE	MEDIO1	MEDIO 2	EFLUENTE	REMOCIÓN %	LIM. PERMIS
1	Conductividad	us/cm	798	763	742	721	9,65	2000
2	S.Totales	mg/L	388	378	371	363	6,44	1600
3	S.sedimentables	ml/L	1,5	2	1,5	2	-1233,33	1
4	DQO	mg/L	517	201	114	118	77,18	250
5	DBO	mg/L	140	120	120	118	15,71	100
6	N-Nitratos	mg/L	10,28	9,9	8,48	8,32	19,07	
7	N-Nitritos	mg/L	0,38	0,36	0,36	0,35	7,89	
8	Nitratos+Nitritos	mg/L	10,66	10,26	8,84	8,67	18,67	9,9
9	N.amoniacal	mg/L	4,04	4,3	8,4	17,4	-330,69	
10	N. Total K	mg/L	22	20	19	19	13,64	15
11	Fósforo Total	mg/L	45,8	42,1	39	15,6	65,94	10
12	Coliformes T.	ufc/100ml	1,0E+07	7,8E+06	5,2E+06	4,1E+06	60,38	99,90%
13	<i>Escherichia coli</i>	ufc/100ml	3,9E+06	1,8E+06	1,1E+06	9,6E+05	75,38	99,90%

Fuente: Análisis de aguas EMAPA

Elaborado: Las autoras

El Cuadro 4.2, muestra los resultados del análisis de agua del ingreso al sistema, estanque dos o punto medio uno, estanque cuatro o punto medio dos, y el efluente del sistema. Este último punto es comparado con las normas ambientales y se determina su aceptabilidad para descargas en cuerpos de agua natural.



Como se indica en el Cuadro 4.2, de los 13 parámetros establecidos para cada toma de muestra, en el punto del efluente, la DBO, la suma de nitratos y nitritos, nitrógeno total, fósforo total, coliformes totales y *Escherichia coli*, no son aceptables de acuerdo a la norma Técnica (TULAS). En los parámetros microbiológicos el porcentaje de remoción oscila entre los 60,38% al 75,38% y su rango de aceptabilidad es del 99,9%.

Contrariamente a las características de depuración de *Lemna gibba* en los parámetros microbiológicos, se comprueba que la eficiencia de la especie es afectada por los periodos de cosecha; ocasionando a la vez incremento de sedimentos y elevación de la concentración de otros parámetros por los procesos de descomposición que se dan en el agua.

4.1.3. Infraestructura de los sistemas

El propósito de este análisis es estimar la vida útil de las construcciones civiles en base a las mediciones de los caudales y la verificación de los tiempos de retención hidráulica, y evaluar la posibilidad de incrementar el número de estanques o si la proyección con la cual están diseñados no afecta la calidad de los procesos de tratamiento.

4.1.3.1. Sistema uno

El sistema consta de un estanque sedimentador y de cuatro estanques de tratamiento, cada una con similares dimensiones (1,95 m ancho x 23 m largo x 0,50 m profundidad media) teniendo una capacidad de almacenamiento de sistema 92 m^3 . La infraestructura de los estanques está construida de hormigón armado de paredes de 10 cm, de pisos empedrados recubiertos de hormigón simple, la conducción de las aguas se las realiza con una tubería PVC de 4", con el 1% de pendiente al interior de cada estanque.



Las separaciones entre estanques son de 1 m, distancia considerada recomendable que permite trabajar con seguridad durante las cosechas y manipular herramientas como carretilla para la recolección de biomasa sin dificultad. En los espacios entre estanques crece maleza generando inconvenientes en los trabajos de mantenimiento del sistema, y además de realizar las cosechas de la biomasa también se debe podar las hierbas de los andenes de los estanques para evitar que las raíces ingresen en ellos. Se ha observado que los estolones del kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), que ingresan en el agua pueden mantenerse sin ningún problema e inclusive crecen con facilidad. Una medida que se ha considerado para el control de la maleza es pastar ganado vacuno (Anexo V, Foto 6)

En el Anexo V, Foto 8, se aprecia el amplio espacio con que cuenta el sistema teniendo posibilidad de incrementar el número de estanques debido al crecimiento poblacional del lugar.

Comportamiento de caudal en el sistema uno.- La Fig. 4.1, muestra el comportamiento del caudal para el sistema uno durante 12 horas.

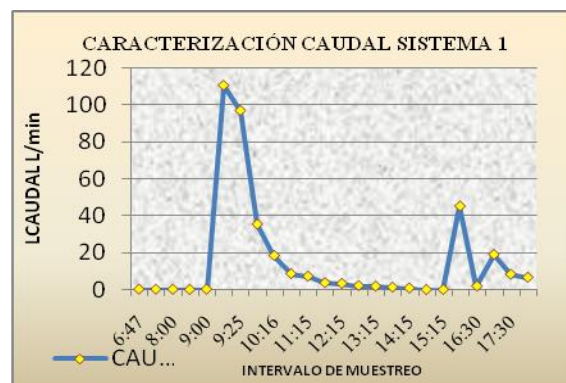


Fig. 4.1. Comportamiento del caudal sistema uno

El comportamiento del caudal muestra la existencia de variaciones que denotan incrementos y descensos, durante la mañana de 6 a 9 horas, los valores del caudal oscilan entre 0,18 a 0,20 l/min, que se registran como mínimos. Los niveles máximos inician desde la hora 9 hasta 10h30, períodos donde generalmente se realizan actividades como cocinar, lavar de ropa, aseo chancheras, etc.



Durante la tarde entre las 12h45 y 15h15 el caudal vuelve a disminuir, pues luego del almuerzo las personas se dedican a otras actividades que no requieren del uso del agua, como tejido, en el caso de las mujeres y los hombres generalmente retornan a sus actividades agrícolas. El comportamiento del caudal registra un nuevo incremento durante las 15h15 y 17h30 horario en el que se reinician las actividades en los hogares. El aporte medio del sistema uno de Turucu hacia el río Pitzambiche es de 15,47 l/min, lo que representa una contribución de 11,32m³ durante el día sin tomar en cuenta los aportes nocturnos.

Se determinó el TRH que para este sistema fluctúa entre 6 y 7 días, y de acuerdo a Gaibor (2005) el sistema fue diseñado para que los procesos de depuración se generen en 8 días, la disminución del tiempo de retención es debido al incremento del caudal por conexión de nuevas familias. Según García y Bacares citado por Valderrama (2005), el tiempo de retención aumenta la eficiencia de remoción en todos los tratamientos biológicos, pero según Van der Steen *et al*, citado por Valderrama la remoción de coliformes totales y *Escherichia coli* alcanza el 99% el día 6, además que ellos resaltan la eficiencia más alta con plantas acuáticas en relación a las microalgas.

4.1.3.2. Sistema dos

El sistema de tratamiento se constituye de un tanque sedimentador dividido en dos cámaras internas; y de seis estanques de diferentes dimensiones, teniendo una capacidad de almacenamiento en todo el sistema 131,46 m³ de agua residual.

En el Anexo V, Fotos 15 y 16, se aprecia la variación de los estanques debido a la reducida disponibilidad del espacio para la construcción, existiendo separaciones de 30 a 45 cm entre cada estanque, medidas que incluyen el ancho de las paredes. Esto ha generado inconvenientes durante los procesos de cosechas, la falta de espacio no permite trabajar con seguridad y manipular carretillas para la recolección de biomasa se dificulta.



Comportamiento del caudal en el sistema dos.- En la Fig. 4.2, se pone en consideración el comportamiento del caudal en el sistema dos.

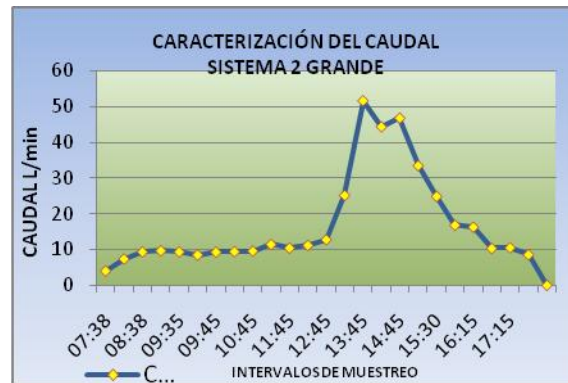


Fig. 4.2. Comportamiento del caudal sistema dos

Para este sistema observan variaciones que durante horas de la mañana, oscilan entre 4 y 9 l/min, este caudal sufre un incremento de 9 l/min hasta 11 y 52 l/min durante las horas del medio día, incremento se aduce a las actividades del hogar que implican el uso del agua, este sistema trata aguas provenientes de 12 familias aproximadamente 60 individuos.

En horas de la tarde hasta las 16h30, el caudal se mantiene alto y oscila entre 45 y 16 l/min y decrece hasta las 18h00. El aporte del sistema dos al río Pitzambiche es de 17,16 l/min y en total este sistema aporta aproximadamente con 12,6 m³ durante 12 horas.

A pesar de que este sistema es solo para 12 familias el aporte de caudal hacia el río Pitzambiche es mayor que el del sistema uno y esto se debe a posiblemente a factores como:

1. Aporte constante de pequeñas acequias al caudal del sistema.
2. Daños en las tuberías de agua potable, baños y lavabos de cocinas.

El TRH que logró determinarse fue de 15 días comprobándose el sobredimensionado del sistema, que según los moradores de la comunidad, el



objetivo fue que nuevas familias se anexarán al sistema, sin que se altere la calidad del tratamiento. Estimándose una proyección de 25 años de vida útil.

4.2. Limpieza de los sistemas de tratamiento

La cantidad de lodos obtenidos a los 21 días luego del proceso de destilado y secado en los estanques construidos para lodos, fue de 3 m³ en el sistema uno y 2.5 m³ en el sistema dos.

4.2.1. Resultados del análisis de lodos

El cuadro 4.3, muestra los análisis de lodos, que revelan que a pesar de haber sido tomada la muestra a los 21 días luego de que se haya escurrido el contenido de agua, existen altas concentraciones en algunos parámetros físico-químicos siendo los parámetros microbiológicos los más alarmantes.

Cuadro 4.3. Resultados del muestreo de lodos

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADO	INCONVENIENTES
Amoníaco	mg/Kg	43,94	Olores desagradables
Nitrógeno Total	%	2,85	Crecimiento algas y plantas
Fósforo Total	%	6	Crecimiento algas y plantas
Materia Orgánica	%	48	Aguas turbias
Sulfuros	mg/Kg	1,29	Malos olores/daños ecosistemas
Cloruros	mg/Kg	38,51	Daños en ecosistemas
Recuento de coliformes Totales	UFC/g	15 x 10 e 8	Tifoidea/Hepatitis
Recuento de Escherichia coli	UFC/g	25 x 10 e 5	Tifoidea /Hepatitis
Salmonella	Presencia/Ausencia	Presencia	Salmonellosis
Shigella	Presencia/Ausencia	Presencia	Tifoidea
Ascaris lumbricoides	.....	Muy escasos	Parasitosis/Diarreas
Taenia solium	.....	Ausencia	Tenia
Entamoeba histolítica	.....	Abundante	Parasitosis/Desintéria
Yodoameba bushlii	.....	Abundante	Parasitosis/Desintéria

Fuente: Resultado análisis de lodos

Por ser resultado de la descomposición de material proteico, se pueden apreciar concentraciones de compuestos nitrogenados como el amoníaco, nitrógeno amoniacal y fósforo total, la materia orgánica presenta un nivel de concentración



del 48% que es muy representativo en lodos que provienen de sistemas de aguas residuales domésticas donde se emplean plantas acuáticas.

Los cloruros que son el resultado de la concentración del cloruro de sodio, almacenado en los sólidos sedimentados en la base de los estanques debido a que es el principal ingrediente en la dieta alimenticia de todo ser humano, puede causar daños en el crecimiento de las especies vegetales en este tipo de ecosistemas (Rodier, 2005).

Los parámetros microbiológicos son de fundamental importancia debido a las enfermedades de transmisión humana que pueden provocar; si bien existen bacterias que ayudan a la estabilización de lodos (metanogénicas y nitrificantes), en este análisis se observa que *Escherichia coli* y coliformes totales representan la mayor concentración, esto es preocupante debido a los riesgos que producen de provocar enfermedades como tifoidea. Otros organismos encontrados fueron *Salmonella* y *Shigella* causantes de enfermedades como salmonelosis y tifoidea, que pueden permanecer en forma de quistes y ooquistes en los lodos (Rodier, 2005). La presencia de estos microorganismos es un indicio de los problemas de salubridad de los habitantes de la comunidad de Turucu.

También se encontraron grupos de helmintos que generalmente presenta forma de huevos en los lodos y se ha encontrado *Ascaris lumbricoides*, *Entamoeba histolítica*, según la APA y Rodier (2005), son habitantes comunes del intestino de personas que consumen agua sin potabilizar, estos huevos pueden subsistir en los lodos por mucho tiempo mínimo seis meses según Ly (2005), y es necesario aplicar algún tipo de tratamiento previo a su manejo como otras alternativas, según recomendaciones de Dávalos (2008) debe aplicarse concentraciones de hipoclorito y cal.

Según Ly (2005), debido a las altas cantidades de fósforo, un recurso limitado a nivel mundial, es importante reciclar el contenido de fósforo de estos lodos (septage), utilizándolo como abono. Además contienen nitrógeno y otros



nutrientes importantes para la flora. A la vez, el contenido de sustancias orgánicas sirve para mejorar la estructura del suelo.

4.3. Estudio fisiológico de las especies aplicadas

Se consideró analizar las características fisiológicas de las especies *Eichhornia crassipes* y *Azolla filiculoides* por ser especies que no han sido probadas como tratamiento secundario en la depuración de aguas residuales domésticas, en la provincia. Y para la especie *Lemna gibba* se citará la información existente.

La aplicación de los tratamientos se realizó en el sistema uno debido a la homogeneidad de los estanques, facilidad de mantenimiento y la cercanía las vías de acceso. A continuación se detalla los resultados y el respectivo análisis.

4.3.1. Análisis fisiológico de *Eichhornia crassipes*

Valderrama (2005) considera a *Eichhornia crassipes* una especie promisoría en los procesos de desinfección de las aguas residuales debido a la alta eficiencia en niveles de remoción. A continuación el estudio fisiológico.

La Fig. 4.3, muestra el comportamiento fisiológico que la especie *Eichhornia crassipes* aplicada como monocultivo en el sistema uno, ha demostrado durante los meses de agosto y septiembre.

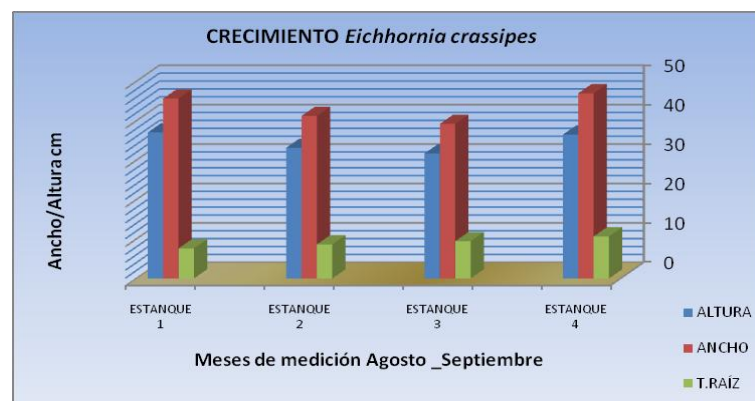


Fig. 4.3. Crecimiento de *Eichhornia crassipes*



Según la Fig. 4.3, muestra el desarrollo de *Eichhornia crassipes* aplicado como monocultivo en el sistema uno, donde se pudo determinar que el crecimiento de las raíces alcanzan tamaños promedios que van entre 5 cm y 10 cm. En los primeros estanques (1 y 2) su media de crecimiento osciló entre 5 cm y 6 cm y en los últimos estanques (3 y 4) las raíces alcanzaron tamaños entre 7 cm y 10 cm; sin descartar raíces que llegan a medir hasta 15 cm en los últimos estanques de manera especial en el estanque (4).

El **ancho** de la planta varía entre 38 cm y 46 cm siendo menor en los estanques 2 y 3, se ha logrado medir las plantas con mayor cobertura en los estanques 1 y 4 del sistema de tratamiento. La especie en **altura** varía entre 30 cm y 36 cm tomando en cuenta desde la raíz, se ha observado que el crecimiento de la raíz en relación a la planta es un 75% menos, lo que significa que el sistema radicular es relativamente el 25% del tamaño de la planta.

Analizando las causas de cada dato obtenido, el incremento en ancho de la planta está marcado por la cantidad de **bulbos** con una variación entre 4 y 12 bulbos por planta; en los estanques 1 y 2 presentaron plantas con 4 y 7 bulbos, mientras los estanques 3 y 4 presentan plantas con 6 y 12 bulbos, cada bulbo posee un número de hijuelos que van desde 3 hasta 10 individuos. (Anexo V, Foto 9).

Los bulbos se van separando de la planta madre a través de rizomas que miden generalmente 25 cm de longitud. En sistemas conformados por una serie de estanques donde se tratan aguas residuales domésticas en los últimos estanques las plantas adquieren mejor peso, tamaño y características fisiológicas en menor tiempo.

En el primer estanque del sistema que contiene el agua más contaminada que viene directamente de un sedimentador con problemas en el funcionamiento, y las plantas se encuentran en contacto directo con un exceso de sólidos suspendidos, se observó que los bulbos y raíces presentaron colores rojizos y además las características de las plantas son hojas opacas, muy coriáceas y atrofiadas



4.3.1.1. Requerimientos nutricionales

Eichhornia crassipes es una de las plantas que más nutrientes remueve, su elevado consumo en N,T,K, (Nitrógeno total) demuestra la utilización de estos macronutrientes para procesar la proteína que forma su estructura corporal. Estudios como el de Rodríguez *et al.* (2005) demuestran que el consumo de N,T,K disminuye en el agua de 29 a 8 mg/l.

Aunque en algunos casos *Lemna gibba* es la especie que requiere más cantidad de nutrientes, según Majid citado por Pedraza (2005), los requerimientos de nitrógeno en *Eichhornia* son menores que en *Lemna sp*, es así que una planta grande puede requerir entre 1,5 y 2,15 mg/l mientras que en *Lemna sp* los requerimientos van de 4,83 mg/l. Para el parámetro fósforo *Eichhornia* requiere entre 0,38 a 0,56 mg/l y en *Lemna sp* 1,37 mg/l; el parámetro potasio es requerido en *Eichhornia* entre 2,68 y 3,4 mg/l a diferencia de *Lemna sp* que demanda 4,56 mg/l.

4.3.1.2. Análisis del comportamiento de *Eichhornia crassipes* en época seca y lluviosa

Durante el estudio de *Eichhornia crassipes* para la cual se registran menos investigaciones al norte del nuestro país. Se ha tomado en cuenta los dos regímenes de lluvias existentes para el Ecuador, época seca y época lluviosa, este análisis ayudó a entender y a manejar de forma adecuada a la especie y planificando sus posibles usos.

Los meses considerados para el estudio fueron agosto (época seca) y diciembre (época lluviosa). A continuación se evalúan los parámetros considerados de mayor importancia en el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

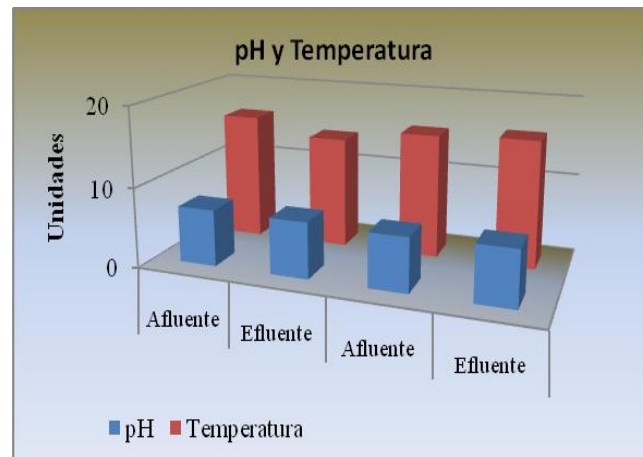


Fig. 4.4. Comportamiento de pH y temperatura, en *Eichhornia crassipes*

La Fig. 4.4, muestra el comportamiento de los parámetros de pH y Temperatura evaluados en las dos épocas (seca y lluviosa).

Las gráficas indican un comportamiento similar en concentración del **pH**, cuyos valores oscilan entre 6 y 7,5 donde se manifiestan ligeros incrementos. Los elementos inorgánicos comunes en las aguas residuales incluyen cloruro, iones de hidrógeno (que influyen en el pH), y entre los compuestos que causan alcalinidad, nitrógeno, fósforo y azufre. Es necesario mencionar que la descomposición de materia orgánica o de ácidos orgánicos puede también incrementar el nivel de pH en aguas residuales domésticas (Clostre, 2007). Según Valderrama, los niveles de pH pueden alterarse durante el tratamiento de aguas residuales domésticas entre 6,5 y 8,5. Las plantas acuáticas como *Eichhornia crassipes* presentan niveles cercanos a la neutralidad, no presenta variaciones como las algas que al realizar fotosíntesis en proceso que remueve el CO₂ y altera el equilibrio Buffer ácido carbónico-carbonatos, elevando el pH.

La **temperatura** considerado uno de los parámetros de gran importancia ya que interviene en los todos los procesos biológicos y fisiológicos que se desempeñan en los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas. Este parámetro no presentó variaciones sin embargo, en la época seca se presentó una disminución entre el afluente y efluente de 16 a 14,5°C, y en época lluviosa en cambio existió

un leve incremento en este parámetro de 15,5 a 15,90°C. Este parámetro varía según la hora en que se mida en los estanques, generalmente en las mañanas el agua es más fría que al medio día. Y varía dependiendo de la cantidad de cobertura con la que se encuentre el estanque, incrementando la temperatura del agua cuando existen espacios vacíos especialmente luego de las cosechas.

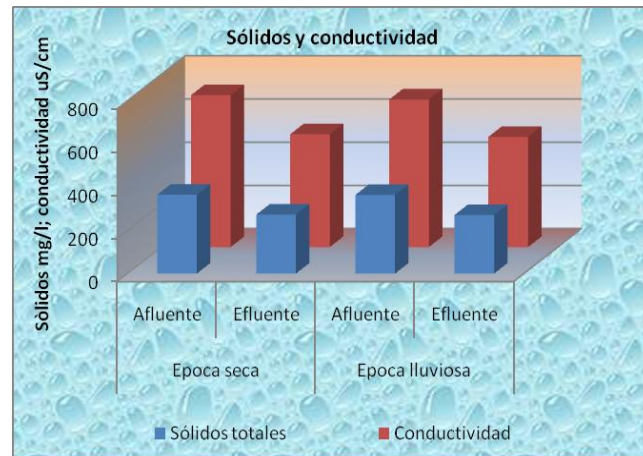


Fig. 4.5. Comportamiento en la remoción de s. totales y conductividad

La Fig. 4.5, presenta el comportamiento de **sólidos totales** y conductividad evaluados para las dos épocas, los **sólidos totales** muestran un comportamiento relativamente similar, ingresa para ambas épocas con valores promedios semejantes de 365 y 364 mg/l y la remoción presenta el mismo patrón de comportamiento disminuyendo el efluente a 273 y 271 mg/l. La causa del incremento de sólidos se debe a la elevada evaporación en época seca y las lluvias incrementan el nivel de sólidos en época de lluvias.

La **conductividad** demuestra que las concentraciones de sales en el afluente no presentan diferencias marcadas en las dos épocas, ingresando concentraciones de 703 y 683 us/cm, siendo alta debido a los contenidos de sales en las aguas residuales domésticas, con una tendencia a disminuir en los efluentes a concentraciones de 522 y 510 us/cm.



Fig. 4.6. Remoción de s. suspendidos y s. sedimentables

En la Fig. 4.6, los sólidos suspendidos y sólidos sedimentables muestran un comportamiento variable, la época de lluvias provoca incrementos elevados en el parámetro **sólidos suspendidos** durante su ingreso alcanzó valores de 87 mg/l, y niveles de remoción de hasta 4 mg/l. En cambio en época seca el valor de ingreso fue de 10,33 alcanzando a disminuir hasta un valor de 1,17 mg/l.

En época seca el tratamiento muestra mayores concentraciones de **sólidos sedimentables** con ingresos de 21,67 ml/l, debido al ingreso de las aguas sin un adecuado tratamiento primario removiéndose hasta 0,67 ml/l representando un alto el porcentaje de remoción. Y en época lluviosa el comportamiento es relativamente similar con ingresos de 12,50 ml/l disminuyendo hasta 0,67 ml/l.

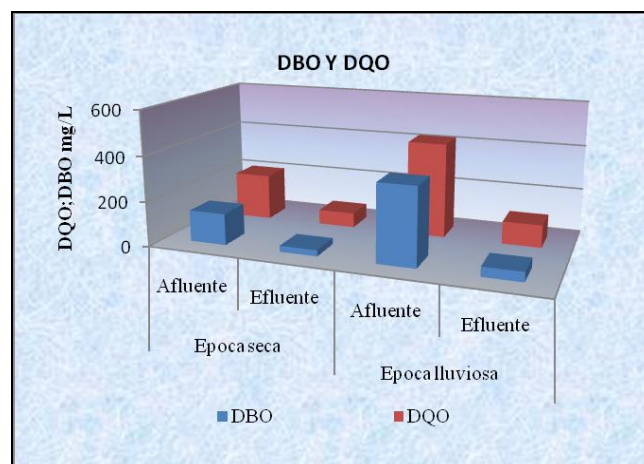


Fig. 4.7. Remoción de DBO y DQO



La Fig. 4.7, muestra el comportamiento en la remoción de DBO y DQO, realizado por *Eichhornia crassipes*, existe una variación muy acentuada en los afluentes para las dos épocas, la remoción más eficiente durante la época de lluvias con ingresos de 207 mg/l y removiendo hasta 66 mg/l respectivamente.

La comparación de la **DBO** entre afluentes y los efluentes de las aguas residuales tratados permite medir la efectividad de sistema de tratamiento para estabilizar las sustancias orgánicas, los valores de remoción en los vertidos están entre 27,33 mg/l y 42,5 mg/l. Según Kimm *et al*, 1999 citado por Valderrama 2005, la remoción de DBO se debe en estos sistemas tratados con plantas acuáticas a que las raíces densas proporcionan más sitios de adhesión para las colonias bacterianas degradadoras de materia orgánica y actúan como filtros de material particulado.

La demanda química de oxígeno (**DQO**) es un indicador de las sustancias orgánicas biodegradables y no biodegradables con una solución de dicromato, algunos compuestos orgánicos como lignina pueden ser oxidados químicamente, y la concentración es mayor que la DBO como lo demuestra la Fig. 4.8. Donde además de presentar valores altos en los afluentes de 207 mg/l en época seca y 424 mg/l en época de lluvias, la disminución es notoria, efectuándose descargas en 66 mg/l y 101 mg/l.

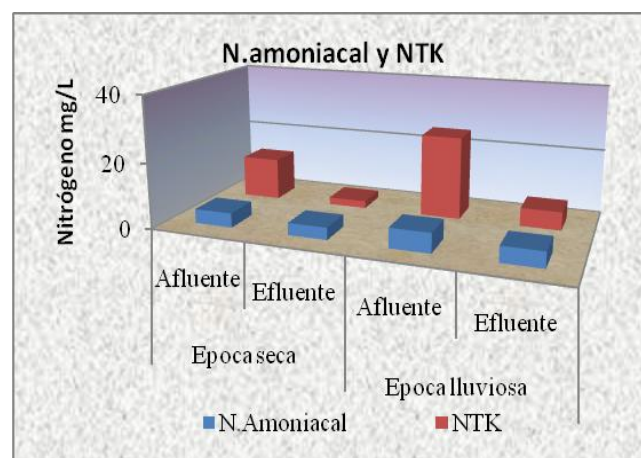


Fig. 4.8. Remoción de N. amoniaco y NTK



La Fig. 4.8, muestra la remoción presentada por *E. crassipes* en parámetros de Nitrógeno Total de Kjeldahl (NTK) y N. amoniacal, incrementada durante el ingreso a los estanques en la época de lluvia. *E. crassipes* demuestra una remoción no muy significativa **en nitrógeno amoniacal** donde los ingresos son de 4,37 y 6 mg/l alcanzando remociones de hasta 3,7 y 4,8 mg/l. Según Rodier (2005), el nitrógeno amoniacal existe en solución acuosa tanto en forma de ion amonio como en forma de amoniaco. Para valores de pH superiores a 9,3, predominando el amoniaco, mientras que para valores por debajo de 9,3 existe un predominio de ion amonio. Los niveles de absorción de nitrógeno son altos debido a la necesidad de las plantas de este bioestimulante para sintetizar proteínas.

En el **nitrógeno total de Kjeldahl** los niveles de remoción muestran un comportamiento relativamente igual donde la variación en la remoción no es muy elevada, pero existen mayores ingresos en época de lluvias con 25 mg/l. Y las reducciones de las concentraciones de este parámetro llegan entre 2,23 y 5,6 mg/l. Según la APA (2005), el nitrógeno total de Kjeldahl incluye el nitrógeno orgánico y el nitrógeno amoniacal.

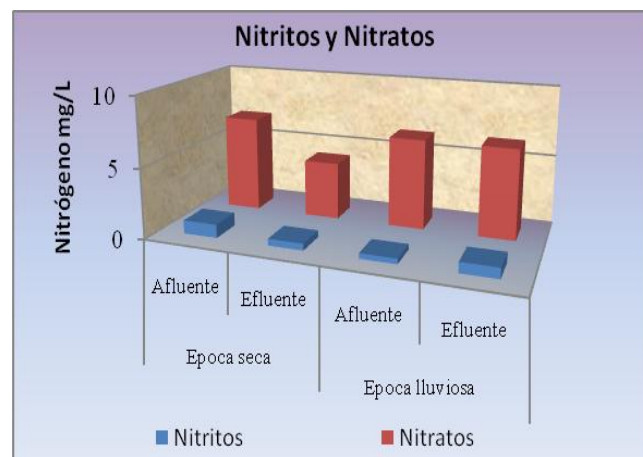


Fig. 4.9. Remoción de nitritos y nitratos

El comportamiento de la remoción en nitritos y nitratos se ve reflejado en la Fig. 4.9, donde se aprecian las altas concentraciones de **nitratos** al ingreso para las dos épocas, con concentraciones de 6,83 y 6,44 mg/l con remociones débiles con una



disminución hasta 6,44 y 6,42 mg/l respectivamente. Según la APA (2005), la concentración de nitratos en aguas residuales tratadas puede variar desde 2 a 30 mg/l de N (nitrógeno), dependiendo del grado de nitrificación y desnitrificación del tratamiento.

Para época seca los **nitritos** presentan remociones de 0,48 mg/l en el efluente con ingresos de 0,95 mg/l, es decir hasta el 50% de remoción y en época lluviosa se puede observar incrementos que van de 0,38 mg/l a 0,75 mg/l es decir un incremento de 50%. El nitrógeno en forma de nitrito, rara vez su concentración excede 1 mg/l en agua residual y 0,1 mg/l en agua superficial o subterránea. A pesar de estar presente en concentraciones tan bajas, los nitritos son de gran importancia en aguas residuales o aguas poluidas porque son altamente tóxicos para muchos peces y otras especies acuáticas.

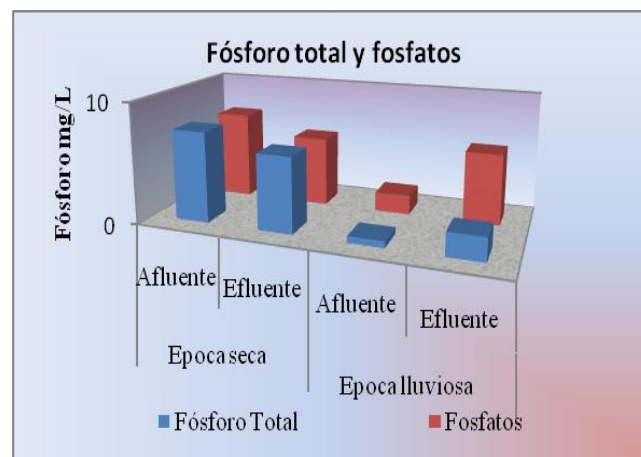


Fig. 4.10. Remoción de fósforo total y fosfatos

La remoción de fósforo total y fosfatos se ve reflejada en la Fig. 4.10, donde el comportamiento en la remoción de estos parámetros, presenta algunas irregularidades. En época seca las concentraciones de **fosfatos** son más altas con ingresos de 7,26 alcanzando remociones hasta 5,75 mg/l. En comparación con la época de lluvias donde ingresa con valores de 0,54 mg/l incrementado hasta 1,92 mg/l y no una disminución como se espera en este tipo de tratamientos.

Según Rodier (2005), las aguas residuales domiciliarias pueden contener entre 4 y 12 mg/l de fósforo expresado como P. Entre las causas del incremento se presentan las posibilidades de que la especie no consume estos nutrientes o necesite transformarlos en otros compuestos para su mejor absorción.

En época seca los valores de ingreso del **fósforo total** fluctúan de 7,48 mg/l disminuyendo a 6,23 mg/l y para el periodo de lluvias se observa que los ingresos también son menores a los efluentes con 1,59 mg/l incrementando a 5,82 mg /l. El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de plantas y cuando se encuentran en exceso en los efluentes tratados y descargados a las aguas superficiales, pueden causar un crecimiento excesivo de algas.

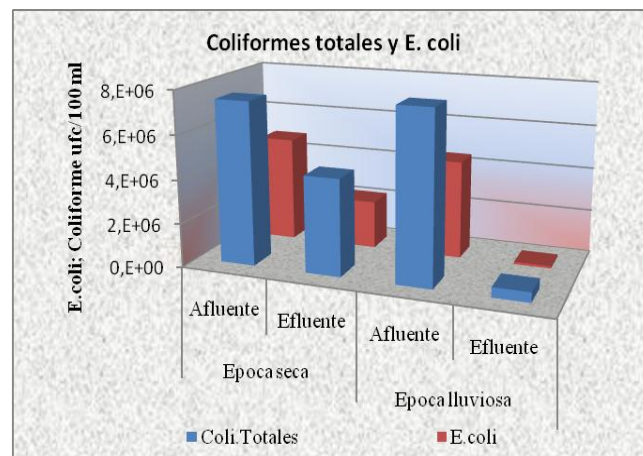


Fig. 4.11. Remoción de coliformes totales y *Escherichia coli*

Eichhornia crassipes una de las plantas con mayor capacidad de remoción de parámetros microbiológicos, y esto se demuestra en la Fig. 4.11, donde la remoción de *Escherichia coli* es más eficiente en época lluviosa, de la misma manera sucede con los coliformes totales.

En la época seca y época lluviosa el ingreso de **coliformes totales** es muy similar y la remoción es menor en época seca, esto se debe según a la apreciación de las investigadoras a la falta de dilución por la baja en la lámina de agua que presenta



el sistema y en época lluviosa las remociones son mayores debido a las altas diluciones causadas por el incremento de agua en los estanques.

El parámetro *Escherichia coli* presenta el mismo comportamiento que los coliformes totales, elevados ingresos y altas concentraciones en los afluentes en época seca, presentando mayores remociones en épocas lluviosas, por causas antes suscritas. Según García y Bacares citado por Valderrama 2005, el tiempo de retención aumenta la eficiencia de remoción en todos los tratamientos biológicos.

La remoción de colífagos está asociada principalmente según Davis *et al*, citado por Valderrama (2005) a la mayor masa o densidad radicular de *Eichhornia crassipes* nutrientes y a los procesos de sedimentación materia orgánica.

4.3.2. Análisis fisiológico de *Azolla filiculoides*

El género *Azolla sp*, corresponde a diminutos helechos acuáticos, que flotan libremente en la superficie del agua y que se hallan diseminados por todas las regiones del trópico como la *Azolla pinnata* y subtropicales como la *Azolla filiculoides* y la *Azolla mexicans* (Espinas *et al*. 1979).

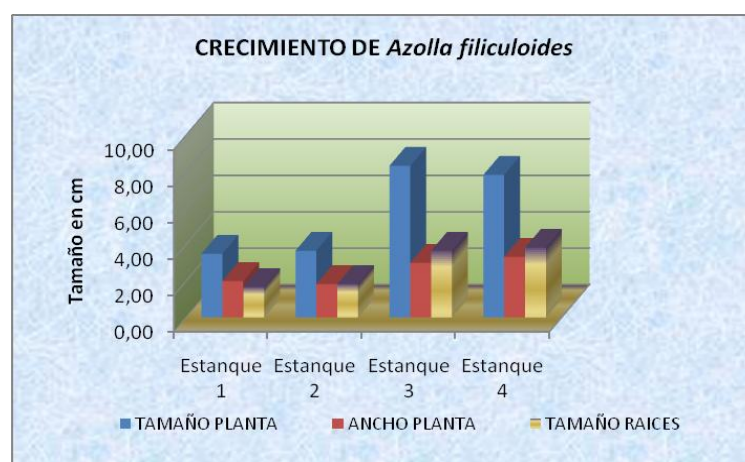


Fig. 4.12. Comportamiento en el desarrollo de *Azolla filiculoides*



Con los resultados obtenidos en la Fig. 4.12, sobre el desarrollo de *Azolla filiculoides* se puede deducir que existe un rango de crecimiento en el **tamaño** de las plantas que oscila entre 4,5 y 8,5 cm diferencia que se acentúa en los estanques 1 y 2 en comparación con los estanques 3 y 4. El análisis del tamaño de las **raíces** expresa una variación que fluctúa entre 2 y 5,5 cm encontrándose que, para el primer estanque existe el menor tamaño, y su máximo desarrollo alcanza en el estanque 4, lo que significa un incremento del 100%. Al analizar el **ancho** de las plantas se puede observar que su diámetro varía entre 2,5 y 4,5 cm, presentándose una tendencia a tener mayor expansión en el estanque 4.

De lo anterior se puede especificar que el crecimiento de la planta en los dos primeros estanques es limitado y se atribuye a que esta se encuentra en proceso de adaptación y desarrollando en un medio sobre enriquecido, razón por la cual la planta no amerita gran desarrollo, a diferencia de las plantas de los estanques 3 y 4 en donde el agua ya llega sin algunos nutrientes debido al pretratamiento realizado en los estanques 1 y 2, siendo necesario para estas plantas un desarrollo más amplio que permita captar nutrientes a más profundidades y sus hojas también necesitan realizar más fotosíntesis que les permitan formar estructuras a través de la fijación de CO₂. Además se observó que en los individuos de los últimos estanques mantienen condiciones fisiológicas mejores, que en los dos primeros estanques.

Requerimientos nutricionales.- Según Ly (2005), la concentración de fósforo es esencial en el crecimiento de *Azolla filiculoides*; insidiendo de manera directa en el crecimiento de la planta que puede fijar más nitrógeno; de acuerdo a este estudio la absorción de nitrógeno en forma de nitratos es más eficiente en relación a los nitritos (Anexo III, Cuadro 7). Para algunos investigadores como Valderrama *et al.* (2005), *Azolla filiculoides* consume de mejor manera los nitratos que los nitritos, dejando para última instancia la reserva de nitritos, los cuales para ser consumidos necesitan ser transformados a nitratos. Se observó que a medida que disminuyen los nitratos los nitritos en el agua tienden a aumentar.



Ly (2005), en su estudio macrófitas acuáticas flotantes en sistemas integrados de producción animal; comprobó que las plantas a través del proceso de fijación de nitrógeno logran convertir este elemento en amonio, que es una de sus fuentes principales de nitrógeno y en este estudio se pudo justificar esta aseveración ya que la concentración de amonio es relativamente alta en todos los estanques, a esto se aduce las buenas condiciones físicas que presentaron las plantas para adaptarse en este sistema en especial en los estanques 2, 3 y 4. Según Suárez (2006), la planta necesita grandes cantidades de fósforo (P) para lograr una acumulación eficiente de nitrógeno (N), lo que se podría demostrar aplicando la fórmula de relación N/P.

4.3.3. Análisis fisiológico de *Lemna gibba*

Esta es una de las especies más investigadas a nivel mundial y también en nuestro medio se ha catalogado como la base del tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Según Caicedo (2003) son plantas que crecen en un alto rango de condiciones ambientales, que soportan grandes cambios de temperatura y altas concentraciones de nutrientes y además son resistentes a pestes y sequías extremas. Toma los nutrientes por la fronda y la raíz lo que la convierte en una planta muy eficiente. Se la ha catalogado también como especie que soporta variaciones fuertes en de temperatura y pH; su contenido es muy alto en proteínas con un 86 al 97%.

La temperatura es indispensable en el desarrollo de esta planta y en la mayoría de especies acuáticas pues de este parámetro dependen una serie de procesos que ayudan en su desarrollo, como fotosíntesis, asimilación de nutrientes, respiración, y otros procesos físicos, como permeabilidad, difusión de elementos. Según Docauer citado Pedraza (2005), el rango de temperatura para *Lemna gibba* varía entre 25 a 31°C y los límites mínimos de temperatura varían entre 8 y 20°C, dependiendo de la procedencia de la especie.



Según Coral (2002) *L. gibba* es una especie sumamente diferente a las especies antes mencionadas, poseen una sola raíz por hoja la cual alcanza tamaños entre 2 y 7,8 cm; y sus hojas alcanzan diámetros de 6 a 8 mm.

Requerimientos nutricionales.-Es considerada una planta que no solo crece en agua dulce sino también en agua salada, pero no crece en aguas con bajos contenidos de nutrientes. El pH en el agua subordina la disponibilidad de la mayoría de nutrientes para esta planta como el fósforo. Según Caicedo (1995) el nitrógeno amoniacal es un nutriente preferido por la lenteja de agua sin embargo el nitrógeno, en altas concentraciones en forma de nitrato (NO_3) es muy tóxico para esta planta de la misma manera el ácido sulfhídrico puede llegar a inhibir el crecimiento en altas concentraciones.

Según Caicedo (2005) el pH puede variar entre 3 a 10, presentándose los mejores resultados de desarrollo en pH de 7; para esta investigación el pH se mantuvo entre 6,5 y 7 que en este caso no presenta ningún inconveniente.

Se han observado en otros estudios las mejores tasas de desarrollo cuando el ion amonio y nitrato son la fuente principal de nitrógeno, en cierta manera este estudio pudo corroborar también un alto grado de concentración entre estos dos iones, y quizá es una de las razones por las cuales *Lemna gibba* presenta una tasa alta de crecimiento. Según Coral (2002) la capacidad de crecimiento permitió que su peso se duplicara en dos días y por esta razón sugiere que las cosechas en esta especie sean realizadas cada ocho días. Donde además la absorción de amonio permite a *Lemna* tener datos altos de rendimiento de biomasa y la concentración de nitrógeno en las plantas acuáticas varía entre 0,6 a un 43% que representa su peso seco.

Existe evidencia experimental considerable que demuestra que las plantas acuáticas tienen una vasta preferencia por el amonio en vez de los nitratos como fuente de nitrógeno. En este estudio se registró que la concentración de amonio es relativamente baja en relación a los nitratos en el agua, una de las razones puede



ser la mencionada anteriormente, aunque no se puede descifrar porque existe altas cantidades de nitritos en el agua, quizá el proceso de denitrificación provoca que se generen estos compuestos en altas cantidades. (Anexo III, Cuadro 8).

Los altos requerimientos de nutrientes en *Lemna gibba* han permitido que sea tolerante a altas concentraciones de sales; según Meraux citado por Ly (1978) la salinidad puede ir de 360 a 1250 $\mu\text{s}/\text{cm}$; llegando hasta los 4000 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Razón por la que se ha recomendado a *Lemna sp* para tratar efluentes de aguas residuales, disminuyendo significativamente las altas concentraciones de sal, hasta los límites permisibles, que según la norma INEN del Ecuador es de 400 $\mu\text{s}/\text{cm}$ óptimo; 2000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ moderado para riego en el presente estudio se ha mantenido entre 600 y 800 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Todas las plantas dependiendo de la especie y de su estructura fisiológica pueden captar nitrógeno en diferentes cantidades, pudiendo utilizar tanto amonio (NH_4^+), nitritos (NO_2^-) o nitratos (NO_3^-) como fuente de nitrógeno, debido a que sus estructuras especialmente se conforman de proteínas, las cuales son largas cadenas de aminoácidos en cuya estructura es esencial el nitrógeno.

4.4. Comportamiento de la biomasa en *Eichhornia crassipes*

Eichhornia crassipes presentan velocidades de crecimiento dependiendo de la concentración de nutrientes y del espacio físico que disponga para ocupar durante su proceso de desarrollo.

4.4.1. Determinación de carga operacional (KOP)

Se ha definido a la KOP, como la cantidad máxima de biomasa fresca con la que se puede trabajar en condiciones óptimas (existiendo un equilibrio entre las cosechas y la capacidad de remoción de contaminantes por la especie) en un área determinada, se la logró establecer mediante gráficas que relacionan el crecimiento máximo hasta llegar al 100% de peso en cada estanque, esto se



realizó porque ninguna curva de tendencia se acopló a este tipo de crecimiento y se ha empleado un criterio muy técnico y la observación de campo, teniendo en cuenta que este manejo sea sostenible, y que vaya de acuerdo a las condiciones de depuración de contaminantes en un nivel aceptable para ser descargada en fuentes de agua natural.

De esta manera se determinó la KOP, por cada estanque iniciando con una cobertura de siembra del 50% en peso y espacio, en cada uno de los estanques del sistema se habían establecido cultivos diferentes distribuidos de la siguiente manera; en el estanque uno y tres se encontraba cultivada la especie *E. crassipes*, en el segundo se había establecido un cultivo de *L. gibba* y el cuarto estanque se mantenía *A. filiculoides*, estableciéndose los ensayos para determinar la KOP, en la mitad de cada estanque, con cuadrantes de 1 m².

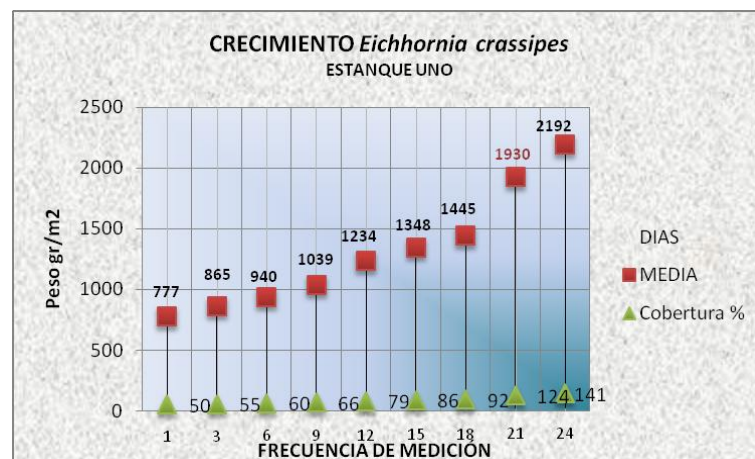


Fig. 4.13. Crecimiento de *Eichhornia crassipes* en estanque uno

El crecimiento en peso presentó comportamientos diferentes en cada estanque. El **estanque uno**, Fig. 4.13, necesitó de 22 días aproximadamente hasta que *E. crassipes* alcance niveles de crecimiento que duplicaban su peso y área de cobertura al 100%. Donde su capacidad de carga operacional (KOP), alcanza valores entre 1444 y 1930 g/m² a los 22 días, significando la máxima cantidad con la que se pueden realizar las labores de cosecha y depuración de forma adecuada para el estanque uno.



A los 24 días la especie alcanza una cobertura del 141%, con valores de 2192 g/m², volviéndose difícil su manipulación durante las cosechas y pérdida de calidad en el aspecto físico de la planta con una disminución de clorofila en las hojas y bulbos debido a la alta concentración de contaminantes y a que la competencia por captar luz del sol para la fotosíntesis es más fuerte. (Anexo V, Foto 13).

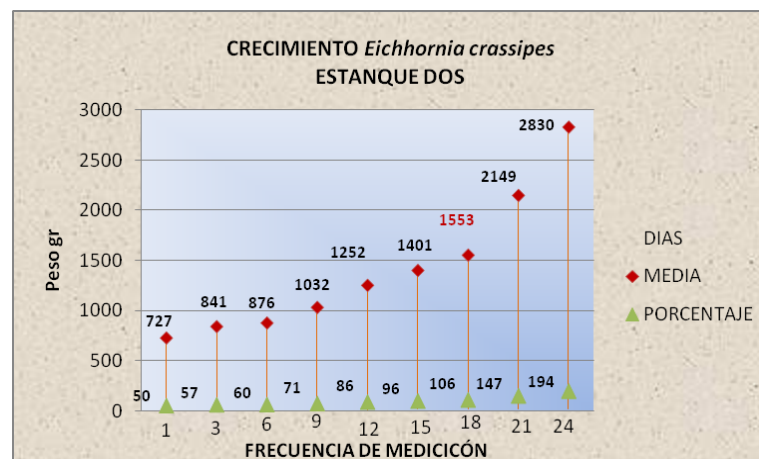


Fig. 4.14. Crecimiento de *Eichhornia crassipes* en estanque dos

En el **estanque dos** Fig. 4.14, el crecimiento fue un poco más acelerado y su peso alcanzó el 100% o el máximo operacional en aproximadamente 19 días, lográndose determinar la KOP, en 1554 g/m². Alcanza coberturas de hasta el 195% sin haber mayores alteraciones en la planta hasta el día 24, con pesos que llegan a 2830 g/m² y según las observaciones de campo la especie presenta buenas condiciones y aun no existe competencia ni plantas muertas, pero se complica la labor de cosecha y el manipuleo afecta a la planta, rompe rizomas, y los maltratos aceleran el proceso de descomposición de hojas y bulbos.

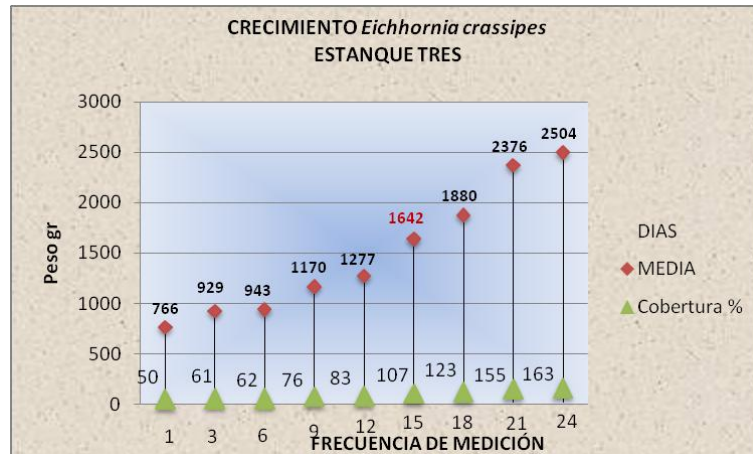


Fig. 4.15. Crecimiento de *Eichhornia crassipes* en estanque tres

El comportamiento en el **tercer estanque**, Fig. 4.15, presenta un crecimiento más acelerado determinándose niveles de 100% en cobertura y peso a los 15 días donde, la KOP establecida fue de 1642g/m². Alcanzando un nivel de 163% en cobertura con un peso de 2504g/m², en 24 días.

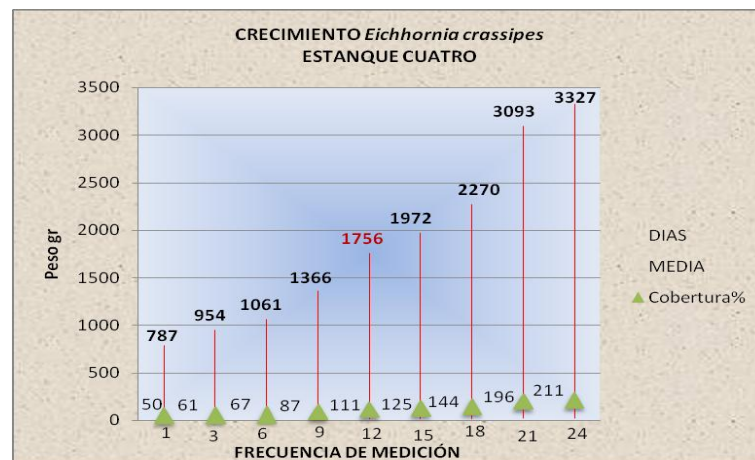


Fig. 4.16. Crecimiento de *Eichhornia crassipes* en estanque cuatro

El **estanque cuatro**, Fig. 4.16, es el que presentó crecimiento más acelerado en relación a los otros estanques, alcanza su 100% de peso y cobertura del área del estanque a los 13 días, determinándose su capacidad de carga operacional en un valor de 1756 g/m². El crecimiento a los 24 días en este estanque alcanzó el nivel más alto de producción de todo el sistema que fue del 211% con pesos de 3327 g/m², que duplica el total del 100%.



4.4.2. Rendimiento de biomasa

El rendimiento máximo de biomasa indica la cantidad apropiada para la cosecha en los estanques de tratamiento y de esta manera se mantendrán las densidades adecuadas, disminuyendo la competencia (intraespecífica), entre individuos de la misma especie por nutrientes, espacio y luz.

4.4.2.1. Producción de biomasa

El crecimiento en biomasa de *E. crassipes* fue analizado durante 24 días con intervalos tres días entre cada medición, promedios que se ponen en consideración en el Cuadro 4.4.

Cuadro 4.4. Crecimiento de biomasa en *Eichhornia crassipes* (g/m²)

DIAS	ESTANQUE 1	ESTANQUE 2	ESTANQUE 3	ESTANQUE 4
1	776,8	727,1	766,1	787,4
3	865,4	840,6	929,3	954,1
6	939,9	876,1	943,5	1060,5
9	1039,2	1032,1	1170,5	1365,5
12	1234,3	1252,0	1276,9	1755,7
15	1347,8	1401,0	1642,2	1972,1
18	1443,6	1553,5	1879,8	2270,0
21	1929,5	2149,4	2376,4	3092,9
24	2192,0	2830,4	2504,1	3327,0
SUMA	11768,53	12662,34	13488,77	16585,19
Pi -Pf	1415,20	2103,30	1737,97	2539,56
Media Crec. Día	58,97	87,64	72,42	105,82

Fuente: Las autoras

Se menciona en la metodología que el control de crecimiento en *Eichhornia crassipes*, se realizó en los estanques del sistema uno, instalando cuadrantes de 1m², en la zona media de cada estanque, los cuales se encontraban cultivados con otras especies; así en los estanques uno y tres se manejaba *Eichhornia crassipes*, en el estanque dos *Lemna gibba* y *Azolla filiculoides* en el estanque cuatro.

El peso de *E. crassipes* fue menor en el primer estanque durante todo el período, con un crecimiento diario de 58,97gr/m², el mayor peso se presentó en el estanque



cuatro, con 105,82 gr/m². El aumento en peso de esta especie tiene una estrecha relación con las especies que se asocia, presentando mejores rendimientos en sociedad con *Azolla filiculoides*, donde no solamente obtuvo mayor peso sino también mejores características fisiológicas. Debido a la fijación de nitrógeno que realiza *Azolla filiculoides* en asociación con *Anabaena azollae*, beneficiando los procesos químicos en las aguas, que favorecen el desarrollo de *Eichhornia crassipes*.

El peso de la especie se duplica en cada estanque de forma diferente así, en el primer estanque a los 19 días, en el segundo a los 17 días, en el tercero a los 13 y en el cuarto a los 11 días, este proceso de crecimiento se ve relacionado con las características de agua, este rendimiento y duplicación en peso determina la KOP (capacidad de carga operacional para el sistema).

Los valores mínimos y máximos de crecimiento que son el resultado de la diferencia entre medición y medición de peso se exponen en el Cuadro 4.5. En donde se resaltan los valores de peso mínimos y máximos alcanzados por la especie en cada estanque.

Cuadro 4.5. Valores mínimos y máximos de peso alcanzado por *Eichhornia crassipes*

DÍAS	ESTANQUE 1	ESTANQUE 2	ESTANQUE 3	ESTANQUE 4
3	88,67	113,50	163,16	166,70
6	74,48	35,47	14,19	106,41
9	99,31	156,06	227,00	305,03
12	195,08	219,91	106,41	390,16
15	113,50	148,97	365,33	216,36
18	95,77	152,52	237,64	297,94
21	485,92	595,88	496,56	822,88
24	262,47	681,00	127,69	234,09

Fuente: Las autoras

En el cuadro 4.5, se puede analizar que los mínimos valores de crecimiento alcanza la especie durante los primeros seis días, acreditándose esto al proceso de



adaptación que la especie está experimentando, y los valores máximos de peso los alcanza *E. crassipes* a los 21 y 24 días.

Este análisis ayudó a determinar la máxima carga operacional (Fig 4.13 - 4.16), y también el período de cosecha, que se estableció en 12 y 21 días, tiempo en el que se satura el espacio y la especie debe ser retirada para dar oportunidad al desarrollo de nuevos individuos.

Según Pérez *et al.* 2005, el crecimiento de *E. crassipes* en las condiciones ambientales de Cuba es de 487g/m²/día, comparando con los datos de esta investigación se observa que la variación va desde 58,97 a 105,82 g/m²/día esta diferencia puede verse incidida por factores como, especie con la cual se asocia, así su máximo desarrollo fue en asociación con *Azolla filiculoides*, cantidad de contenido de nutrientes en el agua y condiciones ambientales, observándose mejor reacción en desarrollo durante exposición a aguas con un tratamiento previo y no en aguas altamente contaminadas, aunque se adapta muy bien. El aporte en biomasa fresca del sistema uno que tiene un área de 184 m², es de 5453,97 Kg/año ó 5,97 ton/año.

4.4.3. Manejo de desechos de plantas acuáticas

El manejo de los desechos para las plantas que se emplean en descontaminación de aguas residuales domésticas deben cumplir con algunas normas de sanidad, según Ly (2005), se debe utilizar filtros elaborados a base de arena, rocas y planchas construidas de cemento, que ayuden a destilar el exceso de agua y evitar el contacto directo de las plantas con el suelo y aguas evitando su contaminación. La manipulación de este tipo de desechos se realiza con herramientas necesarias, como cosechadoras, carretillas, y palas y equipo de protección (guantes, botas, mascarillas).

Manejo de desechos de *Eichhornia crassipes*.-Algunos investigadores como Ly (2005) sugieren que el manejo de desechos de esta especie sea muy prudente



debido a su alta remoción en patógenos como bacterias y parásitos, que pueden adherirse a sus raíces, pues según Little y Muir citado por Ly (2005), las bacterias y huevos de algunos parásitos pueden subsistir hasta seis meses en materia seca, necesitando un manejo técnico y adecuado para todos los desechos de esta especie.

Ventaja en el manejo de desechos de *E. crassipes*.-La facilidad de cosecha de *Eichhornia crassipes* hace que este proceso se lo realice en menor tiempo en comparación a las otras dos especies; y existe menos cantidad de sólidos sedimentables en el agua, pues la planta al descomponerse, si es cosecha a tiempo sus bulbos en su mayoría permanecen sujetos a la planta. También se pudo observar la disminución de olores en los estanques debido a la cobertura de la planta sobre la lámina de agua, provocado por el ancho de sus hojas.

4.5. Estudio de la capacidad de remoción y análisis de permisibilidad

La capacidad de remoción de cada especie se puede analizar en base de gráficas comparativas, y su permisibilidad solo se puede determinar comparando con la norma TULAS, para Ecuador. Este proceso se pone en consideración a continuación.

4.5.1. Parámetro temperatura

La Fig. 4.17 (a), señala el comportamiento de la temperatura en cada estanque, por especie y en la Fig. 4.17 (b) muestra la comparación con los límites de permisibilidad promulgados por TULAS para Ecuador.

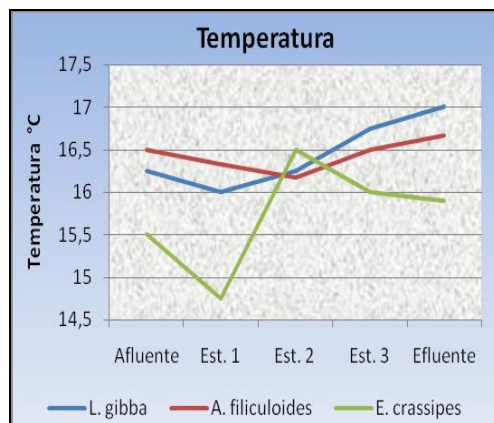


Fig. 4.17 (a). Comportamiento de la temperatura por especie

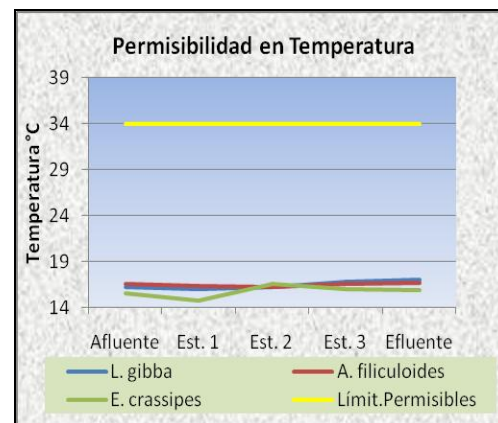


Fig. 4.17 (b). Límites de permisibilidad de temperatura

A pesar de ser un parámetro considerado de suma importancia especialmente en aguas provenientes de industrias, en sistemas de tratamiento de aguas residuales en este tratamiento no es mayor problema la temperatura.

Durante este estudio se pudo observar una fluctuación de temperatura promedio que oscila de 14,75 a 17,25°C, existiendo un comportamiento diferente por estanque; generalmente en el ingreso al primer estanque el valor de este parámetro fluctúa entre 16,25 y 16,5°C para *A. filiculoides* y *L. gibba*, mientras que, en *E. crassipes* el valor del afluente ingresa por debajo de los 15,5°C.

El patrón de comportamiento por estanque presentó ligeras variaciones que cambian de 16 a 17°C para *A. filiculoides* y *L. gibba*; y en el caso de *E. crassipes* se dio una disminución de 15,5°C hasta 14,75°C en el primer estanque, y luego, se incrementa a 16,5°C en el estanque dos y para finalmente descender hasta 15,75°C, en los estanques tres y cuatro.

Según algunos autores la temperatura en aguas tratadas con *Eichhornia crassipes* disminuye, debido a la sombra que proveen sus anchas hojas sobre la lámina de agua y puede incrementar a causa de los claros provocados por las cosechas y el crecimiento de la especie.



La Fig. 4.17 (b), muestra la comparación de las medias de temperatura obtenidas para cada tratamiento en relación con los límites de permisibilidad, según el TULAS, las aguas pueden tener temperaturas de hasta 34 °C al ser eliminadas a un sistema de agua dulce natural, los resultados aquí obtenidos no representan algún peligro para estas aguas y están relativamente muy por debajo de los estándares de vertimiento. Siendo este un punto a favor de los sistemas de tratamiento, considerando que las aguas que vienen de casas en comunidades no presentan temperaturas muy elevadas.

Según estudios realizado por Valderrama *et al.* (2005); los valores de temperatura en este tipo de sistemas pueden variar a diferentes horas del día según la cantidad de heliofanía que reciban los sistemas.

4.5.2. Parámetro pH

El comportamiento del parámetro pH, se visualiza en la figura Fig. 4.18 (a) y la comparación con los límites permisibles se muestran en la Fig. 4.18 (b).

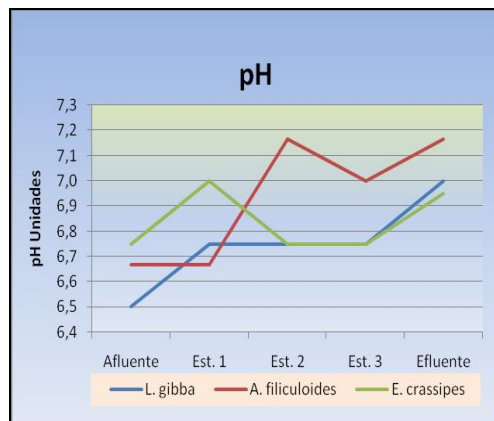


Fig. 4.18. (a). Comportamiento de pH por especie

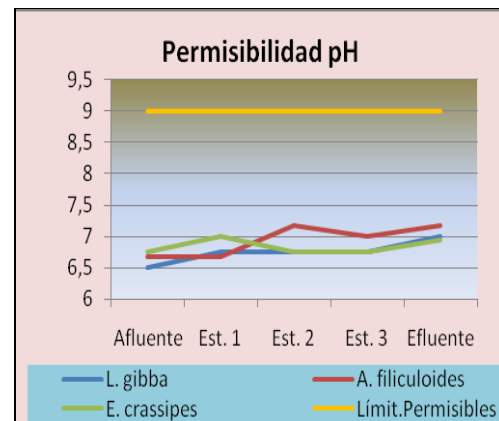


Fig. 4.18. (b). Límites de permisibilidad de pH

El pH, uno de los parámetros de gran importancia en el tratamiento de aguas residuales, debido a su incidencia en los procesos biológicos. Presentó medias que oscilaron entre 6,5 en el afluente y 7,15 en el efluente. Para cada especie se



observa un cambio acentuado especialmente en *Azolla filiculoides* donde alcanza los valores de pH, más altos esencialmente en los tres últimos estanques.

Al encontrarse *Azolla filiculoides* asociado con *Anabaena azollae*, eleva sus niveles de pH en las aguas, pues las altas concentraciones de N, en forma de nitritos o nitratos hacen que se produzcan reacciones químicas en el agua que permitan elevar el contenido de pH, volviendo a las aguas residuales más alcalinas en presencia de esta especie (Fernández, 2006).

En los tratamientos con *L. gibba* y *E. Crassipes* desde el segundo estanque se presenta una relativa similitud con respecto al pH, obteniéndose valores en los efluentes muy cercanos a 7 (neutro).

La Fig. 4.18 (b), pone en manifiesto la comparación de la permisibilidad para pH según la norma TULAS, pues es necesario mencionar que a pesar de ser alto para *Azolla filiculoides*, los tres tratamientos no sobrepasan los límites permisibles.

4.5.3. Parámetro conductividad

Las Fig. 4.19 (a) y Fig. 4.19 (b), muestran una comparación de la remoción de cada especie sobre la conductividad y la relación con los límites de permisibilidad.

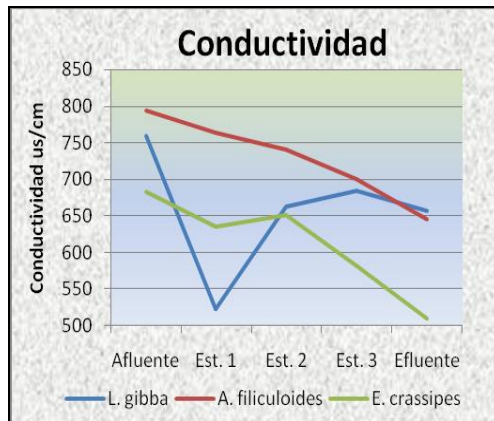


Fig. 4.19 (a). Comportamiento de conductividad por especie

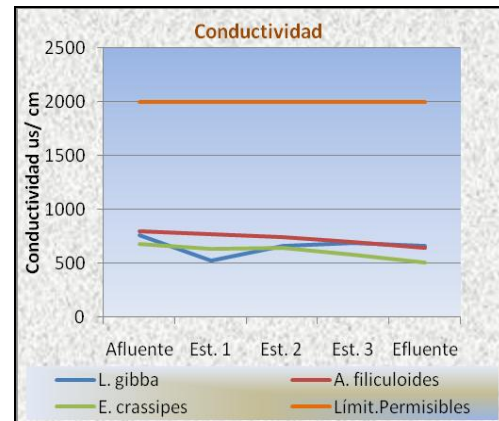


Fig. 4.19 (b). Límites de permisibilidad de conductividad

En la Fig. 4.19 (a), se muestra la incidencia de cada especie sobre el parámetro conductividad, uno de los más importantes a nivel de las fuentes de agua natural que se emplean para riego, y que se expresa por la presencia de iones en el agua.

Las aguas residuales generalmente tienen tendencia a presentar niveles altos de iones como aquellos provenientes del cloruro de sodio (NaCl) sal común, muy utilizada en la alimentación y que según algunos estudios realizados pasan inalterados por el tracto digestivo, elevando el nivel de iones en las aguas residuales. Todas las especies disminuyen los valores de conductividad, generalmente las medias de ingresos van desde los 670 us/cm, hasta 800 us/cm, produciéndose disminución durante todo el proceso, proporcionando efluentes de 650 hasta 500 us/cm.

En este caso el comportamiento por especie y por estanque es variable, es más alto el promedio del efluente de *L. gibba* y *A. filiculoides* en comparación con el efluente de *E. crassipes* que presenta mayor capacidad de remoción, según algunos autores la característica plumosa de la raíz de *Eichhornia* permite que exista mayor adsorción de partículas de sólidos y de iones que al ser cosechadas estas plantas las concentraciones de sales van disminuyendo en el agua.

En la Fig. 4.19 (b), se presenta los límites de permisibilidad de conductividad para ser descargados en aguas para riego en el Ecuador y es otro punto a favor de este

tipo de tratamiento pues la cantidad de sales en el agua tratada de acuerdo a la norma admiten concentraciones de hasta 2000 us/cm que equivale a un rango de agua modera, resaltando su importancia para el uso de estas aguas en el riego.

4.5.4. Parámetro sólidos disueltos totales

Las figuras 4.20 (a) y 4.20 (b), muestran la actuación de cada uno de los tratamientos en la remoción de sólidos disueltos totales comparados con los límites de permisibilidad.

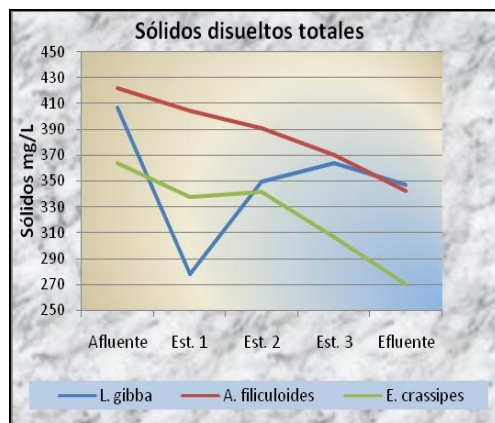


Fig. 4.20 (a). Comportamiento de sólidos disueltos totales por especie

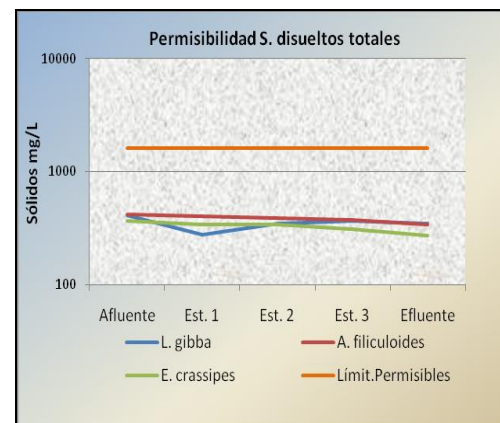


Fig. 4.20 (b). Límites de permisibilidad de sólidos disueltos totales

Considerándose a los sólidos disueltos totales de suma importancia tanto a nivel de sistemas, como para las fuentes de agua natural en ambos casos pueden causar inconvenientes, que deben ser determinados a tiempo para dar los correctivos necesarios.

En este caso las tres especies presentan un comportamiento con tendencia similar en donde la especie *L. gibba* presenta mayores cambios en el estanque dos, esto se debe quizá a que la planta fue cosechada de un sistema de tratamiento en donde se encontraba en estado de descomposición y que al ingresar en las aguas del nuevo sistema estos sólidos se fueron hacia la parte baja de la columna de agua formando parte de sólidos disueltos incrementando la presencia de iones, el

comportamiento de este parámetro es similar al de la conductividad, mientras que los tratamientos con *A. filiculoides* y *E. crassipes* presentan también una tendencia a disminuir pero con un patrón de comportamiento paralelo.

En la Fig. 4.20 (b), los límites de permisibilidad de remoción de sólidos disueltos totales, aceptabilidad con un valor de 1500 mg/l, destacando los niveles de remoción de los tratamientos aplicados, se puede señalar que la descarga con la cual se vierten en las fuentes de agua natural se mantiene en los límites tolerados de acuerdo la norma TULAS.

4.5.5. Parámetro sólidos suspendidos

En la Fig. 4.21 (a), se aprecia el comportamiento de las especies en la remoción de sólidos suspendidos y en la Fig.4.21 (b), se compara las remociones con los límites de permisibilidad.

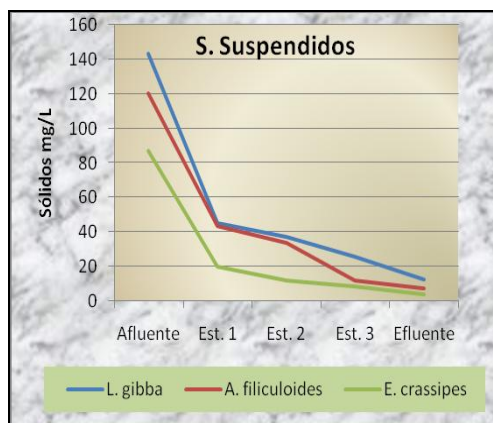


Fig. 4.21 (a). Comportamiento de sólidos suspendidos por especie

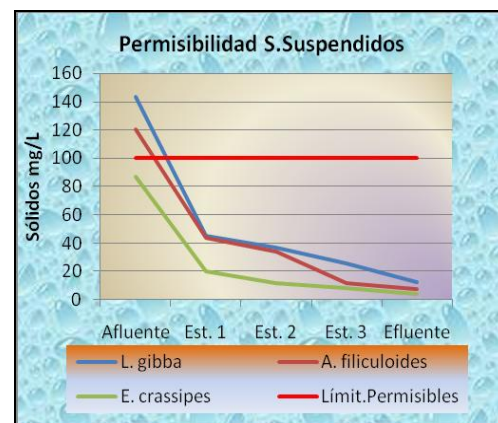


Fig. 4.21 (b). Límites de permisibilidad de sólidos suspendidos

El parámetro sólidos suspendidos considerado importante debido a que su presencia es indicador de un pre-tratamiento inadecuado. En el caso de las aguas residuales domésticas los sólidos están constituidos por grasas, proteínas, hidratos de carbono componentes generales de los alimentos haciendo que estas aguas



lleguen a los sistemas con altas concentraciones de este tipo de sólidos. (Miranda, 2006).

Para este estudio se registró un valor que oscila entre 85 y 145 mg/l, rango que va disminuyendo a medida que pasa de un estanque a otro. En este parámetro se resalta la alta remoción en el primer estanque, hallándose respuesta de este proceso en la velocidad con la que ingresa el agua, permitiendo a estos sólidos flotar hasta más o menos la mitad del estanque para luego disminuir su velocidad y empezar un proceso de sedimentación. Además al inicio se pudo observar que estos sólidos suspendidos se van aglutinando y formando coágulos densos que se sedimentan aproximadamente en los diez primeros metros lineales, (Anexo V, Foto 14).

Otra explicación se puede encontrar en el traspaso del agua de un estanque a otro los sólidos quedan atrapados en los estanques anteriores, disminuyendo los valores de forma constante, y haciendo más fácil su remoción a través de las permanentes cosechas provocando la salida de los sólidos conjuntamente con sus raíces. Se resalta como nivel de remoción más elevado al de *E. crassipes*.

En la Fig. 4.21 (b), se estima que la permisibilidad regida para Ecuador hace aceptable cualquiera de estos tratamientos y es representativo desde el primer estanque, en donde se puede mencionar que en 23 m lineales de recorrido y gracias al flujo pistón de los sistemas se obtiene una buena remoción en los sólidos suspendidos.

Otra razón más para resaltar la importancia del tratamiento de plantas acuáticas flotantes en sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, es que los límites permiten descargas de hasta 100 mg/l y en este tipo de sistemas se ha logrado obtener efluentes con 18 mg/l.

4.5.6. Parámetro sólidos sedimentables

La Fig. 4.22 (a), muestra la capacidad de remoción de sólidos sedimentables, por especie en el tratamiento de aguas residuales domésticas, y la permisibilidad de descarga se ve reflejado en la Fig. 4.22 (b).

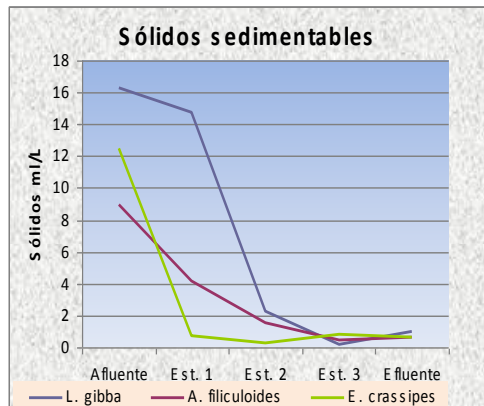


Fig. 4.22 (a). Comportamiento de sólidos sedimentables por especie

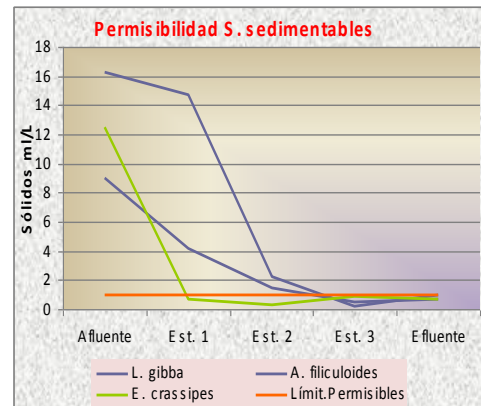


Fig. 4.22 (b). Límites de permisibilidad de sólidos sedimentables

Considerado uno de los parámetros más importantes en el tratamiento de las aguas residuales, pues su determinación y buen manejo ayudan a dar mantenimiento adecuado de los sistemas y aplicar diseños idóneos para su remoción.

De acuerdo a la Fig. 4.22 (a), *L. gibba* presenta la mayor capacidad de remoción de sedimentos disminuyendo niveles desde 16 ml/l hasta 0,5 ml/l, resaltando que en el tercer estanque existe una remoción casi total de estos sólidos sedimentables para todas las especies. La especie con mayor problemas de remoción de sólidos sedimentables es *A. filiculoides* pues esto se debe a que la planta crece de forma acelerada y forman esponjas que impiden que todas las plantas estén en contacto con el agua, éstas se secan y pasan a formar parte de los sólidos sedimentables. Para *E. crassipes* existe una remoción inmediata desde el primer estanque, esto se explica en base a la estructura de las raíces que forman una red que permite a los sólidos adherirse en mayor cantidad haciendo más fácil su remoción.

Cabe resaltar que al pasar de un estanque al otro se van acumulando los sólidos en la profundidad de los estanques, de tal manera que en los estanques 3 y 4 en su mayoría solo se acumulan sólidos producto de la descomposición de las plantas, en caso de que el manejo de los sistemas no sea el adecuado.

En la Fig. 4.22 (b), se aprecian los límites de permisibilidad de sólidos sedimentables y se puede observar que los estanque 3 y 4 se encuentran bajo las normas de permisibilidad, pudiéndose deducir que para este parámetro se necesitan mínimo tres estanques de tratamiento.

4.5.7. Parámetro demanda química de oxígeno

La Fig. 4.23 (a), muestra el comportamiento de cada especie en la remoción de DQO, mientras los límites de permisibilidad se aprecian en la Fig. 4.23 (b).

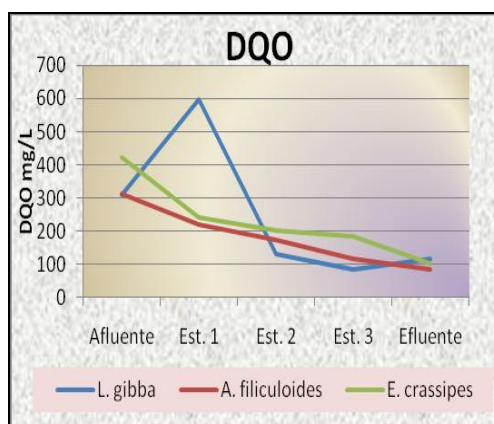


Fig. 4.23 (a). Comportamiento de remoción de DQO

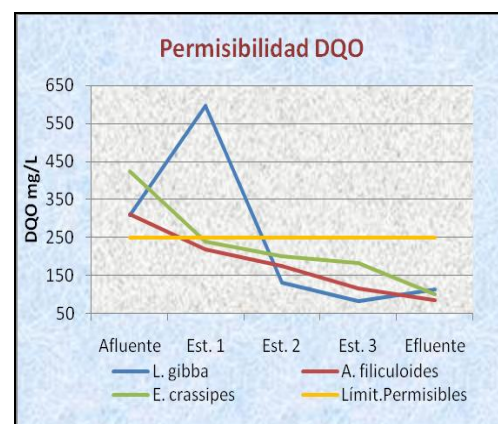


Fig. 4.23 (b). Límites de permisibilidad de DQO

En aguas residuales domésticas en comunidades rurales la carga de contaminación orgánica varía entre 300 y 420 mg/l. *Azolla filiculoides* y *E. crassipes* muestran un comportamiento relativamente similar, en los estanques cosa que no sucede con *L. gibba*, pues existe un incremento exagerado en el estanque uno. Los valores graficados son los promedios de las repeticiones pudiéndose hallar la explicación del valor sesgado en un error de laboratorio



En base a la calidad del agua del afluente se puede observar que el tratamiento con *Eichhornia crassipes* es aquel con mayor eficiencia en remoción de este parámetro, disminuyendo de 420 mg/l a 100 mg/l.

En la Fig. 4.23 (b), se aprecia los límites de permisibilidad para DQO según el TULAS, a pesar de ingresar el agua con grandes cargas de DQO, el tratamiento con especies de plantas acuáticas flotantes permite una remoción que logra ubicar a este parámetro por debajo de los límites permisibles. Se puede apreciar que desde el estanque dos el DQO alcanza los niveles óptimos, con lo cual se podría deducir, que para la remoción de este parámetro bastaría la superficie de tres estanques.

4.5.8. Parámetro demanda bioquímica de oxígeno

La Fig. 4.24 (a), indica el comportamiento de cada especie en la remoción de DBO, mientras la permisibilidad de este parámetro se refleja en la Fig. 4.24 (b).

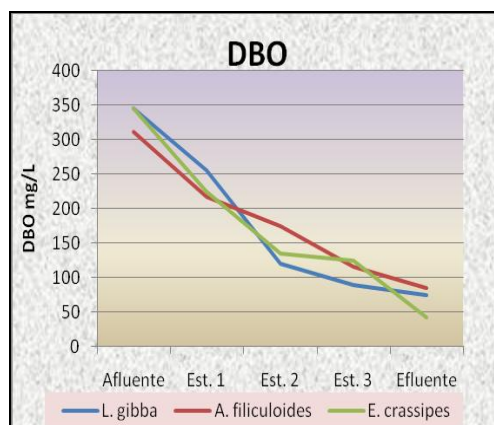


Fig. 4.24 (a). Comportamiento de remoción de DBO₅, por especie

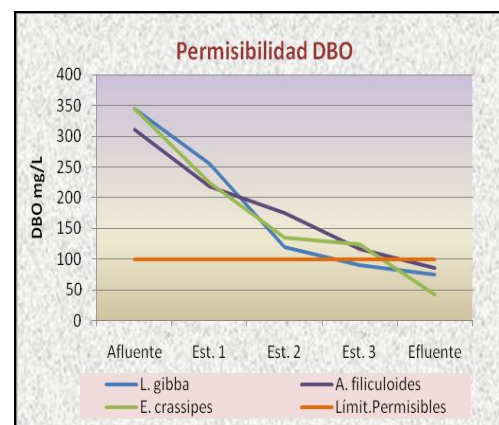


Fig. 4.24 (b). Límites de permisibilidad de DBO₅

La DBO indica la cantidad de materia orgánica presente en el agua entre las que se encuentran proteínas, carbohidratos, grasas y aceites. La eficiencia en remoción de DBO (comparación entre afluente y efluente), permite garantizar la efectividad de un sistema de tratamiento cualquiera que este fuera, es así que se han



construido en otros países sistemas con la única finalidad de disminuir concentraciones de DBO.

La remoción de DBO por las especies en estudio observadas en la Fig. 4.24 (a), demuestran haber alcanzado altas remociones, siendo así los afluentes que ingresan con 350 mg/l de DBO disminuyen hasta 48 mg/l convirtiendo al tratamiento con plantas flotantes uno de los más eficientes.

La permisibilidad expuesta en la Fig. 4.24 (b), muestra que en el cuarto estanque disminuyen los valores del DBO en todos los tratamientos hasta llegar a los límites aceptables, lo que hace sugerir que el diseño de los cuatro estanques es adecuado.

La capacidad de remoción de DBO, está estandarizado de acuerdo a la respuesta que se obtiene de la relación entre DBO_5/DQO que es el índice de **biodegradabilidad**; y según Fresenius citado Ly (2005), debe estar entre 0,2 y 0,5; si se encuentra por debajo de 0,2 y $>$ a 0,5, las aguas residuales presentan inconvenientes en el proceso de tratamiento aplicando plantas acuáticas.

4.5.9. Parámetros N-nitratos y N-nitritos

En la Fig. 4.25, se aprecia el comportamiento de las especies en la remoción de nitratos, y en la Fig. 4.26, se refleja la remoción de nitritos.

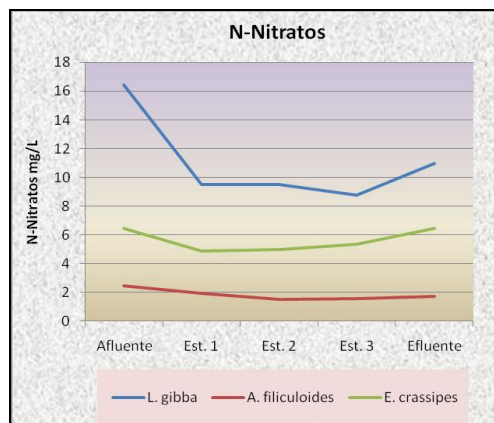


Fig. 4.25. Comportamiento de remoción de nitratos por especie

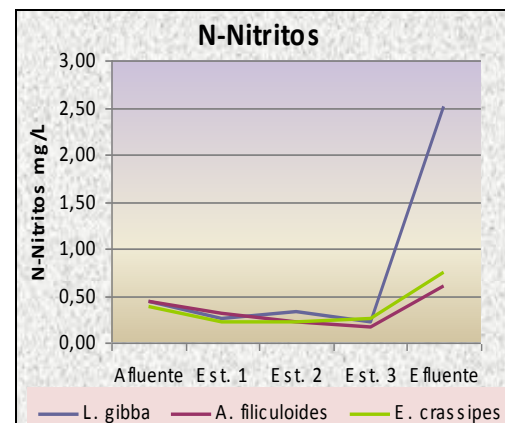


Fig. 4.26. Comportamiento de remoción de nitritos por especie

El tratamiento con *L. gibba* presenta una considerable disminución desde de 16 mg/l hasta 11 mg/l; en relación con *E. crassipes* se observa que mantiene una tendencia que va entre 6,5 a 5,5 mg/l, determinándose una remoción no significativa, esto se debe quizá al consumo de este nutriente por parte de la planta, que en cada estanque es relativamente uniforme y al final no existe incremento ni disminución sino más bien, un equilibrio en la presencia de este nutriente en el agua, finalmente *A. filiculoides* por presencia baja de nitratos 2,25 mg/l el ingreso del agua presenta ligeras remociones que van hasta 1,75 mg/l.

En este caso la especie con más capacidad de remoción ha sido *L. gibba* que según Pedraza, (2005) los nitratos son una de las fuentes preferidas de alimentación de las lemnáceas.

La Fig. 4.26, indica el comportamiento en la remoción de nitritos, mostrado por cada especie; para esta investigación este parámetro ha sido uno de mayores problemas, pues no existe remoción en ningún tratamiento, por lo que se evidencia el incremento de los valores en la gráfica. El aumento de la concentración de nitritos en cuerpos de agua dulce representa problemas por el grado de eutrofización o proliferación de plantas acuáticas.



Para *L. gibba* que alcanzó los niveles más altos de incremento en nitritos valores que oscilaron entre 0,45 a 2,5 mg/l, estos cambios se deben al manejo realizado, es así que la semilla utilizada para la experimentación fue extraída desde un sistema de tratamiento (La Calera) en donde no se proporciona un mantenimiento adecuado, encontrándose la lenteja en mal estado. Esto ocasionó que los niveles de descomposición de la planta en el nuevo sistema incrementen, produciéndose un aumento de nitritos, que pueden ser muy tóxicos para aguas dulces. Para las otras especies *E. crassipes* y *A. filiculoides* también existe un incremento que es relativo el cual oscila entre 0,5 y 0,7 mg/l.

Según algunos autores como Caicedo (2005), las plantas prefieren alimentarse de nitratos y los nitritos tienden a acumularse en el agua, a pesar de los altas concentraciones de nitritos que al descomponerse generan iones de N^+ no existen alteraciones en el pH del agua tratada en este tipo de sistemas.

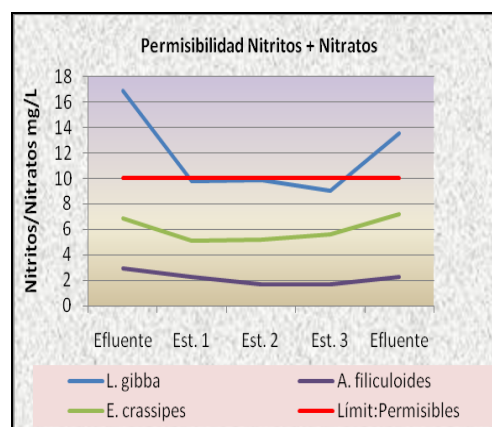


Fig. 4.27. Límites de permisibilidad para nitritos más nitratos

La permisibilidad de la concentración de nitrógeno inorgánico según las normas TULAS para Ecuador, están dadas por la suma de nitritos más nitratos, demostrado en la Fig. 4.27, donde se puede apreciar que la remoción de las especies *A. filiculoides* y *E. crassipes* está dentro de los límites a excepción de *L. gibba* que sobrepasa los niveles de aceptabilidad.



4.5.10. Parámetro N-amoniaco

La Fig. 4.28, indica la remoción de nitrógeno amoniaco alcanzada por cada una de las especies, donde el comportamiento es muy variable.

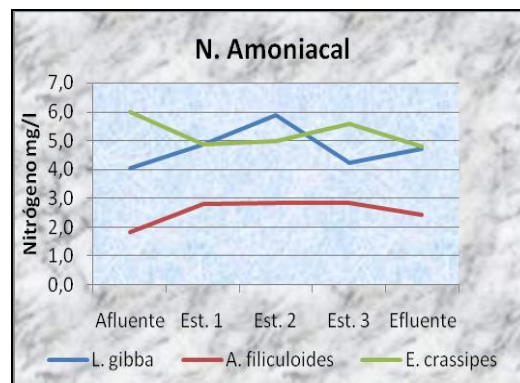


Fig. 4.28. Comportamiento en la remoción de N. amoniaco

Así *L. gibba* presenta una remoción que no es significativa en comparación con las otras especies, pues con esta especie el nitrógeno amoniaco no disminuye, al contrario se produce un incremento de 4,03 a 4,72 mg/l. Una de las razones es la descomposición de *L. gibba* llevada en mal estado y sembrada en el sistema uno provocando una incorporación de compuestos nitrogenados. La especie *A. filiculoides* muestra un incremento al igual que *L. gibba* sus valores variaron de 1,83 mg/l a 2,41 mg/l.

Eichhornia crassipes fue la única especie que logró remoción en este parámetro, pues sus valores disminuyeron de 6 mg/l a 4,8 mg/l. Según Nozaily *et al*; Caicedo *et al*, 2000 citado por Valderrama (2005); la absorción eficiente de nitrógeno amoniaco por la especie *Eichhornia crassipes* tiene relación con procesos fotosintéticos y también a procesos de absorción.



4.5.11. Parámetro nitrógeno total de Kjeldahl

La Fig. 4.29 (a), presenta la capacidad de remoción de cada especie en el parámetro NTK, mientras que la Fig. 4.29 (b), muestra la permisibilidad del NTK en las aguas.

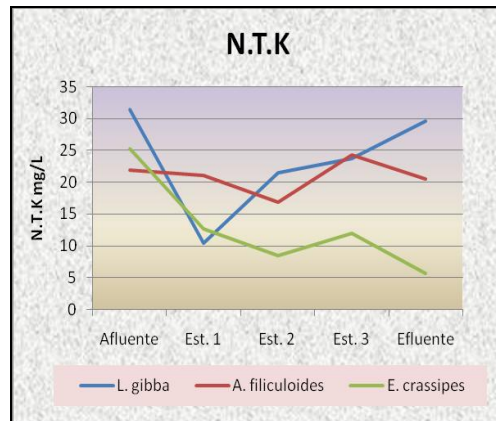


Fig. 4.29 (a). Comportamiento de remoción de NTK, por especie

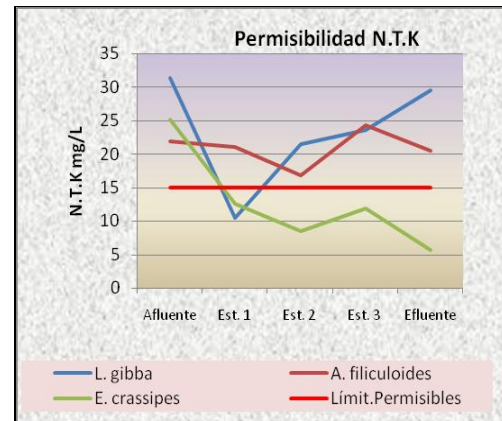


Fig. 4.29 (b). Límites de permisibilidad de NTK

En el NTK cada especie tiene un comportamiento diferente en cada estanque, como muestra la Fig. 4.29 (a), *L. gibba* es la especie que más alteración presentó en el proceso de remoción disminuyendo las concentraciones de 32 mg/l a 29,5 mg/l aproximadamente.

En *A. filiculoides* la disminución que presenta remueve valores desde 23 mg/l a 20 mg/l; y la especie que presentó mayor capacidad de remoción para este parámetro fue *E. crassipes* que disminuyó de 25,5 a 6 mg/l.

Según los límites de permisibilidad la eliminación de residuos tratados en cuerpos de agua dulce, debe mantenerse bajo 15 mg/l (Fig. 4.29 (b)), de acuerdo a esta investigación *E. crassipes* es la especie que se ajusta a la norma removiendo altas cantidades de NTK.

4.5.12. Parámetro fósforo total

La Fig. 4.30 (a), demuestra el proceso de remoción de fósforo total, y la en la Fig. 4.30 (b), se muestra la comparación del tratamiento con la permisibilidad del fósforo total en las aguas.

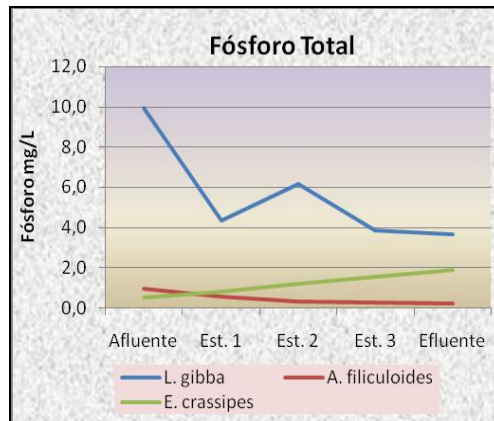


Fig. 4.30 (a). Comportamiento de remoción de fósforo total, por especie

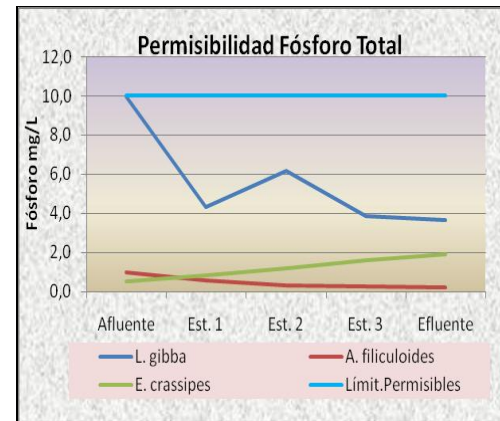


Fig. 4.30 (b). Límites de permisibilidad de fósforo total

El fósforo total considerado uno de los parámetros que más afecta el comportamiento de las plantas en el agua según Clostre (2007); la cantidad de fósforo se incrementa al aumentar la concentración de potasio.

De las tres especies manejadas durante este estudio *Lemna gibba* fue capaz de disminuir la cantidad de fósforo de 10 mg/l hasta 3,8 mg/l aproximadamente ubicándose como la especie con más capacidad de remoción en relación a las otras especies; *E. crassipes* presenta un incremento alrededor de 0,4 mg/l a 2 mg/l; y finalmente *A. filiculoides* presenta una capacidad de remoción cercana de 0,75 mg/l a 0,2 mg/l.

La Fig. 4.30 (b), muestra la relación de las descargas con los límites permisibles, para este estudio, según el TULAS los límites aceptables son de hasta 10 mg/l de fósforo, siendo satisfactorio a pesar de que algunas especies no presentan mayores



capacidades de remoción se puede decir que, de todas las especies acuáticas flotantes investigadas la más eficiente fue *L. gibba*.

4.5.13. Parámetro fosfatos

La Fig. 4.31 (a), muestra el comportamiento de las especies en la remoción del parámetro fosfatos.

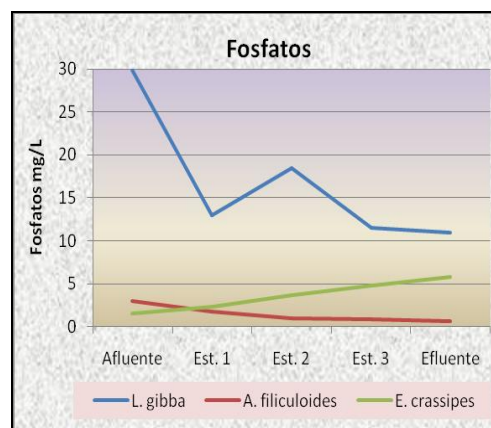


Fig. 4.31. Comportamiento en remoción de fosfatos, por especie

Los fosfatos, parámetros indicadores de procesos de descomposición de compuestos orgánicos y considerados una de las fuentes principales de fósforo para las plantas.

Su comportamiento de remoción se muestra en la Fig. 4.31 (a), donde *Lemna gibba* es la especie con mayor capacidad de remoción, algunos autores acreditan el crecimiento acelerado de lemna a la capacidad que presenta esta especie de absorber fósforo en diferentes formas, se considera a los fosfatos como sólidos solubles e importantes compuesto de los macronutrientes requeridos por las plantas terrestres y acuáticas para su desarrollo.

Azolla filiculoides removió de 4 a 1,5 mg/l, con *E. crassipes* la remoción varió entre 3 y 6 mg/l. En esta última especie se registró un incremento y esto se



acredita posiblemente una falla de toma de la muestra, (residuo de detergentes luego del lavado de los envases de colecta).

4.5.14. Parámetros microbiológicos

La Fig. 4.32 (a), presenta la remoción de coliformes totales durante este estudio, y la Fig. 4.33 (a), muestra la remoción de *Escherichia coli*.

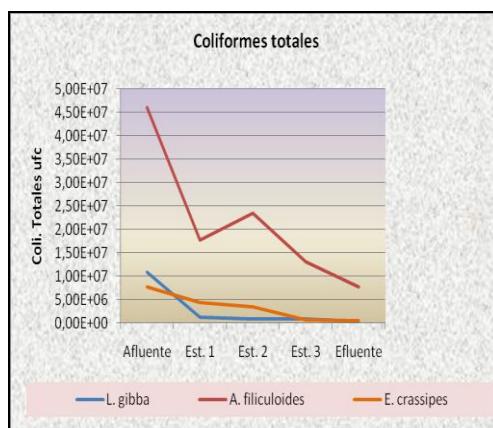


Fig. 4.32 (a). Comportamiento de las especies en la remoción de c. totales

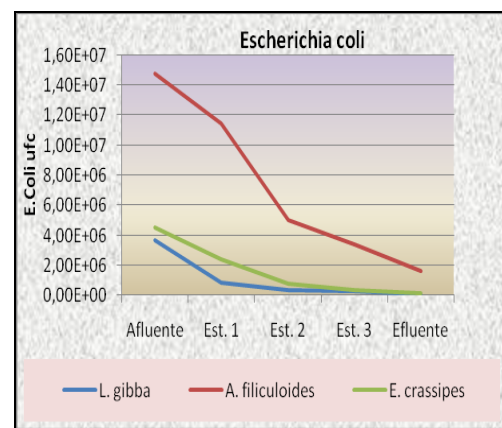


Fig. 4.33 (a). Remoción de *E. coli* por especie

La Fig. 4.32 (a), muestra la capacidad de remoción presentada por cada especie sobre el parámetro coliformes totales, en donde se aprecia una variación en el comportamiento de cada especie por estanque, los ingresos van desde 4×10^6 a 11×10^6 ufc/100ml y existe disminuciones con datos inferiores a 1×10^6 ufc/100ml de coliformes y en este caso cada planta presenta un rango de disminución único, pero el más importante es el que presenta *L. gibba* con mayor cantidad de remoción, seguida de *E. crassipes* y *A. filiculoides*.

La Fig. 4.33 (a), muestra el comportamiento de las especies en la remoción de *Escherichia coli*, en donde *Eichhornia crassipes* es la especie con mayor capacidad de remoción seguida de *L. gibba* y finalmente *A. filiculoides* es la especie con menor capacidad de remoción .



La mayor capacidad de remoción en estos parámetros presentó *E. crassipes*, según Valderrama *et al.* (2004); esto se debe a que esta especie presenta raíces plumosas y abundantes en donde se fijan conjuntamente con los sólidos los coliformes, ayudando a su remoción durante las cosechas.

La medición de permisibilidad para estos dos parámetros se realiza en porcentaje, las figuras 4.32. (b) y 4.33. (b), representan la permisibilidad de coliformes totales y *Escherichia coli* de acuerdo a la norma TULAS y posteriormente se realiza su análisis.

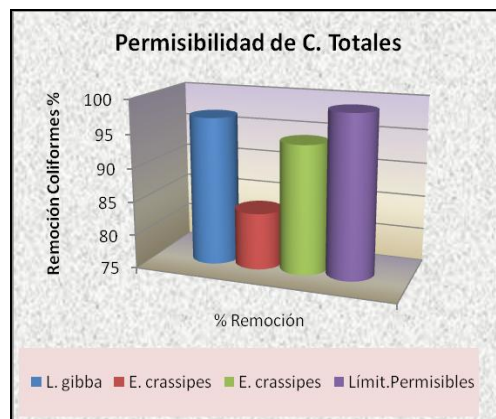


Fig. 4.32 (b). Permisibilidad coliformes totales

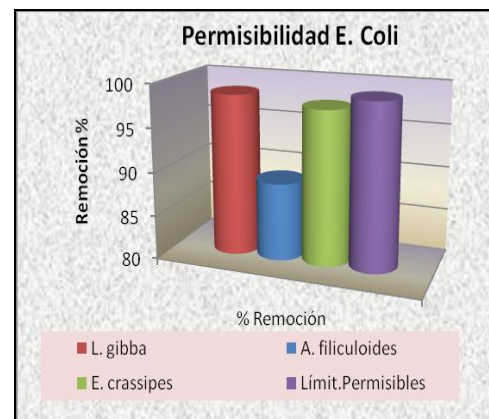


Fig. 4.33 (b). Permisibilidad *Escherichia coli*

La Fig. 4.32 (b), muestra la permisibilidad según el TULAS para el parámetro microbiológico coliformes totales, en el cual se hace una comparación con los tratamientos aplicados y se observa que ninguna especie cumple con los requisitos de permisibilidad para ser vertidos en fuentes de agua natural sin embargo existen remociones altas, y las especies que más se acercan a la aceptabilidad son *L. gibba* y *Eichhornia crassipes*.

En la Fig. 4.33 (b), se muestra la permisibilidad de *Escherichia coli*, sucede exactamente igual que en los coliformes totales, en donde ninguna especie alcanza los niveles permisibles de remoción sin embargo las especies que remueven más cantidad de *Escherichia coli*, son *E. crassipes* y *L. gibba*. Los niveles más bajos en la remoción se pudo observar para *A. filiculoides*.



4.6. Cuarto tratamiento asociación de especies acuáticas

La aplicación de un cuarto tratamiento se planteó con la finalidad de comparar la eficiencia en la remoción de contaminantes de cada cultivo ensayados en forma individual (*E. crassipes*, *A. filiculoides*, *L. gibba*) y en una asociación de las especies.

4.6.1. Orden de las especies propuestas para la asociación

Al emplearse las tres especies en un cultivo de asociación puede suscitarse varias combinaciones como se indica en el cuadro 4.6, existiendo la posibilidad de escoger cualesquier opción en el momento de la siembra. Por lo cual se descartó la aplicación de una combinación al azar, por que de antemano se conocían los datos sobre el comportamiento de cada especie en el tratamiento de las agua.

Cuadro 4.6. Cuadro de combinaciones de las especies en estudio

Combinaciones	Especie 1	Especie 2	Especie 3
C1	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Azolla filiculoides</i>	<i>Lemna gibba</i>
C 2	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Lemna gibba</i>	<i>Azolla filiculoides</i>
C 3	<i>Lemna gibba</i>	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Azolla filiculoides</i>
C 4	<i>Lemna gibba</i>	<i>Azolla filiculoides</i>	<i>Eichhornia crassipes</i>
C 5	<i>Azolla filiculoides</i>	<i>Lemna gibba</i>	<i>Eichhornia crassipes</i>
C6	<i>Azolla filiculoides</i>	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Lemna gibba</i>

Fuente: Las autoras

La disposición de las especies a cultivar en cada estanques las proporcionaron los resultados del laboratorio, en base al porcentaje de remoción de las mismas que se resumen en el Cuadro 4.7, con los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, a los cuales se calificó dependiendo de la capacidad de remoción de cada especie así: 3 a la remoción más alta, 2 a la remoción media y 1 a la menor.



En los análisis de la capacidad de remoción de las especies por separado, se observó que en algunos parámetros surgen incrementos en el efluente del sistema con relación al afluente, para estos casos el valor que se otorgó fue cero (0).

Cuadro 4.7. Valor de la remoción en cada parámetro por especie

PARAMETRO		T1	T2	T3
		<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Azolla filiculoides</i>	<i>Lemna gibba</i>
1	Conductividad	3	2	1
2	Sólidos totales	3	2	1
3	Sólidos suspendidos	3	2	1
4	Sólidos sedimentables	3	1	2
5	DQO	3	2	1
6	DBO	3	2	1
7	N-Nitratos	1	2	3
8	N-Nitritos	0	0	0
9	Nitrógeno amoniacal	3	0	0
10	Nitrógeno total k	3	2	1
11	Fosfatos	0	3	2
12	Fósforo total	0	3	2
13	Coliformes totales	2	1	3
14	<i>Escherichia coli</i>	2	1	3
Total		29	23	21

Fuente: Resultados en porcentajes de remoción

En el Cuadro 4.7, se muestra la valoración de las especies en función del porcentaje de remoción o incrementos surgidos durante el proceso de tratamiento. En base a los resultados de este cuadro la especie con mayor puntaje en relación al número de parámetros removidos fue *Eichhornia crassipes* con 29 puntos, seguida de *Azolla filiculoides* con una valoración de 23 puntos, y finalmente *Lemna gibba* con 21 puntos.

El sistema uno como ya se ha mencionado consta de cuatro estanques y para el establecimiento del cultivo en asociación, se optó por ordenar de la siguiente manera, en el primer estanque por presentar la mayor carga de contaminantes se aplicó la especie *Eichhornia crassipes* por haber alcanzado mayor valoración en la remoción de parámetros contaminantes.



Para el estanque dos se eligió a *Lemna gibba* a pesar de su puntaje como se muestra en el Cuadro 4.7, el valor de *Lemna* es menor al de *Azolla filiculoides*, pero si consideramos que la lenteja de agua es una de las especies que mejor remueve los parámetros microbiológicos (Coral 2002), la elección de la especie se afirma en el criterio de que la cantidad de coliformes totales en las aguas residuales son altas en los primeros estanques y se requiere de especies con mayor capacidad de remoción.

De esta manera el último cultivo de la asociación fue el de *Azolla filiculoides* debido a que esta especie ha sido aplicada en anteriores investigaciones como tratamiento terciario y también se ha confirmado durante esta experimentación.

4.7. Análisis de la remoción para los cuatro tratamientos

Finalmente se realiza una comparación de la capacidad de remoción en porcentajes de las cuatro propuestas con el objetivo de definir el mejor tratamiento para la depuración de las aguas residuales domésticas.

La comparación del porcentaje en remoción de los parámetros entre los cuatro tratamientos se presenta resumida en el Cuadro 4.8. Y los valores registrados como ceros (0) son de aquellos parámetros que durante la aplicación de los tratamiento sufrieron incrementos en la columna de agua.

Cuadro 4.8. Porcentajes de remoción en los cuatro tratamientos

PARÁMETROS	<i>L. gibba</i>	<i>A. filiculoides</i>	<i>E. crassipes</i>	Asociación
Conductividad	13,44	18,76	25,35	2,02
S. Totales	14,51	18,81	25,69	1,78
S. sus	91,29	93,91	95,40	88,38
S.sedi	93,85	92,59	94,80	98,62
DQO	63,12	72,48	76,30	70,35
DBO	78,26	79,25	87,68	40,00
N-Nitratos	33,14	31,05	0,30	38,09
N-Nitritos	0,00	0,00	0,00	0,00
N. amoniacal	0,00	0,00	20,01	23,62
N. total	5,74	6,38	77,78	0,00
F.Total	63,32	77,35	0,00	62,57
Fosfatos	63,32	77,76	0,00	58,88
Coli. Totales	96,98	83,42	94,09	72,16
<i>E. Coli</i>	98,55	88,88	97,66	86,62

Fuente: Las autoras

4.7.1. Análisis de los porcentajes de remoción por especie

Anteriormente se realizó el análisis de la calidad de las aguas y se compararon con los límites máximos de permisibilidad, describiendo las causas del incremento o disminución de cada parámetro, reservando para esta parte el análisis comparativo en porcentajes enfocándose en la mejor alternativa de remoción.

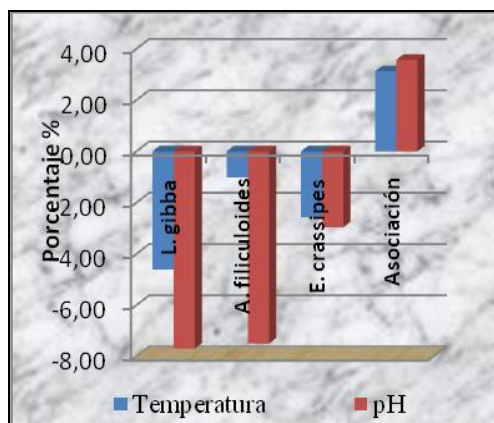


Fig. 4.34. Remoción en porcentaje de los parámetros pH y temperatura

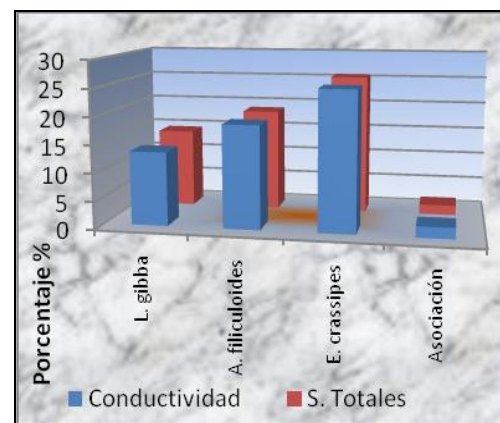


Fig. 4.35. Remoción porcentual de los parámetros conductividad y sólidos totales



La Fig. 4.34, muestra el comportamiento de los parámetros **temperatura** y **pH**, apreciándose un incremento en los dos parámetros, especialmente con las especies *Lemna gibba* y *Azolla filiculoides* que varía entre 1 a 8%. En *Eichhornia crassipes* al igual que las especies anteriores mantienen la tendencia de aumentar el valor del los parámetros, un 3% al final del sistema. Y en el caso del tratamiento asociación se evidencia una disminución del 3% para los dos parámetros

Generalmente en el ingreso al primer estanque los parámetros de temperatura y pH son bajos, y se puede observar que existe tendencia a incrementar en los últimos estanques.

El comportamiento mostrado por los tratamientos en la remoción de sólidos totales y conductividad mostrado en la Fig. 4.35, se identifica de forma clara la alta capacidad de remoción que presenta *E. crassipes* en un 25%, seguida de *A. filiculoides* y de *Lemna gibba* entre 18 y 10 % respectivamente, la asociación en este caso presentó menos capacidad de remoción solo removi6 el 2%, debido a la mezcla de especies provocando una mayor concentración de sólidos e incrementando la conductividad.

En la Fig. 4.36, se muestra el porcentaje de remoción en los sólidos suspendidos y los sólidos sedimentables. Mientras en la Fig. 4.37, se muestra la remoción porcentual DQO y DBO.

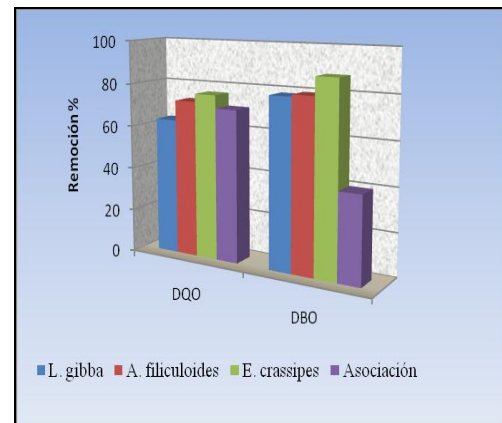
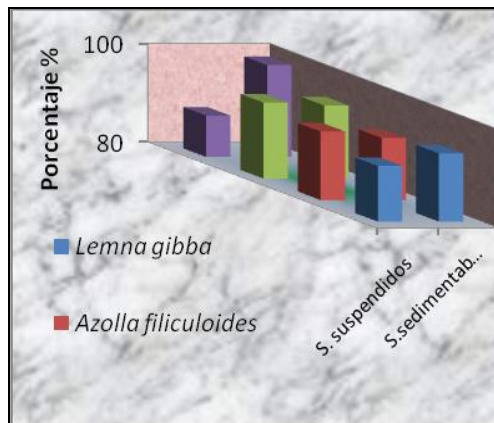


Fig. 4.36. Remoción porcentual de sólidos suspendidos y sólidos sedimentables

Fig. 4.37. Remoción porcentual DQO y DBO

La Fig. 4.36, muestra la remoción para los parámetros **sólidos suspendidos** y **sólidos sedimentables** y según la especie los valores oscilan entre 92 y 98%, con mayor eficiencia en la asociación seguida de *E. crassipes*.

En el parámetro **sólidos sedimentables** se observa una mayor capacidad de remoción para la asociación en un 98%, esto se explica a razón de la siembra de la especie *E. crassipes* en el primer estanque que ayuda a retener grandes cantidades de materia en sus raíces.

Para **sólidos suspendidos** el tratamiento que dio mejores resultados fue *E. crassipes* debido a que en los dos primeros estanques los procesos de circulación, sedimentación y adhesión a las raíces disminuye significativamente este parámetro, obteniéndose en los dos últimos estanques concentraciones menores, que ayudan a obtener un agua con condiciones físicas agradables a la vista.

La remoción en porcentajes de **DQO** y **DBO** mostrada en la Fig. 4.37, por los cuatro tratamientos aplicados, indica que el tratamiento con mayor capacidad de eliminación para los dos parámetros fue *E. crassipes* con valores de el 76 y 87% respectivamente, seguido de la especie *A. filiculoides* con valores del 72 y 79% correspondientemente. Y para los dos tratamientos restantes existe una cierta

diferencia por el tercer lugar, la asociación en el caso de la DQO remueve en un 70% y *L. gibba* para el parámetro DBO disminuyen en un 78%.

En la Fig. 4.38, se muestra el porcentaje de remoción nitritos, nitratos y nitrógeno amoniacal. Mientras en la Fig. 4.37, se refleja la remoción porcentual nitrógeno total, fósforo total y fosfatos.

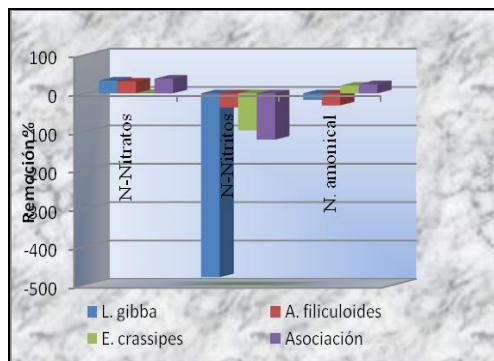


Fig. 4.38. Remoción porcentual nitratos, nitritos y N. amoniacal

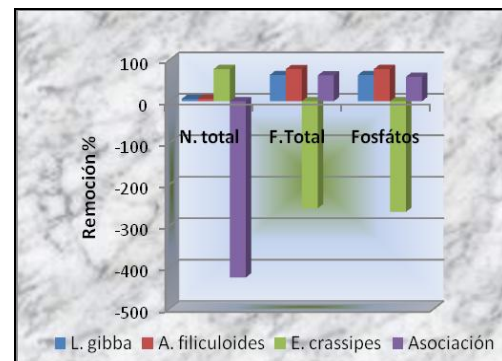


Fig. 4.39. Remoción porcentual N. total; F. total y fosfatos

El inconveniente en esta investigación fue el incremento de los compuestos nitrogenados especialmente en el parámetro nitritos, en la Fig. 4.38; se muestra la remoción de compuestos nitrogenados en donde el comportamiento en remoción de **nitratos** es relativamente similar para los tratamientos de *L. gibba*, *A. filiculoides* y la asociación, para los cuales la remoción está representada entre un 30 y 40%, mientras que los valores más bajos de remoción fueron acreditados para el tratamiento con *E. crassipes*.

Los **nitritos** sufrieron un incremento acelerado en el sistema especialmente durante el manejo de la especie *L. gibba* incrementando hasta 480%. Las otras dos especies incluida la asociación también incrementaron pero en porcentajes que van de 36 al 120%. Como ya se mencionó anteriormente este proceso está relacionado con el manejo inadecuado de la especie y la mala selección de la semilla o del sitio de cosecha.



El **nitrógeno amoniacal** incrementa con la utilización de las especies *L. gibba* y *A. filiculoides* de 17 % a 31%, mientras que para *E. crassipes* y la asociación hay una remoción relativamente cercana entre 20% al 23%.

En la Fig. 4.39, se muestra el marcado incremento del 420% en el parámetro de **nitrógeno total** en la utilización del tratamiento de asociación. La especie de mayor porcentaje en remoción fue *E. crassipes* con el 78% aproximadamente, y para *A. filiculoides* y *L. gibba* los valores removidos oscilan entre el 5% y 6%.

La remoción en **fósforo total** y **fosfatos** incrementa si se utiliza la especie *E. crassipes* en un 260% y disminuye entre 77% a 58% con la utilización de los tratamientos *A. filiculoides*, *L. gibba* y asociación, que como se observa tienen un comportamiento relativamente paralelo entre remoción de los dos parámetros.

Es importante resaltar que la causa de mayor incremento con la especie *E. crassipes* se debe al no requerimiento de grandes cantidades de fósforo total ni fosfatos para alimentarse permitiendo la acumulación de estos macro nutrientes en el agua.

En la figura 4.40, se presenta los porcentajes en remoción obtenidos por cada tratamiento en los parámetros microbiológicos.

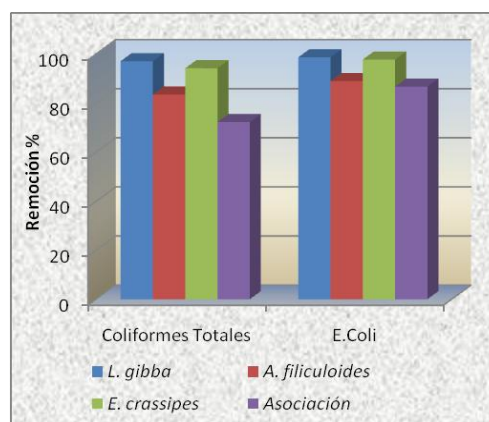


Fig. 4.40. Remoción porcentual *Escherichia coli* y coliformes totales



Una de las superioridades que el manejo de especies acuáticas flotantes ha demostrado durante esta investigación ha sido la remoción de parámetros microbiológicos, que en estos resultados han alcanzado valores de hasta 98,5%, consiguiendo al menos disminuir cantidades de parásitos y otra serie de organismos patógenos vertidos en los cuerpos de agua natural.

Las especies más representativas en porcentajes de remoción en los parámetros coliformes totales y *Escherichia coli* como se indica en la Fig. 4.40, logró ser *L. gibba* y *E. crassipes* en un porcentaje que oscila entre 94 % y 98,5%, seguidas de *A. filiculoides* y la asociación con un 72% y 86%.

4.8. Mejor tratamiento aplicado a la descontaminación de aguas residuales domésticas

Luego de haber realizado un análisis comparativo entre los tratamientos se determinó el mejor en el proceso de descontaminación de aguas residuales domésticas, tomándose en cuenta aquellos que remuevan mayor número de contaminantes y que no sobrepasen de los límites de permisibilidad. Para establecer el mejor tratamiento se ha realizado una calificación al comportamiento de cada una de las especies y a la asociación, así la especie o el cultivo asociación con mayor remoción en un parámetro tiene un valor de 4, el que le sigue 3 y así sucesivamente, finalmente la suma de todos los parámetros dio el resultado en relación al mejor tratamiento, esta calificación se muestra en el Cuadro 4.9.



Cuadro 4.9. Calificación de la remoción por especie en cada parámetro analizado

PARÁMETROS	<i>L. gibba</i>	<i>A. filiculoides</i>	<i>E. crassipes</i>	Asociación
Conductividad	2	3	4	1
S. Totales	2	3	4	1
S. suspendidos	2	3	4	1
S.sedimentables	2	1	3	4
DQO	1	3	4	2
DBO	2	3	4	1
N-Nitratos	3	2	1	4
N-Nitritos	0	0	0	0
N. amoniacal	0	0	3	4
N. total	2	3	4	0
F.Total	3	4	0	2
Fosfatos	3	4	0	2
Coli. Totales	4	2	3	1
<i>E.Coli</i>	4	2	3	1
CALIFICACIÓN	30	33	37	24

Elaborado por: Las autoras

Luego de realizada la calificación de cada tratamiento, que se muestra en la cuadro anterior se pudo determinar que la remoción de la mayoría de parámetros la alcanzó la especie *Eichhornia crassipes*, seguida de la especie *Azolla filiculoides*, y de *Lemna gibba* quedando como última opción la asociación (*E. crassipes*, *L. gibba*; *A. filiculoides*) propuesta.

Debido a que los puntos sensibles a los que afectan este tipo de proyectos son generalmente social, ambiental y económico a continuación se realiza un análisis que engloba las ventajas de la aplicación de los sistemas de tratamientos de aguas residuales domésticas a nivel comunitario y unifamiliar.

4.8.1. Parámetros ambientales

El factor ambiental quizá es uno de los más beneficiados a la hora de aplicar estas propuestas, pues estos sistemas que armonizan con el entorno natural, ayudan a formar pequeños ecosistemas muy bien establecidos, en este estudio se pudo apreciar el desarrollo de especies de animales como, ranas, libélulas, insectos y otros, que entre sí forman cadenas alimenticias manteniendo el equilibrio. Las



plantas ayudan además a proveer de oxígeno y alimento a los organismos que crecen en estos ecosistemas.

El lodo de las aguas residuales es un buen abono para las plantas, contiene grandes cantidades de fósforo, nitrógeno y otros nutrientes, importantes para la flora además sirve para mejorar la estructura del suelo.

4.8.1.1. Comparación de los cuatro tratamientos con los límites de permisibilidad

En el Cuadro 4.10 se pone en consideración la permisibilidad y aceptabilidad alcanzada por cada uno de los tratamientos en la remoción de parámetros contaminantes de las aguas residuales domésticas.

Cuadro 4.10 Comparación con los límites de permisibilidad por tratamiento

PARAMETROS	<i>Lemna gibba</i>			<i>Azolla filiculoides</i>		<i>Eichhornia crassipes</i>		Asociación	
	EFLUENTE	LIMIT. PER	ACEPTAB	EFLUENTE	ACEPTAB	EFLUENTE	ACEPTAB	EFLUENTE	ACEPTAB
Temperatura	17,00	18	-	16,67	-	15,90	-	15,5	-
pH	7,00	.5 - 9	-	7,17	-	6,95	-	6,75	-
Conductividad	657,00	2000	-	645,33	-	510	-	678,5	-
S.Totales	347,50	1600	-	342,33	-	271	-	359,5	-
S. suspendidos	12,50	100	-	7,33	-	4,00	-	14	-
S.sedimentables	1,00	1	-	0,67	-	0,65	-	0,1	-
DQO	114,15	250	-	85,67	-	101	-	59	-
DBO	75,00	100	-	36,67	-	43	-	60	-
N-Nitratos + Nitritos	13,51	10	NO ACEPTABLE	2,30	-	7,17	-	5,76	-
N. amoniacal	4,72	.-	.-	2,41	.-	4,80	.-	2,015	.-
Nitrógeno Total K	29,55		NO ACEPTABLE	20,53	NO ACEPTABLE	5,60	-	29,4	NO ACEPTABLE
Fósforo Total	3,65	15	-	0,22	-	1,92	-	1,57	-
Fosfatos	10,95	10	NO ACEPTABLE	0,67	-	5,82	-	5,75	-
Coliformes Totales	96,98	99	NO ACEPTABLE	83	NO ACEPTABLE	94,093	NO ACEPTABLE	72,16	NO ACEPTABLE
Escherichia Coli	98,55	99	NO ACEPTABLE	89	NO ACEPTABLE	97,660	NO ACEPTABLE	86,62	NO ACEPTABLE

Fuente: Promedios de las repeticiones del análisis de agua por tratamiento

El Cuadro 4.10, muestra el nivel de aceptabilidad alcanzado por cada uno de los tratamientos, es así que el tratamiento con *Eichhornia crassipes* logró la mayor remoción de parámetros con una aceptabilidad de 12 parámetros, a diferencia de los tratamientos con *Azolla filiculoides* y asociación que removieron 11



parámetros, y finalmente *Lemna gibba* con la que se consigue la aceptabilidad de solo 9 parámetros.

4.8.2. Parámetros sociales y económicos

Es importante realizar el análisis de los aspectos sociales y económicos donde el trabajo comunitario y el nivel organizacional juegan un papel esencial en el mantenimiento de los sistemas. El interés participativo incrementa de acuerdo a los beneficios o ingresos que surjan del aprovechamiento de la biomasa, entre los cuales se puede mencionar alimento para animales, compostas, y abonos verdes con altos contenidos de nutrientes.

4.8.2.1. Aspectos sociales

El capital humano es fundamental en el desarrollo de cualquier proyecto, en este caso la duración y el buen funcionamiento del sistema depende sustancialmente de la organización, el interés y la participación requieren de motivación para la alcanzar metas y objetivos.

Al interior de las comunidades, se ha logrado un acercamiento entre las organizaciones que apoyan económicamente a estas ideas, la gente de la comunidad y los intermediarios o técnicos de la universidad, con el fin de mejorar estas alternativas en el marco de la gestión ambiental de los recursos.

4.8.2.2. Aspectos económicos

Desde el punto de vista económico la rentabilidad radica en el aprovechamiento de la biomasa de los sistemas de tratamiento, pero en esta comunidad no se ha considerado la posibilidad de potenciar este recurso. Razón por la cual los beneficiarios no se involucran en el mantenimiento al no ver resultados económicos inmediatos.



Se ha logrado establecer en este estudio que para *Eichhornia crassipes* existe un incremento en producción de biomasa fresca de 48,66 ton/año en un área de 184 m². Uso que se puede potenciar dependiendo del conocimiento, interés y organización de cada comunidad.

4.9. Comportamiento del cultivo de *Eichhornia crassipes* en el sistema dos

Realizadas las limpiezas se esperó a que el sistema se llenará y se sembró *Azolla filiculoides*, pero, esta no se adaptó a las condiciones del sistema. La muerte de *A. filiculoides* ocasionó la proliferación de algas, y se decidió cultivar con la participación de los beneficiarios *Eichhornia crassipes*, el cual quedó establecido y con una buena producción de biomasa. (Anexo V, Foto 15 y 16).

Cuadro 4.11. Comparación del porcentaje de remoción entre el cultivo *Lemna gibba* y *Eichhornia crassipes* en el sistema dos

	PARAMETROS	UNIDAD	<i>L. gibba</i>	<i>E. crassipes</i>
1	Conductividad	us/cm	9,65	40,92
2	Sólidos Totales	mg/L	6,44	41,35
3	Sólidos suspendidos	mg/L	0,00	92,26
4	Sólidos sedimentables	ml/L	-33,33	98,00
5	DQO	mg/L	77,18	62,83
6	DBO	mg/L	15,71	78,26
8	N-Nitratos	mg/L	19,07	-4,17
9	N-Nitritos	mg/L	7,89	61,32
10	Nitrogeno amoniacal	mg/L	-330,69	11,34
11	Nitrógeno Total K	mg/L	13,64	19,35
12	Fósforo Total	mg/L	65,94	92,70
14	Coliformes Totales	ufc/100ml	60,38	88,00
15	<i>Escherichia Coli</i>	ufc/100ml	75,38	78,75

Fuente: Análisis de aguas EMAPA

Elaborado: Las autoras

El Cuadro 4.11, revela la capacidad de remoción en el sistema dos aplicando los cultivos *Lemna gibba* y *Eichhornia crassipes*. En la especie *Lemna gibba* se demuestra que el porcentaje de remoción está entre 2,78% a 62,95% y a la vez



presenta incrementos en los sólidos sedimentables y de forma acentuada en el nitrógeno amoniacal alcanzando valores de hasta 330,69%.

En la especie *Eichhornia crassipes* se demuestra que los porcentajes de remoción son superiores a los de *L. gibba* y los valores oscilan entre 11,34% a 92,70%. Y a la vez presenta un incremento en el parámetro de N-nitritos en 4,17%.

Cuadro 4.12. Comparación de la descarga del sistema dos al río Pitzambiche

	PARAMETROS	UNIDAD	ANT. DESCARGA	DESCARGA
1	Temperatura	°C	15,25	15,25
2	pH	u	8	8
3	Conductividad	us/cm	513	516
4	Sólidos Totales	mg/L	272	274
5	Sólidos suspendidos	mg/L	39	15
6	Sólidos sedimentables	ml/L	0,8	0,6
7	DQO	mg/L	100	162,38
8	DBO	mg/L	0	3
9	N-Nitratos	mg/L	12,072	13,75
10	N-Nitritos	mg/L	0,1463	1,2339
11	Nitrogeno amonical	mg/L	0,299	0,229
12	Nitrógeno Total K	mg/L	3,2239	4,1145
13	Fósforo Total	mg/L	0,5728	1,7749
14	Fosfatos	mg/L	1,72	5,33
15	Coliformes Totales	ufc/100ml	8,50E+05	3,70E+06
16	<i>E. Coli</i>	ufc/100ml	6,40E+05	1,90E+06

Fuente: Análisis de aguas EMAPA

Elaborado: Las autoras

El cuadro 4.12, muestra la concentración de contaminantes del efluente del sistema vertido al río Pitzambiche, donde se aprecia que la temperatura y el pH, no alteran las características del río. Existen incrementos no muy drásticos en la conductividad y sólidos totales. Mientras que los parámetros DQO, DBO, nitritos, nitratos, NTK, fosfatos, fósforo total, coliformes totales y *Escherichia coli* incrementan en pequeños porcentajes la concentración del agua en el río Pitzambiche. Además los parámetros que disminuyen son los sólidos suspendidos y sedimentables.



El análisis de las aguas descargas del sistema dos hacia el río demuestra que, estos vertidos no afectan significativamente a las características del agua del río Pitzambiche, además se pudo corroborar que los límites con los que se eliminan este tipo de aguas son permisibles a excepción de la sumatoria de los parámetros nitratos, nitritos y microbiológicos.

4.10. Aplicación de sistemas de tratamiento a nivel unifamiliar

Como se menciona en la metodología se han seleccionado tres comunidades rurales del cantón, tomando en cuenta sitios que por la dispersión territorial es poco probable que posean un sistema de alcantarillado, provocando un serio problema de contaminación ambiental especialmente hacia fuentes de agua natural. Con miras a dar solución a estos problemas se han construido sistemas de tratamiento unifamiliares.

Producto del resultado de los análisis en los sistemas de tratamiento comunitarios, la especie *Eichhornia crassipes* es la más recomendable para estos pequeños sistemas debido a su facilidad de cosecha y a su gran capacidad de remoción.

4.10.1. Comparación del porcentaje de remoción de parámetros contaminantes

Se analizan los afluentes y efluentes de cada uno de los sistemas de tratamiento unifamiliares, construidos en las diferentes comunidades rurales seleccionadas en el cantón Cotacachi.

Guitarra Ucu. Es una de las comunidades en donde no existe un sistema de alcantarillado, y sus pobladores presentan un especial interés por descontaminar sus residuos líquidos, debido a que el agua de riego la proveen las acequias aledañas que generalmente se encuentran severamente contaminadas.

Itaquí. En esta comunidad se ha optado por dar tratamiento a las aguas grises (aguas con bajo contenido de coliformes y provenientes solo del lavado de ropa y vajilla), con la finalidad de un seguro uso agrícola.

El Cercado. Es una comunidad en la cual la distribución de agua es escasa, buscan proveerse de alguna manera de agua para uso agrícola, el tratamiento del agua residual en esta tiene la finalidad de almacenar agua para los días de sequía la que se emplearía para árboles frutales (aguacate, tomate de árbol).

4.10.1.1. Análisis de parámetros físicos

La Fig. 4.41, muestra el comportamiento de temperatura y pH en sistemas unifamiliares, mientras en Fig. 4.42, se representa el comportamiento de conductividad y sólidos disueltos totales.

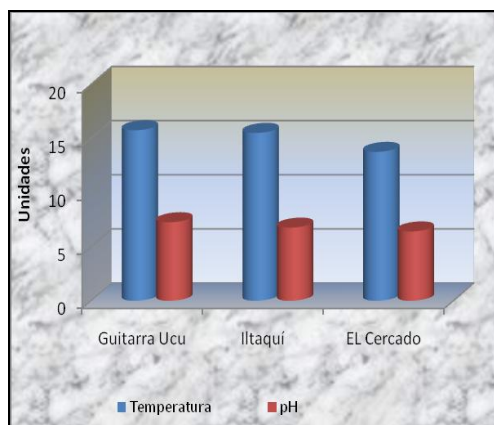


Fig. 4.41. Temperatura y pH en sistemas unifamiliares

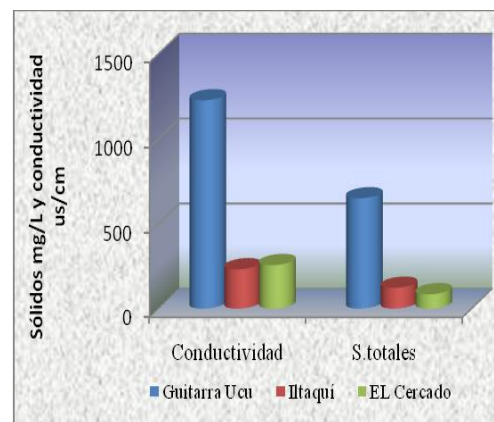


Fig. 4.42. Conductividad y sólidos disueltos totales en sistemas unifamiliares

En el parámetro de **temperatura** no presenta variaciones significativas en las tres comunidades, en Guitarra Ucu el rango es de 15,75°C; Itaquí presenta valores de 15,5°C. Y en El Cercado 13,75°C, siendo el valor más bajo ya que se encuentra a una altura superior a las otras comunidades (2660 msnm). (Anexo I, Mapa 6)



El **pH** es un parámetro que no presenta variaciones muy acentuadas en las tres comunidades así, en Guitarra Ucu el valor de pH fue 7,25 en Itaquí de 6,75 y en El Cercado fue de 6,4. (Anexo I Mapa 7)

Los datos más altos de **conductividad** se presentaron en la comunidad de Guitarra Ucu, lo que significa un alto incremento en los sólidos disueltos totales; es necesario mencionar que esta familia se conforma por 6 miembros que tienen hábito de uso abundante de agua, actividades como el lavado de ropa es diaria y se realiza a máquina, el valor de la conductividad fue de 1225 us/cm. El agua tratada de Itaquí presentó valores medios de 231 us/cm se resalta que en este sistema solo se tratan aguas grises, (aguas que provienen solo del lavado de platos y ropa), que no trata aguas provenientes de baños. El Cercado presenta valores de 255,5 us/cm que en comparación con Itaquí es relativamente cercano se excede con pocas unidades de us/cm. (Anexo I, Mapa 8)

Los **sólidos disueltos totales** para la comunidad de Guitarra Ucu presentaron una concentración elevada de 648,5 mg/l teniendo relación con los valores de la conductividad; en Itaquí los valores son de 122 mg/l y en El Cercado es de 84 mg/l. (Anexo I Mapa 9)

La Fig. 4.43, presenta el comportamiento del parámetro sólidos suspendidos en los sistemas unifamiliares y en la Fig. 4.44, se muestra la actuación del parámetro sólidos sedimentables en los sistemas unifamiliares.

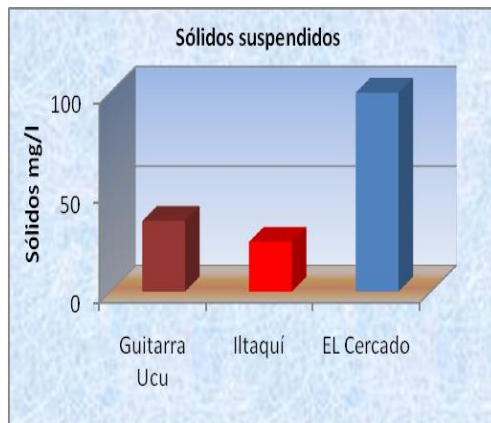


Fig. 4.43. Sólidos suspendidos en sistemas unifamiliares

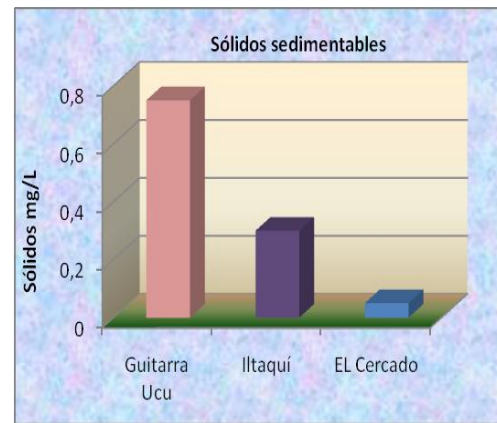


Fig. 4.44. Sólidos sedimentables en sistemas unifamiliares

Los **sólidos suspendidos** para la comunidad de Guitarra Ucu indicaron una concentración elevada de 35,5 mg/l teniendo relación con los valores de la conductividad; en Iltaquí los valores son de 25 mg/l y en EL Cercado es de 100,5 mg/l. Siendo este último el sistema con mayor concentración de sólidos suspendidos debido al incremento por la corriente de agua en época lluviosa. (Anexo I, Mapa 10)

Los **sólidos sedimentables** registraron los siguientes valores, en la comunidad de Guitarra Ucu presentó una concentración elevada de 0,75 ml/l teniendo relación con los valores de conductividad; en Iltaquí el valor registrado es de 0,3 ml/l y para EL Cercado 0,5 ml/l. siendo uno de los resultados más bajos acreditándose estos efectos a la especie, que por sus características y por su proceso lento de descomposición, que ayuda a disminuir el nivel de sólidos sedimentables en los sistemas. (Anexo I, Mapa 11)

4.10.1.2. Análisis de parámetros químicos

Los parámetros químicos analizados son los mismos que se tomaron en cuenta para los sistemas comunitarios, y se ponen en consideración en las siguientes graficas.

La Fig. 4.45, muestra el comportamiento de DBO y DQO en sistemas unifamiliares, y el comportamiento de N-nitratos. Y N-amoniacal se presenta en la Fig. 4.46.

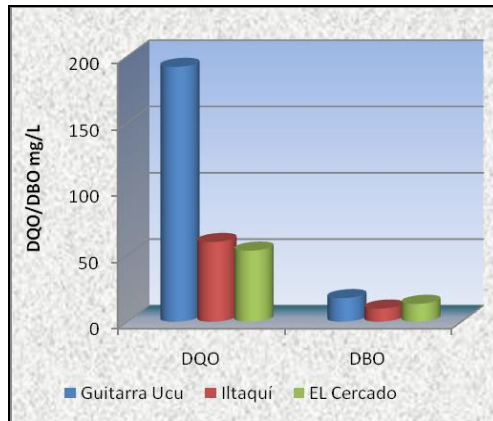


Fig. 4.45. DBO Y DQO en sistemas unifamiliares

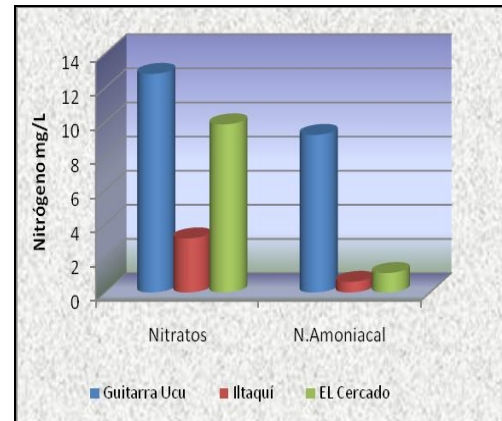


Fig. 4.46. N-nitratos y N-amoniacal en sistemas unifamiliares

La **DQO** presento valores más altos en los efluentes del sistema de la comunidad de Guitarra Ucu con datos de 192 mg/l, seguida de la comunidad de Iltaquí con 60 mg/l y para El Cercado 13,4 mg/l. (Anexo I, Mapa 12)

Las cargas de **DBO** no fueron muy variables en ninguno de los sistemas, así fueron registrados para Guitarra Ucu 17,7 mg/l, los valores más bajos lo presenta la comunidad de Iltaquí 9,8 mg/l y El Cercado presenta registros de 13,14 mg/l. (Anexo I, Mapa 13)

En los **N-nitratos** se presentan valores bastante irregulares, la comunidad con datos más altos fue Guitarra Ucu con 12,81 mg/l seguida por El Cercado con 9,86 mg/l y finalmente el registro más bajo fue en Iltaquí con 3,17 mg/l. (Anexo I, Mapa 14)

De esto se puede corroborar que en realidad el aporte de compuestos nitrogenados en las aguas proviene de desechos orgánicos especialmente de las heces fecales,



pues Iltaquí al no tener mayores cantidades de estos compuestos presenta valores bajos de nitratos.

El amoníaco o **nitrógeno amoniacal** presenta mayor concentración en el efluente del sistema de la comunidad de Guitarra Ucu con 9,31 mg/l, los valores de la comunidad El Cercado fueron 1,14 mg/l y el de menor valor fue Iltaquí con 0,62 mg/l. (Anexo I, Mapa 15)

La Fig. 4.47, muestra el comportamiento de N-nitritos en sistemas unifamiliares, y la Fig. 4.48, señala comportamiento de Nitrógeno total Kjeldahl.

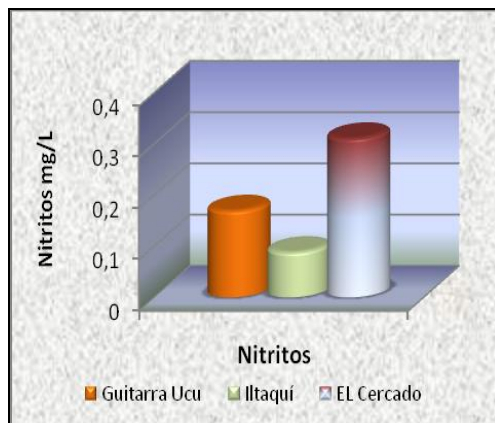


Fig. 4.47. N-nitritos en sistemas unifamiliares

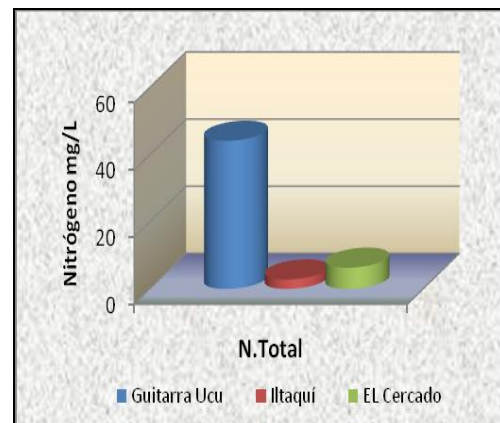


Fig. 4.48. Nitrógeno total Kjeldahl en sistemas unifamiliares

Los **compuestos nitrogenados** que son producto de la descomposición de proteínas, generalmente están contenidas en las heces fecales además presentan un gran problema en el agua residual doméstica y deben considerarse importantes durante la remoción en aguas residuales.

El comportamiento de **nitritos** para la comunidad Guitarra Ucu presentó valores de 0,169 mg/l; para Iltaquí con el menor valor fue de 0,08 mg/l y la concentración más alta en nitritos registró en la comunidad El Cercado con valores de 0,31 mg/l. (Anexo I, Mapa 14)

Los valores más altos de **nitrógeno total** se registraron en Guitarra Ucu con 44 mg/l, en el sistema de El Cercado el valor del efluente fue 6,3 mg/l y para Itaqui 2,8 mg/l.

El comportamiento de los parámetros fósforo total y fosfatos se muestra reflejado en la Fig. 4.49.

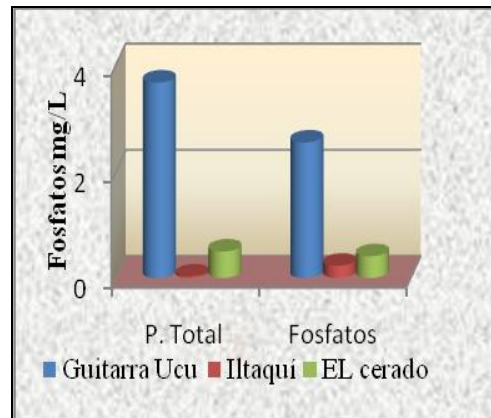


Fig. 4.49. Fósforo total y fosfatos en sistemas unifamiliares

El **fósforo total** presentó valores más altos para la comunidad de Guitarra Ucu con 3,67 mg/l, en El Cercado las concentraciones fueron de 0,49 mg/l y finalmente la cantidad menor de fósforo total se obtuvo en Itaqui con 0,029 mg/l. (Anexo I, Mapa 16)

Los **fosfatos** presentaron mayor concentración en Guitarra Ucu con valores de 2,55 mg/l, para El Cercado el valor de los fosfatos fue de 0,41 mg/l, y para Itaqui se registró el valor más bajo 0,23 mg/l. (Anexo I, Mapa 17)

4.10.1.3. Análisis de parámetros microbiológicos

Se han tomado en cuenta los parámetros microbiológicos *Escherichia coli* y coliformes totales, considerados de mayor importancia en el tratamiento de las aguas residuales domésticas; debido a que su presencia indica la posibilidad de contagio de adquisición de enfermedades, en la Fig. 4.50, se visualizan las remociones.

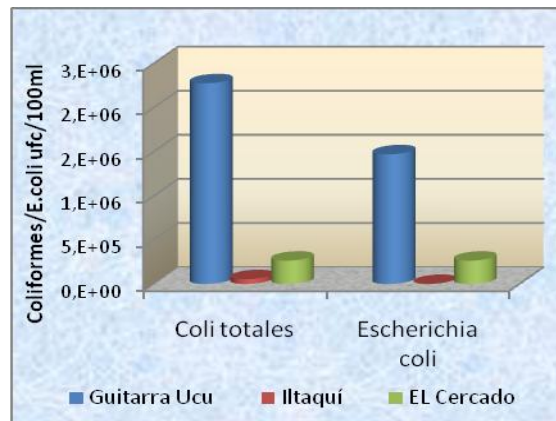


Fig. 4.50. Coliformes totales y *Escherichia coli* en sistemas unifamiliares

Los **coliformes totales** presentaron valores más altos en la comunidad de Guitarra Ucu, con $2,2 \times 10^6$ ufc/100ml en el efluente, en la comunidad de EL Cercado $9,9 \times 10^5$ ufc/100ml, y finalmente la comunidad con menos concentración de coliformes con valores de $5,4 \times 10^4$ ufc/100ml fue Iltaquí. (Anexo I, Mapa 18)

Escherichia coli, presentó el mismo comportamiento que el de Coliformes totales donde el mayor valor presenta la comunidad de Guitarra Ucu $1,4 \times 10^6$ ufc/100ml, el segundo sistema en remoción de este parámetro fue en la comunidad de EL Cercado con valores de $2,6 \times 10^5$ ufc/100ml, finalmente con un efluente de 0 ufc/100ml, en Iltaquí. (Anexo I, Mapa 19)

Cabe resaltar que los valores obtenidos en la comunidad de Iltaquí son el resultado de un tratamiento de aguas grises, razón por la cual la cantidad de coliformes totales y fecales es menor o nula.

4.10.2. Comparación de la remoción en los sistemas unifamiliares con los límites de permisibilidad del TULAS

La eficiencia de los tratamientos aplicados a nivel unifamiliar en las tres comunidades del cantón Cotacachi, se puede determinar solo si se comparan los resultados de remoción de contaminantes con los límites permisibles que rigen las

normas de descarga sobre los cuerpos de agua dulce, para el Ecuador, esta norma se registra en el Anexo I del Libro VI del TULAS.

Los límites de permisibilidad para pH se muestran en la Fig. 4.51, y los de conductividad en la Fig. 4.52.

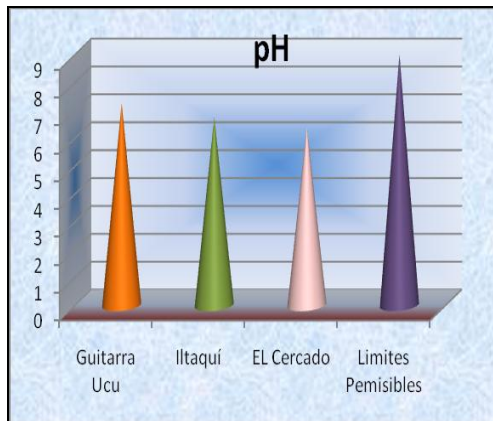


Fig. 4.51. Permisibilidad en pH, sistemas unifamiliares

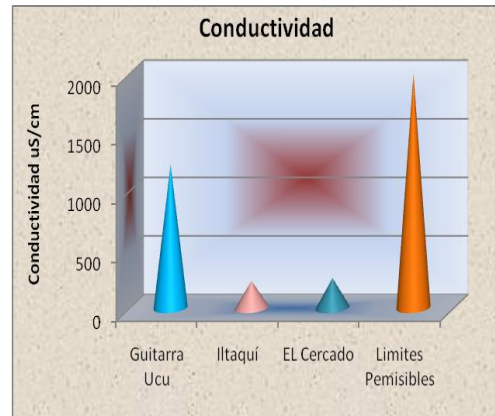


Fig. 4.52. Permisibilidad de conductividad, sistemas unifamiliares

Según el TULAS, la norma permite un rango de permisibilidad del **pH** entre 5 y 9, de acuerdo a la gráfica anterior todos los sistemas presentan límites de descarga aceptables. La **conductividad** para las tres comunidades, también se enmarca en los límites permisibles, dejando prever la eficiencia de los sistemas.

En la Fig. 4.53, se observan los límites de permisibilidad en sólidos totales, mientras que en la Fig. 4.54, están a la vista los límites de permisibilidad en sólidos suspendidos.

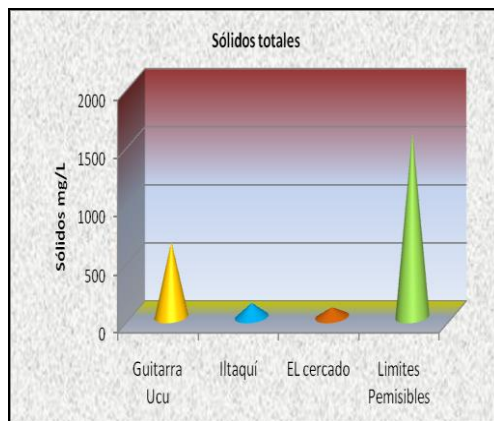


Fig. 4.53. Permisibilidad en s. totales, sistemas unifamiliares



Fig. 4.54. Permisibilidad en s. suspendidos, sistemas unifamiliares

La remoción de **sólidos totales** muestra una eficiencia muy alta en los tres sistemas de tratamiento y todos se encuentran acordes a la permisibilidad según la norma.

Los **sólidos suspendidos** lograron ser removidos en una proporción muy alta, presentándose un pequeño inconveniente en la comunidad El Cercado donde no se aprecia disminución, pero a pesar de no haber alta remoción alcanza los niveles de permisibilidad.

La construcción a desnivel del sistema en la comunidad El Cercado provocó el ingreso de sólidos en los estanques cuando existen lluvias incrementando los sólidos suspendidos y sólidos sedimentables, a causa de la esorrentía.

En la Fig. 4.55, se pone en consideración la comparación de los efluentes con los límites de permisibilidad del parámetro sólidos sedimentables y en la Fig. 4.56, se observa la permisibilidad en el parámetro DQO.

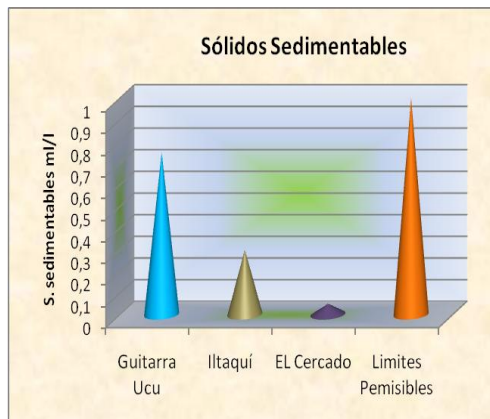


Fig. 4.55. Permisibilidad s. sedimentables sistemas unifamiliares

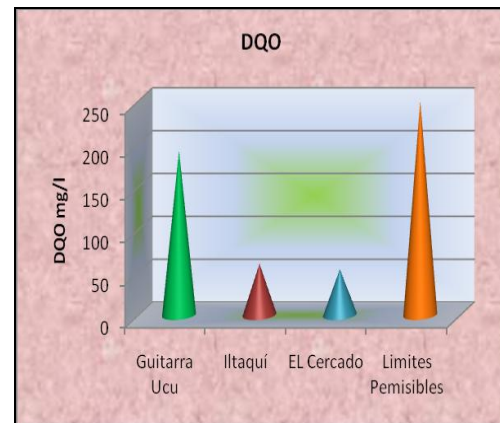


Fig. 4.56. Permisibilidad en DQO, sistemas unifamiliares

Los **sólidos sedimentables** alcanzaron también niveles de remoción que figuran en los límites permisibles, Guitarra Ucu presenta la concentración más alta, sin embargo el efluente de este sistema se dispone bajo los límites de aceptabilidad.

La remoción del parámetro **DQO**, presentó mejores remociones en el sistema del El Cercado, luego en el de Iltaquí y Guitarra Ucu, pero en éste último mostró concentraciones sumamente altas sin embargo los valores del efluente son aceptables según la norma.

La Fig. 4.57, muestra la comparación de los efluentes de los sistemas unifamiliares con los límites de permisibilidad en el parámetro DBO y la Fig. 4.58, indica la comparación de los límites de permisibilidad en los parámetros N-nitratos y N-nitritos.

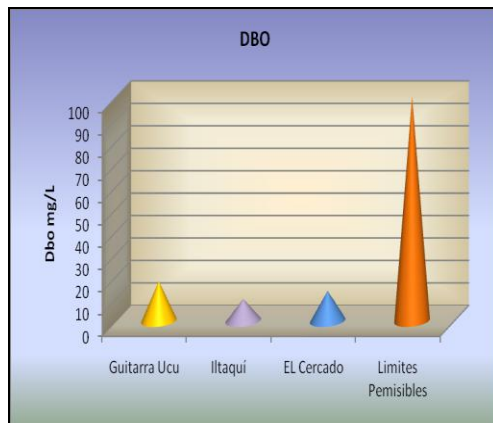


Fig. 4.57. Permisibilidad en DBO, sistemas unifamiliares

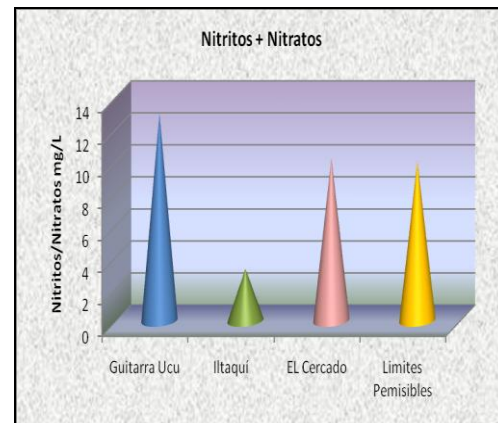


Fig. 4.58. Permisibilidad en N-nitratos y N-nitritos, sistemas unifamiliares

El parámetro **DBO** tuvo excelentes niveles de remoción en los tres sistemas, Iltaquí presentó niveles relativamente más bajos y debido a las aguas grises que trata este sistema donde no existen muchos contaminantes orgánicos.

Los **nitritos y nitratos** considerados los nutrientes que aceleran los procesos de desarrollo de las plantas en el agua, presentaron remociones que fueron variables para las tres comunidades así, para Guitarra Ucu la calidad de las aguas no es permisible por los altos contenidos de nitratos. En el caso de EL Cercado el efluente se encuentra ligeramente sobrepasando el límite de permisibilidad. Y en Iltaquí sus niveles de descarga son óptimos.

La Fig. 4.59, muestra la comparación de los efluentes de los sistemas unifamiliares con los límites de permisibilidad en el parámetro NTK, y la Fig. 4.60, indica la comparación de los límites de permisibilidad en el parámetro de fósforo total.

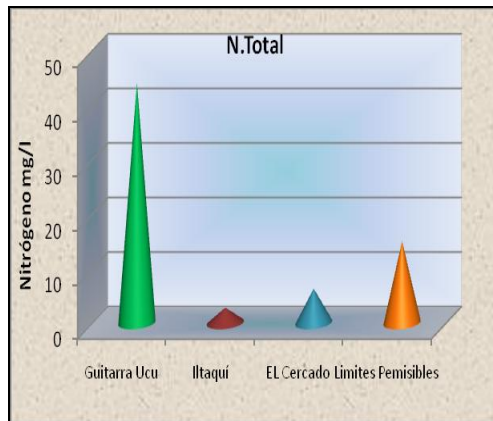


Fig. 4.59. Permisibilidad en el parámetro NTK, sistemas unifamiliares

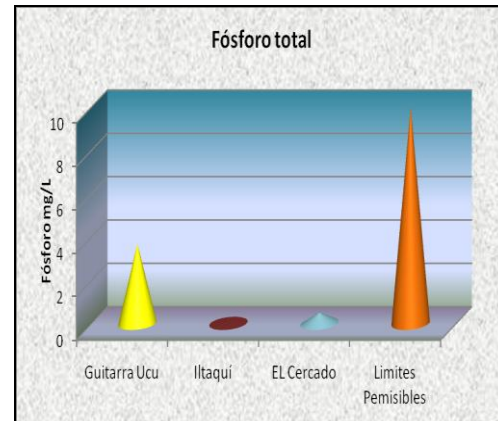


Fig. 4.60. Permisibilidad de Fósforo total, sistemas unifamiliares

Los niveles más altos de remoción en **nitrógeno total** se produjeron en los sistemas de Itaquí y El Cercado, pero el mayor problema presenta el sistema de Guitarra Ucu donde el efluente presenta niveles muy altos en la concentración de este parámetro y sobrepasa los límites permisibles.

Los niveles de **fósforo total** alcanzados y que son aceptables en los tres sistemas a pesar de que Guitarra Ucu presentare mayores concentraciones de fósforo en el efluente, estos no sobrepasan los niveles de permisibilidad y también se corrobora que la alta cantidad de nitrógeno total, nitritos y nitratos no inciden en la concentración de fósforo y fosfatos.

La Fig. 4.61, señala los límites de permisibilidad en el parámetro coliformes totales, y la Fig. 4.62, muestra los límites de permisibilidad en el parámetro de *Escherichia coli*.

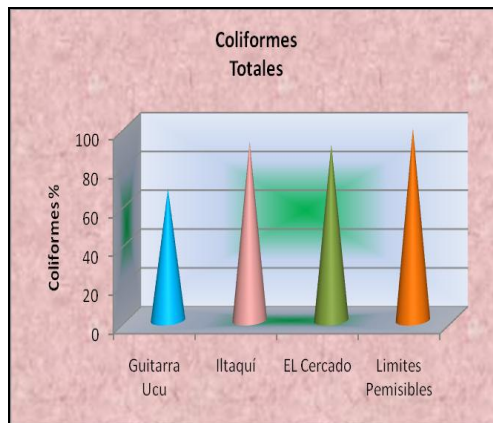


Fig. 4.61. Permisibilidad en coliformes totales, sistemas unifamiliares

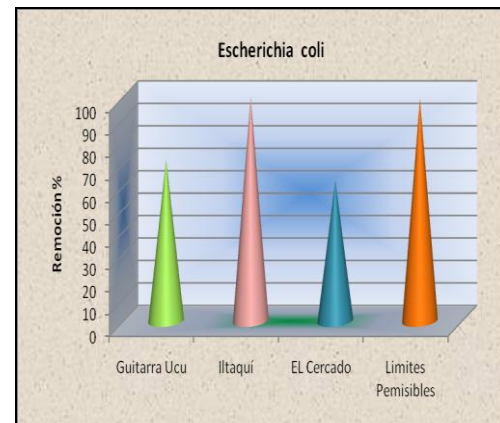


Fig. 4.62. Permisibilidad en *Escherichia coli*, sistemas unifamiliares

Para el parámetro **coliformes totales** los sistemas con mayor capacidad de remoción fueron Iltaquí y El Cercado, en el sistema de Guitarra Ucu se presentaron niveles inferiores de remoción en comparación con los otros sistemas, este resultado no es aceptable para ninguna de las tres comunidades según los límites de permisibilidad.

El resultado de *Escherichia coli* con variaciones marcadas en la remoción, no presentó mayores inconvenientes en el sistema de Iltaquí según los resultados se pudo observar que la remoción en porcentajes más altos pues, alcanzó niveles de remoción del 100%. Los sistemas de Guitarra Ucu y El Cercado presentan los niveles de remoción más bajo, y no alcanzan los niveles de permisibilidad en la remoción.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES

- ✓ El diagnóstico de los sistemas de tratamiento de la comunidad de Turucu, reveló que el inadecuado mantenimiento afecta la calidad de las aguas, además la falta de un tratamiento preliminar, no ayuda disminuir el ingreso de sólidos al sistema.
- ✓ La especie más eficiente en el tratamiento de las aguas residuales domésticas para esta investigación fue *Eichhornia crassipes*, debido al importante número de parámetros removidos, logrando la permisibilidad en la mayoría a excepción de los microbiológicos para los cuales la mejor alternativa de remoción fue *Lemna gibba*.
- ✓ Los tratamientos adicionales propuestos *Azolla filiculoides*, *Lemna gibba* y asociación, también lograron eficientes niveles de remoción, ubicándose de la siguiente forma, el segundo lugar después de *Eichhornia crassipes* la ocupa *Azolla filiculoides*, seguido de *Lemna gibba* y la finalmente la asociación propuesta.
- ✓ Las especies presentaron diferencias en la remoción de contaminantes debido a la necesidad en requerimientos nutricionales de cada una, *Eichhornia crassipes* remueve en mayoría parámetros físicos, al igual que DBO y DQO, los compuestos nitrogenados lograron ser removidos en su mayoría con la asociación y *Eichhornia crassipes*, en compuestos fosfatados se logró mejores niveles de remoción con *Azolla filiculoides* y los parámetros microbiológicos alcanzaron sus mejores remociones con *Lemna gibba*.
- ✓ El uso de *Eichhornia crassipes* en la remoción de contaminantes a nivel unifamiliar, varía dependiendo del tipo de aguas a tratarse y se ve afectada por



las características en la concentración de nutrientes, siendo este tratamiento excelente para aguas grises en la comunidad Iltaquí, y eficiente para aguas residuales domésticas en Guitarra Ucu y El Cercado, alcanzando niveles aceptables de descontaminación.

CAPITULO VI

6. RECOMENDACIONES

- ✓ Crear en la comunidad de Turucu una política interna de manejo de los sistemas que involucre a todos los usuarios y que los beneficios y responsabilidades sean compartidos de manera equitativa entre todos los integrantes.
- ✓ Construir un sistema preliminar de rejillas, previo al tanque sedimentador, implementar válvulas de control que permitan evacuar de forma fácil y sin riesgos los lodos y excesos de agua, las separaciones entre estanques deben ser al menos de 50 cm de distancia y recubiertas con cemento.
- ✓ Se sugiere la aplicación de *Azolla filiculoides* como un tratamiento terciario pues en este estudio se corroboró su mejor adaptabilidad en aguas con permanente circulación y oxigenación demostrando mayor capacidad de remoción de contaminantes en los últimos estanques.
- ✓ Aplicar un sistema terciario alternativo para la remoción de parámetros nitrogenados y microbiológicos (*Escherichia coli* y coliformes totales) que las especies de plantas acuáticas flotantes no pueden remover.
- ✓ Diseñar planes integrales de manejo y tratamiento de las aguas residuales domésticas tratadas, involucrando los componentes, alimentación y salud tanto a nivel de personas y animales, consideradas como medidas de prevención.

CAPITULO VII

7. RESUMEN

El estudio de las especies *Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* y *Azolla filiculoides*, en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas aplicado a sistemas comunitarios y unifamiliares fue realizado en la provincia de Imbabura, cantón Cotacachi en las parroquias rurales de Iltaquí, Guitarra Ucu, El Cercado y Turucu.

En la comunidad Turucu existen dos sistemas de tratamiento construidos desde el año 2004, donde se trata el agua residual proveniente de 36 familias. Los sistemas se componen de un tanque sedimentador y varios estanques; en los que se implementó un sistema de filtros para el tratamiento y manejo de lodos generados durante el mantenimiento de los sistemas.

La primera fase de la investigación consistió en la aplicación de las tres especies (tratamientos) *Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* y *Azolla filiculoides*, establecidas en monocultivos y en asociación. El ensayo se desarrolló en el sistema uno por la homogeneidad en el tamaño de los estanques.

La capacidad de remoción por tratamiento fue comparada con las normas técnicas del texto unificado de legislación ambiental secundaria (TULAS) referentes a los límites permisibles de vertido en cuerpos de agua dulce. Determinándose como mejor tratamiento a *Eichhornia crassipes*, y en base a este resultado, esta especie se aplicó para la depuración de aguas residuales domésticas a nivel unifamiliar, en las comunidades seleccionadas, Guitarra Ucu, El Cercado e Iltaquí, evaluación que se constituyó en la segunda fase de la investigación.

Los sistemas a nivel unifamiliar en relación a los sistemas comunitarios presentaron variaciones como tamaños y tiempo de retención hidráulica, el cual se incrementó a 11,5 días en todo el proceso de tratamiento. Para una familia que consume aproximadamente 500 litros diarios las dimensiones de sistema fueron, un tanque sedimentador de 1x1 m², tres estanques de (0,90 m de ancho x 3,40 m de largo x 0,40 m de profundidad).

Del análisis de la calidad de las aguas tratadas en sistemas unifamiliares y comunitarios se determinó que, la mayoría de parámetros se enmarcan dentro de los límites permisibles de la norma TULAS. Existiendo incrementos de los parámetros nitrogenados excepto los nitratos; los que se aumentaron especialmente con *Lemna gibba* y lograron ser removidos con *Eichhornia crassipes*. En cuanto a los parámetros microbiológicos no se lograron niveles de aceptabilidad con ningún tratamiento, sin embargo se resalta a *Lemna gibba* como la mejor alternativa de remoción, que alcanza porcentajes de 98,6% de remoción para *Escherichia coli* y el 97% en Coliformes totales.

CAPITULO VIII

8. SUMMARY

The study of the species *Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* and *Azolla filiculoides*, in the biological treatment of waters residual maidservants applied to community systems and one-family it was carried out in the county of Imbabura, canton Cotacachi in the rural parishes of Iltaquí, Guitarra Ucu, El Cercado and Turucu.

In the community Turucu two built treatment systems exist from the year 2004, where it is the residual water coming from 36 families. The systems are composed of a tank sedimentador and several ponds; where it was also necessary to implement a system of filters for the treatment and handling of mud generated in the maintenance of the systems.

The first phase of the investigation consisted on the application of the three species (defined as treatments) *Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* and *Azolla filiculoides*, settled down in alone cultivations and in association. The test was developed in the system one for the homogeneity in the size of the ponds.

The removal capacity for treatment was compared with the technical norms from the relating unified text of legislation environmental secondary (TULAS) to the permissible limits of having poured in bodies of fresh water. Being determined the best treatment the employee with the species *Eichhornia crassipes*, and based on this result it was applied in the purification of the waters one-family in the communities of Guitarra Ucu, El Cercado and Iltaquí, evaluation that was constituted in the second phase of the investigation.

The systems one-family in relation to the community systems presented variations like sizes and times of hydraulic retention, which was increased to 11,5 days in the whole treatment process. For a family that consumes 500 daily liters approximately you dimension in the following way, a tank sedimentador of 1x1 m², three ponds of (0,90 m of wide x 3,40 m of long x 0,40 m of depth).

Of the analysis of the quality of the waters tried in systems one-family and community it was determined that, most of parameters are framed inside the norm TULAS. Existing increments of the derived parameters of the nitrogen except in the nitrates; those that were increased especially with *Lemna gibba* and they achieved to be removed with *Eichhornia crassipes*.

As for the parameters microbiological acceptability levels were not achieved with any treatment, however it is stood out to *Lemna gibba* like the best removal alternative that it reaches percentages of 98,6 removal% for *Escherichia coli* and 97% in total Coliformes



CAPITULO IX

9. BIBLIOGRAFÍA.

1. BEJARANO, R. (1995). Lenteja de agua para el tratamiento de aguas residuales. Universidad de Boyacá.
2. CERI; CINCINNATI, OH. (2002). Folletos informativos de la EPA U.S. EPA, Folleto informativo de Tecnología de aguas residuales.
3. CELIS, J. *et al.* (2005). Recientes Aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. Universidad del Bio – Bio Chillán, Chile.
4. CORAL, J. (2002). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante el cultivo de lenteja de agua (*Lemna sp.*) en la cuenca del lago San Pablo. Tesis Ing. RNR. Ibarra Ecuador, Universidad Técnica del Norte.
5. CHAVEZ, P.; YANDÚN, R. (2004). Plan de rehabilitación de la vertiente de Araque y diseño de una planta de tratamiento natural de aguas residuales domésticas. Tesis Ing. RNR. Ibarra Ecuador, Universidad Técnica del Norte.
6. DÁVILA, M. (2005). Aprovechamiento del helecho de agua (*Azolla sp.*) para mejoramiento de tratamiento secundario de aguas residuales domésticas. Tesis Ing. RNR. Ibarra Ecuador, Universidad Técnica del Norte.
7. HERNÁNDEZ, A. (1997). Saneamiento y alcantarillado. Vertidos residuales. Quinta Edición. Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos. Madrid España.
8. -----HERNÁNDEZ, A. GALÁN, P. (1996) Manual de depuración Uralita. Sistemas para depuración de aguas residuales en núcleos de hasta 20.000 habitantes. Segunda edición. Madrid España.
9. MENA, M. (2004). Diagnóstico de las aguas residuales y prediseño de una planta de tratamiento biológico para la parroquia Gonzáles Suárez del cantón Otavalo. Tesis Ing. RNR. Ibarra Ecuador, Universidad Técnica del Norte.
10. POSSO, M. (2006). Metodología para el trabajo de grado tesis y proyectos, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Ibarra, Ecuador.



11. Unión de Organizaciones Campesinas de Cotacachi. (2006). Censos UNORCAC. Texto sin publicar.
12. BARROS, S.; CARRASCO M. (2001). Recuperación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca. Municipio de Cuenca. Ecuador. Disponible en <http://www.sendas.org.ec/docs/articulo%20rios%20aguayaku.doc>.
13. CAICEDO, J. (2004). Lenteja de agua para el tratamiento de aguas residuales, factores ambientales y físicos químicos que afectan su crecimiento. Consultado en diciembre mayo 2008. Disponible en: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/contenido/capitulo13.html>
14. CLOSTRE, G.; SUNI M. (2007). Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio del medio de cultivo en el rendimiento y valor nutritivo de *Lemna gibba* L. (Lemnaceae) *Rev. peru. biol.* número especial 13(3): 231 – 235. Disponible en: <http://sisbib.unmsm.edu.pe/BVRevistas/biologia/biologiaNEW.htm>
15. FERNÁNDEZ, A. (2006). Fitodepuración Plantas acuáticas para limpiar residuos. Disponible en: http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energiayciencia/2006/09/29/155999.php.
16. FERNÁNDEZ, J. (2006). Tipos de humedales construidos típicamente usados para tratamiento de aguas residuales. Consultado en febrero del 2008. Disponible en: <http://www.geocities.com/jalarab/cap10.html> Capítulo 6
17. HIDALGO, C.; JUNOD, J.; SANDOVAL, M. (2005). Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. *Revista Tehoría. Chile* Vol. 14 (1): 17-25. Disponible en: <http://omega.fdo-may.ubiobio.cl/th/v/v14/a2.pdf>.
18. IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, CR). 2005. Redacción de referencias bibliográficas: Normas Técnicas del IICA y CATIE. Disponible en: http://orton.catie.ac.cr/bco/normasde_redacción.html.
19. KELLY, A. (2002). Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica. Chile. Disponible en <http://www.esd.worldbank.org>.
20. LY, J. (2003). Macrófitas acuáticas flotantes en sistemas integrados de producción animal. Instituto de Investigaciones Porcinas. La Habana Cuba. Disponible en: http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/encuentros/viii_encuentro/julio_ly.htm.



21. LUQUE, O.; TROUNG, P.; MORAO, D.; CEBALLOS, E. (2006)?. Modelo Teórico Para Explicar los Principios Involucrados en el Tratamiento de Aguas residuales por el vetiver. Cervecería polar-planta san Joaquín-Venezuela. Consultado febrero 2008. Disponible en: <http://www.vetiver.org/ICV4pdfs/EB05es.pdf>
22. MIRANDA, J. (2006). Tratamiento Analítico de las Aguas Servidas, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Disponible en: <http://cabierta.uchile.cl/revista/6/aguas.htm>.
23. PEDRAZA, G. (2000)?. Análisis Económico Ambiental de la Aplicación de Sistemas de Descontaminación Productiva en la Microcuenca Los Saínos Frente a las Políticas de Cobro de la Corporación Autónoma. Disponible en: <http://www.cipav.org.co/cipav/new/gxpedraza/gxpedraza.htm>
24. RACIMAN, J.; GONZÁLEZ, A. (2005). Hipertextos del área de la biología. Depuración De Aguas Residuales Universidad del Nordeste. Argentina. Disponible en http://www.biologia.edu.ar/tesis/forcillo/depuraci%C3%B3n_de_aguas_residuales.htm.
25. VALDERRAMA, L. (2005). Evaluación del efecto del tratamiento con plantas acuáticas (*E. crassipes*, *Lemna sp.* y *L. leavigatum*), en la remoción de indicadores de contaminación fecal en aguas residuales domésticas. Bogotá, Colombia.
26. VALLEJOS, OS. (2003). Manual de estilo para la elaboración de proyectos de memoria y memoria. Universidad de Talca. Disponible en http://biblioteca.otalca.cl/html/servicios/Citas%20bibliograficas/memo_for.pdf. Consultado 30 de diciembre de 2006.
27. Autoconstrucción De Sistemas De Depuración De Aguas Cloacales. Disponible en: http://www.conama.cl/certificacion/1142/articles-31525_recurso1.pdf.
28. *Eichhornia crassipes*. (2003). Disponible en: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Uses
29. Instituto Tecnológico de Canarias, ITC; Cabildo Insular de Tenerife; Área de Agua, Agricultura, Ganadería y Pesca. (2006). Gestión sostenible del agua residual en los entornos rurales. Consultado en agosto del 2007. Disponible en http://www.rinconesdelatlantico.com/num3/26_depuranat.html
30. Ministerio del Ambiente Ecuador, MAE. (2006). Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes recurso agua: Tabla 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Consultado junio 2007.



Disponible en: <http://www.miliarium.com/Paginas/Leyes/Internacional/Ecuador/General/TextoUnificado/LibroVI-Anexo1.doc>

31. -----Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes recurso agua: Tabla 7. Parámetros de Los Niveles Guía de La Calidad del Agua Para Riego. Consultado junio 2007. Disponible en: <http://www.miliarium.com/Paginas/Leyes/Internacional/Ecuador/General/TextoUnificado/LibroVI-Anexo1.doc>
32. Norma Técnica. (2004). Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) Disponible en: www.miliarium.com/Paginas/Leyes/Internacional/Ecuador/General/TextoUnificado/LibroVI-
33. Normas de descarga de agua en Manta, EC. (2005). Consultado marzo del 2007. Disponible en: <http://www.eapam.gov.ec/empresa.php?id=22&gid=3>
34. Wetland Tecnología Limpia en el Tratamiento de Efluentes Contaminados Disponible en: http://72.14.203.104/search?q=cache:kmQ_Dyv7BGcJ:sisbib.unmsm.edu.pe/bvmedioambiente/Eventos/Archivos/triptico.doc+CONSTRUCCI%C3%93N+DE+WETLANDS+ARTIFICIALES&hl=es&gl=ec&ct=clnk&cd=1
35. Water for life, Manual de adopte una quebrada disponible en Water for Life.(2006)?. Consultado marzo 2007. Disponible en: www.rivercenter.uga.edu/international/wfl/galleria/htm
36. BEASCOECHEA, E; Fundación Global Nature. (2005). Reportaje, La depuración de aguas mediante filtros verdes en el medio rural, El problema de las aguas residuales.
37. NIMUKUNDA F., BOTERO R., YEOMANS, J. CORTÉS G. (2006). Manual Para la Descripción Y el Mantenimiento del Sistema De Descontaminación Productiva de las Aguas Residuales Provenientes de Las Actividades Pecuarias. Revista Tierra Tropical C.O 2 (1): A31-A55 Consultado en marzo 2008. Disponible en: La Web
38. RODRÍGUEZ, C. (2001). Acción depuradora de algunas plantas acuáticas sobre las aguas residuales. La Habana, Cuba Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría"(ISPJAE).
39. REYNOLDS, K. (2002). Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica: Identificación del Problema. Consultado Sep. 2007. Disponible en la web



40. PEDRAZA, G. (1994). Reciclaje del efluente de origen animal con tres especies de plantas acuáticas. Centro para la Investigación en sistemas sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV) AA20591 Cali, Colombia. (Disponible en la web)
41. SUÁREZ J., GONZÁLEZ E. (2003). Las Plantas Acuáticas en un Contexto de Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales. I. *Azolla* spp. Disponible en: La web
42. Diseño de plantas comunes de tratamiento de efluentes para aguas residuales industriales no peligrosas. (2003)? (En la web)
43. Environmental Protection Agency (EPA). (2000). Washington, D.C. (2000). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: Humedales de flujo libre superficial. Disponible en línea.
44. Estudio especial ERIS –USAC. (2003). Remoción de *Escherichia coli* Fecales en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Aurora LI. Disponible en: La web.
45. Instituto Tecnológico de Chihuahua. (2001). Sistema Digital para el Control de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Disponible en línea.
46. Instituto Ciénaga Universidad del Valle Colombia. (2005). Guía de selección de Tecnología para el tratamiento de aguas residuales domésticas por métodos naturales.
47. Presidente de la República de Nicaragua. (2006). Decreto no. 33-95: disposiciones para el control contaminación provenientes descargas de aguas residuales domesticas, industriales y agropecuarias. Consultado mayo 2008. Disponible en la web.
48. Universidad de Oriente Escuela de Ciencias de la Tierra Materia. (2000)?; Tratamiento de aguas blancas y aguas residuales (En la web).



CAPÍTULO X

10. ANEXOS