



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN
DEL MEDIO AMBIENTE

“FITORREMEDIACIÓN MEDIANTE EL USO DE DOS ESPECIES
VEGETALES *Eichhornia crassipes* MART. (JACINTO DE AGUA),
Pistia stratiotes L. (LECHUGA DE AGUA) EN EL TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PROCEDENTES DE
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN
LA PARROQUIA UNIÓN MILAGREÑA DEL CANTÓN JOYA DE
LOS SACHAS, PROVINCIA DE ORELLANA”

Tesis previa a la obtención del
título de Ingeniero en Manejo y
Conservación del Medio
Ambiente.

AUTOR:

Kelvin Cristian Andrade Jiménez

DIRECTOR:

Ing. Hilter Farley Figueroa Saavedra, Mg.Sc.

NUEVA LOJA- ECUADOR

2015

AUTORIZACIÓN

ING. HILTER FARLEY FIGUEROA SAAVEDRA., Mg.Sc

DOCENTE DE LA CARRERA DE MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE DEL PLAN DE CONTINGENCIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.

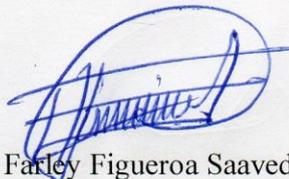
CERTIFICO:

Que la presente tesis Intitulada “**FITORREMEDIACIÓN MEDIANTE EL USO DE DOS ESPECIES VEGETALES *Eichhornia crassipes* MART. (JACINTO DE AGUA), *Pistia stratiotes* L. (LECHUGA DE AGUA) EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PROCEDENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA PARROQUIA UNIÓN MILAGREÑA DEL CANTÓN JOYA DE LOS SACHAS, PROVINCIA DE ORELLANA.**”, desarrollada por el señor: **KELVIN CRISTIAN ANDRADE JIMÉNEZ**, ha sido elaborada bajo mi dirección y cumple con los requisitos de fondo y de forma que exigen los respectivos reglamentos e instructivos.

Por ello autorizo su presentación y sustentación.

Nueva Loja, 18 Septiembre del 2015

Atentamente



Ing. Hilter Farley Figueroa Saavedra., Mg.Sc
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.

Nueva Loja, 11 Diciembre 2015

CERTIFICACIÓN

Los Miembros del Tribunal de Grado abajo firmantes, certificamos que el Trabajo de Titulación denominado **“FITORREMEDIACIÓN MEDIANTE EL USO DE DOS ESPECIES VEGETALES *Eichhornia crassipes* MART. (JACINTO DE AGUA), *Pistia stratiotes* L. (LECHUGA DE AGUA) EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PROCEDENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA PARROQUIA UNIÓN MILAGREÑA DEL CANTÓN JOYA DE LOS SACHAS, PROVINCIA DE ORELLANA.”**, presentada por el señor: **KELVIN CRISTIAN ANDRADE JIMÉNEZ**, de la carrera de Manejo y Conservación del Medio Ambiente del Plan de Contingencia de la Universidad Nacional de Loja, Sede Nueva Loja, ha sido corregida y revisada; por lo que autorizamos su presentación.

Atentamente;



Ing. ~~Laura Esperanza~~ Capa Puglla.
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL



Ing. Manuel Cabrera Quezada., Mg.Sc.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Ing. Washington Adán Herrera Herrera., Mg.Sc.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AUTORÍA

Yo **KELVIN CRISTIAN ANDRADE JIMÉNEZ**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

AUTOR: Kelvin Cristian Cristian Jiménez.

FIRMA:.....

CEDULA: 1900650274

FECHA: Nueva Loja; 15 de Diciembre 2015

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRONICA DEL TEXTO COMPLETO

Yo Kelvin Cristian Andrade Jiménez declaro ser autor de la tesis titulada **“FITORREMEDIACIÓN MEDIANTE EL USO DE DOS ESPECIES VEGETALES *Eichhornia crassipes* MART. (JACINTO DE AGUA), *Pistia stratiotes* L. (LECHUGA DE AGUA) EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PROCEDENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA PARROQUIA UNIÓN MILAGREÑA DEL CANTÓN JOYA DE LOS SACHAS, PROVINCIA DE ORELLANA.”.**

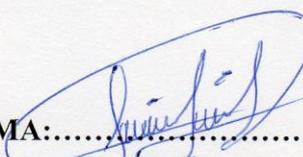
Como requisito a optar al grado de: **INGENIERO EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Digital Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Nueva Loja, el 15 Diciembre del 2015, firma el autor.

AUTOR: Kelvin Cristian Andrade Jiménez

FIRMA:.....

CÉDULA: 1900650274

DIRECCIÓN: Joya de los Sachas.

CORREO ELECTRONICO: nivlek255@hotmail.com

CELULAR: 0980761005

DATOS COMPLEMENTARIOS

DIRECTOR DE TESIS: Ing. Hilter Farley Figueroa Saavedra Mg.Sc.

TRIBUNAL DEL GRADO

Ing. Laura Esperanza Capa Puglla.

(Presidenta del tribunal)

Ing. Manuel Cabrera Quezada, Mg.Sc.

(Miembro del Tribunal)

Ing. Washington Adán Herrera Herrera, Mg.Sc.

(Miembro del Tribunal)

DEDICATORIA

Todo el esfuerzo plasmado en este trabajo quiero dedicar a la mi madre Rosa Jiménez por darme la fuerza y ánimo para seguir adelante, a mis hermanos Bairón, Oscar, Shakira y Gabriel, por ser una apoyo incondicional para terminar una etapa más de di vida, a mis hijos Justin y David.

Kelvin Andrade

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la oportunidad de vivir, por colmarme de bendiciones en cada paso que doy y permitirme terminar una etapa esencial de mi vida profesional.

A mis abuelitos Humberto Jiménez y María Hidalgo, a mis tíos Manuel, Juan, María, Mercedes, Luisa, quienes son un pilar fundamental en mi vida, por el apoyo brindado en cada paso dado.

A la Universidad Nacional de Loja por permitirme continuar con mis estudios y llegar a mi meta.

A mis profesores Laura Capa, Hilter Figueroa, Manuel Cabrera, Omar Vizuete, Martha Duarte y Byron Pozo que día a día impartieron sus conocimientos para hacerme un hombre de bien ante la sociedad.

A mis amigos Yessenia Abril, Robinson Balceca, Verónica Maza, Lorena Román, y todos los que estuvieron presentes en mi etapa de estudio, dándome su apoyo y cariño.

Al Sr. Rodrigo Román por todo su apoyo brindado, para poder terminar este trabajo.

Kelvin Andrade

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

PORTADA	i
AUTORIZACIÓN	ii
CERTIFICACIÓN	iii
AUTORÍA	iv
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRONICA DEL TEXTO COMPLETO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xviii
ÍNDICE DE ANEXOS	xix
A. TÍTULO	1
B. RESUMEN	2
C. INTRODUCCIÓN	4
D. REVISIÓN DE LITERATURA	6
4.1. El Agua.....	6
4.1.1. Generalidades.....	6
4.1.2. Importancia del agua.....	6
4.1.3. Distribución del agua.....	6
4.1.4. Ciclo Hidrológico.....	7
4.1.5. Uso del agua.....	7
4.1.6. Contaminación del agua.....	7
4.1.7. Contaminantes del agua.....	8
4.2. Aguas residuales domésticas.....	8
4.2.1. Características de las aguas residuales domésticas.....	9
4.3. Efectos de la contaminación en la salud y el ambiente.....	11

4.3.1. Eutrofización de cuerpos de agua.....	11
4.3.2. Agotamiento del oxígeno en el agua.	12
4.3.3. Daño a la salud.	12
4.4. Fitorremediación.	12
4.4.1. Tipos de Fitorremediación.	13
4.4.2. Sistemas de Fitorremediación.	14
4.4.3. Ventajas y desventajas de la Fitorremediación.	15
4.4.4. Función de las Plantas en los sistemas de Fitorremediación.....	17
4.5. Criterios de selección de plantas para Fitorremediación.....	17
4.6. Descripción de las Especies Vegetales.	17
4.6.1. <i>Eichhornia crassipes</i> Mart. (Jacinto de Agua).....	18
4.6.2. <i>Pistia stratiotes</i> L. (Lechuga de Agua)	21
4.6.3. Experiencias realizadas en Fitorremediación.	23
4.7. Marco Legal.	24
4.7.1. Constitución de la República del Ecuador.	24
4.7.2. Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.....	26
4.7.3. Ley Orgánica de recursos Hídricos, usos y aprovechamiento del agua.	27
4.7.4. Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA).....	28
4.7.5. Política Ambiental.....	28
4.8. Marco Conceptual.	29
E. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
5.1. Materiales.	33
5.1.1. Equipos.....	33
5.1.2. Herramientas.	33
5.1.3. Materiales.	33
5.2. Métodos.....	34
5.2.1. Ubicación del área de estudio.....	34

5.2.2. Ubicación Política.	34
5.2.3. Ubicación Geográfica.	35
5.3. Aspectos físicos y climáticos.	35
5.3.1. Aspectos físicos.	35
5.3.2. Aspectos climáticos.	36
5.4. Tipo de investigación.	37
5.5. Realizar la caracterización de las aguas residuales procedentes de los taques sedimentores del sistema de alcantarillado de la Parroquia Unión Milagreña.	37
5.5.1. Toma de muestras del agua para análisis físico-químico.	37
5.5.2. Localización del Sitio de muestreo.	37
5.5.3. Cadena de Custodia.	38
5.5.4. Frecuencia de muestreo.	39
5.5.5. Recolección de muestras.	39
5.5.6. Transporte de la muestra.	39
5.5.7. Toma de la muestra de especies para examen bromatológico.	40
5.5.8. Medidas de seguridad.	40
5.6. Diseñar un sistema de tratamiento para el proceso de Fitorremediación de aguas residuales domesticas mediante el empleo de <i>Ehichhornia crassipes</i> Mart. (Jacinto de agua), <i>Pistia stratiotes</i> L. (Lechuga de agua) como agente depurador.	40
5.6.1. Monitoreo del muestreo del agua residual doméstica.	40
5.6.2. Diseño del sistema de Fitorremediación.	41
5.6.3. Construcción del prototipo para Fitorremediación.	55
5.6.4. Recolección de las especies <i>Eichornia crassipes</i> Mart y <i>Pistia stratiotes</i> L.	56
5.7. Identificar el comportamiento en los parámetros físicos-químicos del agua tratada en comparación con el agua sin tratar en los procesos de Fitorremediación.	58
5.7.1. Análisis de laboratorio del agua tratada.	58

F. RESULTADOS.....	59
6.1. Realizar la caracterización de las aguas residuales procedentes de los taques sedimentadores del sistema de alcantarillado de la Parroquia Unión Milagreña.	59
6.1.1. Caracterización de las aguas residuales de la Parroquia Unión Milagreña.	59
6.1.2. Caracterización de las Macrofitas <i>Pistia stratiotes</i> L. y <i>Ehichhornia crassipes</i> Mart.	71
6.2. Diseñar un sistema de tratamiento para aguas residuales domésticas mediante el empleo de <i>Ehichhornia crassipes</i> Mart. (Jacinto de agua), <i>Pistia stratiotes</i> L. (Lechuga de agua) como agente depurador.	72
6.2.1. Determinación de caudal.	72
6.2.2. Determinación de la Población Futura.	74
6.2.3. Caudal de diseño.	74
6.2.4. Dimensionamiento de las rejillas (pre tratamiento).	76
6.2.5. Dimensionamiento del desarenador rectangular (Pre tratamiento).	83
6.2.6. Dimensionamiento del sedimentador rectangular (tratamiento primario).	90
6.2.7. Calculo de piscinas para Fitorremediación propuestas.	100
6.2.8. Resultado del dimensionamiento de las unidades físicas de la Planta de Tratamiento para el sistema de Fitorremediación.	101
6.2.9. Construcción de un prototipo para realizar el sistema de Fitorremediación.	106
6.3. Identificar el comportamiento en los parámetros físicos-químicos del agua tratada en comparación con el agua sin tratar en los procesos de Fitorremediación.	107
6.3.1. Análisis de los datos del monitoreo obtenidos de cada uno de los procesos de Fitorremediación.	107
6.3.2. Análisis de la eficiencia en los procesos de Fitorremediación en aguas.	108
6.3.3. <i>Pistia stratiotes</i> L.	108

6.3.4. <i>Eichhornia crassipes</i> Mart.	121
6.3.5. Análisis de capacidad Bioacumulación en las plantas.	133
G. DISCUSIÓN.....	139
H. CONCLUSIONES.	146
I. RECOMENDACIONES.....	148
J. BIBLIOGRAFÍA.....	149
K. ANEXOS.....	156

ÍNDICE DE TABLAS

N°	Descripción	Pág.
Tabla 1.	Tipos de Fitorremediación y contaminantes que tratan.	14
Tabla 2.	Ventajas y desventajas de la Fitorremediación.	16
Tabla 3.	Taxonomía del Jacinto de agua.	18
Tabla 4.	Composición química de <i>Eichhornia crassipes</i> Mart.	19
Tabla 5.	Taxonomía de <i>Pistia stratiotes</i> L.	21
Tabla 6.	Composición química de <i>Pistia stratiotes</i> L.	22
Tabla 7.	Coordenadas del sitio de muestreo del agua residual.	38
Tabla 8.	Volumen de materias retenidas en las rejillas.	44
Tabla 9.	Características de las materias retenidas en las rejillas.	45
Tabla 10.	Consideraciones de diseño de rejillas.	45
Tabla 11.	Relación entre diámetros, partículas, velocidad y sedimentación de arenas.	47
Tabla 12.	Criterios de diseño de los desarenadores rectangulares de flujo horizontal.	48
Tabla 13.	Velocidades terminales o caudales medio.	53
Tabla 14.	Velocidades terminales o caudal máximo.	53
Tabla 15.	Tiempos de retención para sedimentadores.	55
Tabla 16.	Resultado de los análisis físicos, Químicos y microbiológicos de la muestra de agua.	59
Tabla 17.	Resultados de análisis Bromatológicos realizados a <i>Pistia stratiotes</i> L.	71
Tabla 18.	Resultados de análisis Bromatológico realizado en <i>Eichhornia crassipes</i> Mart.	71

Tabla 19. Resultado de la medición de caudales.....	72
Tabla 20. Análisis Estadístico del monitoreo de caudal.	73
Tabla 21. Resultado de caudal de diseño.	101
Tabla 22. Medidas de canal de llegada.	102
Tabla 23. Medidas de Rejillas de sólidos gruesos.....	102
Tabla 24. Medidas del Desarenador.....	103
Tabla 25. Medidas del tanque sedimentador.....	104
Tabla 26. Diseño de la placa difusora.	104
Tabla 27. Medidas de las piscinas de Fitorremediación.	105
Tabla 28. Resultados de análisis del agua en piscina con <i>Pistia stratiotes</i> L.	108
Tabla 29. Resultados de análisis del agua en piscina con <i>Eichhornia crassipes</i> Mart.	121
Tabla 30. Reultados de Bioacomulación en <i>Pistia stratiotes</i> L.	133
Tabla 31. Resultados de Bioacomulación en <i>Eichhornia crassipes</i> Mart.	135

ÍNDICE DE GRÁFICOS

N°	Descripción	Pág.
Gráfico 1.	Resultados de Temperatura del agua Residual doméstica.	60
Gráfico 2.	Resultado de Potencial de Hidrógeno.	61
Gráfico 3.	Resultado de Oxígeno Disuelto.....	62
Gráfico 4.	Resultados de Sólidos Totales.....	63
Gráfico 5.	Resultado de la demanda química de oxígeno.	64
Gráfico 6.	Resultados de demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).....	65
Gráfico 7.	Resultados de Fósforo en el agua residual.	66
Gráfico 8.	Resultado de Nitritos (NO ₂) en el agua residual.	67
Gráfico 9.	Resultados de Nitratos (NO ₃) en el agua residual.....	68
Gráfico 10.	Resultados de Coliformes Totales en el agua residual.....	69
Gráfico 11.	Resultado de Coliformes Fecales en el agua residual.	70
Gráfico 12	Resultados de medición de caudal de aguas residuales domésticas de la parroquia Unión Milagreña.	73
Gráfico 13.	Resultado de Temperatura en proceso de Fitorremediación con <i>Pistia stratiotes</i> L.....	110
Gráfico 14.	Resultado de Potencial de Hidrógeno (pH) en proceso de Fitorremediación con <i>Pistia stratiotes</i> L.	111
Gráfico 15.	Oxígeno Disuelto (OD) en proceso de Fitorremediación con <i>Pistia stratiotes</i> L.....	112
Gráfico 16.	Resultado de Sólidos Totales en proceso de Fitorremediación con <i>Pistia stratiotes</i> L.....	113
Gráfico 17.	Resultados Demanda química de oxígeno, en proceso de Fitorremediación con (<i>Pistia stratiotes</i> L.	114

Gráfico 18. Resultado de Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) en proceso de Fitorremediación con <i>Pistia stratiotes</i> L.	115
Gráfico 19. Resultado de Fósforo (PO ₄) en proceso de Fitorremediación con <i>Pistia stratiotes</i> L.....	116
Gráfico 20. Resultados Nitritos (NO ₂) en proceso de Fitorremediación con <i>Pistia stratiotes</i> L.....	117
Gráfico 21. Resultados Nitratos (NO ₃) en proceso de Fitorremediación con <i>Pistia stratiotes</i> L.....	118
Gráfico 22. Coliformes Totales en proceso de Fitorremediación con <i>Pistia stratiotes</i> L.....	119
Gráfico 23. Resultados Coliformes Fecales en proceso de Fitorremediación con <i>Pistia stratiotes</i> L.....	120
Gráfico 24. Resultado de Temperatura en proceso de Fitorremediación con <i>Eichhornia crassipes</i> Mart.....	122
Gráfico 25. Resultado de Potencial de Hidrógeno (pH) en proceso de Fitorremediación con Jacinto de agua <i>Eichhornia crassipes</i> Mart.....	123
Gráfico 26. Oxígeno Disuelto (OD) en proceso de Fitorremediación con <i>Eichhornia crassipes</i> Mart.....	124
Gráfico 27. Resultado de Solidos Totales en proceso de Fitorremediación <i>Eichhornia crassipes</i> Mart.....	125
Gráfico 28. Resultados Demanda química de oxígeno (DQO ₅) en proceso de Fitorremediación con <i>Eichhornia crassipes</i> Mart.	126
Gráfico 29. Resultado de Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en proceso de Fitorremediación <i>Eichhornia crassipes</i> Mart.	127
Gráfico 30. Resultado de Fósforo (PO ₄) en proceso de Fitorremediación con <i>Eichhornia crassipes</i> Mart.....	128
Gráfico 31. Resultados Nitritos (NO ₂) en proceso de Fitorremediación con <i>Eichhornia crassipes</i> Mart.....	129

Gráfico 32. Resultados Nitratos (NO ₃) en proceso de Fitorremediación con <i>Eichhornia crassipes</i> Mart.....	130
Gráfico 33. Resultados Coliformes totales en proceso de Fitorremediación con <i>Eichhornia crassipes</i> Mart.	131
Gráfico 34. Resultados Coliformes Fecales en proceso de Fitorremediación con <i>Eichhornia crassipes</i> Mart.	132
Gráfico 35. Resultado de Bioacumulación de Nitritos (NO ₂) en <i>Pistia stratiotes</i> L.	133
Gráfico 36. Resultado de Bioacumulación de Nitratos (NO ₃) en <i>Pistia stratiotes</i> L.	134
Gráfico 37. Resultado de Bioacumulación de Fósforo (PO ₄) en <i>Pistia stratiotes</i> L.	135
Gráfico 38. Resultados de Bioacumulación de Nitritos (NO ₂) en <i>Eichhornia crassipes</i> Mart.....	136
Gráfico 39. Resultados de Bioacumulación de Nitritos (NO ₃) en <i>Eichhornia crassipes</i> Mart.	137
Gráfico 40. Resultados de Bioacumulación de Fósforo (PO ₄) en <i>Eichhornia crassipes</i> Mart.....	138

ÍNDICE DE FIGURAS.

N°	Descripción	Pág.
Figura 1.	Tipos de Fitorremediación, indicando en que zona de la planta se desarrolla el proceso.....	13
Figura 2.	Morfología de la <i>Eichornia crassipes</i> Mart.....	18
Figura 3.	Morfología de <i>Pistia stratiotes</i> L. Royle.	21
Figura 4.	Ubicación del área de estudio.....	35
Figura 5.	Localización del sitio de muestreo.	38
Figura 6.	Curvas de comportamiento de partículas.....	50
Figura 8.	Recolección de especies.	56
Figura 10.	Fase de Reproducción de especies.....	58
Figura 11.	Fase de Fitorremediación con Lechuga de Agua y Jacinto de Agua.	58
Figura 12.	Área libre al paso de agua.....	80
Figura 13.	Total de barrotes en la rejilla.	82
Figura 14.	Tanque 2 para lodos en la zona de sedimentación.....	87
Figura 15.	Tanque 2 para lodos en la zona de sedimentación.....	88
Figura 16.	Diseño de la placa difusora.....	100
Figura 17.	Diseño del canal de estrada de agua.	102
Figura 18.	Rejilla de sólidos gruesos.	102
Figura 19.	Tanque desarenador.....	103
Figura 20.	Tanque de sedimentación.	104
Figura 21.	Placa difusora.	105
Figura 22.	Piscina de Fitorremediación.	105
Figura 30.	Piscina con <i>Pistia stratiotes</i> L.	108
Figura 31.	Piscina con <i>Eichornia crassipes</i> Mart.	121

ÍNDICE DE ANEXOS.

Nº	Descripción	Pág.
Anexo 1.	Cadena de custodia para toma de muestra de agua residual para caracterización.....	156
Anexo 2.	Cadena de custodia para toma de muestra de macrofitas, análisis bromatológico para determinar concentración inicial de contaminantes.....	157
Anexo 3.	Cadena de custodia para toma de muestras de agua residual para para determinar la eficiencia del procesos.	158
Anexo 4.	Cadena de custodia para toma de muestra de macrofitas, análisis bromatológico para determinar concentración final de contaminantes.....	159
Anexo 5.	Análisis de los parámetros físicos, químicos del agua residual doméstica.....	160
Anexo 6.	Análisis Bromatológico de Jacinto de Agua (<i>Eichhornia crassipes</i> Mart).....	161
Anexo 7.	Análisis Bromatológico de Lechuga de agua (<i>Pistia stratiotes</i> L.)..	162
Anexo 8.	Análisis de los parámetros físicos, químicos, del agua residual doméstica tratada con Lechuga de agua (<i>Pistia stratiotes</i> L.).....	163
Anexo 9.	Análisis Bromatológico de Lechuga de agua (<i>Pistia stratiotes</i> L.) luego del proceso de Fitorremediación.	164
Anexo 10.	Análisis de los parámetros físicos, químicos, del agua residual doméstica tratada con Lechuga de agua (<i>Pistia stratiotes</i> L.).....	165
Anexo 11.	Análisis Bromatológico de Jacinto de (<i>Eichhornia crassipes</i> Mart.) luego del proceso de Fitorremediación.	166
Anexo 12.	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce establecidos por el TULSMA.	167

Anexo 13. Resultados de monitoreo de caudal.....	168
Anexo 14. Fotografías del proyecto.....	169
Anexo 15. Componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales	177
Anexo 16. Medidas de los componentes principales de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	178
Anexo 17. Diseño de los componentes secundarios del sistema de tratamiento de aguas residuales.	179
Anexo 18. Sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.....	180

A. TÍTULO.

FITORREMEDIACIÓN MEDIANTE EL USO DE DOS ESPECIES VEGETALES *Eichhornia crassipes* MART. (JACINTO DE AGUA), *Pistia stratiotes* L. (LECHUGA DE AGUA) EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PROCEDENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA PARROQUIA UNIÓN MILAGREÑA DEL CANTÓN JOYA DE LOS SACHAS, PROVINCIA DE ORELLANA.

B. RESUMEN

Para la realización de este trabajo se caracterizó el agua residual doméstica de las Parroquia Unión Milagreña del cantón Joya de los Sachas provincia de Orellana, mediante análisis de campo y un examen de laboratorio obteniendo los siguientes resultados, (OD) contiene 0,74 mg/L, ST 825,86 mg/L, (DQO) tiene un promedio de 381,41 mg/L, la (DBO₅) tienen un total de 124 mg/L, el Fosforo (PO₄) tiene un total de 12,85 mg/L, Nitritos (NO₂) 0,06 mg/L, Nitratos (NO₃) 0,8 mg/L, Coliformes Totales 84X10⁵, Coliformes Fecales 42X10⁵, mismos valores que fueron comparados con lo descrito en la Tabla 10 del TULSMA Libro VI, Anexo 1, en la cual establece los valores permisibles de las descargas a los cuerpos de agua dulce, los cuales los valores obtenidos en el examen de laboratorios las aguas de descargas están sobre los límites permisibles afectando negativamente en la autodepuración del estero s/n en la Parroquia Unión Milagreña. Se diseñó un sistema de tratamiento de aguas residuales adaptable al sistema de Fitorremediación, con la finalidad de mitigar los impactos ambientales que se vienen produciendo por no tratar las aguas, debido a que estas aguas son utilizadas por los habitantes de los alrededores para la agricultura, piscicultura, para implementar el proceso de Fitorremediación se diseñó un prototipo a pequeña escala en él se utilizó el agua residual doméstica la paso por un sistema de nivelación, un tanque de grasas, y un tanque sedimentador, luego el flujo de agua continua llega a los sistemas de tratamiento con *Eichhornia crassipes* Mart. (Jacinto de agua), *Pistia stratiotes* L. (Lechuga de agua). Se determina la eficiencia de las plantas como agente depurador mediante un examen bromatológico para determinar si es efectivo utilizar este tipo de plantas en la depuración de aguas residuales domésticas.

Palabras claves: Aguas residuales, Caracterización de las aguas residuales, Sistema de tratamiento, Fitorremediación.

SUMMARY

To carry out this work domestic wastewater of the Union Milagreña Canton Joya de los Sachas Parish province of Orellana was characterized by analysis of field and laboratory test with the following results (OD) contains 0.74 mg / L, ST 825.86 mg / L, (COD) has an average of 381.41 mg / L, the (BOD5) have a total of 124 mg / L, phosphorus (PO₄) has a total of 12.85 mg / L, nitrite (NO₂) 0.06 mg / L, nitrates (NO₃) 0.8 mg / L, 84X10⁵ Total Coliform, Fecal Coliform 42X10⁵), same values were compared as described in Table 10 of Book VI TULSMA Annex 1, which states permissible values of discharges to freshwater bodies, which the values of the testing laboratories downloads waters outside permissible limits models negatively affect the self-purification of the estuary s / n Milagreña in Union Parish. A treatment system adaptable sewage system Phytoremediation, in order to mitigate environmental impacts that have taken not to treat the water, because these waters are used by the inhabitants of the surrounding estuary to be designed agriculture, fisheries, to implement the process of Phytoremediation a prototype was designed on a small scale in it's domestic sewage is used the way through a leveling system, a tank of fat, and a settling tank, then the flow of continuous water comes treatment systems with *Eichhornia crassipes* Mart. (water hyacinth), *pistia* L. (Water lettuce). The efficiency of plants as clearing agent is determined by a bromatológico examination to determine if it is effective to use such plants in the purification of domestic wastewater.

Keywords: Wastewater, characterization of wastewater treatment system, Phytoremediation.

C. INTRODUCCIÓN

Cada una de las actividades que desarrollamos en nuestro diario vivir, tienen relación directa con el consumo del agua. Según la OMS (2015), en los últimos años se ha incrementado la contaminación de los cuerpos de agua debido al manejo inadecuado de las aguas residuales. Ante estos problemas es necesario la investigación y el desarrollo de tecnologías de bajo costo y que ayuden a mejorar la calidad del recurso agua.

Una de las mayores preocupaciones que enfrentan los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales es la contaminación de las aguas residuales domésticas las cuales son ricas en materia orgánica, compuestos acumulables y sedimentables, coliformes fecales, mismos contaminantes que contribuyen a la eutrofización de los cuerpos de agua receptores de las descargas, perjudicando a la flora, fauna acuática y salud de las personas que habitan y se benefician de estas aguas (Cuenca, Alvarado, & Camacho, 2012).

Actualmente se han producido avances en la biotecnología, estudiando tecnologías de remediación utilizando microorganismos y plantas remediadoras como agentes depuradores de la contaminación, proceso denominado Fitorremediación, las mismas tecnologías que ayudan a descontaminar las aguas siendo de bajos costos, y fáciles de implantar (Universidad Técnica Particular de Loja, 2010).

De manera específica la Fitorremediación, se considera como una tecnología sustentable que se basa en la utilización de plantas para reducir la concentración de los contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en las aguas y suelos, estos contaminantes son utilizados en los procesos bioquímicos realizados por las plantas y los microorganismos asociados a sus raíces a través de procesos metabólicos, para el desarrollo de su vida.

Aunque las plantas acuáticas son consideradas como plaga debido a su rápido crecimiento que en ocasiones llegan a invadir grandes cuerpos de agua y generan varios problemas a las fauna existente en el lugar, a lo contrario si se les proporciona un adecuado manejo las plantas son capaces de adsorber los contaminantes convirtiéndose en una herramienta útil para el tratamiento de las aguas residuales de uso doméstica, debido a que utilizan los contaminantes presentes en el agua como fuente de nutrición. Para la realización del presente trabajo se plantean los siguientes objetivos:

Objetivo General.

Determinar la eficiencia de *Eichhornia crassipes* Mart. y *Pistia stratiotes* L. en el tratamiento de aguas residuales domésticas, procedentes de los tanques sedimentadores del sistema de alcantarillado en la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas, Provincia de Orellana.

Objetivos Específicos.

- ✓ Realizar la caracterización de las aguas residuales procedentes de los tanques sedimentadores del sistema de alcantarillado de la Parroquia Unión Milagreña.
- ✓ Diseñar un sistema de tratamiento para aguas residuales domésticas mediante el empleo de *Eichhornia crassipes* Mart. (Jacinto de agua), *Pistia stratiotes* L. (Lechuga de agua) como agente depurador.
- ✓ Identificar el comportamiento en los parámetros físicos-químicos del agua tratada en comparación con el agua sin tratar en los procesos de Fitorremediación.

D. REVISIÓN DE LITERATURA.

4.1. El Agua

4.1.1. Generalidades.

El agua es uno de los compuestos químicos más importantes para los seres humanos y la vida en general, ya que se encuentra distribuido en todo el planeta es indispensable para el desarrollo de la vida en nuestro planeta sin ella no existiría ningún ser vivo (ONU, 2015).

Una característica singular del agua es la de ser única sustancia química que en nuestro planeta se presenta en los tres estados de agregación: sólido, líquido y gaseoso en estado natural.

4.1.2. Importancia del agua.

Debido a la gran importancia del agua para la vida de los seres vivos, y del aumento de las necesidades por el continuo desarrollo de la humanidad, el hombre está en la obligación de proteger este recurso. El agua dulce es un recurso renovable pro la disposición de la misma está disminuyendo de manera constante. En muchas partes del mundo, la demanda de agua ya excede al abastecimiento, a medida que aumenta la población mundial (Mazabel, 2014).

Es un deber de todos de cuidar el agua, debido a que la disponibilidad del agua es fundamental para el mantenimiento de los ecosistemas y para las comunidades, ya que su presencia o ausencia tiene efectos sobre los seres vivos.

4.1.3. Distribución del agua.

La distribución total de los distintos tipos de agua que existe en nuestro planeta. Se observa que lo más representativo es el agua salada de los mares y aséanos con un 97,5% que nos muy útil para el desarrollo de las actividades

humanas. Encontramos que la cantidad de agua dulce es de 2,5%, la cual está distribuida en un 30,8% en aguas subterráneas un 68,9% en glaciares suelos y congelados, y solo un 0,3% se encuentra presente en lagos y ríos (Cadena & Ramírez, 2014).

4.1.4. Ciclo Hidrológico.

Es el proceso que atraviesa el agua ascendente por evaporación que regresa a la atmosfera y descendente por las precipitaciones que caen a la superficie de la tierra, este ciclo involucra una serie de procesos de transporte circulatorio e indefinido o permanente, el ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: el sol que proporciona la energía para elevar el agua, la segunda la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (Ordoñez, 2011).

4.1.5. Uso del agua.

El agua es indispensable para el desarrollo de la vida en la tierra, los seres humanos le damos diferentes usos para satisfacer nuestras necesidades (Castillo & Rovira, 2013).

Entre los principales usos están: doméstico o de abastecimiento, en los procesos industriales y agropecuarios, navegación.

4.1.6. Contaminación del agua.

Se entiende por contaminación a la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que de modo directo o indirecto impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores con la salud humana o con los ecosistemas acuáticos (Gobierno de España, 2011).

4.1.7. Contaminantes del agua.

Existen un sinnúmero de contaminantes de las aguas que se las puede clasificar en los siguientes grupos (Garcia, 2002).

- **Microorganismos patógenos.-** Son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades.
- **Desechos orgánicos.-** Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc.
- **Sustancias químicas inorgánicas.-** En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo.
- **Nutrientes vegetales inorgánicos.-** Nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo.
- **Compuestos orgánicos.** Muchas moléculas orgánicas como petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, etc.
- **Sedimentos y materiales suspendidos.-** Muchas partículas arrancadas del suelo y arrastradas a las aguas, junto con otros materiales que hay en suspensión en las aguas.
- **Sustancias radiactivas.-** Isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua y, a veces, se pueden ir acumulando a lo largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua.
- **Contaminación térmica.-** El agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales eleva, en ocasiones, la temperatura de ríos o embalses con lo que disminuye su capacidad de contener oxígeno y afecta a la vida de los organismos.

4.2. Aguas residuales domésticas.

Las aguas residuales domésticas son aquellas que se generan en las viviendas, lugares comerciales o públicos se caracterizan por la presencia de heces fecales, restos de moléculas de productos de actividades de limpieza, grasas y materia orgánica (Moncayo & Ayala, 2011).

4.2.1. Características de las aguas residuales domésticas.

a. Características Físicas.

- **Sólidos.**

Se entiende como sólidos suspendidos a la cantidad de materia que permanece como residuos después de evaporación y secado a 1003 °C, los sólidos pueden ser sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables (Muñoz, 2008).

- **Temperatura.**

La temperatura del agua residual doméstica es más elevada que la del agua de suministro, en función de las situaciones geográficas, la temperatura media anual del agua residual varía entre 10 y 21°C, pudiendo tomar como 15,6 °C como el valor representativo (Mondaca, 2005).

- **Color.**

Las aguas residuales tienen un color gris cuando son frescas y al envejecer toman un color negro debido a la descomposición de la materia orgánica (Orellana, 2005).

- **Olor.**

El del agua ocurre debido a diferentes factores que alteran su composición dándole un desagradable olor dependiendo de su envejecimiento, entre las causas más comunes están: materia orgánica en descomposición, ácido sulfúrico, cloruro de sodio, fenoles, aceites, productos de cloro, diferentes especies de algas, hongos, etc. (Muñoz, 2008).

b. Características Químicas.

- **Materia Orgánica.**

En las aguas residuales se encuentra materia orgánica compuesta por un 90% por carbohidratos, proteínas, grasas y aceites provenientes de excrementos y orina de los seres humanos, restos de alimentos y detergentes. Estos compuestos son biodegradables y pueden ser fácilmente transformados en compuestos más simples por acciones de microorganismos presentes en el agua que utilizan la materia orgánica para desarrollar su ciclo de vida (Orellana, 2005).

- **Potencial de Hidrogeno (pH).**

El potencial de hidrogeno o pH indica el grado de acidez, o basicidad del agua para determinar el grado de acidez que esta consta el agua, cuando es más bajo indica la existencia de volcamientos ácidos de, y si es alto estos son alcalinos (León Sanchez Rocío, 2010).

- **Oxígeno disuelto.**

Es la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua, en las aguas residuales frescas existe una pequeña cantidad de oxígeno disuelto, el mismo que desaparece rápidamente cuando comienza a descomponerse (Vázquez, 2013).

- **Fósforo.**

Es un compuesto químico presente en el agua anqué no presenta toxicidad en los seres vivos se encuentra presente en altas cantidades en las aguas residuales domésticas y aguas agrícolas de riego, causando el crecimiento excesivo de algas (Orellana, 2005).

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5).**

Es la cantidad de oxígeno requerida para estabilizar por acción bacteriano y aeróbica la materia orgánica degradable en un lapso de 5 días (Vázquez, 2013).

c. Características Biológicas.

- **Coliformes fecales.**

Son un grupo de microorganismos que se encuentran comúnmente presentes en los intestinos de los humanos y los animales, la mayoría de bacterias coliformes no causan enfermedades, sin embargo estas bacterias son usadas como indicadores en pruebas de aguas porque su presencia señalan que hay presencia de organismos que pueden causar enfermedades (Arcos et al., 2005).

- **Bacterias y virus.**

Las bacterias y los virus son eliminadas de los organismos de los seres humanos y los animales a través de la materia fecal, cuando estos microorganismos se introducen en el agua causan enfermedades a quienes utilizan el agua (Arcos et al., 2005).

4.3. Efectos de la contaminación en la salud y el ambiente.

La contaminación de las aguas es un gran problema que afecta al ambiente y la salud de las personas, según la (OMS, 2015) “1,6 millones de personas mueren cada año de enfermedades diarreicas (incluido el cólera) atribuibles a la contaminación de las aguas, y un 90% de esas personas son menores de 5 años, principalmente de países en desarrollo”.

En el ambiente la causa son eutrofización de las aguas, muerte de la flora y fauna acuática.

4.3.1. Eutrofización de cuerpos de agua.

Se llama eutrofización a los procesos biofísicos y biológicos que ocurren en un ecosistema acuático, derivados de un incremento en el suministro y disponibilidad de nutrientes, principalmente Nitrógeno y Fosforo, cuando hay exceso de estos compuestos el ecosistema entra en un proceso de estrés alterando

el estado de equilibrio, ocasionando que se produzcan procesos indeseables para el ecosistema (Uruguay, 2010).

4.3.2. Agotamiento del oxígeno en el agua.

El agotamiento de oxígeno ocurre cuando se ha producido la eutrofización del agua, provocando el crecimiento excesivo de algas en la superficie de los cuerpos de aguas, evitando que los rayos solares pasen a las profundidades de los mismos, provocando que las bacterias aerobias mueran y se reproduzcan las bacterias anaerobias que utilizan los nitratos y sulfatos en lugar de oxígeno, provocando la pérdida de oxígeno de las aguas y putrefacción de las mismas (Alvarado & Aguilar, 2009).

4.3.3. Daño a la salud.

La contaminación del agua presenta un gran problema en la salud humana, existen dos mecanismos de transmisión de enfermedades que pueden ser:

Directos: Por consumo del agua contaminada, procedentes de abastecimiento de poblaciones o de pozos contaminados, en otros casos por contacto cutáneo o mucoso (con fines recreativos, contacto ocupacional, etc.) pudiendo originar infecciones locales en la piel (Mondaca & Campos, 2005).

Indirectos: El agua actúa como un vehículo de infecciones, o bien puede transmitirse a través de alimentos contaminados por el riego con aguas residuales, entre las principales enfermedades más conocidas transmitidas por el agua contaminada son: enfermedades infecciosas parasitarias gastrointestinales, cólera, fiebre tifoidea, meningitis y hepatitis A y B (Mondaca & Campos, 2005).

4.4. Fitorremediación.

La Fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el

suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo (Carpena & Bernal, 2007).

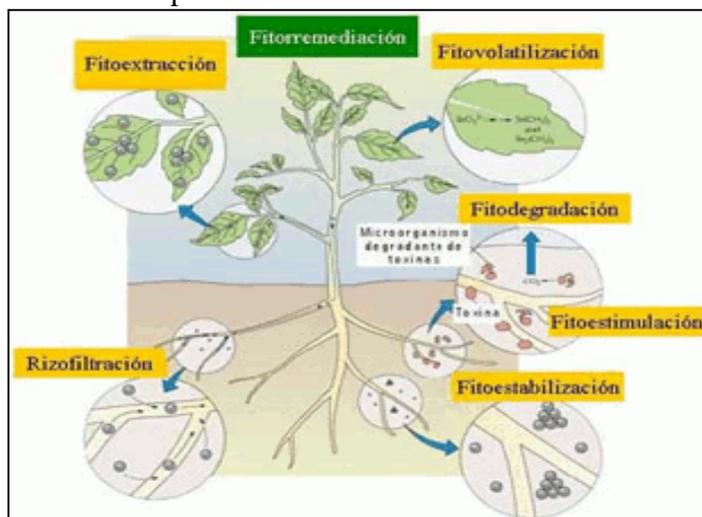
Las fitotecnologías se basan en los mecanismos fisiológicos básicos que tienen lugar en las plantas y en los microorganismos asociados a ellas, tales como: transpiración, fotosíntesis, metabolismo y nutrición (A. Delgadillo, 2008).

Estas fitotecnologías ofrecen numerosas ventajas en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad, por ejemplo, su amplia aplicabilidad y bajo costo (Delgadillo, 2011).

4.4.1. Tipos de Fitorremediación.

Las plantas son capaces de acumular contaminantes que se encuentran disueltos en el agua, estos contaminantes son degradados y absorbidos por las plantas mediante diferentes formas como se puede identificar en la siguiente figura:

Figura 1. Tipos de Fitorremediación, indicando en que zona de la planta se desarrolla el proceso.



Fuente: (ArgenBio, 2007). “Biorremediación: organismos que limpian el ambiente”.

Tabla 1. Tipos de Fitorremediación y contaminines que tratan.

Tipo	Proceso Involucrado	Contaminación Tratada
Fitoextracción	Las plantas se usan para concentrar metales en las partes cosechables (hojas y raíces)	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc
Rizofiltración	Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc isótopos radioactivos, compuestos fenólicos
Fitoestabilización	Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje a napas subterráneas o al aire.	Lagunas de deshecho de yacimientos mineros. Propuesto para fenólicos y compuestos clorados.
Fitoestimulación	Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos)	Hidrocarburos derivados del petróleo y poliaromáticos, benceno, tolueno, atrazina, etc.
Fitovolatilización	Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración.	Mercurio, selenio y solventes clorados (tetraclorometano y triclorometano)
Fitodegradación	Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos.	Municiones (<u>TNT</u> , <u>DNT</u> , <u>RDX</u> , nitrobenceno, nitrotolueno), atrazina, solventes clorados, <u>DDT</u> , pesticidas fosfatados, fenoles y nitrilos, etc.

Fuente: (Frers, 2008) “Uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales”.

4.4.2. Sistemas de Fitorremediación.

El sistema de Fitorremediación para el tratamiento de aguas residuales pueden ser de tres tipos (Núñez, Meas, Ortega, & Olguin, 2004).

- Humedales construidos: se define como un complejo de sustratos saturados, vegetación emergente y subemegente, animales y aguas que

simulan los pantanos naturales, estos humedales son diseñados y construidos por el hombre.

- Sistema de tratamiento con plantas acuáticas flotantes: estos sistemas de tratamiento pueden ser implementados en estanques construidos o naturales, donde se mantienen las plantas flotantes para tratar las aguas residuales por medio de las raíces, estas plantas por medio de las raíces absorben los contaminantes para utilizarlos como fuente de nutrientes o inmovilizarlo en las raíces o sus hojas.
- Sistema de tratamiento integral: es un sistema en el cual se realiza una combinación de los dos sistemas antes mencionados, estos sistemas son utilizados para lograr mayores resultados combinando los dos y acelerando los procesos debido a que las plantas son de diferente tipo y por ende realizan diferentes procesos.

4.4.3. Ventajas y desventajas de la Fitorremediación.

La Fitorremediación, por sí misma, muestra una serie de ventajas y desventajas o limitaciones en comparación con otras tecnologías convencionales pero son muy eficiente y más económicas que las tecnologías tradicionales para realizar procesos de descontaminación de sitios contaminados.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de la Fitorremediación.

Ventajas	Desventajas
<p>Se puede realizar in situ y ex situ</p> <p>Se realiza sin necesidad de trasportar el sustrato contaminado, con lo que se disminuye la diseminación de contaminantes a través del aire o el agua.</p> <p>Es una tecnología sustentable.</p> <p>Es eficiente tanto para contaminantes orgánicos como inorgánicos.</p> <p>No requiere personal especializado para su manejo.</p> <p>No requiere consumo de energía</p> <p>Sólo requiere de prácticas agronómicas convencionales.</p> <p>Es poco perjudicial para el manejo.</p> <p>Se puede emplear en agua, suelo, aire, y sedimentos.</p>	<p>En especies como los árboles o arbustos, la Fitorremediación es un proceso relativamente lento.</p> <p>Se restringe a sitios de contaminación superficial dentro de la rizósfera de la planta.</p> <p>El crecimiento de las plantas está limitado por concentraciones toxicas de contaminantes, por lo tanto, es aplicable a ambientes con concentraciones bajas de contaminantes.</p> <p>En el caso de la fitovolatilización, los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente.</p> <p>Los contaminantes acumulados en maderas pueden liberarse por procesos de combustión.</p> <p>No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras.</p>
	<p>La solubilidad de algunos contaminantes puede incrementarse, resultando en un mayor daño ambiental o migración de contaminantes.</p> <p>Se requieren áreas relativamente grandes.</p> <p>En sistemas acuáticos se puede favorecer la diseminación de plagas, tales como los mosquitos.</p>

Fuente: (Delgadillo, González, Prieto, Villagómez, & Acevedo, 2011). “Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación”

4.4.4. Función de las Plantas en los sistemas de Fitorremediación.

Según Núñez et al., (2004), los mecanismos involucrados en la remoción de contaminantes de aguas residuales son de tres tipos: físicos (sedimentación, filtración, adsorción, volatilización), químicos (precipitación, hidrólisis, reacciones de óxido-reducción o fotoquímicas) y biológicos (resultado del metabolismo microbiano, del metabolismo de plantas, de procesos de bioabsorción).

4.5. Criterios de selección de plantas para Fitorremediación.

La eficiencia de remoción de contaminantes durante el proceso de Fitorremediación dependerá principalmente de la especie de planta utilizada, el estado de crecimiento de las plantas, su estacionalidad y el tipo de metal a remover. Por lo mismo, para lograr buenos resultados, las plantas a utilizar deben tener las siguientes características (Núñez et al., 2004).

- Ser tolerantes a altas concentraciones de metales.
- Ser acumuladoras de metales.
- Tener una rápida tasa de crecimiento y alta productividad.
- Ser especies locales, representativas de la comunidad natural.
- Ser fácilmente cosechables.

4.6. Descripción de las Especies Vegetales.

Las especies que se utilizó durante el proceso de Fitorremediación fueron el Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes* Mart.) y la Lechuga de Agua (*Pistia stratiotes* L.), las cuales se las describe a continuación.

4.6.1. *Eichhornia crassipes* Mart. (Jacinto de Agua)

Figura 2. Morfología de la *Eichhornia crassipes* Mart.



Fuente: El Autor.

a. Taxonomía.

La *Eichhornia crassipes* Mart. (Jacinto de Agua) se encuentra dentro de la siguiente clasificación:

Tabla 3. Taxonomía del Jacinto de agua.

Reino	Vegetal
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Commelinales
Familia	Pontederiaceae
Genero	<u><i>Eichhornia</i></u>
Especie	<u><i>crassipes</i></u>
Clasificador	Mart. Solms

Fuente: El Autor.

b. Descripción.

La *Eichhornia crassipes* Mart. (Jacinto de agua) es una planta acuática de libre flotamiento en la superficie del agua con sus raíces sumergidas en el agua, es de climas cálidos y fríos, con flores lilas y azulados. Su reproducción es por medio de estolones se la considera como la octava planta de crecimiento más rápida del

mundo provocando la formación de colonias densas flotando en el agua (Robles, Asistente, & Madsen, 1884).

c. Composición química.

La composición principal del Jacinto de agua es el agua entre un 93 y 95% de la maza total.

Tabla 4. Composición química de *Eichornia crassipes* Mart.

Constituyente	% de masa seca.	
	Promedio	Intervalo
Proteína cruda	18,1	9,7-23,4
Grasa	1,9	1,6-2,2
Fibra	18,6	17,1-19,5
ceniza	16,6	11,1-20,4
Carbohidrato	44,8	36,9-51,6
NTK	2,9	1,6-3,7
Fósforo	0,6	0,3-0,9

Fuente: Romero Jairo, Tratamiento de aguas residuales, (2002).

d. Hábitat.

El Jacinto de agua puede vivir en aguas dulces trasquilas o de ligero movimiento a una temperatura de entre 17 y 28 °C, requiere iluminación intensa, debido a que sus raíces no se impregnan en la superficie no puede habitar en aguas corrientosas , es considerada como maleza acuática.

e. Distribución geográfica de la especie.

El Jacinto de agua es originario de los cursos de agua de la cuenca del Amazonas, en América del Sur se ha distribuido prácticamente por todo el mundo ya que su aspecto ornamental originó su exportación a estanques y láminas acuáticas de jardines, en muchos países tropicales y subtropicales es considerada como una maleza.

En Ecuador el Jacinto de agua se encuentra distribuido en las provincias de la costa, en el oriente Ecuatoriano, es común encontrarlo en lagos y lagunas.

f. Reproducción.

Es una planta con flores que se reproduce sexualmente originando un fruto en forma de capsula, puede multiplicarse por este procedimiento, pero su prodigiosa proliferación y la reproducción artificial más sencilla se efectúa por la división de los estolones que los plantones emiten durante la estación favorable (Ecuared, 2015).

g. Parámetros de crecimiento.

El crecimiento del Jacinto de agua depende de las condiciones donde se desarrolle la especie, entre menor escasez de elementos fertilizantes se retrasa el crecimiento, entre mayor concentración de nutrientes la planta se desarrolló a su máximo límite. Según (Jaramillo Jumbo & Flores Campoverde, 2012) para el crecimiento de planta se necesita los siguientes parámetros:

- Requiere iluminación intensa o estar en semisombra.
- Necesita una temperatura de entre 25 a 30°C.
- La carga orgánica expresada en términos de DBO₅ puede variar entre 1 y 30 ppm al día (10 y 300Kg/ha día.
- Necesitan un pH de entre 6,5 -7,5
- El crecimiento del Jacinto de agua es favorecida por el agua rica en nutrientes, en especial el nitrógeno, fósforo y potasio.

4.6.2. *Pistia stratiotes* L. (Lechuga de Agua)

Figura 3. Morfología de *Pistia stratiotes* L. Royle.



Fuente: El Autor.

a. Taxonomía.

La especie *Pistia stratiotes* L. (Lechuga de agua) se encuentra dentro de la clasificación.

Tabla 5. Taxonomía de *Pistia stratiotes* L

Reino	Vegetal
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Alismatales
Familia	<i>Araceae</i>
Género	<i>Pistia</i>
Especie	<i>stratiotes</i>
Clasificador	L. Royle

Fuente: El Autor.

b. Descripción.

La *Pistia stratiotes* L. es una planta flotante, con hojas gruesas y suaves abovadas o espatuladas que forma una receta. Sus hojas pueden alcanzar 14cm de largo, con venas paralelas y pelos cortos que atrapan burbujas de aire, sus raíces sumergidas cuelgan de las hojas.

c. Composición química.

La composición principal del *Pistia stratiotes* L. es el agua entre un 93 y 95% de la maza total.

Tabla 6. Composición química de *Pistia stratiotes* L.

Constituyente	% de masa seca.	
	Promedio	Intervalo
Proteína cruda	18,1	9,7-23,4
Grasa	1,9	1,6-2,2
Fibra	18,6	17,1-19,5
ceniza	16,6	11,1-20,4
Carbohidrato	44,8	36,9-51,6
NTK	2,9	1,6-3,7
Fósforo	0,6	0,3-0,9

Fuente: (Romero J, 2002). Tratamiento de aguas residuales.

d. Hábitat.

La *Pistia stratiotes* L. vive en los ríos, zonas húmedas y otras masas de agua, prefiere temperaturas cálidas entre 22 y 30°C, aunque puede vivir entre 15 y 35 °C, se adapta a aguas ligeramente ácidas de entre 5,5 a 7,2 unidades.

e. Distribución geográfica de la especie.

Se la puede encontrar en las regiones tropicales y sub tropicales del mundo, en Ecuador se encuentra distribuida con mayor frecuencia en la Región Amazónica y la costa Ecuatoriana.

f. Reproducción.

Es una planta con flores que se reproduce sexualmente originando un fruto en forma de capsula, puede multiplicarse por este procedimiento, pero su prodigiosa proliferación y la reproducción artificial más sencilla se efectúa por la división de los estolones que los plantones emiten durante la estación favorable (Ecuared, 2015).

g. Parámetros de crecimiento.

➤ Temperatura.

La *Pistia stratiotes* L. en comparación con otras plantas acuáticas, son muy tolerantes a un amplio rango de temperatura. Estudios realizados por Docaur (1986) señala que un rango óptimo de temperatura para diferentes especies es de 25 a 31°C.

➤ Iluminación.

La radiación solar requerida por la *Pistia stratiotes* L. es en un rango visible, esta absorbe la energía a través de los diferentes pigmentos y la usa como fuente de energía para regular la foto síntesis.

4.6.3. Experiencias realizadas en Fitorremediación.

Mariuxi Jaramillo y Edison Flores (2012) Realizaron uno proyecto de tesis titulado: “Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna Minor* L (Lenteja de Agua), y *Eichhornia crassipes* Mart. (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera” en la cual determinaron que la utilización de las macrofitas acuáticas para la absorción de mercurio es muy provechoso aplicado en la producción minera o cualquier otra actividad por su bajo costo y por no presentar contaminación al medio ambiente, obteniendo buenos resultados. De la misma manera determinaron que la capacidad de absorción de las macrofitas acuáticas al mercurio fue de un 29,5% por lo que afirman que es eficiente para remover elementos pesados del agua.

Carlos Merino (2010), realizo un trabajo de titulación denominado “Estudio de selección de tecnologías de tratamiento de aguas residuales domésticas aplicadas a las cabeceras cantonales con poblaciones menores a 5000 habitantes mediante métodos naturales de la provincia de Loja”, en la cual determinan que el impacto de implantación de los tratamientos naturales de aguas residuales son moderados o bajos.

4.7. Marco Legal.

Para la realización del presente trabajo de titulación se basó en el siguiente marco legal aplicable.

4.7.1. Constitución de la República del Ecuador.

Constitución de la República Del Ecuador, Registro Oficial No. 449 del 20 de Octubre del 2008.

En la constitución de la república se presentan artículos relacionados con la protección, control y mejoramiento de los recursos naturales.

TÍTULO II

DERECHOS.

Capítulo segundo Derechos del buen vivir.

Sección primera Agua y Alimentación.

Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

Sección segunda Ambiente sano.

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la preservación del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

TITULO II

Capítulo Séptimo

Derechos de la naturaleza.

Art 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructurales, funcionales y procesos evolutivos.

Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observan los principios establecidos en la Constitución.

Art 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.

En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas.

TÍTULO VII

RÉGIMEN DEL BUEN VIVIR.

Capítulo segundo Biodiversidad y recursos naturales.

Sección tercera Patrimonio natural y ecosistema.

Art. 404.- El patrimonio del Ecuador único e invaluable comprende, entre otras, las formaciones físicas, biológicas y geológicas cuyo valor desde el punto de vista ambiental, científico, cultural o paisajístico exige su protección, conservación, recuperación y promoción. Su gestión se sujetara a los principios

y garantías consagradas en la Constitución y se llevara a cabo de acuerdo al ordenamiento territorial y una zonificación ecológica, de acuerdo a la ley.

Art. 406.- El estado regulará la conservación, manejo y uso sustentable, recuperación, y limitaciones de dominio de los ecosistemas frágiles y amenazados; entre otros, los páramos, humedales bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos y manglares, ecosistemas marinos y marinos-costeros.

Capítulo segundo Biodiversidad y recursos naturales.

Sección sexta Agua.

Art. 411.- El estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas en especial en la fuentes y zonas de recarga de agua.

La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

4.7.2. Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.

Publicada bajo registro oficial Suplemento 418 del 10 de septiembre de 2004.

Capítulo II.

De la prevención y control de la contaminación de las aguas.

Art. 6.- Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la flora y a las propiedades.

**4.7.3. Ley Orgánica de recursos Hídricos, usos y aprovechamiento del agua.
Segundo Suplemento Registro Oficial n° 305, Miércoles 6 de agosto de 2014.**

El la ley Orgánica del recurso Hídrico se sustentó en los siguientes artículos:

TITULO III DERECHOS, GARANTIAS Y OBLIGACIONES.

Capítulo I Derecho humano al agua.

Art. 60.- Libre acceso y uso del agua. El derecho humano al agua implica el libre uso del agua superficial o subterráneo para consumo humano, siempre que no se desvíen de su cauce ni se descarguen vertidos ni se produzca alteración en su calidad o disminución significativa en su calidad ni se afecte a derechos de terceros y de conformidad con los límites y parámetros que establezcan la Autoridad Ambiental Nacional y la Autoridad Única del Agua.

Capitulo III Derechos de la naturaleza.

Art. 64.- Conservación del agua.- La naturaleza o Pacha Mama tiene derecho a la conservación de las aguas con sus propiedades como soporte esencial para todas las formas de vida.

En la conservación del agua, la naturaleza tiene derecho a:

- a. La protección de sus fuentes, zonas de captación, regulación, recarga, afloramiento y cauces naturales de agua, en particular, nevados, glaciares, páramos, humedales y manglares.
- b. El mantenimiento del caudal ecológico como garantía de preservación de los ecosistemas y la biodiversidad.
- c. La preservación de la dinámica natural del ciclo integral del agua o ciclo hidrológico.
- d. La protección de las cuencas hidrográficas y los ecosistemas de toda contaminación.

- e. La restauración y recuperación de los ecosistemas por efecto de los desequilibrios producidos por la contaminación de las aguas y la erosión de los suelos.

4.7.4. Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA).

Decreto Ejecutivo 3516, Publicado en el Registro Oficial N° E2, de 31 de marzo 2003: Acuerdo No.061 Reforma del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Lunes 4 de Mayo del 2015.

Para la realización de este trabajo se tomó en consideración el libro VI de la anexo 1 para identificar los límites permisibles de las descargas de agua a un cuerpo de agua dulce.

- **LIBRO VI. De Calidad Ambiental.**

ANEXO 1 “Norma de calidad ambiental de descargas de efluentes: recurso agua. La presente norma técnica ambiental revisada y actualizada es dictada bajo el amparo de la ley de la Gestión Ambiental y del Reglamento de ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

Tabla 10. Límite de descargas de a un cuerpo de agua dulce.

4.7.5. Política Ambiental.

En el Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017, Objetivo 7 Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global.

7.6. Gestionar de manera sustentable y participativa el patrimonio hídrico, con enfoque de cuencas y caudales ecológicos para asegurar el derecho humano al agua

4.8. Marco Conceptual.

Aguas residuales.- Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua (Mora & Araya, 2008).

Aguas Residuales Domésticas.- Son aquellas de origen residual y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros provenientes de la actividad humana (Cuenca et al., 2012).

Aguas Residuales Industriales.- Son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energía, agroindustrial, entre otras (OEFA, 2014).

Autodepuración de aguas.- La autodepuración de las aguas es un conjunto de procesos físicos-químicos y biológicos, que se da en el curso del agua de modo natural y que provocan la destrucción de materias extrañas incorporadas a un río. Principalmente son las bacterias aerobias, que consumen materia orgánica con ayuda del oxígeno disuelto en el agua. Además, hay que añadir las plantas acuáticas, que asimilan algunos componentes en forma de nutrientes, así como otros procesos fotoquímicos, diluciones, etc, (Lorenzo, Llanes, Fernández, & Bataller, 2009).

Contaminación de Ríos.- Es la acción o efecto de introducir en el agua, elementos, compuestos, materiales o formas de energía, que alteran la calidad de ésta para usos posteriores, que incluyen uso humano y su función ecológica. La contaminación del agua altera sus propiedades físico-químicas y biológicas de forma que puede producir daño directo o indirecto a los seres humanos y al medio ambiente (Ortiz, 2009).

Coliformes Totales.- son un grupo de microorganismos que se encuentran comúnmente en el suelo, aguas, sobre superficie y en las plantas, también están presentes en los intestinos de animales y humanos, la mayoría de las bacterias coliformes probablemente no causan una enfermedad. Sin embargo, estas

bacterias son usadas como indicadoras en pruebas de agua porque su presencia señala que organismos que pueden causar enfermedades (patógenos) también pueden estar en el agua, la presencia de algunos tipos de bacterias coliformes en el agua señala la presencia de excremento o desechos de alcantarilla (Arcos et al., 2005).

Coliformes fecales.- se denominan termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas. Esta denominación está ganando más adeptos actualmente, pues sería una forma más apropiada de definir este subgrupo que se diferencia de los coliformes totales por la característica de crecer a una temperatura superior, la capacidad de reproducción de los coliformes fecales fuera del intestino de los animales homeotérmicos es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad, etc (Arcos et al., 2005).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).- es una medida indirecta de evaluar la cantidad de materia orgánica que se encuentra en el agua residual, por la carbonización de sustancias orgánicas removible, esta prueba se usa para determinación de los requerimiento de oxígeno para la degradación de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales y en general residuales (Soto, Gutiérrez, & Ch, 2012).

Demanda Química de Oxígeno (DQO).- puede considerarse como una medida aproximada de la demanda teórica de oxígeno es decir la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica y oxidable presente en al agua residual, por lo tanto se la considera una medida representativa de la contaminación orgánica de una efluente siendo un parámetro a controlar dentro de las distintas normativas y vertidos y que nos da una idea muy real del grado de toxicidad del vertido (Museo Nacional De Ciencias Naturales, 2010).

Eutrofización del agua.- la eutrofización es el proceso de crecimiento incontrolado de algas y malezas acuáticas en las aguas, provocado por fosfatos, nitratos y otros fertilizantes que provienen de las actividades humanas que

producen contaminantes que son vertidos en las aguas, al aumentar los nutrientes en presentes en el agua las algas que forman el plancton se sobrealimentan y empiezan a aumentar a gran velocidad, las principales manifestaciones de este fenómeno son: adicionalmente la coloración verde-grisácea del agua, la producción de malos olores y la disminución en las concentraciones de oxígeno disuelto (Romero, 2010).

Macrófitas.- Se determina con este término las plantas que se hallan entre la vegetación acuática, las cuales presentan una serie de beneficios tanto para los humanos como para el planeta tierra y para todos los animales (Delgadillo et al., 2011).

Fitorremediación.- Es el proceso mediante el cual se aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatizar o estabilizar contaminantes presentes en el agua, suelo y aire (Delgadillo et al., 2011).

Oxígeno disuelto.- el oxígeno disuelto es un parámetro físico, es muy importante para los peces y la vida acuática, si presenta altos niveles de oxígeno disueltos en el agua se sostiene una mayor diversidad de especies y un ecosistema saludable, los niveles bajos pueden debilitar o causar la muerte a peces y a la vida acuática (González, 2011).

pH.- el pH es un número que describe el número de iones ácidos (iones de hidrógeno) presentes en el agua. El agua pura tiene un pH de 7.0 esto significa que el agua contiene 1×10^7 moléculas de iones de hidrógeno por litro. Como se puede ver, trabajar con el pH es más fácil que usar los números de concentraciones. Mientras que los iones de ácido aumentan por un factor de diez, pH 4 es ligeramente ácido, mientras que pH 2 y más abajo es fuertemente ácido. Las sustancias que tienen un pH mayor a 7 son consideradas soluciones alcalinas. Cuando las plantas acuáticas crecen rápidamente en un ambiente de agua dulce, se agrega dióxido de carbono todos los días por la fotosíntesis del que se libera cada noche por la respiración, como consecuencia los niveles de pH podrían elevarse a valores que la vida marina no pueda tolerarla. Un ecosistema de agua

dulce alcanza niveles bajas de pH cuando llega a 5 o menos, a medida que el pH comienza a disminuir, las formas básicas de alimento mueren. Por ejemplo los insectos que actúan como fuente de comida para los peces no podrían reproducirse y dejarían de sobrevivir. Mientras el pH siga bajando los peces no podrán reproducirse, los peces juveniles comienzan a morir y los peces maduros mueren sofocados (Zamora, Rodriguez, Turre, & Yendis, 2008).

Sólidos Totales disueltos.- La medida de sólidos totales disueltos (STD) es un índice de la cantidad de sustancias disueltas en el agua y proporciona una indicación general de la calidad química. Los sólidos es definida también como el resultado de residuos filtrables en el agua en (mg/l) los principales aniones inorgánicos disueltos en el agua son: carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos. Los principales cationes son el calcio, magnesio, sodio, potasio, amonio, etc.

E. MATERIALES Y MÉTODOS.

5.1. Materiales.

5.1.1. Equipos.

- GPS.
- Cámara fotográfica.
- Termómetro de alcohol de -50 a +250
- pH chimetro.
- Computadora portátil.

5.1.2. Herramientas.

- Cinta métrica de 10m.
- Palas de mano.
- Machetes.
- Cierra de mano.
- Barreta.

5.1.3. Materiales.

- Guantes de caucho.
- Balde de 5lt
- Pega tuvo.
- Plástico.
- Mascarillas.
- Botas de caucho.
- Fundas plásticas.

5.2. Métodos.

5.2.1. Ubicación del área de estudio.

El trabajo investigativo se lo desarrollo en los efluentes del sistema de alcantarillado de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas Provincia de Orellana, en las siguientes coordenadas:

Datum WGS84 Zona 17 S	
X	Y
971371,91	9959950,29

5.2.2. Ubicación Política.

La Parroquia Unión Milagreña se encuentra ubicada en el Cantón Joya de los Sachas, perteneciente a la Provincia de Orellana, en el kilómetro 12,5 vía Sacha-Pompeya. Esta entre los 250 y 300msnm y tiene una superficie de 137.5 km².

- **Límites:**

Norte: Parroquia Joya de los Sachas.

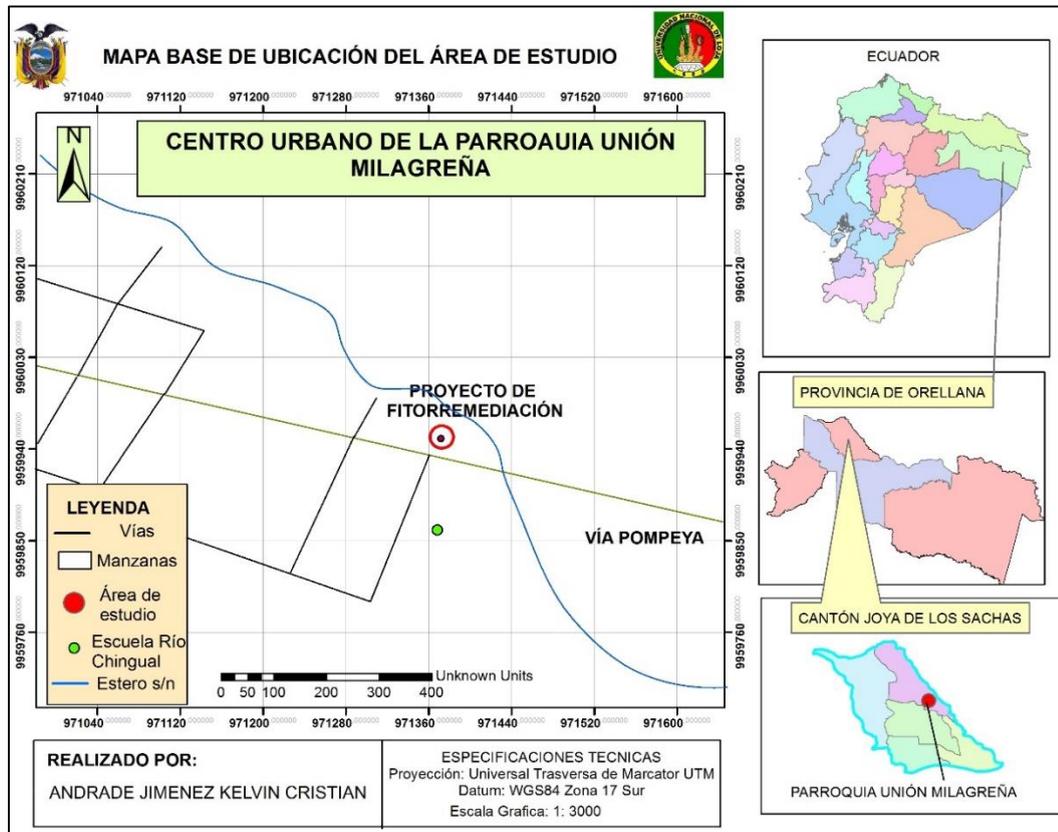
Sur: río Napo.

Este: Parroquia Pompeya.

Oeste: Parroquia Joya de los Sachas.

5.2.3. Ubicación Geográfica.

Figura 4. Ubicación del área de estudio.



Realizado por: El Autor.

5.3. Aspectos físicos y climáticos.

5.3.1. Aspectos físicos.

a. Geomorfología.

Geomorfológicamente la zona donde se asienta la parroquia Unión Milagreña se encuentra localizada en la llanura amazónica, razón por la cual las alturas varían entre los 250 y 300 msnm (POTP UNIÓN MILAGREÑA, 2014).

b. Geológica.

La formación geológica determinada para el área de la Parroquia Unión Milagreña es de tipo continental, la cual corresponde a la formación Chambira (POTP UNIÓN MILAGREÑA, 2014).

c. Hidrología.

El sistema de drenajes naturales de la Parroquia tiene como principales elementos varios ríos que el territorio de Unión Milagreña con dirección sur-este, para poder incorporar sus caudales al Río Napo. La mayor cantidad de ríos tiene su nacimiento en territorios del Cantón Joya de los Sachas, ubicados al norte de la parroquia, razón por la cual no se identifican microcuencas al interior de los límites parroquiales; sólo se identifica el nacimiento del Río Quillupacuy Grande, al noreste de la parroquia, el cual se desarrolla con sentido sur-este, internándose en la parroquia Pompeya (POTP UNIÓN MILAGREÑA, 2014).

5.3.2. Aspectos climáticos.

a. Clima.

Según el POTP UNIÓN MILAGREÑA (2014). “El clima de la Parroquia Unión Milagraña es muy húmedo tropical”.

b. Precipitaciones.

Las precipitaciones en la Parroquia Unión Milagreña presentan un promedio mensual de 275.64mm de lluvia distribuidos durante todo el año (POTP UNIÓN MILAGREÑA, 2014).

c. Temperatura.

La temperatura promedio de la Parroquia presenta valores entre 25 y 26 °C en el período analizado 2002-2011, pero tiene su máximo valor registrado en el mes de Octubre con 26,33 °C y de 25,10°C en los meses de Mayo y Julio como los más fríos, fuente Estación Meteorológica de la Hacienda Palmar del Río, (2011) citado por (POTP UNIÓN MILAGREÑA, 2014).

d. Evaporación.

La evaporación potencial media anual es de 1120,9 mm con un promedio mensual de 93,4 mm (POTP UNIÓN MILAGREÑA, 2014).

e. Dirección y velocidad del viento.

Según los datos descritos en el POTP indican que la dirección del viento predominante es hacia el sureste manteniendo velocidades bajas en los datos tomados, con una velocidad máxima de vientos de 37 km/hora en los meses de Enero y la mínima de registro en los meses de Mayo, Julio, Agosto y Octubre con 20km/hora (POTP UNIÓN MILAGREÑA, 2014).

5.4. Tipo de investigación.

El tipo de investigación aplicada a este proyecto fue de tipo experimental, mediante la cual se realizó la manipulación de las variables no comprobadas en condiciones rigurosamente controladas, como fue la obtención de datos mediante los análisis físicos-químicos realizados al agua, para determinar el grado de depuración de las aguas residuales se implementó macrofitas como agentes depuradores.

5.5. Realizar la caracterización de las aguas residuales procedentes de los taques sedimentores del sistema de alcantarillado de la Parroquia Unión Milagreña.

5.5.1. Toma de muestras del agua para análisis físico-químico.

5.5.2. Localización del Sitio de muestreo.

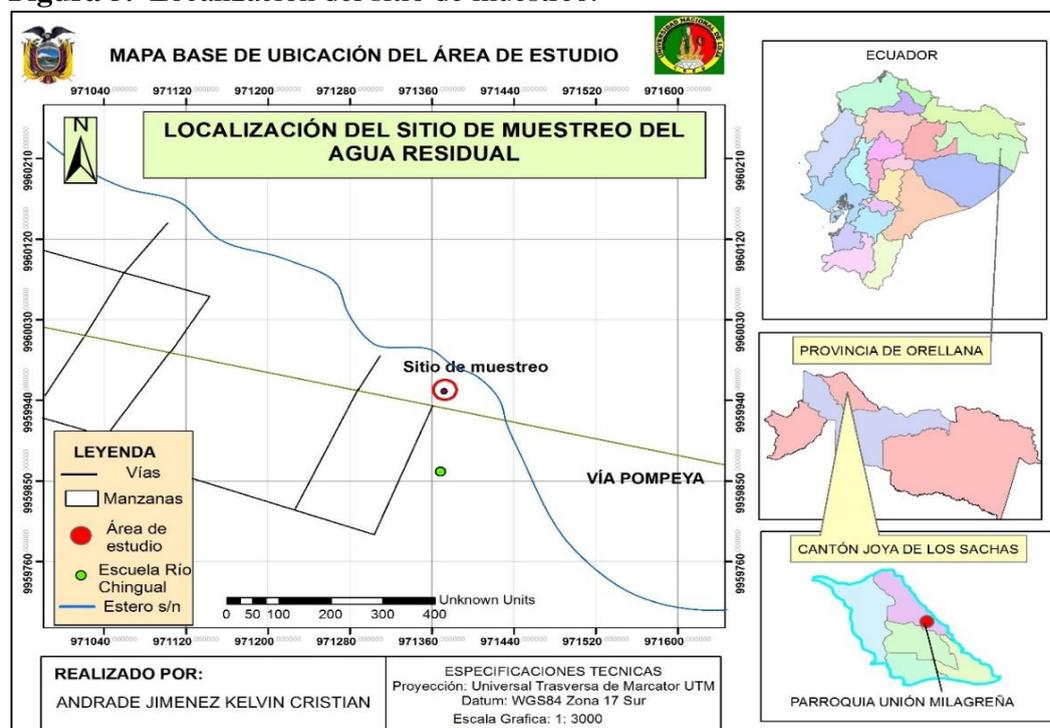
El muestreo se lo realizo en la Parroquia Unión Milagreña ubicada a 12.5 Kilómetros del cantón Joya de los Sachas, en las descargas del sistema de alcantarillado, en las coordenadas:

Tabla 7. Coordenadas del sitio de muestreo del agua residual.

Datum WGS84 Zona 17 S	
X	Y
971371,91	9959950,29

Realizado por: El Autor.

Figura 5. Localización del sitio de muestreo.



Realizado por: El Autor.

5.5.3. Cadena de Custodia.

La cadena de custodia registra y controla las actividades realizadas en el sitio de descarga, también nos sirve para controlar el traslado de la muestra hacia el laboratorio, incluye información ver Anexo (1);

- Identificación del sitio de muestreo.
- Identificación de las muestras.
- Código de envases.
- Horario de transporte (salida llegada).
- Medición de los parámetros (temperatura y pH) en el sitio del monitoreo.
- Recepción del personal del laboratorio.

5.5.4. Frecuencia de muestreo.

Se realizó al principio una muestra como testigo y al final dos para comparar la eficiencia de cada uno de los procesos de Fitorremediación.

El monitoreo del caudal para el diseño del sistema de Fitorremediación conjuntamente con la temperatura y el pH se lo realizó durante seis días un total de 30 lecturas (5 por día) Ver anexo (13).

5.5.5. Recolección de muestras.

La recolección de la muestra se realizó de forma manual tomando directamente los vertidos de las aguas del sistema de alcantarillado, en los embaces proporcionados por el laboratorio.

El método de muestreo fue desarrollado de acuerdo a los procedimientos descritos por la norma Mexicana NMX-AA-003-1980 Aguas Residuales-Muestreo, al no haber una norma ecuatoriana establecida, el procedimiento fue el siguiente:

- Se enjuagó el recipiente varias veces.
- Se introdujo el recipiente directamente en la descarga.
- Se identificó la muestra indicando: código, fecha, hora de muestreo, temperatura, pH, nombre del responsable de la muestra, lugar de muestreo, datos climáticos.

5.5.6. Transporte de la muestra.

El transporte de la muestra se realizó con extremo cuidado, a fin de evitar todo tipo de pérdidas o contaminación de las mismas por otras sustancias, se las colocó en un cooler de espuma con hielo seco a una temperatura de 2 °C y 8°C tapada y sellada con la finalidad de evitar la exposición a la luz que nos pueda minimizar o maximizar la fotodegradación de algunos compuestos.

5.5.7. Toma de la muestra de especies para examen bromatológico.

La obtención de las muestras de las plantas se realizó con mucho cuidado de acuerdo al Guía para de Análisis Bromatológico de muestras de forrajes propuesto por García (2011), tomando en cuenta las más representativas al azar, se las tomo forma completas sin estropear las raíces y las hojas, para luego ser colocadas en una funda de Ziploc y trasladadas al laboratorio.

5.5.8. Medidas de seguridad.

Debido a la procedencia de las descargas, se tomaron medidas de seguridad para evitar accidentes o problemas a la salud al tener contacto con el agua residual, entre las medidas básicas de seguridad se encuentran:

- Protección respiratoria, uso de mascarilla.
- Ropa de protección camisa manga larga o impermeable.
- Accesorios, botas de caucho, gafas y guantes.

5.6. Diseñar un sistema de tratamiento para el proceso de Fitorremediación de aguas residuales domesticas mediante el empleo de Ehichhornia crassipes Mart. (Jacinto de agua), Pistia stratiotes L. (Lechuga de agua) como agente depurador.

5.6.1. Monitoreo del muestreo del agua residual doméstica.

Para diseñar el sistema de Fitorremediación se realizó el monitoreo del caudal aplicando el método volumétrico descrito por Rojas (2006), durante seis días continuos en diferentes horas con la finalidad de obtener un caudal promedio y se utilizó la siguiente información ver Anexo (13):

- Localización geográfica de la descarga.
- Tipo de muestreo.
- Medición de parámetros In Situ (Ph, Temperatura).

5.6.2. Diseño del sistema de Fitorremediación.

Para el diseño del sistema de Tratamiento de aguas residuales domesticas se basó en la metodología planteada por Borja, (2011), Fuentes, Esther, & Ludwin, (2011). Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales, el Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000. Citado por: (Vizuite, 2013), la Organización Panamericana de la Salud (2005).

a. Datos de campo alcantarillado.

- **Medición de Caudal (l/s).**

La determinación del caudal será utilizada para determinar las dimensiones del sistema de Fitorremediación este es calculado mediante la siguiente formula:

$$Q = V * t \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

Donde:

Q= Caudal (l/s).

V= volumen del recipiente (l/s).

t= tiempo (s).

- **Determinación de la población futura.**

Para el diseño del sistema de Fitorremediación es necesario conocer el crecimiento de la población, esto se realizó mediante metodologías de proyección.

Tomando en cuenta que solo 480hab, del centro urbano de la parroquia tiene acceso al sistema de alcantarillado, y el total de la población es 1697 habitantes.

Para determinar la población futura se toma en cuenta la población actúan (Pac), en índice de crecimiento (i) y el intervalo de tiempo que se va a calcular (TF-Tve), tal com lo esplica la siguiente formula.

Método Geométrico.

$$Pf = Pac(1 + i)^{TF-Tve} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

- **Caudal de diseño.**

La determinación de caudal de diseño se realiza en base a la población futura por el consumo de agua diaria, para poder diseñar la planta de tratamiento con una proyección de 30 años.

$$Q_{promedio} = \frac{Pf * \text{dotación de agua} \frac{l}{hab} \text{ día}}{1000 \frac{l}{m^3}} \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

Donde:

Pf= Población futura.

5.6.2.1. Dimensionamiento.

Para cálculo de la rejilla es muy importante determinar la velocidad con la cual llega el agua residual hasta las instalaciones donde va a ser tratada, para luego realizar una comparación con parámetros de velocidad y abertura de las rejillas

Ecuación de Manning.

$$v = \frac{1}{n} Rh^{1/3} S^{1/2} \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

Dónde:

V= Velocidad del agua (m/s).

n= Coeficiente de Manning (0,013).

Rh= Radio Hidráulico (m).

S= Gradiente hidráulico (%).

a. Cálculo de la suma de las separaciones entre barras para las rejillas de solidos gruesos.

La suma de las separaciones entre las rejillas será utilizada para determinar el número de barrotes que deben ser colocados en las rejillas, esto se calcula mediante la siguiente formula.

$$bg = \left(\frac{b - e}{S + e} + 1 \right) e \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

Donde:

bg= Suma de separación entre barras (m).

b= Ancho del canal de estrada (propuesto) (m).

e= Separación entre barras (mm).

S= Espesor de las barras (mm).

b. Calculo del área entre barras.

El área entre las barras nos sirve para determinar el espacio que debe quedar para el paso de agua para esto se utiliza la siguiente formula:

$$\text{Hipotenusa} = \frac{h}{\text{sen } b} \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

Donde:

h= Altura efectiva (m).

b= Ancho del canal (m).

c. Cálculo de velocidad del agua a través de las rejillas.

El cálculo de la velocidad con que pasa el agua a través de las rejillas sirve para determinar el área que debe quedar entre las rejillas para el paso de agua, para esto se utiliza la siguiente formula.

$$v = \frac{Q}{A} \quad (\text{Ecuación 2.7})$$

Donde:

v= Velocidad de la rejilla (m²/s)

Q= Caudal de diseño (m³/s)

A= Área libre (m²/s).

d. Cálculo de número de barrotes.

El cálculo del número de barrotes se lo debe determinar para el diseño de la rejilla de sólidos gruesos, para esto se utiliza la siguiente fórmula.

$$n = \frac{bg}{e} - 1 \quad (\text{Ecuación 2.8})$$

Donde:

n= Número de barrotes (und)

bg= Suma de separación entre barrotes (mm)

e= Separación entre barras (mm)

Se detalla la información de rejillas para el volumen que pueda soportar y qué tipos de materias puedan soportar.

Tabla 8. Volumen de materias retenida en las rejillas.

Separación Libre Entre Barras (mm)	Volumen Retenido. (l/hab.año)
3	15 – 25
20	5 – 10
40 - 50	2 - 3

Fuente: Manual de depuración la Uralita

Las aguas residuales domésticas llegarán a la planta de tratamiento por gravedad, conducidas por el sistema de alcantarillado, hasta el lugar donde será construida la planta de tratamiento de aguas domésticas, los materiales sólidos sólidos y bastos, tales como cáscaras de frutas, palos, papel, plásticos que frecuentemente e inexplicablemente se encuentran en el sistema de alcantarillado, estos materiales

son separados pasando las aguas a través de las rejillas, hechas con varilla de hierro paralelas.

El propósito de los dispositivos de cribado es proteger a los dispositivos subsiguientes de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Tabla 9. Características de las materias retenidas en las rejillas.

Características	Porcentaje %
Contenido de humedad	15 – 25
Contenido de materia orgánica	5 – 10
Contenido de materia inerte	2 – 3

Fuente: Manual de depuración la Uralita, citada por (Vizuet, 2013).

La velocidad del paso de agua a través de las rejillas debe ser suficiente para que las materias en suspensión se apliquen sobre ella sin que provoque una gran pérdida de carga de agua ni atascamiento en los barros.

5.6.2.2. Condiciones para el diseño de las rejillas.

La información para el diseño de las rejillas de espesor grueso o fino se presenta en la Tabla (10).

Al acumularse el material retenido por las barras se produce un aumento en el nivel de agua llegada, las rejas deben limpiarse cuando se llega al nivel máximo definido, la acumulación excesiva de material retenido es inconveniente porque ocasiona que las partículas de menor tamaño de la separación entre barras no puedan pasar a través de ellas, se toma los siguientes criterios.

Tabla 10. Consideraciones de diseño de rejillas.

Parámetros de diseños	Unidades	Rango	Rejillas gruesa	Rejilla Fina
Espaciamiento entre barras	mm	15-40	40	20
Diámetro de las barras	Pulgada	3/8-1 ½	½	½
Velocidad de aproximación	m/s	0,3-0,6	0,45	0,5
Velocidad a través de las barras	m/s	0,3-0,6	0,6	0,6
Ángulo de inclinación	Grados	40-45	45	45

Fuente: Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000. Citado por: (Vizuet, 2013).

Elaborado por: El Autor.

Las pérdidas hidráulicas a través de las rejillas son una función de la velocidad de aproximación del fluido a través de los barrotes. Las pérdidas de carga a través de una rejilla se puede estimar por medio de la siguiente ecuación.

$$h_f = \frac{1}{0,7} \left(\frac{V^2 - v^2}{2 * g} \right) \text{ (Ecuación 2.9)}$$

Donde:

$h_f = 1/0,7$ Coeficiente empírico que incluye pérdidas de turbulencia y formación de remolinos.

$V^2 =$ Velocidad de flujo a través del espacio entre las barras de la reja (m/s)

$v^2 =$ Velocidad de aproximación del flujo hacia la reja (m/s)

$g =$ Aceleración de la gravedad (m/s^2).

Las pérdidas de carga de agua calculada solo puede ser aplicada en caso de que las rejillas estén limpias, caso contrario las pérdidas de carga aumentan en la medida en que las rejillas se van saturando con los residuos retenidos.

5.6.2.3.Desarenador.

El desarenador retiene las arenas propiamente dichas, a las gravas, cenizas y cualquier otro material pesado cuya velocidad de sedimentación o peso específico sea considerablemente mayor al de los sólidos orgánicos susceptibles a la descomposición presentes en el agua residual. Las arenas se remueven de las aguas residuales para:

- Reducir la forma de depósito de sólidos pesados en unidades y conductos aguas abajo.
- Reducir la frecuencia de limpieza de los digestores por causa de acumulación excesiva de arenas.

El desarenador debe ser ubicado después de las unidades que remueven los sólidos gruesos y antes del tanque de sedimentación primario.

5.6.2.4. Desarenador rectangular de flujo horizontal.

Los desarenadores rectangulares de flujo horizontal, tienen por objeto separar del agua cruda la arena y partículas en suspensión gruesas, con el fin de evitar se produzcan depósitos en las obras de conducción y evitar sobrecargas en los procesos posteriores del tratamiento, el desarenador normalmente remueve partículas superiores a 0,2mm.

Tabla 11. Relación entre diámetros, partículas, velocidad y sedimentación de arenas.

MATERIAL	LÍMITE DE LAS PARTÍCULAS (cm)	DE REYNOLDS	Vs	RÉGIMEN	LEY APLICABLE
Grava	> 1.0	> 10.000	100	Turbulento	$V_s = 1.82 \sqrt{dg \left(\frac{\rho_a - \rho}{\rho} \right)}$ Newton Ecuación (6,9)
Arena Gruesa	0.100	1000	10.0	Transición	$V_s = 0,22 \left(\frac{\rho_a - \rho}{\rho} \right)^{2/3} \left[\frac{d}{(\mu/\rho)} \right]$ Allen Ecuación (6,10)
	0.080	600	8.3		
	0.050	180	6.4		
	0.050	27	5.3		
	0.040	17	4.2		
	0.030	10	3.2		
	0.020	4	2.1		
Arena Fina	0.015	2	1.5	Laminar	$V_s = \frac{1}{18} g \left(\frac{\rho_a - \rho}{\mu} \right) d^2$ Stokes Ecuación (6,11)
	0.010	0.8	0.8		
	0.008	0.5	0.6		
	0.006	0.24	0.4		
	0.005	1.0	0.3		
	0.004	1.0	0.2		
	0.003	1.0	0.13		
	0.002	1.0	0.06		
0.001	1.0	0.015			
CONTAMINANTES	UNIDAD	CONCENTRACIÓN			
		DÉBIL	MEDIA	FUERTE	
Sólidos Totales	mg/l	350	720	1200	
Disueltos Totales	mg/l	250	500	850	
Disueltos Fijos	mg/l	145	300	525	

Continúa...

Continuación.

Disueltos Volátiles	mg/l	105	200	325
Sólidos en Suspensión	mg/l	100	220	350
Sólidos Fijos	mg/l	20	55	75
Sólidos Volátiles	mg/l	80	165	275

Fuente: Linsley, E. Franzini, J. Citada por (Vizuete, 2013).

Elaborado por: El Autor.

Tabla 12. Criterios de diseño de los desarenadores rectangulares de flujo horizontal.

CARACTERÍSTICA	VALOR		
	UNIDAD	INTERVALO	VALOR USUAL
Tiempo de retención para el caudal pico	Min	2 – 5	3
Dimensiones			
Profundidad	m	2 – 5	3
Longitud	m	7.5 – 20	12
Ancho	m	2.5 – 7	3.5
Relación ancho - profundidad	Razón	1:1 a 5:1	1.5:1
Relación Largo- ancho	Razón	3:1 a 5:1	4:1

Fuente: Organización Panamericana de la Salud (2005).

Elaborado por: El Autor.

5.6.2.5. Dimensionamiento del desarenador rectangular.

El desarenador Se diseña para separar del agua partículas minerales de hasta 0.2 mm de diámetro; sin embargo existen restos de alimentos que tienen diámetro grande, con velocidad de sedimentación semejante a la de la arena, por lo que el material extraído del desarenador contiene partículas orgánicas y debe manejarse adecuadamente para prevenir y atenuar el mal olor.

El volumen del desarenador rectangular se lo calcula mediante la ecuación.

$$V = Q_p * T_r \quad (\text{Ecuación 2.10})$$

Donde:

V= Volumen del tanque desarenador (m³).

Q_p= Caudal promedio (m²/s).

T_r= Tiempo de retención (s).

Para determinar la velocidad de sedimentación se basó en criterios establecidos, en relación a los diámetros de las partículas.

$$V_s = \frac{1}{18} g \left(\frac{\rho_a - \rho_{agua}}{\mu} \right) d^2 \quad (\text{Ecuación 2.11})$$

Dónde:

V_s = Velocidad de sedimentación (cm).

d = Diámetro de la partícula (cm).

ρ_a = Densidad de la arena (g/cc).

μ = Viscosidad de la arena (g/cc).

g = Aceleración de la gravedad (cm/s²).

Al disminuir la temperatura aumenta la viscosidad afectando la velocidad de sedimentación de las partículas (aguas frías retienen por periodos más largos que los cursos de aguas más calientes).

En el tratamiento de las aguas residuales, este proceso se realiza para retirar la materia sólida fina, orgánica o no, de las aguas residuales, aquí el agua pasa por un dispositivo de sedimentación donde se depositan los materiales para su posterior eliminación, el proceso de sedimentación puede reducir de un 20 a un 40 % la DBO₅ y de un 40 a un 60 % los sólidos en suspensión.

En el Anexo 14 se puede identificar la temperatura del agua y las constantes asignadas a la densidad y viscosidad cinemática del agua para determinar la velocidad de sedimentación.

Se comprueba el número de Reynolds.

$$R_e = \frac{V_s * d}{\mu} \quad (\text{Ecuación 2.12})$$

En caso que el número de Reynolds no cumpla para la aplicación de la ley de Stokes ($Re < 0.5$), se debe realizar un reajuste al valor V_s considerando la sedimentación de la partícula en régimen de transición, mediante el término del diámetro y el término de velocidad de sedimentación.

Se determina el coeficiente de arrastre (C_d), con el valor del número de Reynolds a partir del nuevo valor de V_s hallado.

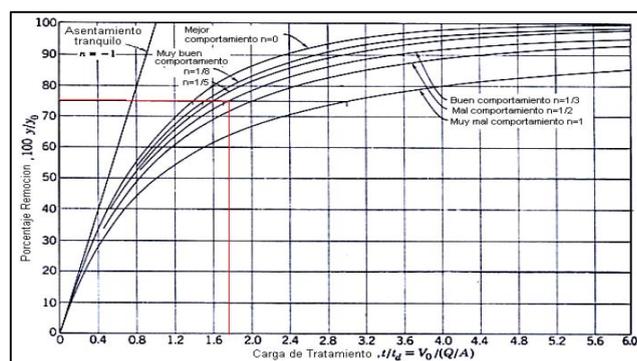
$$V_s = \frac{24}{R} + \frac{3}{\sqrt{R}} + 0.34 \quad (\text{Ecuación 2.13})$$

Se determina la velocidad de sedimentación de la partícula en la zona de transición mediante la ecuación.

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_d} (p_a - 1) * d} \quad (\text{Ecuación 2.14})$$

Se realiza un ajuste tomando en cuenta el tiempo de retención teórico del agua respecto al práctico (coeficiente de seguridad), mediante el siguiente gráfico:

Figura 6. Curvas de comportamiento de partículas.



Fuente: G. Rivas Mijares (1978), citado por Organización Panamericana de la Salud (2005).

Elaborado por: El Autor.

Así tenemos que:

$$V_s = \frac{Q}{A_s} \quad (\text{Ecuación 2.15})$$

Entonces:

$$V_s = \left(\frac{Q * \text{coefic. segur}}{A_s} \right) \quad (\text{Ecuación 2.16})$$

Determinamos que la velocidad limite que resuspende el material o velocidad de desplazamiento:

$$Vd = \sqrt{\frac{8k}{f} g(p_a - 1)d} \quad (\text{Ecuación 2.17})$$

Donde:

k= Factor de forma (0.04, arenas uní-granulares no adheribles).

Vd= Velocidad de desplazamiento (cm/seg).

f= Factor de rugosidad de la cámara.

Se determina la velocidad horizontal (Vh), mediante.

$$Vh = \frac{Q}{A_t} \quad (\text{Ecuación 2.18})$$

Luego se debe cumplir la relación $Vd > Vh$, lo que asegura que no se producirá la resuspensión. La longitud de la transición de ingreso la determinamos mediante la siguiente ecuación:

$$L_1 = \frac{B - b}{2 * tg\theta} \quad (\text{Ecuación 2.19})$$

Donde:

θ = Ángulo de divergencia (12°).

B= Ancho del sedimentador (m).

b= Ancho del canal de llegada a la transición (m).

5.6.2.6. Tratamiento primario Sedimentador.

El proceso de sedimentación o decantación es uno de los más comunes en los tratamientos de aguas residuales y consiste en la separación del agua, a través del asentamiento gravitacional, de las partículas disueltas que son más pesadas que el agua. Los términos decantación o sedimentación son usados para el mismo proceso y así se los llama tanques de sedimentación o tanques de flotación.

Los tanques de sedimentación pequeños, de diámetro o lado no mayor deben ser proyectados sin equipos mecánicos. La forma puede ser rectangular, circular o cuadrado; los rectangulares pueden tener varias tolvas y los circulares o cuadrados una tolva central, como es el caso de los sedimentadores tipo Dormund. La inclinación de las paredes de las tolvas de lodos es de por lo menos 60° con respecto a la horizontal.

Para el cálculo del dimensionamiento del sedimentador se aplicó la metodología descrita por Omar Vizuite (2013) Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para pequeñas comunidades.

El cálculo está enfocado a determinar las dimensiones del tanque, es decir largo, área, ancho y alto.

a. Dimensionamiento del sedimentador rectangular.

El cálculo está enfocado a determinar las dimensiones de los tanques, es decir el largo, área, ancho y altura.

El área del tanque sedimentador se la obtiene mediante:

$$A = \frac{Q}{V_c} \quad (\text{Ecuación 2.20})$$

Dónde:

A= Área superficial del tanque sedimentador en (m²).

Q= Caudal a tratar en m³/h.

V_c= Velocidad terminal en m/h.

Se detallan valores sugeridos para determinar la velocidad terminal.

Tabla 13. Velocidades terminales o caudales medio.

DECANTACIÓN PRIMARIA	VELOCIDAD O CAUDAL MEDIO		
	VALOR MÍNIMO	VALOR TÍPICO	VALOR MÁXIMO
Decantadores Circulares	1,0 m/h	1,5 m/h	2,0 m/h
Decantadores Rectangulares	0,8 m/h	1,3 m/h	1,8 m/h

Fuente: Manual de depuración Uralita, Citado por Vizuet Omar (2013).

Elaborado por: El Autor.

Tabla 14. Velocidades terminales o caudal máximo.

DECANTACIÓN PRIMARIA	VELOCIDAD O CAUDAL MÁXIMO		
	VALOR MÍNIMO	VALOR TÍPICO	VALOR MÁXIMO
Decantadores Circulares	2,0 m/h	2,5 m/h	3,0 m/h
Decantadores Rectangulares	1,8 m/h	2,2 m/h	2,6 m/h

Fuente: Manual de depuración Uralita, Citado por Vizuet (2013).

Elaborado por: El Autor.

Para el cálculo de las dimensiones del interior del tanque sedimentador se toma en cuenta los siguientes parámetros:

Relación de largo/ancho de 1/3 y se aplica la siguiente ecuación:

$$A = l_g * b \quad \text{Ecuación 2.21}$$

Dónde:

Lg= Largo del tanque sedimentador en (m).

B= Ancho del tanque sedimentador en (m).

Aplicando la relación largo/ancho tomada en la bibliografía se tiene:

$$l_g = 3b \quad \text{Ecuación 2.22}$$

Reemplazando lg en la ecuación (2.22) tenemos:

$$A = 3b * b \quad \text{(Ecuación 2.23)}$$

$$A = 3b^2 \quad \text{(Ecuación 2.24)}$$

$$A = \sqrt{\frac{A}{3}} \quad \text{(Ecuación 2.25)}$$

Luego de haber calculado el ancho del tanque sedimentador procedemos a calcular del largo con la ecuación (2.26).

Luego se realiza la determinación del volumen del tanque sedimentador, aplicando la siguiente ecuación:

$$V = b * l_g * H \quad \text{(Ecuación 2.26)}$$

Dónde:

V= Volumen del tanque sedimentador (m³).

b= Ancho del tanque sedimentador (m).

Lg= Largo del tanque sedimentador (m).

H= Altura del tanque sedimentador (m).

b. Tiempo de retención hidráulico.

Se calculó el tiempo que se estima demora una partícula en recorrer la longitud del tanque sedimentador en sentido horizontal desde el momento que una partícula entra al sistema:

$$Tr_h = \frac{V}{Q} \quad (\text{Ecuación 2.27})$$

Dónde:

Tr_h = Tiempo de retención hidráulico (h).

Q = Caudal a tratar (m^3/h).

V = Volumen (m^3).

El tiempo de retención del tanque sedimentador nos proporcionara datos para estimar la velocidad de retención de los tanques donde se colocaran las macrofitas:

Tabla 15. Tiempos de retención para sedimentadores.

DECANTACIÓN PRIMARIA	VELOCIDAD DEL CAUDAL MÁXIMO		
	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
Tiempo de retención para caudal medio	1,5 h	2,0 h	3,0 h
Tiempo de retención para caudal máximo	1,0 h	1,5 h	2,0h

Fuente: Manual de depuración Uralita, Citado por Vizuet Omar (2013).

Elaborado por: El Autor.

5.6.3. Construcción del prototipo para Fitorremediación.

La construcción del prototipo de Fitorremediación se lo realizo construyendo una simulación de la planta de Fitorremediación que consta de: fosa de nivelación, fosa de sedimentación, trampa de grasas y piscinas para experimentar procesos de Fitorremediación para los cuales se proporción medidas experimentales y se lo implemento los siguientes procedimientos:

Desbroce y limpieza del área.

Preparación y nivelación del terreno.

Construcción de una fosa de nivelación.

- De 1.5m x 1.5m y por 1m de profundidad.

Construcción del fosa sedimentador.

- De 1m x 1m y por 0.6m de profundidad.

Construcción de las piscinas para Fitorremediación.

- De 1.5m x 1.5m y por 1m de profundidad.

5.6.4. Recolección de las especies *Eichornia crassipes* Mart y *Pistia stratiotes* L.

Las especies de plantas a ser utilizadas se las extrajo de unas lagunas en las existentes en la parroquia donde existen estas especies, *Eichornia crassipes* Mart. *Pistia stratiotes* L. teniendo en cuenta las siguientes condiciones.

- Que tengan una buena pigmentación.
- Que no presenten ninguna anomalía en ninguna de sus partes.
- Que sean plantas jóvenes.

Figura 7. Recolección de especies.

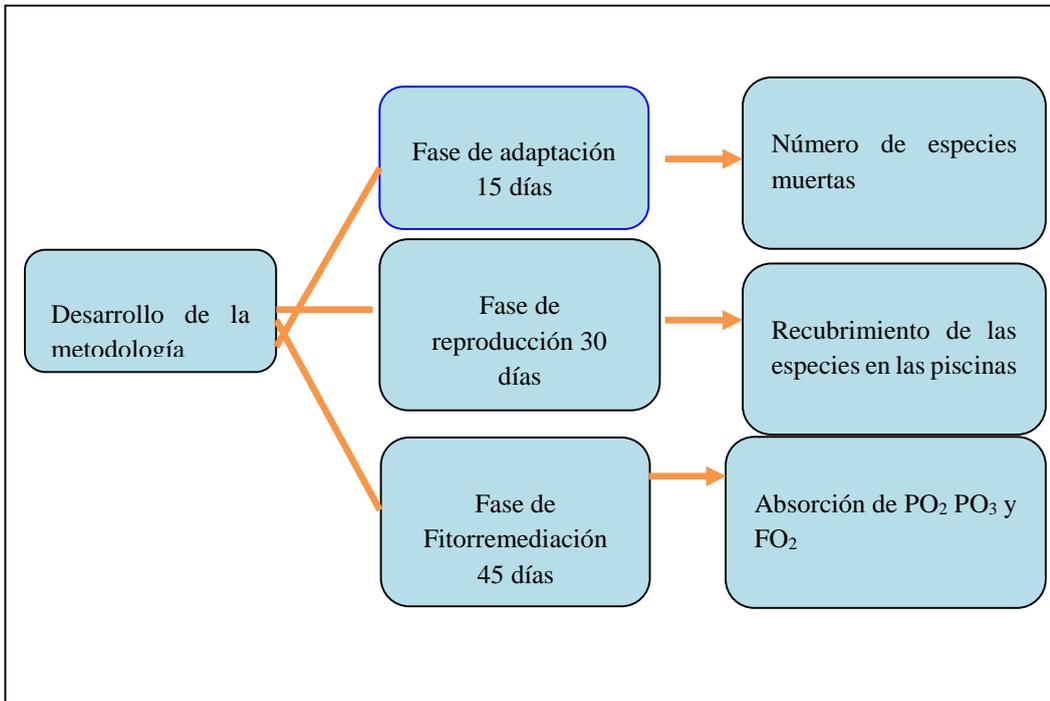


Fuente: El Autor.

Luego se las traslado al lugar de experimentación y se las coloco en las piscinas de experimentación.

El desarrollo de la metodología para el segundo objetivo se la realizo en tres fases; de adaptación, de nutrición y de intoxicación todo este proceso tuvo una duración de 90 días, como se lo demuestra en siguiente ilustración.

Figura 1. Esquema de desarrollo de metodología para el segundo objetivo



Elaborado por: Andrade Jiménez Kelvin Cristian.

a. Fase de adaptación.

La fase de adaptación tuvo una duración de 15 días, en donde se analizó la capacidad de adaptación de las especies a los sistemas construidos, para determinar si se adaptaron se tomó en cuenta la cantidad de especies muertas, y los cambios que sufren durante los 5 días.

b. Fase de reproducción.

Durante esta fase se identificó la cantidad de reproducción para poblar todas las piscinas destinadas para los procesos de Fitorremediación, en donde se determinó de forma cuantitativa y cualitativa, la cantidad de especies, y cantidad de cubrimiento del agua.

Figura 8. Fase de Reproducción de especies.



Fuente: El Autor.

c. Fase de Fitorremediación.

Para determinar la fase de Fitorremediación se tomó en cuenta un total de 45 días que se analizó de forma cuantitativa y cualitativa en base a los resultados obtenidos en los exámenes bromatológicos realizados antes y después de los 90 días.

Figura 9. Fase de Fitorremediación con Lechuga de Agua y Jacinto de Agua.



Fuente: El Autor.

5.7. Identificar el comportamiento en los parámetros físicos-químicos del agua tratada en comparación con el agua sin tratar en los procesos de Fitorremediación.

5.7.1. Análisis de laboratorio del agua tratada.

Una vez terminada la fase experimental del proyecto se tomó muestras de agua tratada con Fitorremediación, con las dos especies de plantas, se siguió el mismo protocolo de seguridad y toma de muestras descritos en la metodología para el primer objetivo.

F. RESULTADOS.

6.1. Realizar la caracterización de las aguas residuales procedentes de los taques sedimentadores del sistema de alcantarillado de la Parroquia Unión Milagrena.

6.1.1. Caracterización de las aguas residuales de la Parroquia Unión Milagrena.

Los resultados de los análisis químicos de las aguas residuales del sistema de alcantarillado de la parroquia Unión Milagrena realizados en LABSU el cual es calificado por la OAE, los resultados se muestra en la Tabla (16):

Tabla 16. Resultado de los análisis físicos, Químicos y microbiológicos de la muestra de agua.

Parámetros.	Expresado como	Unidad	Resultados del análisis	Límite máximo permisible	Interpretación
Temperatura	°C		27°C		Cumple
Potencial de Hidrogeno	pH		6	5-9	Cumple
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	0,74		
Sólidos Totales	ST	mg/l	825,86	1600	Cumple
Demanda Química de oxígeno	BBO	mg/l	381,41	200	No Cumple
Demanda bioquímica de oxígeno	DQO ₅	mg/l	124,0	100	No Cumple
Fósforo	PO ₄	mg/l	12,85	10	No Cumple
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,06	10	Cumple
Nitratos	NO ₃	mg/l	0,8	10	Cumple

Continúa...

Continuación:

Coliformes totales	NMP/100	Col/100	84×10^5	10000	No Cumple
Coliformes Fecales.	NMP/100	Col/100	42×10^5	10000	No Cumple

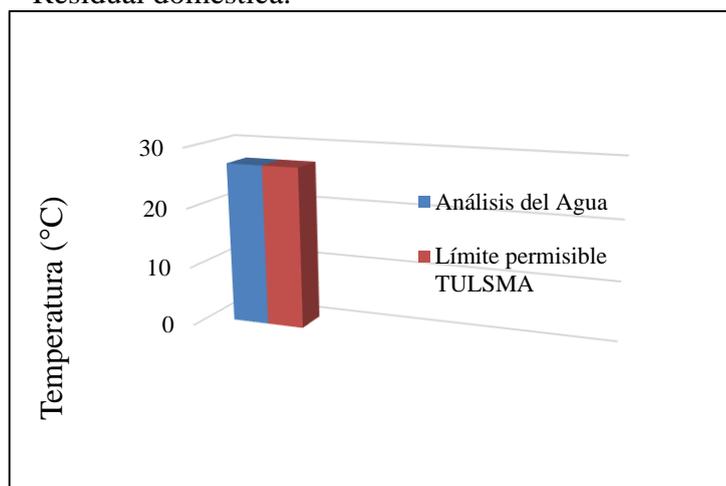
Elaborado por: El Autor.

a. Análisis de datos obtenidos en el campo.

➤ Temperatura.

El análisis de la Temperatura en las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 1. Resultados de Temperatura del agua Residual doméstica.



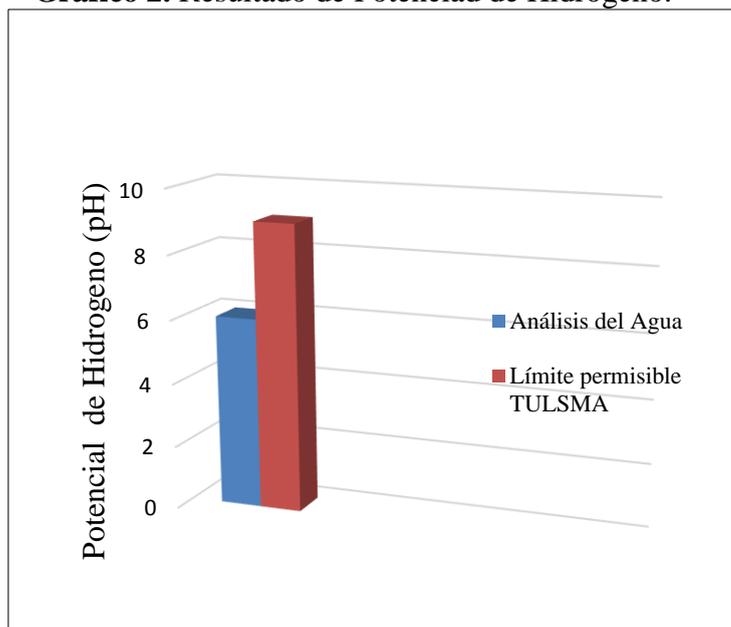
Elaborado por: El Autor.

Interpretación: La temperatura de las aguas residuales domésticas de la parroquia de Unión Milagreña tiene un promedio de 27°C. La tabla 10 del TUSMA establece que la temperatura tiene que tener la temperatura ambiente más menos 3, Según él (POTP UNIÓN MILAGREÑA, 2014) la temperatura de la Parroquia es de 26 °C, la temperatura del agua es un factor importante en los procesos vitales para los organismos vivos, así como también afecta las propiedades químicas y físicas de otros factores abióticos en un ecosistema si excede la temperatura ambiente.

➤ **Potencial de Hidrógeno (pH).**

El análisis del Potencial de Hidrogeno (pH) en las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 2. Resultado de Potenciad de Hidrógeno.



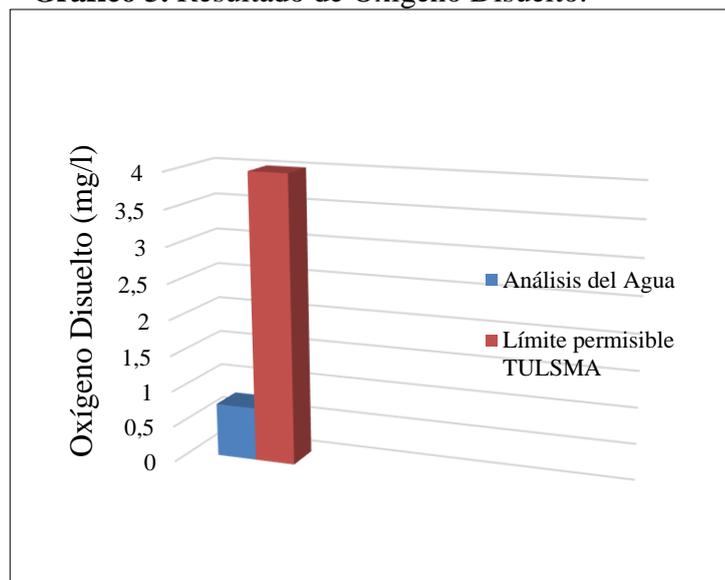
Elaborado por: El Autor.

Interpretación: El Potencial de Hidrogeno (pH) de las aguas residuales domésticas de la parroquia Unión Milagreña tiene un total de 6, el cual no presenta ninguna perturbación para el desarrollo de la vida acuática, el pH está dentro del límite máximo permisible que establece el TULSMA Tabla número 10 que da un rango de 6-9, el pH es muy importante en el agua debido a que si las aguas con un pH menor a 4 no se desarrollaría la fauna acuática.

➤ Oxígeno Disuelto (OD)

El Oxígeno Disuelto (OD) en las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 3. Resultado de Oxígeno Disuelto.



Fuente: El Autor

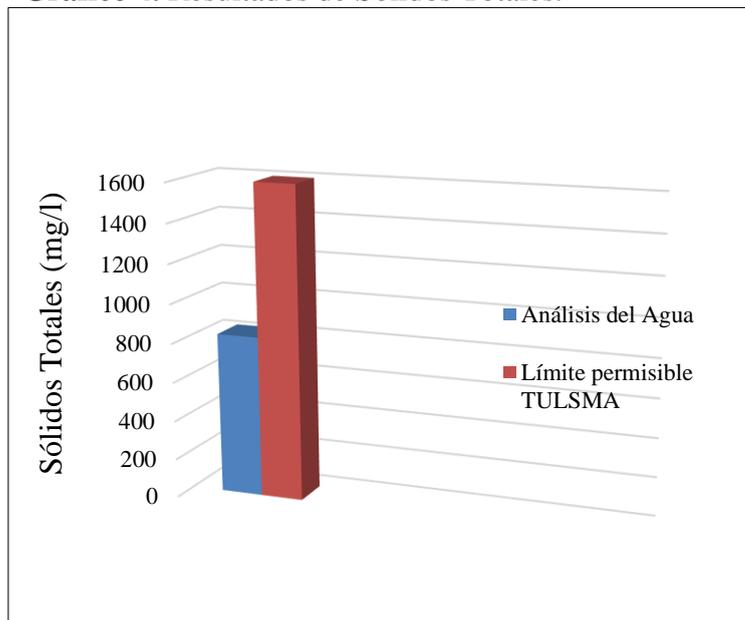
Interpretación: El Oxígeno Disuelto del agua residual doméstica de la parroquia Unión Milagreña tiene un OD promedio de 0.74 mg/l. No existe un máximo permisible que establece el TULSMA Tabla número 10, las concentraciones de Oxígeno Disuelto por debajo de 1mg nos indica que la contaminación del agua es muy fuerte y no permite el desarrollo de las especies acuáticas, debido a que las bacterias existentes en el agua consumen todo el oxígeno al comerse la materia orgánica, dando origen a las aguas putrefactas donde no se desarrolla la vida acuática, especialmente en verano donde los niveles de oxígeno son más bajos.

b. Análisis de los datos obtenidos en laboratorio.

- **Sólidos Totales.**

El análisis de los Sólidos Totales realizado en el laboratorio LABSU a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 4. Resultados de Sólidos Totales.



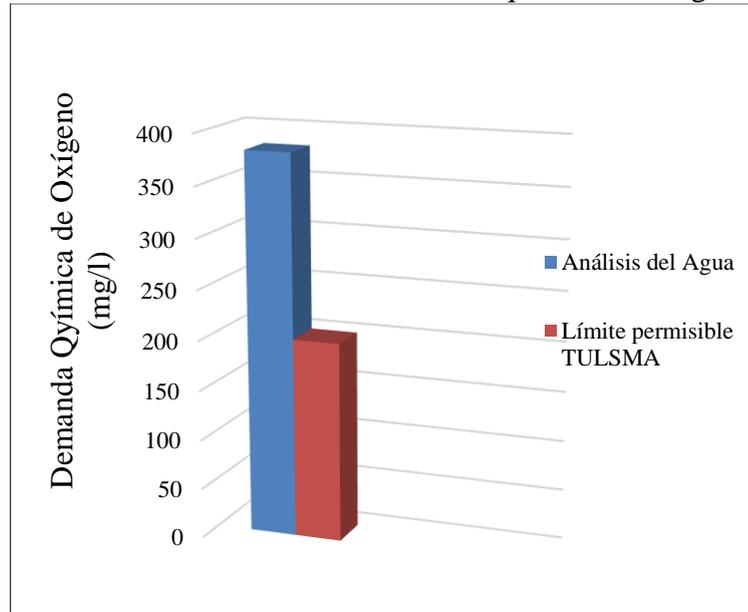
Elaborado por: El Autor.

Interpretación: Los sólidos totales presentes en el agua residual doméstica de la parroquia Unión Milagreña son de 825,86 mg/l, por lo tanto se considera que esta dentro de los límites permisibles que establece el TULSMA Tabla 10 de los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce que establece un valor de 1600mg/l, la presencia de sólidos en suspensión participa en el desarrollo de la turbidez y el color del agua, mientras que los sólidos disueltos determina la salinidad del agua y el consecuencia la conductividad.

- **Demanda química de oxígeno (DQO).**

El análisis de la Demanda Química de oxígeno realizado en el laboratorio LABSU a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 5. Resultado de la demanda química de oxígeno.



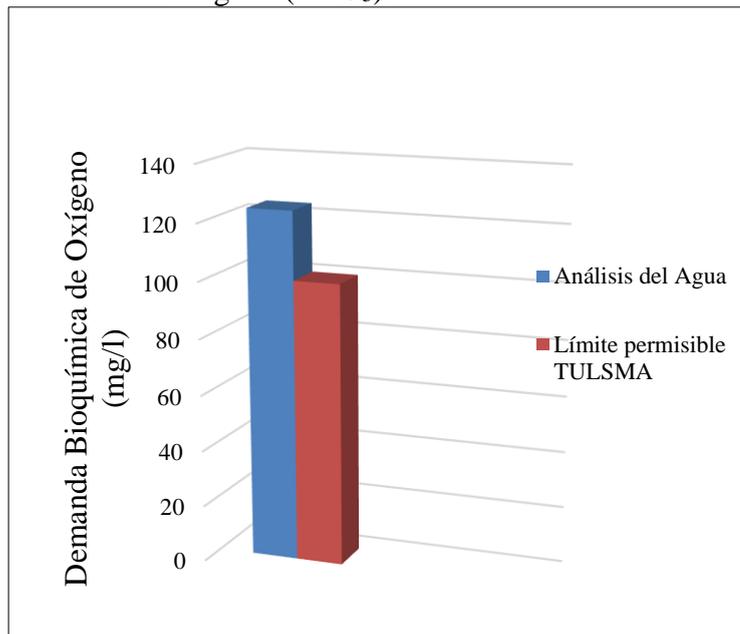
Elaborado por: El Autor.

Interpretación: La Demanda química de Oxígeno del el agua residual doméstica de la parroquia Unión Milagreña es de 381,41 mg/l, por lo tanto se considera que esta fuera de los límites permisibles que establece el TULSMA Tabla 10 de los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce que establece un valor de 200 mg/l, este parámetro nos da una idea muy real del grado de toxicidad del vertido estando por encima de los límites permisibles.

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).**

El análisis de la Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO₅) realizado en el laboratorio LABSU a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 6. Resultados de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).



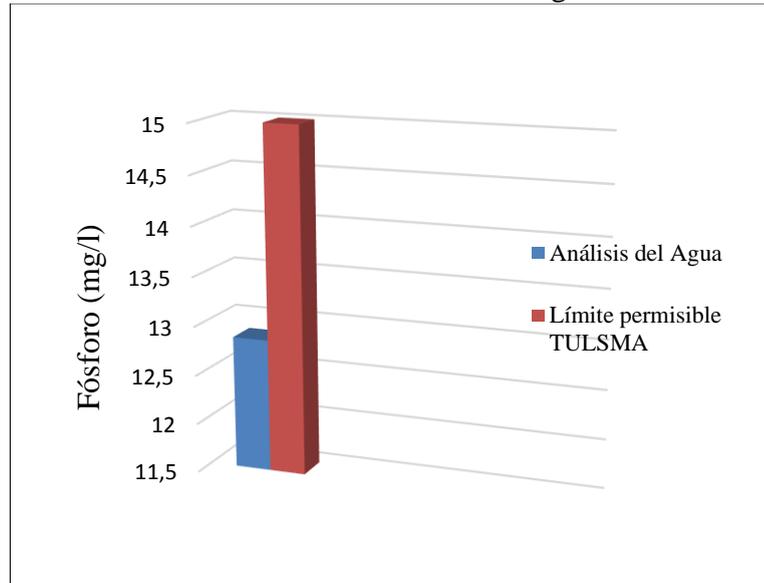
Elaborado por: El Autor.

Interpretación: La demanda bioquímica de Oxígeno (DBO₅). presentes en el agua residual doméstica de la parroquia Unión Milagreña es de 124,0 mg/l, por lo tanto se considera que está sobre los límites permisibles que establece el TULSMA Tabla 10 de los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce que establece un valor de 100 mg/l.

- **Fósforo (PO₄).**

El análisis de fosforo realizado en el laboratorio LABSU a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 7.Resultados de Fósforo en el agua residual.



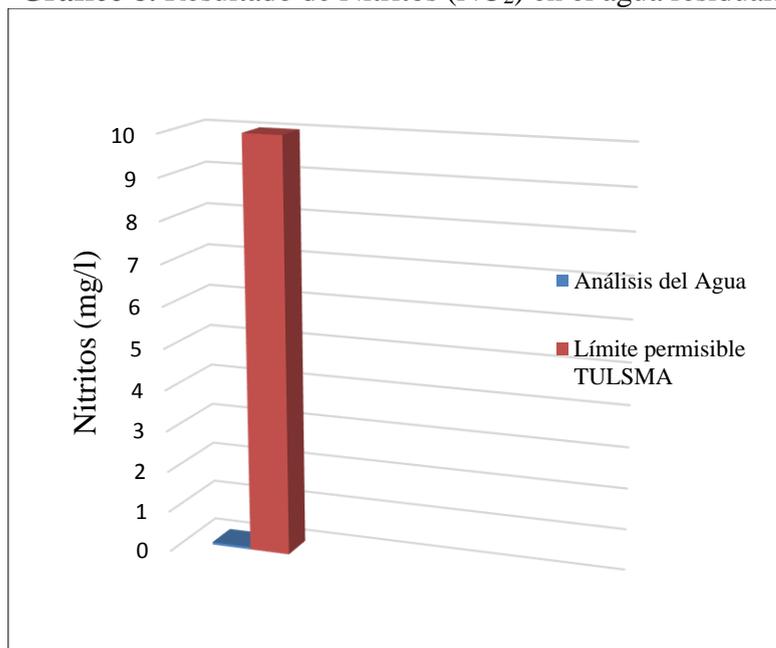
Elaborado por: El Autor.

Interpretación: El fosforo (PO₄) presentes en el agua residual doméstica de la parroquia Unión Milagreña es de 12,85 mg/l este valor obtenido se considera que está sobre los límites permisibles que establece el TULSMA Tabla 10 de los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce que establece un valor de 10 mg/l, las altas concentraciones de fósforo presentes en el agua permiten la el rápido crecimiento de las algas y la reproducción de microorganismos llegando a la eutrofización de los cuerpos de agua.

- **Nitritos (NO_2).**

El análisis de Nitritos (NO_2) realizado en el laboratorio LABSU a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 8. Resultado de Nitritos (NO_2) en el agua residual.



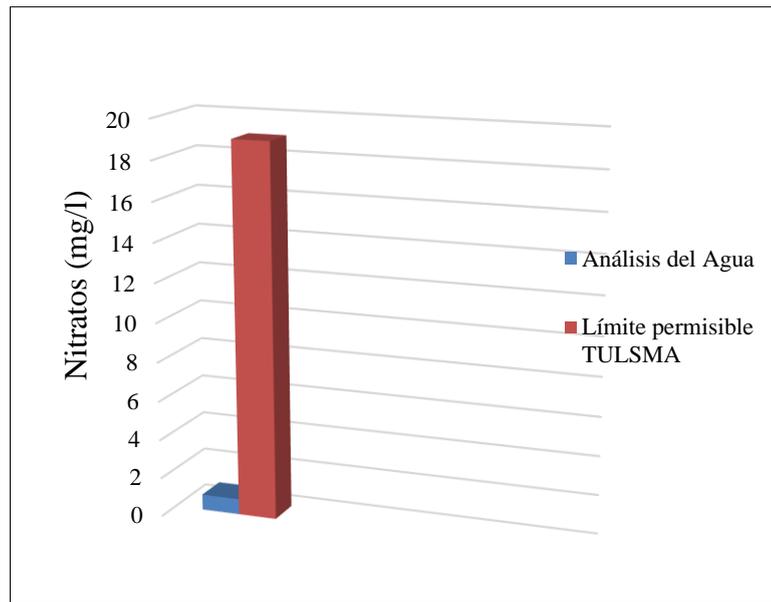
Elaborado por: El Autor.

Interpretación: Los Nitritos (NO_2) presentes en el agua residual doméstica de la parroquia Unión Milagreña es de 0,06 mg/l, por lo tanto se considera que está dentro de los límites permisibles que establece el TULSMA Tabla 10 de los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce que establece un valor de 50mg/l.

- **Nitratos (NO₃).**

El análisis de Nitratos (NO₃) realizado en el laboratorio LABSU a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 9. Resultados de Nitratos (NO₃) en el agua residual.



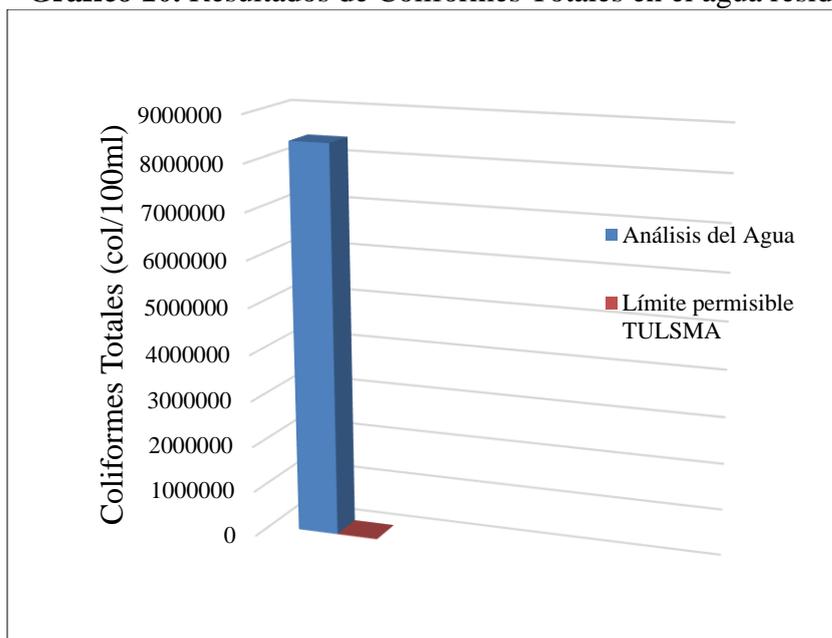
Elaborado por: El Autor.

Interpretación: La cantidad de Nitratos (NO₃) presentes en el agua residual doméstica de la parroquia Unión Milagreña es de 0,8 mg/l, se considera que está dentro de los límites permisibles que establece el TULSMA Tabla 10 de los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce que establece un valor de 10 mg/l.

- **Coliformes Totales.**

El análisis de los Coliformes Totales realizado en el laboratorio LABSU a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 10. Resultados de Coliformes Totales en el agua residual.



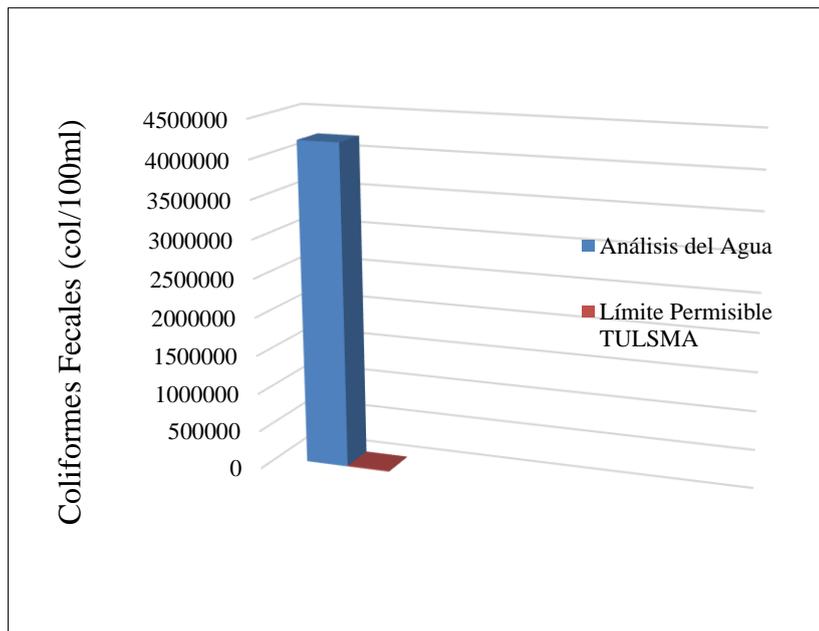
Elaborado por: El Autor.

Interpretación: Los Coliformes Totales presentes en el agua residual doméstica de la parroquia Unión Milagreña es de 8400000 NMP/100 ml, por lo cual se considera que está sobre los límites permisibles que establece el TULSMA Tabla 10 de los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce que establece un valor de 10000 NMP/100 ml, los coliformes totales son un indicador que nos señala que existen en el agua organismos que pueden causar enfermedades (patógenos) en la salud de los seres vivos.

- **Coliformes Fecales.**

El análisis de los Coliformes Fecales realizado en el laboratorio LABSU a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 11. Resultado de Coliformes Fecales en el agua residual.



Elaborado por: El Autor.

Interpretación: Los Coliformes Fecales presentes en el agua residual doméstica de la parroquia Unión Milagreña es de 4200000 NMP/100 ml, este parámetro se considera que está por sobre de los límites permisibles que establece el TULSMA Tabla 10 de los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce que establece un valor de 10000 NMP/100 ml, los coliformes fecales presentes en el agua en cantidades excesivas nos indican que existe gran abundancia de materia fecal disuelta en el agua la cual causa graves daños a la salud y al ambiente convirtiéndose en materia orgánica que aumenta la proliferación de bacterias.

6.1.2. Caracterización de las Macrofitas Pistia stratiotes L. y Eichhornia crassipes Mart.

a. Resultado de análisis Bromatológicos.

Con la finalidad de determinar la concentración inicial de contaminantes nitratos, nitritos y fosfatos se realizó un análisis bromatológico a las macrofitas en el laboratorio LABSU, donde se obtuvo los siguientes resultados.

- **Análisis bromatológico de Pistia stratiotes L.**

Tabla 17. Resultados de análisis Bromatológicos realizados a Pistia stratiotes L.

Parámetros	Expresado	Unidad	Resultado Análisis
Nitritos	NO ₂	mg/kg	0,15
Nitratos	NO ₃	mg/kg	229
Fósforo	PO ₄	mg/kg	144

Elaborado por: El Autor.

La concentración inicial en los tejidos de Pistia stratiotes L, de Nitritos (NO₂) con 0,15mg/kg, Nitratos (NO₃) de 229 mg/kg y de Fósforo (PO₄) 144 mg/kg, mismos valores que nos servirá para determinar la concentración que tendrán luego de realizar los procesos de Fitorremediación.

- **Análisis bromatológico de Eichhornia crassipes Mart.**

Tabla 18. Resultados de análisis Bromatológico realizado en Eichhornia crassipes Mart.

Parámetros	Expresado	Unidad	Resultado de Análisis
Nitritos	NO ₂	mg/kg	0,49
Nitratos	NO ₃	mg/kg	300
Fósforo	PO ₄	mg/kg	180

Realizado por: El Autor.

Se determina un concentración inicial en los tejidos de Eichhornia crassipes Mart, de Nitritos (NO₂) con 0,49 mg/kg, Nitratos (NO₃) de 300 mg/kg y de Fósforo (PO₄) 180 mg/kg, mismos valores que nos servirá para determinar la concentración que tendrán luego de realizar los procesos de Fitorremediación.

6.2. Diseñar un sistema de tratamiento para aguas residuales domésticas mediante el empleo de Ehichhornia crassipes Mart. (Jacinto de agua), Pistia stratiotes L. (Lechuga de agua) como agente depurador.

6.2.1. Determinación de caudal.

De acuerdo con las normas vigentes (INEN,) el caudal de las aguas procedentes de uso doméstico tiene una variación de entre el 70 y 80% de la dotación de agua potable, Según el POTP UNIÓN MILAGREÑA, (2014), la dotación de agua del caudal promedio es de 26,78 m³/día.

El sistema de alcantarillado de la Parroquia Unión Milagreña es diferenciado por lo tanto la época de lluvia no afecta al caudal de evacuación del agua residual.

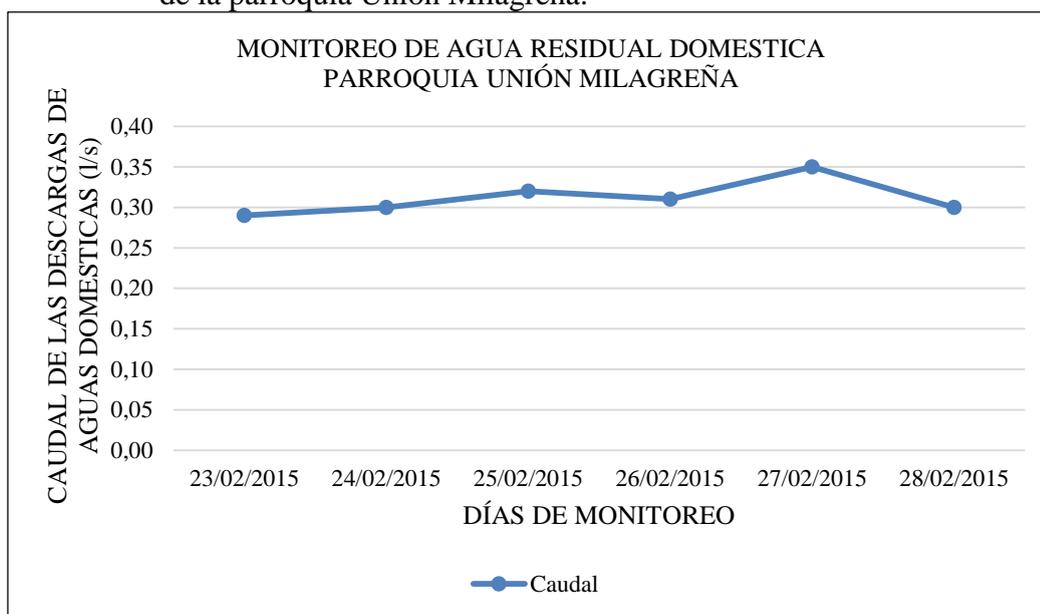
En la Tabla 19 se muestran los resultados obtenidos de las mediciones realizadas a las descargas de aguas residuales domésticas durante seis días con una frecuencia demuestre de cinco lecturas por día ver Anexo (13).

Tabla 19. Resultado de la medición de caudales.

Días de Muestreo	Caudal (l/s)	Radio Hidráulico (m)
23/02/2015	0,29l/s	0.21
24/02/ 2015	0,30 l/s	0.21
25/02/2015	0,32 l/s	0.21
26/02/2015	0,31 l/s	0.21
27/02/2015	0,35 l/s	0.21
28/02/2015	0.30 l/s	0.21
PROMEDIO	0,31 l/s	0.21

Elaborado por. El Autor

Gráfico 12 Resultados de medición de caudal de aguas residuales domésticas de la parroquia Unión Milagreña.



Elaborado por: El Autor.

Como se puede evidenciar en el gráfico el caudal promedio de las descargadas de aguas residuales domésticas de la parroquia Unión Milagreña es de 0,31 l/s ± 0,021.

Tabla 20. Análisis Estadístico del monitoreo de caudal.

Estadístico	Símbolo	Valor
Media Aritmética	X_{media}	0.31
Desviación estándar	S	0,021

Realizado por: El Autor.

Según el POTP UNIÓN MILAGREÑA, (2014), la dotación diaria de agua es de 26,76 m³/día para 480 habitantes que tiene acceso al sistema de agua potable (ecuación 2,3).

$$Dotación \left(\frac{l}{Hab * día} \right) = \frac{Q \text{ promedio} * 1000l/m^2}{480hab}$$

$$Dotación \left(\frac{l}{hab * día} \right) = \frac{(26,78m^3/día)(1000 \frac{l}{m^3})}{480hab}$$

$$Dotación \left(\frac{l}{hab * día} \right) = 55,79 \text{ lt hab/día}$$

6.2.2. Determinación de la Población Futura.

Es necesario conocer la población existente en la localidad para poder diseñar los sistemas de tratamiento de aguas residuales procedentes de las descargas humanas, debido a que se debe proyectar los diseños de construcción de Fitorremediación con una visión a futuro.

Para la determinación de la población futura se realizó mediante la proyección estadística de los datos obtenidos del INEC, (2010), de la población actual 1697 habitantes, tomado en cuenta un índice de crecimiento del 3.94% y un promedio de 30 años.

Método Geométrico.

$$Pf = Pa (1 + i)^n \quad (\text{Ecuación 2.2.})$$

Donde:

$$Pf = 1697 (1 + 0,04)^{2045-2015}$$

$$Pf = 5504 \text{ Hab.}$$

La población de la Parroquia Unión Milagrena en treinta años será de 5504 habitantes.

6.2.3. Caudal de diseño.

El cálculo del caudal de diseño se lo realiza para una población futura de 5504 hab, mediante la aplicación de la siguiente ecuación.

$$Q \text{ promedio} = \frac{5504 \text{ hab} * \frac{55.79 \text{ l}}{\text{hab}} \text{ día}}{1000 \text{ l/m}^3}$$

$$Q \text{ promedio} = 307,07 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q \text{ promedio} = \frac{307,07 \text{ m}^3/\text{día}}{12 \text{ h/día}}$$

$$Q \text{ promedio} = 12.79 \text{ m}^3/\text{h}$$

El caudal promedio de las aguas residuales domesticas de la Parroquia Unión Milagreña con una población futura de 5504 habitantes en treinta años será de 12,79 m³/día.

- **Caudal de diseño.**

El caudal de diseño se calculó para determinar las dimensiones de la infraestructura física de la planta de tratamiento de aguas residuales, se lo realizo mediante la siguiente formula.

$$Q_{dis} = Q_{promedio} * M$$

Donde.

Q dis= Caudal de diseño (m³/d)

Q prom= Caudal promedio (12,79 m³/h)

M= Factor de Harmon

Para determinar el factor de Harmon se utilizado para la estimación del caudal máximo que genera la población se la realiza mediante la aplicación de la siguiente ecuación.

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{pf}}$$

Dónde:

Pf= 5504 hab (proyectada a treinta años)

$$M = 1 + \frac{14}{14 + \sqrt{5504}} = 1,16$$

Una vez calculado el factor de Harmon se calcula el caudal de diseño.

$$Q_{dis} = Q_{promedio} * M$$

$$Q_{dis} = 307,07 \frac{m^3}{día} * 1,16$$

$$Q_{dis} = 356,20 \frac{m^3}{día}$$

$$Q_{dis} = 0,0041 \frac{m^3}{s}$$

El caudal de diseño para la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas se determina en 0,0041 m³/s, el cual está proyectado a 30 años y será la base para el dimensionamiento de las unidades físicas del sistema de tratamiento.

6.2.4. Dimensionamiento de las rejillas (pre tratamiento).

Para el dimensionamiento de las rejillas es necesario diseñar el canal por el cual será conducida el agua hacia el proceso de tratamiento, se debe considerar también que las rejillas de limpieza manual se instalan con una inclinación de 30 a 60° con respecto al plano horizontal.

Se recurre a la ecuación (2.4) para el cálculo de la velocidad de entrada del agua en la Tabla (19) se encuentra el valor promedio del radio hidráulico “Rh” de la alcantarilla que conduce el agua residual y una pendiente “s” del 2%.

$$v = \frac{1}{n} Rh^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

v= Velocidad de entrada del agua (/s).

h= Factor de Manning (0.013 constante).

Rh= Radio Hidráulico del tubo de evacuación de aguas residuales (0,21 m).

S= Pendiente (2%).

Remplazando la formula tendremos:

$$v = \frac{1}{0,013} (0,21m)^{2/3} (0,013)^{1/2}$$

$$v = 3,77 \text{ m/s}$$

La velocidad con la que llega el agua a las rejillas es de 3,77m/s, el cual servirá para diseñar del área entre las rejillas y la capacidad de carga que se tendrá en los barros.

Cálculo de las dimensiones *del* canal.

$$A = \frac{Q}{v}$$

Dónde:

A= Área transversal del canal entre rejas (m²).

Q= Caudal de diseño (0,0041m³/s).

V= Velocidad de entrada al flujo (3,77 m/s).

El área entre cada reja para el paso del flujo de caudal se calcula mediante la aplicación de la ecuación de Manning.

$$A = \frac{0,0041 \text{ m}^3/\text{s}}{3,77 \text{ m}/\text{s}}$$

$$A = 0,001088\text{m}^2$$

El área que debe quedar entre cada reja para el paso de agua debe de ser de 0,001088 m²

Determinación de la altura efectiva del flujo de agua será utilizada para determinar el alto que va a ocupar el flujo de agua dentro del canal mediante la siguiente ecuación.

$$A = b * H$$

$$H = \frac{A}{b}$$

Dónde:

H= Hatura efectiva del flujo de agua (m)

A= área transversal entre las rejas (0,001088 m²)

b= Ancho del canal propuesto (0,08m)

Remplazando los valores en la formula tendremos.

$$H = \frac{0,001088m^2}{0,80m}$$

$$H = 0,00136m$$

La altura efectiva del flujo de agua al pasar por las rejas de solidos gruesos es de 0,00136 m.

Determinación de Profundidad del Canal.

Se propone un borde libre del canal de 0,80m, y la profundidad total del canal de redondea a 0,50m.

Las dimensiones finales del canal de estrada: así como también las dimensiones de las rejillas para solidos grasos que tendrá una separación de 5 metros tomando en cuenta las recomendaciones realizadas por la bibliografía.

Calculo de la suma de las separaciones entre barras para las rejillas de solidos gruesos.

El diseño de las rejas de limpieza manual se realiza mediante la ecuación (2.5).

$$b_g = \left(\frac{b - e}{S + e} + 1 \right) e$$

Donde:

Bg= Suma de separación entre barras (m).

b= Ancho del canal de entrada propuesto (800mm).

e= Separación entre barras (40mm).

S= Espesor de las barras (12,7mm).

Remplazando los valores en la formula tendremos.

$$b_g = \left(\frac{800 - 40}{12,7 + 40} + 1 \right) 40$$

$$b_g = 516,85mm$$

$$b_g = 0,52m$$

Se determina la separación total de los barrotes de 0,52 m, por lo tanto se determina que los barrotes ocupan 0,20 m de ancho del canal total que es de 0,80 m.

- **Cálculo del área entre barrotes para la rejilla de solidos gruesos.**

Aunque diariamente el flujo en el canal debe ser laminar, se recomienda que el agua tenga una velocidad de al menos 0.5 m/s para detener los materiales que se procura, dejando pasar las partículas pequeñas. Sin embargo, durante la época de lluvia la velocidad se incrementa: en éstas condiciones se recomienda que la velocidad máxima sea de 2.0 m/s.

En el diseño de rejillas se considera el caudal de aguas residuales y los tirantes que se presentan antes y después del emparrillado, los cuales depende de la cantidad de material retenido, que puede evaluarse mediante el porcentaje de emparrillado que obstaculizan.

Se determina mediante la ecuación (2,6).

$$Hipotenusa = \frac{H}{\text{Sen } b}$$

Dónde:

H= Altura efectiva del flujo de agua (0,00136 m).

B= Ancho del canal propuesto (0,80m).

Remplazando los valores en la formula tendremos.

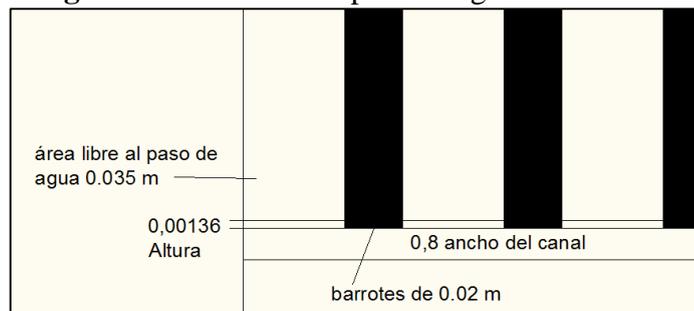
$$\text{Hipotenusa} = \frac{0,00136}{\text{Sen}(0,80)}$$
$$\text{Hipotenusa} = 0,097$$

Para determinar el área libre entre barrotes se multiplica por la separación total entre barrotes que dio un valor de 0,52 m

$$\text{Área libre} = 0,52\text{m} * 0,0097\text{m} = 0,005 \text{ m}^2$$

Se determina el área libre que debe quedar para el paso de agua entre los barrotes y la película de agua que es de 0.005 m², es decir este valor nos queda del espacio libre en las rejillas de sólidos 0,40 m los otros restantes 40 del ancho del canal lo ocupan las rejillas, estos 0,40 m multiplicado por la altura efectiva de la película de agua que es de 0,00136 m.

Figura 10. Área libre al paso de agua.



Realizado por: El Autor.

- **Cálculo de la velocidad a través de la rejilla de sólidos gruesos.**

El cálculo de la velocidad que pasa el agua a través de las rejillas sirve para determinar los espesores que debe tener cada barrote, si la velocidad es demasiado fuertes se debe considerar barrotes gruesos, esto se calcula mediante la aplicación de la ecuación (2.7).

$$v = \frac{Q}{A}$$

Dónde:

V= Velocidad de rejilla (m/s).

Q= Caudal de Diseño (0,0041 m³/s).

A= área libre al paso de agua (0,005 m²).

Remplazando los valores en la formula tenemos:

$$v = \frac{0,0041 \text{ m}^3/\text{s}}{0,005\text{m}^2} \qquad v = 0.88 \text{ m/s}$$

La velocidad con la que pasara el agua a través de las rejillas se determina en 0.88 m/s.

- **Cálculo de número de barrotes de la rejilla de gruesos.**

El cálculo del número de barrotes de las rejillas de solidos gruesos sirve para determinar las unidades que van en la reja, se determina mediante la siguiente ecuación (2.8).

$$n = \frac{b_g}{e} - 1$$

Dónde:

n= Numero de barrotes (und)

bg= suma de separación entre barrotes (616,85mm).

e= Separación entre barrotes (40mm).

Remplazando los valores en la formula tenemos:

$$n = \frac{616,85\text{mm}}{40\text{mm}}$$

$$n = 14,42$$

$$n = 14$$

Figura 11.Total de barrotes en la rejilla.



Realizado por: El Autor.

- **Cálculo de la pérdida de carga.**

La pérdida de carga se determina para saber cuánto se va a perder en las barras de sólidos gruesos, Para determinar la pérdida de la carga de agua se aplica la ecuación (2.9).

$$h_f = \frac{n}{0,7} \left(\frac{V^2 - v^2}{2 * g} \right)$$

Dónde:

h_f = Pérdida de carga de agua (m).

V^2 = Velocidad de flujo de agua a través del espacio entre las barras de la reja.

v^2 = Velocidad de aproximación del flujo hacia la reja (2,49 m/s).

g = Aceleración de la gravedad (9,81m/s²).

Remplazando los valores en la formula tendremos

$$h_f = \frac{1}{0,7} \left(\frac{(3,23)^2 - (2,49)^2}{2 * 9,8} \right)$$

$$h_f = 0,309 \text{ m}$$

Se determina la pérdida de carga de agua en las rejillas de sólidos gruesos con un valor de 0,39 m.

6.2.5. Dimensionamiento del desarenador rectangular (Pre tratamiento).

Caudal a tratar:

$$Q_{dis} = \frac{0,0041 \frac{m^3}{s}}{2} = 0,00205 \frac{m^3}{s}$$

Para el diseño del tanque desarenador rectangular, se calculó el volumen, tomando en cuenta el tiempo de retención que es de 180 según lo planteado en la Tabla (11) para partículas de arena gruesa (0,050cm).

$$V = Q_p * Tr \quad (\text{Ecuación 2.10})$$

Dónde

V= Volumen del arena retenida en el desarenador (m³).

Q= Caudal a tratar (0,00205 m³/s).

Tr= Tiempo de retención hidráulica (180 s).

Remplazando los valores en la formula tenemos.

$$V = 0,00205 \frac{m^3}{s} * 180s$$
$$V = 0,369 m^3$$

Con el caudal de 0,00205 se determina que se tendrá un volumen de 0,369 m³ de partículas de arena gruesa de 0,050 cm en 180 s.

- **Cálculo de las dimensiones propias del Tanque desarenador.**

Se determina as dimensiones propias del tanque:

Relación ancho- profundidad “RAP” = 1.5:1 Tabla (12)

Relación largo- ancho = 4:1 Tabla (12)

Ancho.

H= 2 m (propuesto)

b= RAP*H b= 1.5*2m b= 3m

Longitudes.

$$Lg = \frac{V}{b * H}$$

Dónde:

Lg= Longitud (m)

V= Volumen del arena retenida en el desarenador (0,369 m³)

b= Ancho del tanque desarenador propuesto (3m).

H= Altura del tanque desarenador propuesto (2m).

Remplazando los valores en la formula tenemos:

$$Lg = \frac{0,369m^3}{3m * 2 m}$$

$$Lg = 0,0,6 m$$

Para realizar el diseño del tanque se debe tomar en cuenta la recomendación de la bibliografía en la que se propone una longitud mínima de 10 m de largo por 3m de ancho y 2 m de alto según la Tabla (12).

- **Cálculo de la longitud de la transición de ingreso al desarenador.**

La longitud de transición se debe calcular para determinar a partir de que distancia el agua ingresada comienza a perder fuerza en el desarenador; se aplica la ecuación (2.19).

$$L_1 = \frac{B - b}{2 * tg\theta}$$

Dónde.

L_{g1} = Longitud de transición de ingreso al desarenador (m).

B= Ancho del desarenador (3m).

b= Ancho del Canal de entrada (0,80m)

Θ = Ángulo de divergencia de entrada al desarenador (12,5 °).

Remplazando los valores en la ecuación tenemos.

$$L_{g1} = \frac{3 - 0,80}{2 * tg12.5} \quad L_{g1} = 6,29m$$

La longitud de transición del agua una vez ingresada al desarenador será de 6,29 a partir de esta distancia las partículas comienzan a sedimentarse a mayor velocidad.

- **Cálculo de la velocidad de sedimentación.**

Para obtener los valores de la velocidad de sedimentación en el desarenador se aplica la ecuación (2.11).

$$V_s = \frac{1}{18} g \left(\frac{p_a - p}{\mu} \right) d^2$$

Los valores para determinar la velocidad de sedimentación son constantes.

Dónde:

V_s = Velocidad de sedimentación de las partículas de arena (cm/s²)

g= Aceleración de la gravedad (9,8 m/s²)

p_a = Densidad de la arena (2,65gr/cc)

p= Viscosidad cinemática del agua (0,99707 gr/cc)

μ = Viscosidad cinemática del agua (0,8975 cm²/s)

d= Diametro de las partículas de arena (0,02 cm)

Remplazando los valores en la formula tendremos:

$$V_s = \frac{1}{18} 980 \text{ cm/s}^2 \left(\frac{2,65 - 1}{0,8975} \right) * (0,02 \text{ cm})^2$$

$$V_s = 0,04 \text{ cm/s}$$

La velocidad de sedimentación en el tanque sedimentador es de 0.04 cm/s, es decir a esta velocidad se sedimentan las partículas de 0,02 cm de diámetro.

- **Cálculo de la cantidad de arena que se va a extraer del desarenador.**

La cantidad de sólidos totales se obtuvo mediante la caracterización del agua residual, dándonos un valor de **825,85mg/l** Tabla (16), por lo cual se determina que la existe una alta concentración de sólidos totales.

- **Cálculo de volumen de arena retenida.**

En la Tabla (11) se proporcionan valores propuestos para los sólidos suspendidos totales (arena) y se obtiene $220 \text{ mg/l} = 9,1 \text{ cm}^3 / \text{m}^3$ Valor constante.

El cálculo del volumen de la cantidad de arena que se va a extraer del desarenador nos sirve para diseñar el tanque de lodos que van colocados en cada uno de los tanques, para esto se aplica la siguiente formula:

$$V_a = SST * Q$$

$$V_a = 9,1 \text{ cm}^3 / \text{m}^3 * 0,0041 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$V_a = 0,037 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

El volumen que ocupan los sólidos en el tanque es de $0,037 \text{ cm}^3/\text{s}$

- **Cálculo del volumen total del tanque 1 para lodos.**

El cálculo del tanque 1 para lodos que va ubicado en el tanque desarenador se lo debe realizar con la finalidad de que los lodos sedimentados se puedan depositar en un tanque aparte, esto se lo realiza mediante la siguiente formula;

$$V_1 = Lg * B * H$$

Donde:

Lg= Longitud del tanque propuesto (1m).

B= Ancho del tanque desarenador (3m).

H= Alto del tanque propuesto (0,5m)

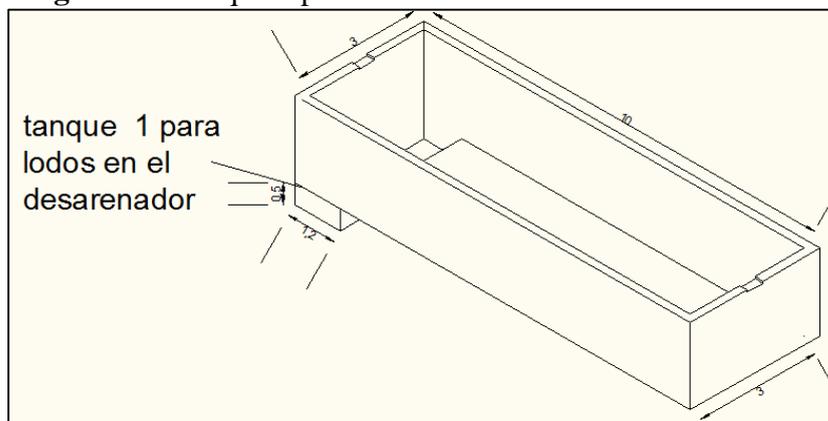
Remplazando los valores en la formula tenemos:

$$V_1 = (1m * 3m * 0.5 m)$$

$$V_1 = 1,5 m^3$$

El volumen del tanque 1 para lodos que va ubicado dentro del sistema de desarenado debe de tener 1,5 m³ debido a que en el desarenador se va a sedimentar mayor cantidad de sólidos.

Figura 12. Tanque 2 para lodos en la zona de sedimentación



Realizado por: El Autor.

- **Volumen del tanque 2 para lodos en el tanque sedimentador.**

El cálculo del volumen para el tanque 2 nos sirve para determinar la capacidad de almacenamiento de lodos que este va a tener, este tanque está ubicado en el tanque sedimentador, Al recibir la mitad de partículas sedimentables que son de menor tamaño y no fueron retenidas en el tanque desarenador se lo divide para dos

$$V_2 = \frac{Lg * B * H}{2}$$

Donde:

Lg= Longitud del tanque 2 propuesto (m).

B= Ancho del tanque sedimentador (1,66 m).

Alto del tanque el propuesto (0,5 m).

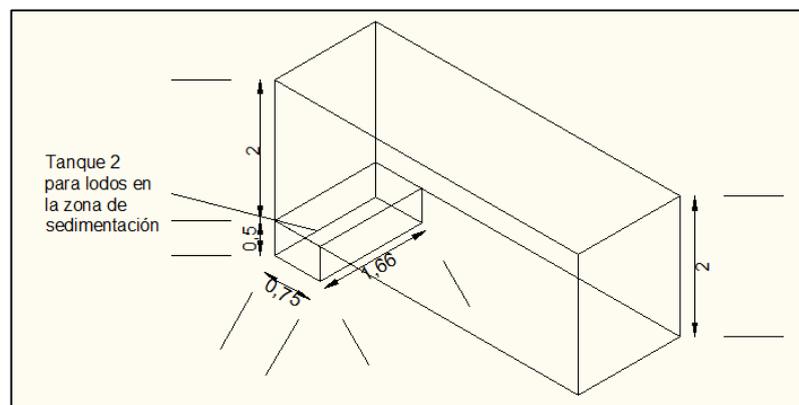
Remplazando los valores en la formula tenemos:

$$V_2 = \frac{0,75m * 1,66m * 0,5m}{2}$$

$$V_2 = 0,62m^3$$

El tanque numero dos que va ubicado en la zona de sedimentación debe tener un volumen de 0,62 m³, tomando en cuenta que en esta zona del sistema se sedimentaran las partículas de menor tamaño que no se sedimentaron en el primer tanque.

Figura 13. Tanque 2 para lodos en la zona de sedimentación.



Realizado por: El Autor.

- **Volumen Final de lodos.**

$$V_f = V_1 + V_2$$

$$V_f = 1,5 \text{ m}^3 + 0,62 \text{ m}^3$$

$$V_f = 2,12 \text{ m}^3$$

Se determinó el volumen total de lodos de $2,12 \text{ m}^3$, estos datos nos sirven para determinar el periodo de tiempo en el cual se le debe dar mantenimiento a los sistemas de tratamiento, en el cual se debe extraer los lodos almacenados, esto se lo realiza mediante la aplicación de la siguiente formula:

$$t = \frac{V_a}{V}$$

Donde:

t= Intervalo de tiempo de desalojo de lodos (días)

V= Volumen diario de lodos ($0,037 \text{ cm}^3/\text{s}$)

V= volumen total de los tanque de lodos ($2,12 \text{ m}^3$)

Remplazando los valores en la formula tendremos:

El volumen de los lodos que se obtuvo en $0,037 \text{ cm}^3/\text{s}$ se lo debe transformar a $\text{m}^3/\text{día}$.

$$V_a = 0,037 \text{ cm}^3/\text{s} = 0,799 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$t = \frac{2,12 \text{ m}^3}{0,799 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$t = 2,65 \text{ días}$$

Cada 3 días por seguridad de que el proceso de desarenado se lleve de manera eficiente se debe abrir las compuertas ubicadas a los extremos de los tanques de lodos para que de manera hidráulica se evacúe los lodos.

6.2.6. Dimensionamiento del sedimentador rectangular (tratamiento primario).

Se considera la velocidad terminal descrita por la bibliografía del (Manual de depuración Uralita, Citado por Vizuite, (2013), de 1,8 m/h.

$$A = \frac{Q}{v_c} \quad \text{Ecuación (2.20)}$$

Dónde:

A= Área superficial del tanque sedimentador (m²).

Q= Caudal diseño (0,0041 m³/s) transformado a (14,76 m³/h).

V_c= Velocidad terminal del agua propuesto por la metodología (1,8 m/h).

Remplazando los valores en la formula tenemos:

$$A = \frac{14,76 \text{ m}^3/\text{h}}{1,8 \text{ m}/\text{h}}$$

$$A = 8,24 \text{ m}^2$$

El área superficial del tanque sedimentador es de 8,24 m².

- **Determinación del ancho del tanque.**

Se determina el ancho del tanque mediante la aplicación de la ecuación 2.25:

$$b = \sqrt{\frac{A}{3}}$$

Dónde:

b= Ancho del tanque sedimentador (m).

a= área superficial del tanque sedimentador (8,24).

$$b = \sqrt{\frac{8,24m^2}{3}}$$

$$b = 1,66m$$

- **Determinación del largo del tanque sedimentador.**

Se determina mediante la ecuación (2.22).

$$l_g = 3b$$

Dónde:

L_g= Longitud del tanque sedimentador (m).

b= Ancho del tanque sedimentador (1,66 m).

Reemplazando los valores en la formula tenemos:

$$l_g = 3 * 1,66m$$

$$l_g = 4,98m$$

- **Determinación del volumen del tanque.**

Para la determinación del volumen se aplica la ecuación (2.25).

$$V = b * l_g * H$$

Dónde:

V= Volumen del tanque sedimentador (m²).

b= Ancho del tanque sedimentador (1,66 m).

l_g= Largo del tanque sedimentador (4,98 m).

H= Altura del tanque sedimentador propuesto (2 m).

Remplazando los valores en la formula tenemos:

$$V = 1,66m * 4,98m * 2m$$

$$V = 16,53m^3$$

El volumen total del tanque sedimentador es de 16,53 m³.

- **Tiempo de retención en al tanque sedimentador.**

Para el cálculo el tiempo de retención se aplica la ecuación (2.27).

$$t_{rh} = \frac{V}{Q}$$

Dónde:

T_{rh}= Tiempo de retención hidráulica (horas).

V= Volumen del tanque sedimentador (16,53 m³).

Q= Caudal (14,84 m³/h).

Remplazando los valores en la formula tenemos:

$$t_{rh} = \frac{16,53m^3}{14,84 m^3/h}$$

$$t_{rh} = 1,11h$$

El tiempo de retención hidráulica que se tendrá en el tanque sedimentador es de 1.11 h tiempo en el cual se producirá la sedimentación de las partículas.

- **Determinación de velocidad de arrastre.**

Para determinar la velocidad de arrastre que se producirá dentro del tanque de sedimentación se utilizan valores constantes que están dados en la siguiente fórmula.

$$V_a = \left[\frac{8k(s-1)gd}{f} \right]^{1/2}$$

Dónde:

k= Constante de chesión (0,05)

s= Gravedad específica (1,25).

g= Aceleración de la gravedad (9,8 m/s²).

d= aceleración de la gravedad (100 um).

f= Factor de Fricción Darcy-Weisbach (0,025).

Remplazando los valores en la fórmula tenemos:

$$V_a = \left[\frac{8 * 0,05(1,25 - 1)9,8 * 100 \times 10^{-6}}{0,025} \right]^{1/2}$$

$$V_a = 0.0626 \text{ m/s}$$

La velocidad de arrastre efectuada por la fuerza del agua dentro del tanque sedimentador es de 0,0626 m/s

- **Determinación de la velocidad horizontal.**

$$V_h = \frac{Q}{A_x}$$

Dónde:

V_h= Velocidad horizontal (m/s).

Q= Caudal de diseño (0,0041 m³/s).

A_x= Área transversal del tanque sedimentador (3,32 m²).

Remplazando los valores en la formula tenemos:

$$V_h = \frac{0,0041 \text{ m}^3/\text{s}}{3.32\text{m}^2}$$

$$V_h = 0,00123 \text{ m/s}$$

Se determina que la velocidad que se tiene en el tanques sedimentador son las adecuadas para realizarlos procesos de Fitorremediación.

- **Cálculo de la tasa de remoción de DBO.**

Para el cálculo de la tasa de remoción se trabajó con valores constantes “a (0,018)” y “b (0,02)” que son constantes empíricas.

$$\text{Remoción DBO} = \frac{T_R}{a + (b * t_r)}$$

Dónde:

Tr= Tiempo de retención hidraulica (1.11 h).

a= Constante empírica (0,018).

b= Constante empírica (0,02).

Remplazando los valores en la formula tenemos:

$$\text{Remoción DBO} = \frac{1,11\text{h}}{0,018 + (0,02 * 1,11\text{h})}$$

$$\text{Remoción DBO} = 27,61\%$$

La remoción de DBO dentro de los procesos de tratamiento de aguas residuales según el diseño del sistema es de 27,61 %.

- **Cálculo de tasa de remoción de Sólidos Suspendidos Totales.**

Para calcular la remoción de sólidos totales se aplica la siguiente formula.

$$\text{Remoción SST} = \frac{t_r}{a + b * t_r}$$

Tr= Tiempo de retención hidráulica (1.11h).

A= Constante empírica (0,0075).

B= Constante empírica (0,014).

Remplazando los valores en la formula tenemos:

$$\text{Remoción SST} = \frac{1,11 h}{0,0075 + (0,014 * 1,11)}$$
$$\text{Remoción SST} = 48 \%$$

La remoción de los sólidos totales dentro de los procesos de desarenado y sedimentación según el diseño del sistema será de 48%.

Cálculo de la altura máxima del vertedero.

Se considera una pendiente de 10% en el fondo de la unidad del tanque.

$$H = H + (0,1 * H)$$

Dónde:

H= Altura máxima (m)

H= Altura mínima (2m)

Remplazando los valores en la formula tenemos:

$$H = 2m + (0,1 * 0.2m)$$

$$H = 2,02m$$

La altura máxima del vertedero se calcula en 2,02 m, el vertedero debe de ser adaptado a las recomendaciones realizadas por el especialista y en base a la metodología planteada.

- **Cálculo de la altura del agua sobre el vertedero.**

El cálculo de la altura de agua sobre el vertedero nos sirve para el diseño del mismo, para esto se aplica la siguiente formula

$$H_v = \left[\frac{Q}{1,84 * B} \right]^{\frac{2}{3}}$$

Dónde:

H_v= Altura del agua sobre el vertedero (m).

Q= Caudal de diseño (0,0041m³/s).

B= Ancho del tanque sedimentador (1,66 m³).

Remplazando los valores en la formula tenemos:

$$H_v = \left[\frac{0,0041}{1,84 * 1,66} \right]^{\frac{2}{3}}$$

$$H_v = 0,012m$$

Se determina la altura del agua sobre el vertedero de 0,012 m.

- **Diseño de la placa difusora.**

Se determina el área total de los oricios de la planta difusora mediante la siguiente formula:

$$A_{To} = \frac{Q}{v_o}$$

Dónde:

A_{To} = área total de los orificios (m^2).

Q = Caudal de diseño ($0,0041 m^3/s$)

V_o = Velocidad de paso del agua entre los orificios propuesto ($0,1 m/s$).

Remplazando los valores en la formula tenemos:

$$A_{To} = \frac{0,0041 m^3/s}{0,01 m/s}$$
$$A_{To} = 0,041m^2$$

- **Determinación del área de cada orificio.**

La determinación del área de cada orificio se debe calcular para determinar la cantidad de orificios que se va a realizar en la placa, para esto se aplica la siguiente formula:

$$A_o = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2$$

Dónde:

A_o = área de cada orificio (m^2).

d = Diámetro de cada orificio ($0,2 m$).

Remplazando los valores en la formula tenemos:

$$A_o = \pi \left(\frac{0,2}{2} \right)^2$$
$$A_o = 0,031m^2$$

El área de cada orificio que está dentro de la planta difusora es de $0,031m^2$.

- **Determinación del número de orificios.**

Para determinar el número de orificios de la placa difusora es necesario conocer el área de la placa para lo cual se toma en cuenta en el ancho del tanque

sedimentador que es de 1,66 m, y la altura de la placa difusora que es de 1,20 m, se lo realiza mediante la siguiente formula:

$$n = \frac{A_{To}}{A_o}$$

Dónde:

n= Numero de orificios (n).

A_{To}= Área total de orificios (1,99 m²).

A_o= Área de cada orificio (0,031m²).

Remplazando los valores en la formula tenemos:

$$n = \frac{1,99m^2}{0,031m^2}$$
$$n = 64,26$$

En área de la placa difusora que es de 1,99 m², se debe hacer 64 orificios por donde pasara el agua.

- **Determinación de la porción de la altura de la placa difusora con orificios.**

El cálculo de la altura donde va a ser instalada la placa difusora se lo realiza para determinar a qué altura resulta más efectiva instalarla, se lo realiza mediante la aplicación de la siguiente formula:

$$H_{pd} = H - \left(\frac{2}{5} * H \right)$$

Dónde:

H_{pd}= Altura ponderada (m).

H= Altura del tanque sedimentador (2m).

Remplazando los valores en la formula tenemos:

$$H_{pd} = 2m - \left(\frac{2}{5} * 2m \right)$$
$$H_{pd} = 1,2m$$

- **Determinación del espacio entre filas de orificios.**

Se determina el espacio que deben tener cada fila dentro de la placa difusora mediante la siguiente formula:

$$a_1 = \frac{h_{pd}}{n_f}$$

Donde:

n_f = Número de filas de orificios propuestos (8).

h_{pd} = altura ponderada de la placa difusora (1,20 m).

Remplazando los valores en la formula tenemos:

$$a_1 = \frac{1,20m}{8}$$

$$a_1 = 0,15 m$$

- **Determinación del espacio entre columnas de orificios.**

El espacio entre las columnas se lo realiza para determinar la cantidad de columnas de orificios que van a ir dentro de la placa difusora, se calcula mediante la siguiente formula:

$$a_2 = \frac{b_{pd}}{nc + 1}$$

Donde:

b_{pd} = la base ponderada es el ancho del tanque sedimentador (1,66 m).

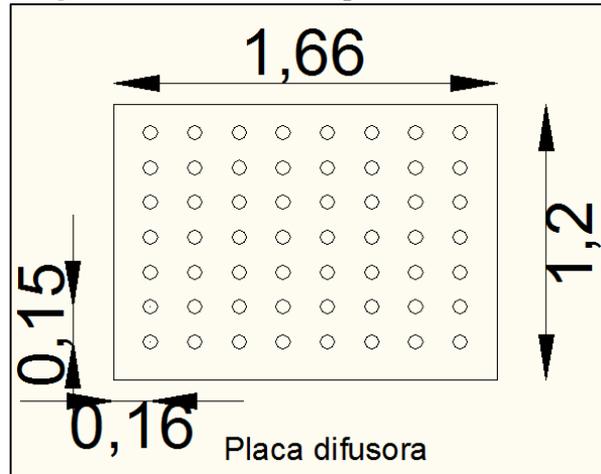
nc = número de columnas propuestas (8).

Remplazando los valores en la formula tenemos:

$$a_2 = \frac{1,66m}{9 + 1}$$

$$a_2 = 0,16 m$$

Figura 14. Diseño de la placa difusora.



Realizado por: El Autor.

En la Figura (28) se puede observar el diseño de la placa difusora con un área total de 1.99 m², la separación entre filas es de 0,15m, la separación entre columnas es de 0,16m, el total de orificios por donde pasara el agua son 64 unidades.

6.2.7. Calculo de piscinas para Fitorremediación propuestas.

El cálculo de la piscina de Fitorremediación se debe calcular para determinar las propiedades físicas de la misma; se lo realiza mediante la siguiente ecuación.

$$V = H * B * A$$

Donde.

H= Altura propuesta (1 m).

B= Largo propuesto (5 m).

A= Ancho propuesto (10m).

V= Volumen total de la piscina (m³)

Remplazando los valores en la formula tenemos:

$$V = 1m * 5m * 10m$$

$$V = 50m^3$$

El volumen total de la piscina de Fitorremediación propuesta es de 50 m³.

- **Tiempo de retención en hidráulica en las piscinas de Fitorremediación.**

El tiempo de retención hidráulica dentro de la piscina de Fitorremediación se calcula con la finalidad de determinar si la retención del agua presenta las características adecuadas para que las plantas puedan realizar los procesos de Fitorremediación, para lo cual se lo determina mediante la siguiente formula:

$$t_{rh} = \frac{V}{Q} \text{ Ecuación}$$

Dónde:

T_{rh} = Tiempo de retención (h).

V= Volumen de la piscina de Fitorremediación (50m³).

Q= Caudal de diseño (14,84 m³/h).

Remplazando los valores en la formula tenemos:

$$t_{rh} = \frac{50m^3}{14,84 m^3/h}$$

$$t_{rh} = 3,37h$$

6.2.8. Resultado del dimensionamiento de las unidades físicas de la Planta de Tratamiento para el sistema de Fitorremediación.

- **Caudal de diseño.**

Tabla 21. Resultado de caudal de diseño.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Dato
Caudal Medio Diario	Q_{md}	l/s	0,155
Caudal Máximo Diario	Q_{MD}	l/s	0,31
Caudal promedio	Q_{pro}	m ³ /d	12,79
Caudal de Diseño	Q_{des}	m ³ /s	0,0041

Realizado por: El Autor.

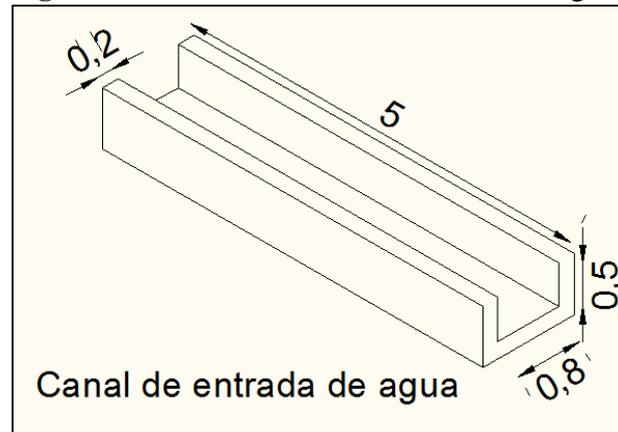
- **Canal de llegada**

Tabla 22. Medidas de canal de llegada.

Parámetro de diseño	Abreviatura	Valor	Unidad
Base (propuesto)	B	0,80	m
Espesor (propuesto)	E	0,20	m
Largo (Propuesto)	L	5	m
Altura Total	H	0,5	m
Pendiente.		2	%

Realizado por: El Autor.

Figura 15. Diseño del canal de estrada de agua.



Realizado por: El Autor.

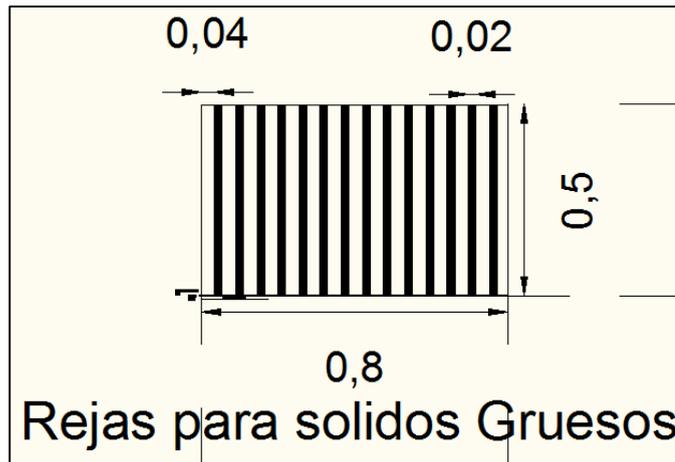
- **Rejillas de sólidos gruesos.**

Tabla 23. Medidas de Rejillas de sólidos gruesos.

Parámetros de Diseño	Abreviatura	Unidad	Valor
Separación entre barros	Bg	0,04	m
Ancho de cada barrote	A	0,02	M
Espacio ocupado por barros	H	0,52	m
Número de barras		14	und
Ancho	b	0,8	m
Alto de barros	a	0,50	m

Realizado por: El Autor.

Figura 16. Rejilla de sólidos gruesos.



Realizado por: El Autor.

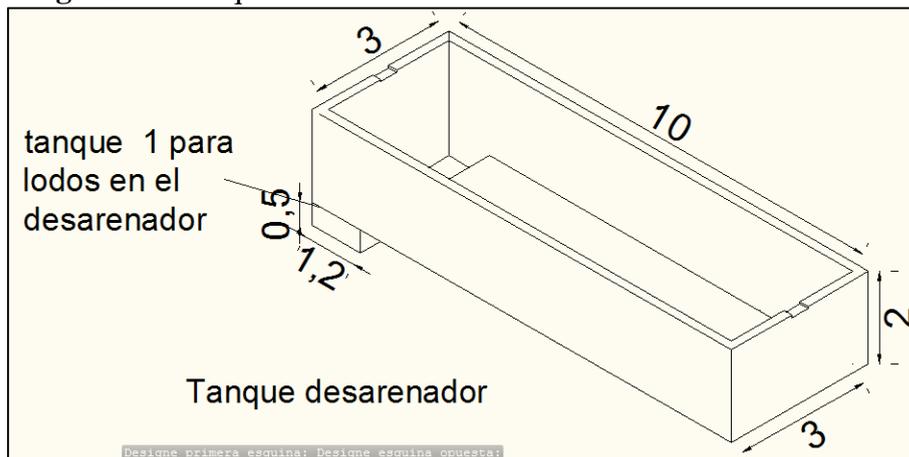
- Zona de desarenado.

Tabla 24. Medidas del Desarenador.

Parámetro de Diseño	Abreviatura	Unidad	Valor
Ancho	b	m	3
Altura del tanque propuesto	H	m	2
Espesor (Propuesto)	E	m	0,20
Largo del tanque	L	m	10
Volumen del Tanque	v	m ²	0.32

Realizado por: El Autor.

Figura 17. Tanque desarenador.



Realizado por: El Autor.

Para la entrada y salida de agua se debe construir dos canales en el centro del tanque desarenador con una altura de 0,05 m, una base de 0,40 m, de la misma manera se propone construir cuatro trampas de arena para facilitar el desarenado.

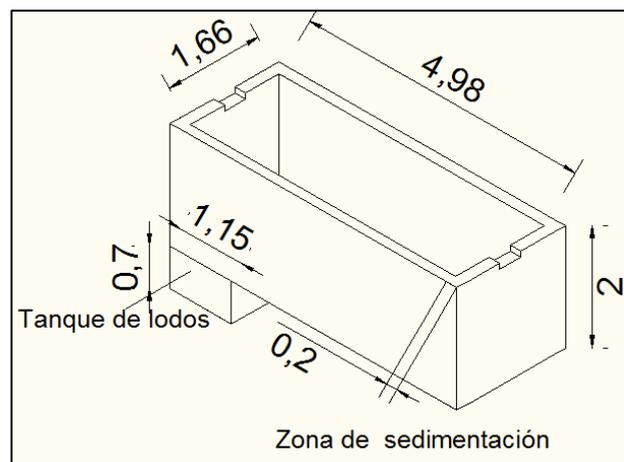
- **Zona de sedimentación.**

Tabla 25. Medidas del tanque sedimentador.

Parámetro de Diseño	Abreviatura	Unidad	Valor
Área superficial	A	m ²	8,24
Ancho	B	m	1,66
Largo del tanque	L _g	m	4,98
Volumen del Tanque	V	m ³	16,53
Tiempo de retención Hidráulica	Tr	h	1,11
Altura del tanque	H	m	2,00
Espesor (Propuesto)	E	m	0,20

Realizado por: El Autor.

Figura 18. Tanque de sedimentación.



Realizado por: El Autor.

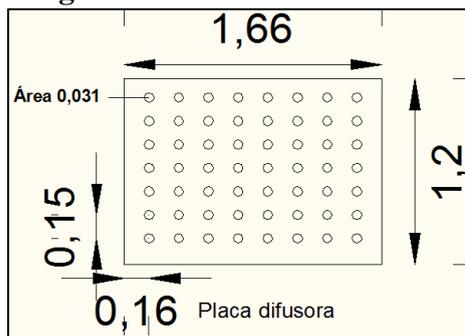
- **Placa difusora.**

Tabla 26. Diseño de la placa difusora.

Parámetro de Diseño	Abreviatura	Unidad	Valor
Área de cada orificio	A _o	m ²	0,031
Numero de orificios	n		64
Altura ponderada	H _{pd}	m	1,2
Numero de fila de orificios	nf		8
espacio entre filas de orificios	a ₁	m	0,15
Espacio entre columnas de orificios	a ₂	m	0,16
Numero de columnas	nc		8

Realizado por: El Autor.

Figura 19. Placa difusora.



Realizado por: El Autor.

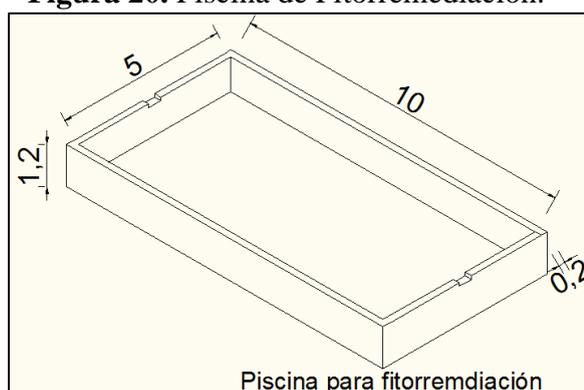
- **Zona de Fitorremediación.**

Tabla 27. Medidas de las piscinas de Fitorremediación.

Parámetro de Diseño	Abreviatura	Unidad	Valor
Altura propuesta	H	m	1
Largo propuesto	B	m	5
Ancho Propuesto	A	m	10
Volumen total de la piscina	V	m ³	50
Tiempo de retención	t _{rh}	h	3,37

Realizado por: El Autor.

Figura 20. Piscina de Fitorremediación.



Realizado por: El Autor.

Para mayor comprensión del diseño del sistema de tratamiento ver Anexo (15-16-17).

6.2.9. Construcción de un prototipo para realizar el sistema de Fitorremediación.

La construcción del prototipo para realizar la fase experimental con las macrofitas acuáticas se lo construyo en un costado de la planta de tratamiento de agua residual de la parroquia Unión Milagreña siguiendo los siguientes pasos.

- **Desbroce y limpieza del área.**

Para la implementación del sistema de Fitorremediación se desbrozo toda la cobertura vegetal de 80 m² con la finalidad de dejar el área limpia de malezas, el espacio físico fue utilizado para la construcción del sistema.

- **Preparación y nivelación del terreno.**

Se procedió a la preparación del terreno retirando toda la maleza, troncos y cualquier tipo de material que nos impedía realizar la construcción del sistema, se realizó la nivelación del terreno para la construcción de las fosas.

- **Señalización y medición de las fosas que forman el sistema.**

Se realizó la medición de las fosas a construir de acuerdo a las medidas establecidas en el diseño del sistema, para la señalización de las medidas tomadas de utilizo una cinta métrica y se señaló con estacas en cada punto tomado.

- **Construcción de la fosa de nivelación.**

La fosa de nivelación se lo construyo de 1.5 x 1.5 m y 1.0 m de profundidad a nivel del suelo, capaz de almacenar 1 m³ de agua procedente del sistema de tanques de sedimentación.

- **Construcción la fosa de sedimentación.**

Para retener los materiales más gruesos presentes en las aguas se construyó la fosa de sedimentación de 1m x 1m de ancho y 0.60m de profundidad y se colocó unas rejillas con la finalidad de hacer que el agua pierda velocidad, y se sedimenten las partículas más gruesas.

- **Construcción de la fosa para trampa de grasas.**

Con la finalidad de atrapar la grasa presente en el agua y evitar la putrefacción de las aguas se construyó una fosas para la trampa de grasas con las siguientes mediciones de 1m x 1m de ancho y 0.60m de profundidad, y se colocó una rejilla que atrapara la grasa por nivel diferencia de nivel.

- **Construcción de las piscinas para Fitorremediación**

Las piscinas para realizar los procesos de Fitorremediación se las construyeron de 1-5 de largo por 1.5 de ancho y 1.00 m de profundidad.

6.3. Identificar el comportamiento en los parámetros físicos-químicos del agua tratada en comparación con el agua sin tratar en los procesos de Fitorremediación.

6.3.1. Análisis de los datos del monitoreo obtenidos de cada uno de los procesos de Fitorremediación.

Luego de obtener los resultados de los análisis del laboratorio, se procedió al procesamiento de la información.

El procesamiento de los datos obtenidos en el laboratorio tiene como objetivo de identificar la eficiencia de los procesos de Fitorremediación que se llevó a cabo en las piscinas, comparando los resultados de la capacidad de acumulación

que tienen cada una de las macrofitas, en comparación con los resultados obtenidos en la caracterización del primer objetivo.

6.3.2. Análisis de la eficiencia en los procesos de Fitorremediación en aguas.

Luego tres meses de haber implementado el prototipo para realizar los procesos de Fitorremediación se realizó un análisis de las aguas en cada uno de las piscinas, obteniendo cada los siguientes resultados.

6.3.3. Pistia stratiotes L.

Figura 21. Piscina con Pistia stratiotes L.



Realizado por: El Autor.

➤ Resultados obtenidos en laboratorio.

Tabla 28. Resultados de análisis del agua en piscina con Pistia stratiotes L.

Parámetros	Expresado	Unidad	Resultado o de análisis Final.	Resultado análisis inicial
Temperatura	°C		25,4	27

Continúa...

Continuación

Potencial de hidrogeno	Ph		7,7	6
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	4	0,74
Sólidos totales	ST	mg/l	330,20	825,86
Demanda Química de oxígeno	DQO	mg/l	67,90	381,41
Demanda bioquímica de oxígeno.	DBO ₅	mg/l	22,0	124,0
Fósforo	PO ₄	mg/l	1,92	12,85
Nitritos	NO ₂	mg/l	5,86	0,06
Nitratos	NO ₃	mg/l	16,0	0,08
Coliformes totales	NMP/100	Col/100ml	1,2x10 ⁶	84x10 ⁵
Coliformes Fecales	NMP/100	Col/100ml	1,1x10 ⁵	42x10 ⁵

Realizado por: E. Autor.

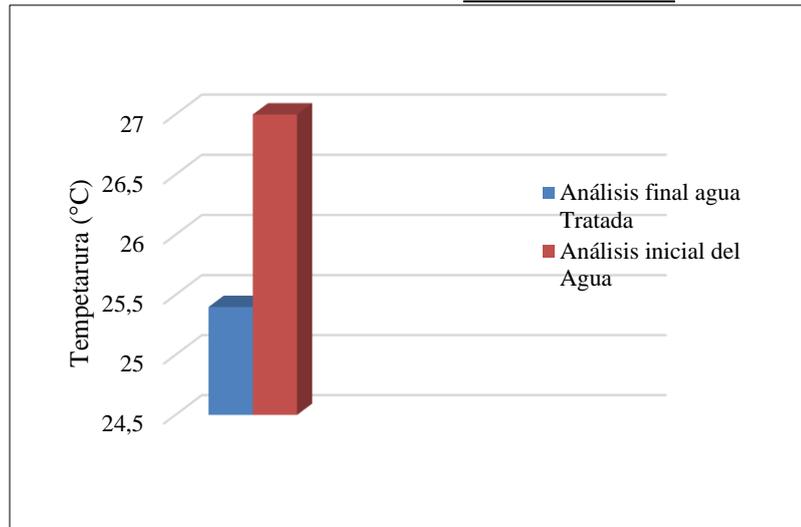
a. Análisis de datos obtenidos en campo.

Se analizan los resultados de los datos obtenidos en el campo al momento de tomar la muestra de agua para el análisis de laboratorio de agua.

- **Temperatura.**

El análisis de la temperatura realizado las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 13. Resultado de Temperatura en proceso de Fitorremediación con *Pistia stratiotes* L.



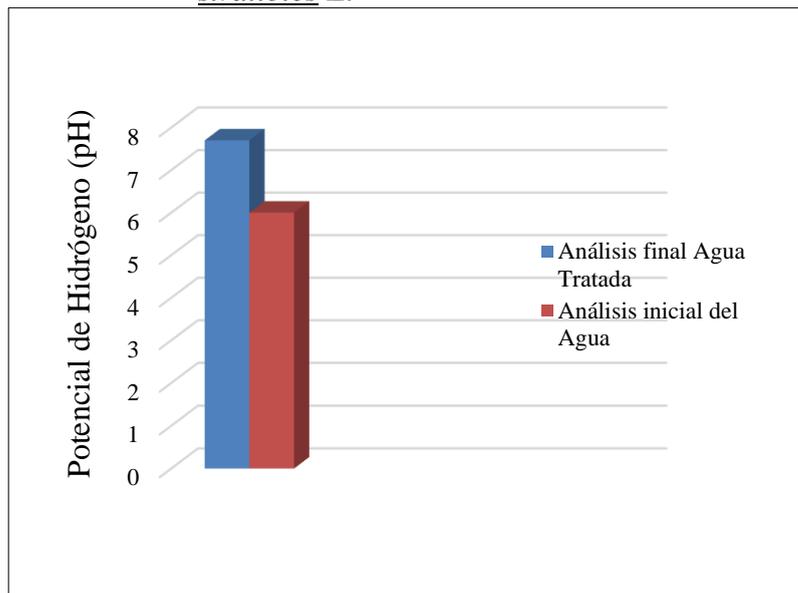
Realizado por: E. Autor

Interpretación: La Temperatura presente en el agua residual doméstica tratada en el prototipo para Fitorremediación con *pistia stratiotes* L, en la parroquia Unión Milagreña es de 25,4°C, por lo cual se considera una disminución en comparación con los resultados obtenidos en el análisis inicial de 27°C, disminuyendo un total del 5,93 %, esta disminución de la temperatura se debe a que las plantas actúan como un protector impidiendo el paso de la energía del sol y refrescando las aguas a través de sus raíces.

- **Potencial de Hidrógeno (pH).**

El análisis del Potencial de Hidrógeno (pH) a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 14. Resultado de Potencial de Hidrógeno (pH) en proceso de Fitorremediación con *Pistia stratiotes* L.



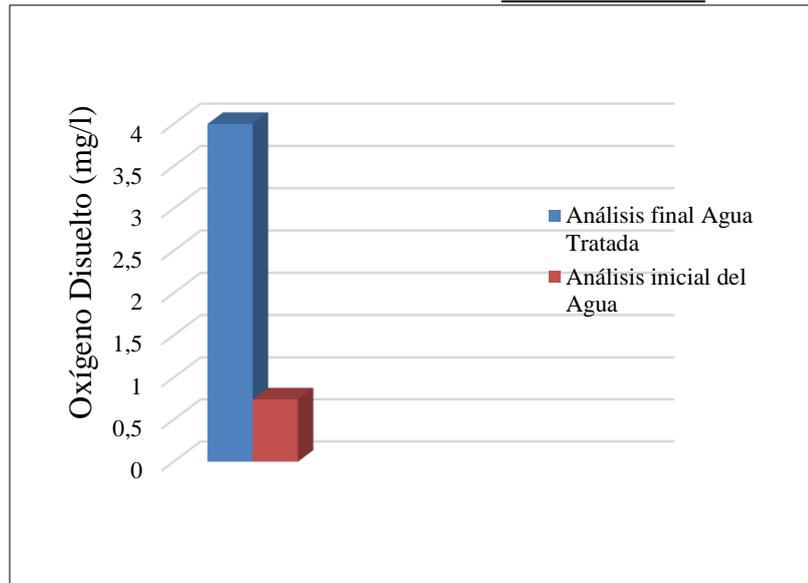
Realizado por: E. Autor

Interpretación: El Potencial de Hidrógeno presente en el agua residual doméstica tratada en el prototipo para Fitorremediación con *Pistia stratiotes* L. en la parroquia Unión Milagreña es de 7,7, se considera una disminución en comparación con los resultados obtenidos en el análisis inicial de 6, Aumentando un total del 16.67 %, y está dentro de los límites permisibles que establece el TULSMA Libro V, anexo I Tabla 10, un intervalo de 6-9, este aumento se debe a que las plantas utilizan los contaminantes presentes en el agua para realizar sus procesos fotosintéticos dejando pasar el agua con más bajas concentraciones de contaminación.

- **Oxígeno Disuelto (OD).**

El análisis de Oxígeno Disuelto (OD) a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 15. Oxígeno Disuelto (OD) en proceso de Fitorremediación con *Pistia stratiotes* L.



Realizado por: E. Autor

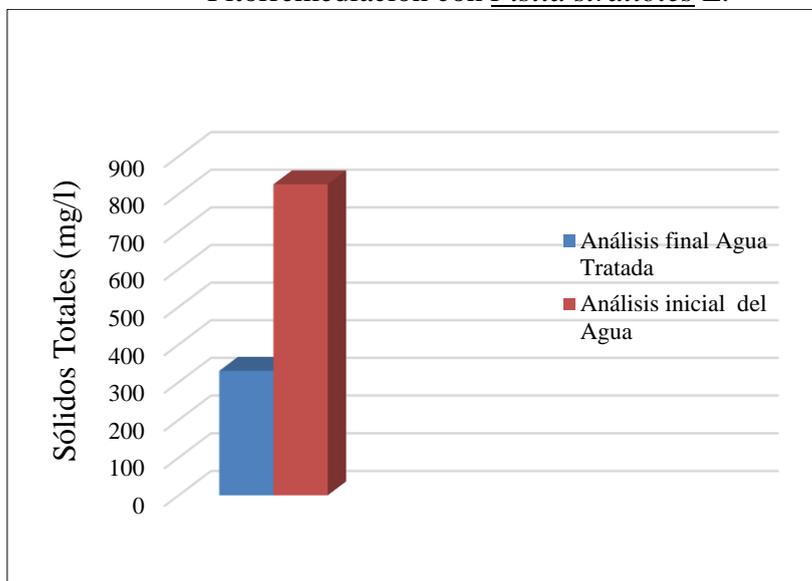
Interpretación: El Oxígeno Disuelto presente en el agua residual doméstica tratada en el prototipo para Fitorremediación con *Pistia stratiotes* L, en la parroquia Unión Milagreña es de 4, debido a este resultado se considera un aumento en comparación con los resultados obtenidos en el análisis inicial de 0,74, Aumentando un total del 540,54 %, llegando a los límites mínimos que debe presentar un cuerpo de agua para el desarrollo de la vida acuática, el aumento del oxígeno se dio gracias a que las plantas producen oxígeno a través de la fotosíntesis, el nivel de oxígeno disuelto es generalmente más elevado por la tarde y más bajo en horas de la mañana antes de la salida del sol.

b. Análisis de los resultados en laboratorio.

- **Sólidos Totales.**

El análisis de los Sólidos Totales realizado en el laboratorio LABSU a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 16. Resultado de Sólidos Totales en proceso de Fitorremediación con *Pistia stratiotes* L.



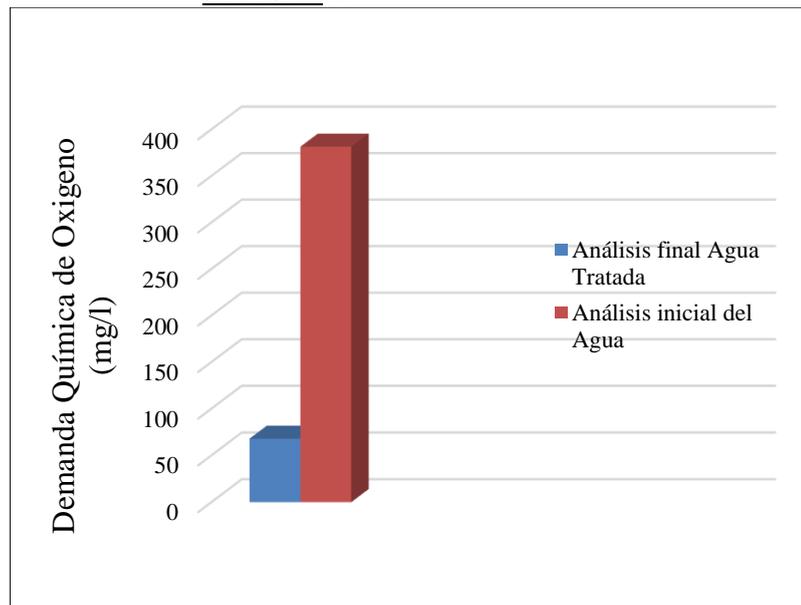
Elaborado por: El Autor.

Interpretación: Los sólidos totales presentes en el agua residual doméstica tratada en el prototipo para Fitorremediación con *Pistia stratiotes* L, en la parroquia Unión Milagreña es de 330,20 mg/l, se considera una disminución en comparación con los resultados obtenidos en el análisis inicial de 825,86 mg/l, disminuyendo un total del 60,02 %, esta disminución de los sólidos se debe a que gran cantidad de sólidos gruesos se quedan atrapados en las fosa sedimentadora construido, y los sólidos finos son atrapados en las raíces de las plantas actúan como un filtro y mejorando la claridad del agua.

- **Demanda química de oxígeno.**

El análisis de la Demanda química de oxígeno realizado en el laboratorio LABSU a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 17. Resultados Demanda química de oxígeno, en proceso de Fitorremediación con (*Pistia stratiotes* L.



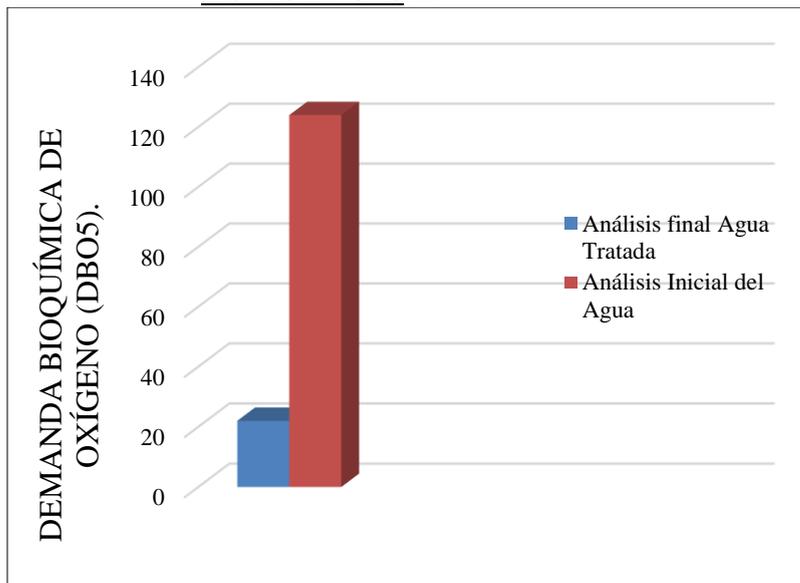
Realizado por: El Autor.

Interpretación: La Demanda química de oxígeno presente en el agua residual doméstica tratada en el prototipo para Fitorremediación con *Pistia stratiotes* L, en la parroquia Unión Milagreña es de 67,90 mg/l, por lo cual se considera una disminución en comparación con los resultados obtenidos en el análisis inicial de 381,41 mg/l, disminuyendo un total de 82,20 %, lo cual está por dentro de los límites permisibles establecidos por el TULSMA Tabla 10 de los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce que establece un valor de 250 mg/l, al disminuir la materia orgánica también se disminuye la cantidad de bacterias que evitan en el medio y se reduce la (DQO), necesaria para descomponer la materia orgánica.

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).**

El Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) realizado en el laboratorio LABSU a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 18. Resultado de Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en proceso de Fitorremediación con *Pistia stratiotes* L.



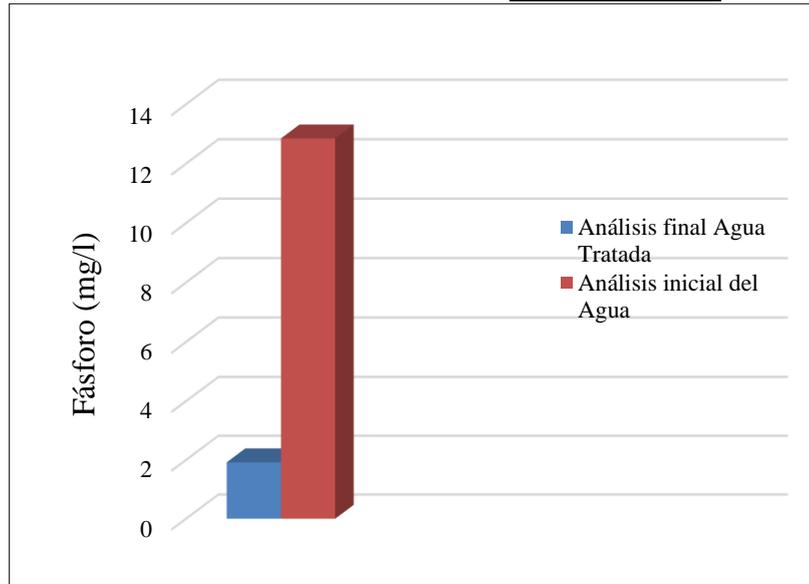
Realizado por: El Autor.

Interpretación: La Demanda bioquímica de oxígeno presente en el agua residual doméstica tratada en el prototipo para Fitorremediación con *Pistia stratiotes* L, en la parroquia Unión Milagreña es de 22,0 mg/l, por lo tanto se considera una disminución en comparación con los resultados obtenidos en el análisis inicial de 124,0 mg/l, disminuyendo un total de 82,26 %, lo cual está por dentro de los límites permisibles establecidos por el TULSMA Tabla 10 de los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce que establece un valor de 100 mg/l, esta disminución de la (DBO) se debe a que en el diseño del sistema de Fitorremediación, se queda gran cantidad de sólidos en los tanques sedimentadores a esto se suma la capacidad de las raíces de las plantas que actúan como filtro utilizando los compuesto para su desarrollo, y disminuye la cantidad de poblaciones de bacterias las cuales utilizan la (DBO)

- **Fósforo (PO₄).**

El análisis del Fósforos (PO₄) realizado en el laboratorio LABSU a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 19. Resultado de Fósforo (PO₄) en proceso de Fitorremediación con *Pistia stratiotes* L.



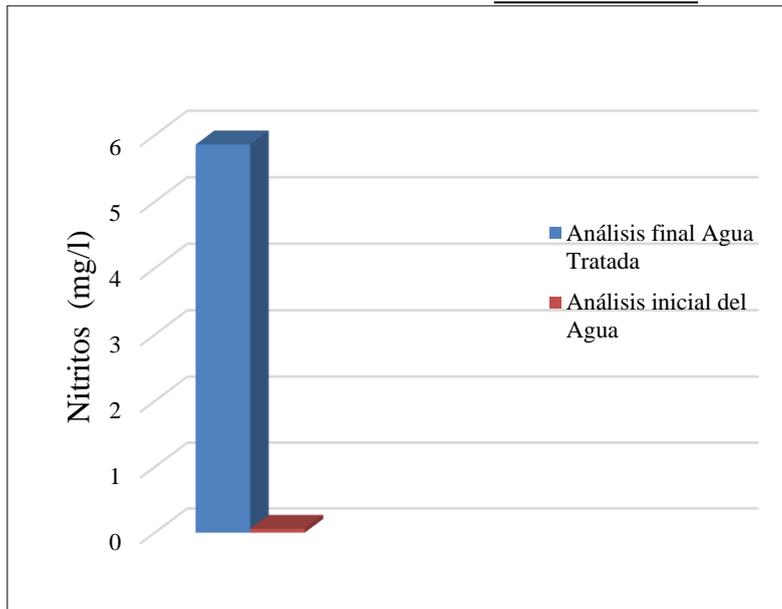
Realizado por: El Autor.

Interpretación: La cantidad de Fósforo (PO₄) presente en el agua residual doméstica tratada en el prototipo para Fitorremediación con *Pistia stratiotes* L, en la parroquia Unión Milagreña es de 1,92 mg/l, dado estos resultados se considera una disminución en comparación con los resultados obtenidos en el análisis inicial de 12,85 mg/l, disminuyendo un total de 85,06 %, la disminución de fósforo en el proyecto se debe a que es uno de los principales compuestos nutritivos que utilizan las plantas para realizar su fotosíntesis, este proceso se realiza a través de las raíces de las plantas que a través de sus pelos adsorbentes adsorben los nutrientes.

- **Nitritos (NO₂).**

El análisis de Nitritos (NO₂) realizado en el laboratorio LABSU a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 20. Resultados Nitritos (NO₂) en proceso de Fitorremediación con *Pistia stratiotes* L



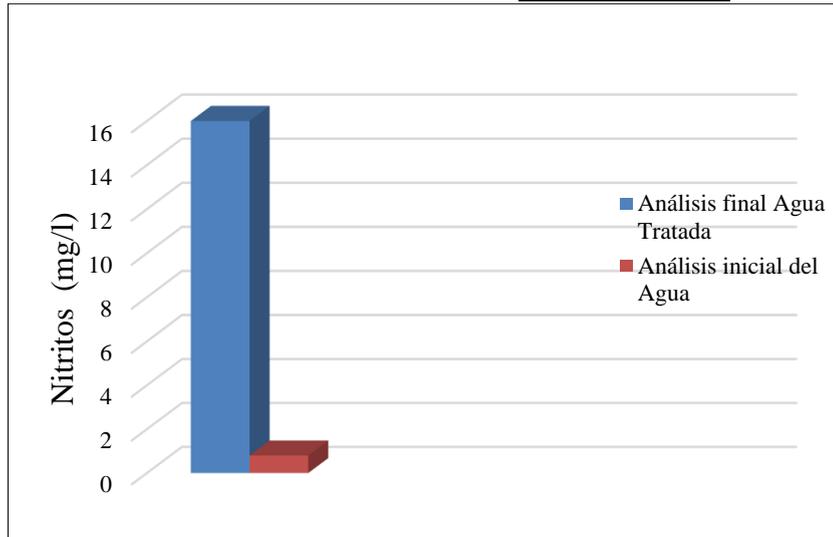
Realizado por: El Autor.

Interpretación: La cantidad de Nitritos (NO₂) presente en el agua residual doméstica tratada en el prototipo para Fitorremediación con *Pistia stratiotes* L, en la parroquia Unión Milagreña luego es de 5,86 mg/l, se considera un aumento en comparación con los resultados obtenidos en el análisis inicial de 0,06 mg/l, el proceso de aumento de nitrógeno en el agua donde existe *Pistia stratiotes* L se debe a que la especie produce nitrógeno a través de la fotosíntesis.

- **Nitratos (NO₃).**

El análisis de Nitratos (NO₃) realizado en el laboratorio LABSU a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 21. Resultados Nitratos (NO₃) en proceso de Fitorremediación con *Pistia stratiotes* L.



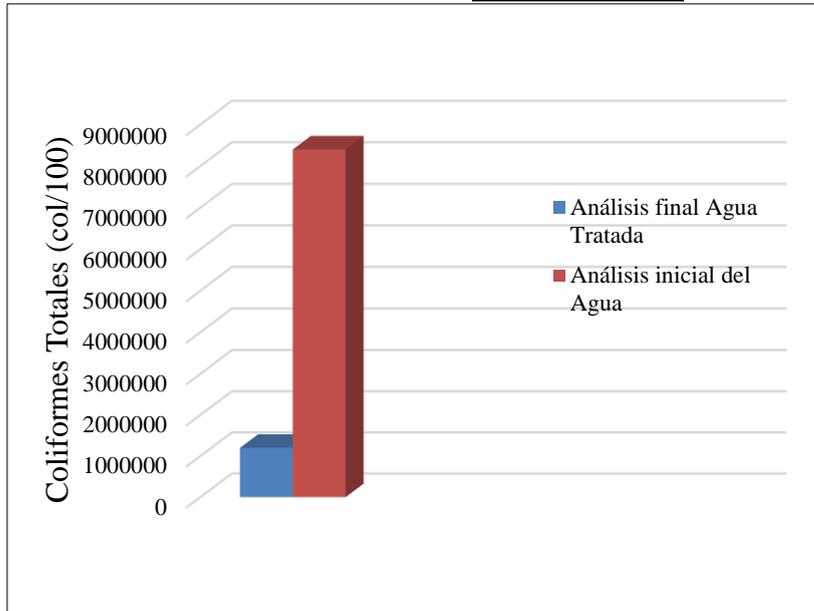
Realizado por: El Autor.

Interpretación: La cantidad de Nitratos (NO₃) presente en el agua residual doméstica tratada en el prototipo para Fitorremediación con *Pistia stratiotes* L, en la parroquia Unión Milagreña es de 16 mg/l, por lo tanto se considera un aumento en comparación con los resultados obtenidos en el análisis inicial de 0,8 mg/l, esto se debe a que las plantas utilizan el nitrógeno presente en el agua como fuente de nutrientes para el desarrollo de sus procesos de crecimiento.

- **Coliformes Totales.**

El análisis de Coliformes Totales realizado en el laboratorio LABSU a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 22. Coliformes Totales en proceso de Fitorremediación con *Pistia stratiotes* L



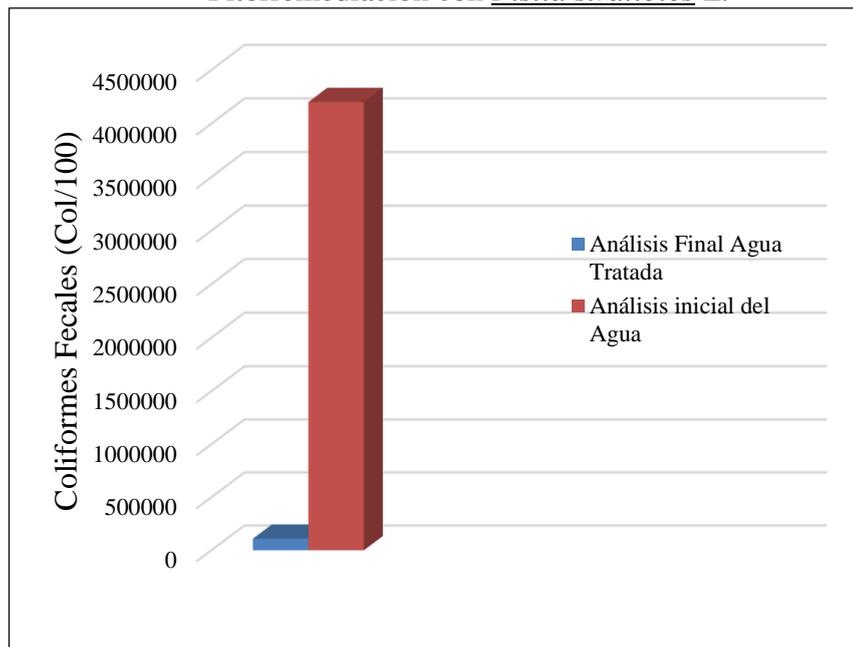
Realizado por: El Autor.

Interpretación: La cantidad de Coliformes Totales presente en el agua residual doméstica tratada en el prototipo para Fitorremediación con *Pistia stratiotes* L, en la parroquia Unión Milagreña es de $1,2 \times 10^6$ NMP/100ml, por lo tanto se considera una disminución en comparación con los resultados obtenidos en el análisis inicial de $8,4 \times 10^5$ NMP/100ml.

- **Coliformes Fecales.**

El análisis de Coliformes Fecales realizado en el laboratorio LABSU a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 23. Resultados Coliformes Fecales en proceso de Fitorremediación con *Pistia stratiotes* L.



Realizado por: El Autor.

Interpretación: La cantidad de Coliformes Fecales presente en el agua residual doméstica tratada en el prototipo para Fitorremediación con *Pistia stratiotes* L, en la parroquia Unión Milagreña es de $1,1 \times 10^5$ NMP/100ml, por lo cual se considera una disminución en comparación con los resultados obtenidos en el análisis inicial de 42×10^5 NMP/100ml.

6.3.4. *Eichhornia crassipes* Mart.

Figura 22. Piscina con *Eichhornia crassipes* Mart.



Realizado por: El Autor.

- **Resultados obtenidos en Laboratorio.**

Tabla 29. Resultados de análisis del agua en piscina con *Eichhornia crassipes* Mart.

Parámetros	Expresado	Unidad	Resultado de análisis final.	Resultado de análisis inicial
Temperatura	T	°C	25,4	27
Potencial de Hidrogeno	pH		7,4	6
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	4	0,74
Sólidos totales	ST	mg/l	396,00	825,86
Demanda Química de oxígeno	DQO	mg/l	96,16	381,41
Demanda bioquímica de oxígeno.	DBO ₅	mg/l	31,0	124,0
Fósforo	PO ₄	mg/l	2,72	12,85
Nitritos	NO ₂	mg/l	<0,10	0,06
Nitratos	NO ₃	mg/l	1,7	0,08
Coliformes totales	NMP/100	Col/100ml	1,3x10 ⁶	84x10 ⁵
Coliformes fecales	NMP/100	Col/100ml	1,2x10 ⁵	42x10 ⁵

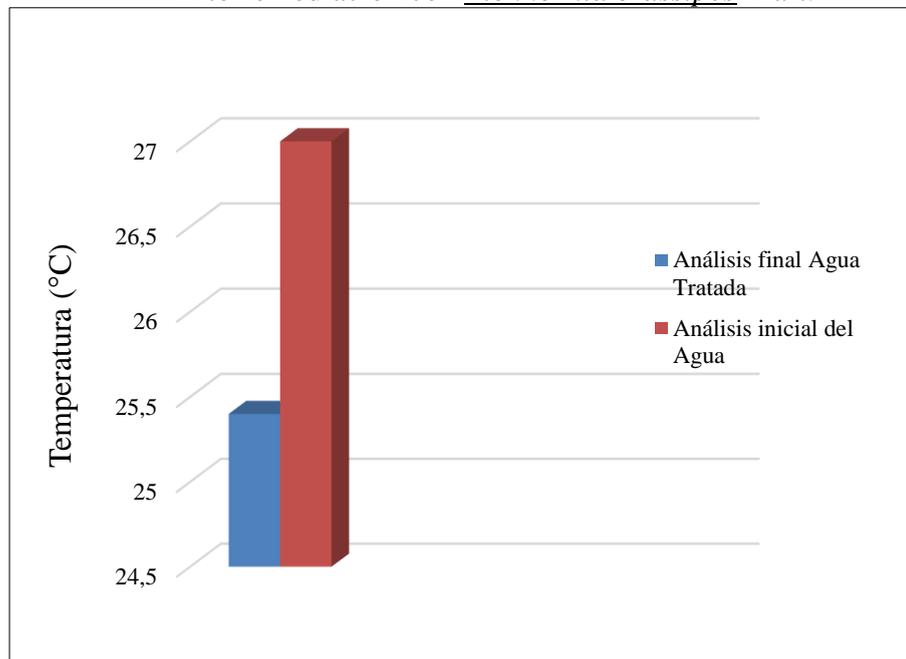
Realizado por: El Autor.

a. **Análisis de datos obtenidos en campo.**

- **Temperatura.**

El análisis de la Temperatura realizado a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 24. Resultado de Temperatura en proceso de Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* Mart.



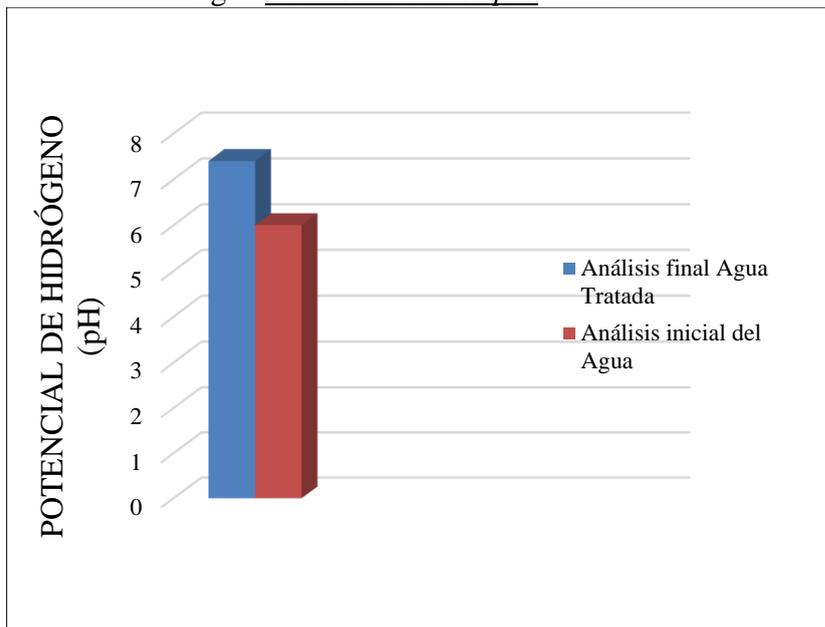
Realizado por: E. Autor

Interpretación: La Temperatura presentes en el agua residual doméstica tratada en el prototipo para Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* Mart, en la parroquia Unión Milagreña es de 25,4°C, por lo tanto se considera una disminución en comparación con los resultados obtenidos en el análisis inicial de 27°C, disminuyendo un total del 5,93 %, la disminución de la temperatura de debe a que las plantas actúan como una pantalla evitando que pasen los rayos del sol al agua y la calienten.

- **Potencial de Hidrógeno (pH).**

El análisis del Potencial de Hidrogeno (pH) realizado a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 25. Resultado de Potencial de Hidrógeno (pH) en proceso de Fitorremediación con Jacinto de agua *Eichhornia crassipes* Mart.



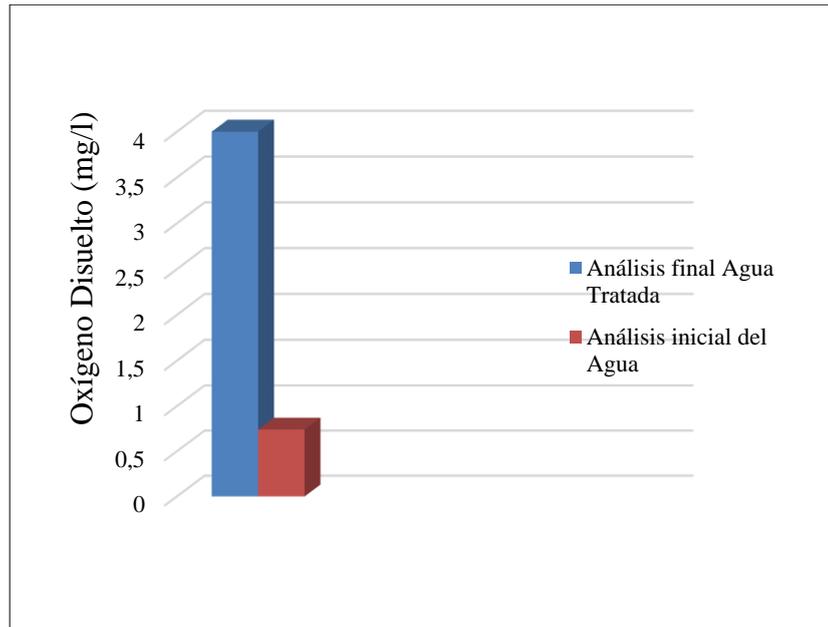
Realizado por: E. Autor

Interpretación: El Potencial de Hidrógeno presentes en el agua residual doméstica tratada en el prototipo para Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* Mart, en la parroquia Unión Milagreña es de 7,4, por lo tanta se considera una disminución en comparación con los resultados obtenidos en el análisis inicial de 6, Aumentando un total del 23,33 %, y está dentro de los límites permisibles que establece el TULSMA Libro V, anexo I Tabla 10, un intervalo de 6-9,el aumento del pH en el agua se debe a que las plantas y organismos asociados a ellas se alimentan de los contaminantes presente en el agua residual que causan la disminución del Ph.

- **Oxígeno Disuelto (OD).**

El análisis el Oxígeno Disuelto (OD) realizado a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 26. Oxígeno Disuelto (OD) en proceso de Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* Mart.



Realizado por: E. Autor

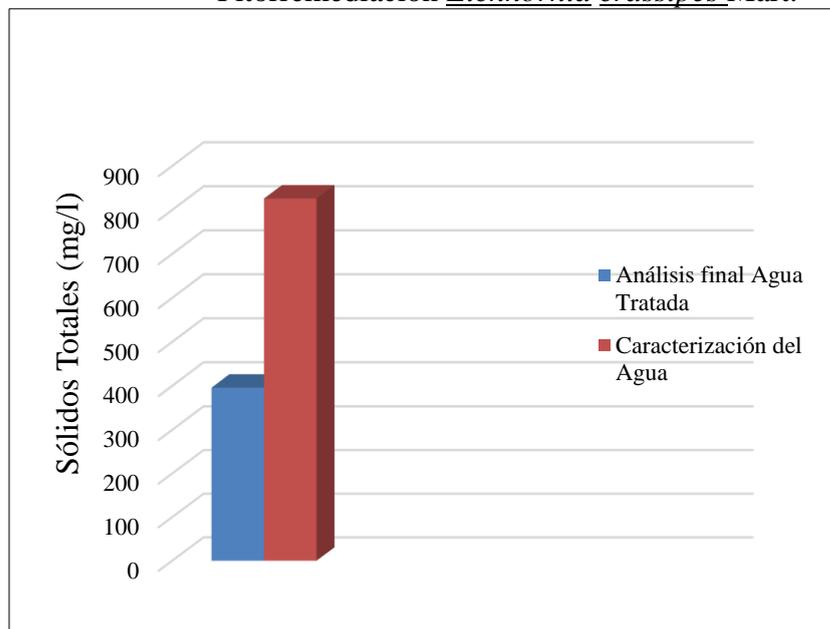
Interpretación: El Oxígeno Disuelto presentes en el agua residual doméstica tratada en el prototipo para Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* Mart, en la parroquia Unión Milagreña es de 4, por lo tanta se considera un aumento en comparación con los resultados obtenidos en el análisis inicial de 0,74, Aumentando un total del 540,54 %, en aumento de oxígeno se debe a que las plantas a través de sus raíces ingresan oxígeno al agua.

b. Análisis de los resultados en laboratorio.

- **Sólidos Totales.**

El análisis de Sólidos Totales realizado en el laboratorio LABSU a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 27. Resultado de Solidos Totales en proceso de Fitorremediación *Eichhornia crassipes* Mart.



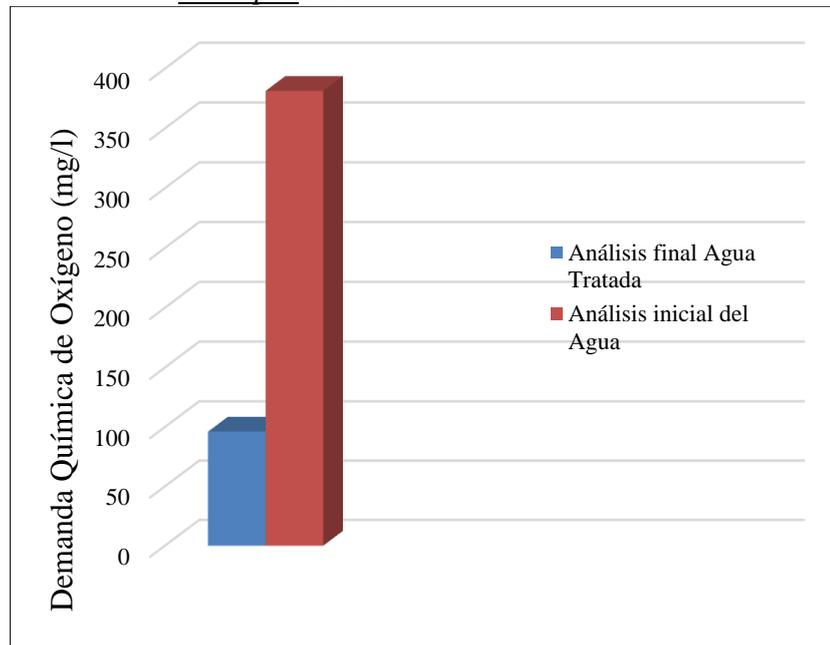
Elaborado por: El Autor.

Interpretación: Los sólidos totales presentes en el agua residual doméstica tratada en el prototipo para Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* Mart, en la parroquia Unión Milagreña en la parroquia Unión Milagreña es de 396,00 mg/l, por lo tanto se considera una disminución en comparación con los resultados obtenidos en el análisis inicial de 825,86 mg/l, disminuyendo un total del 47,95 %.

- **Demanda química de oxígeno (DQO).**

El análisis de la demanda química de oxígeno (DQO) realizado en el laboratorio LABSU a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 28. Resultados Demanda química de oxígeno (DQO₅) en proceso de Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* Mart.



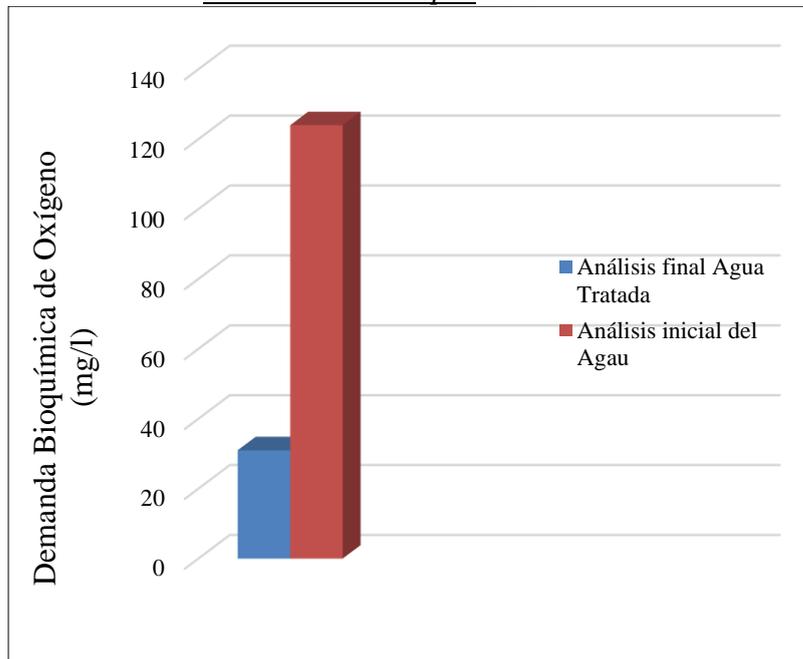
Realizado por: El Autor.

Interpretación: La Demanda química de oxígeno presente en el agua residual doméstica tratada en el prototipo para Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* Mart, en la parroquia Unión Milagreña en la parroquia Unión Milagreña es de 96,16 mg/l, por lo tanto se considera una disminución en comparación con los resultados obtenidos en el análisis inicial de 381,41 mg/l, disminuyendo un total de 25,21 %, lo cual está por debajo de los límites permisibles establecidos por el TULSMA Tabla 12 de los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce que establece un valor de 250 mg/l.

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).**

El análisis de la demanda química de oxígeno (DBO₅) realizado en el laboratorio LABSU a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 29. Resultado de Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en proceso de Fitorremediación *Eichhornia crassipes* Mart.



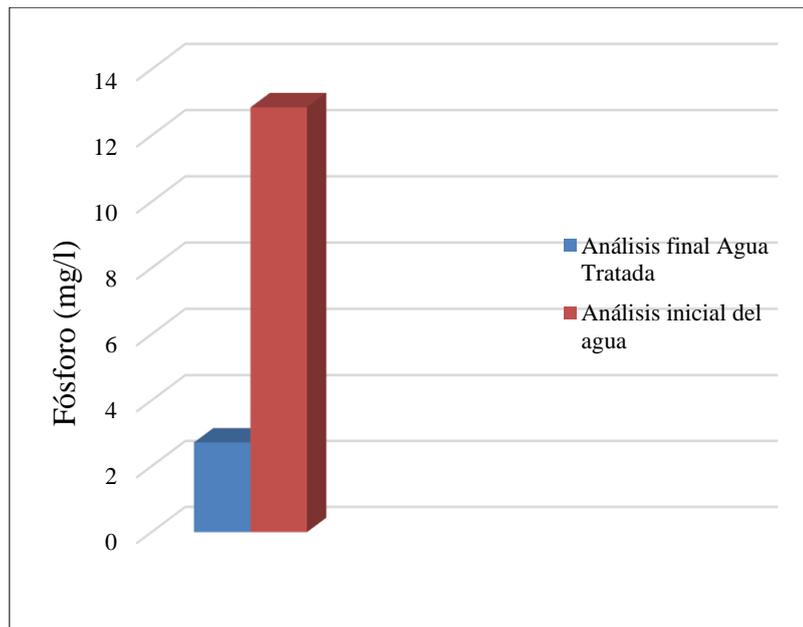
Realizado por: El Autor.

Interpretación: La Demanda bioquímica de oxígeno presente en el agua residual doméstica tratada en el prototipo para Fitorremediación *Eichhornia crassipes* Mart, en la parroquia Unión Milagreña es de 31,0 mg/l, por lo tanto se considera una disminución en comparación con los resultados obtenidos en el análisis inicial de 124,0 mg/l, disminuyendo un total de 25 %, lo cual está por debajo de los límites permisibles establecidos por el TULSMA tabla 12 de los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce que establece un valor de 100 mg/l.

- **Fósforo (PO₄).**

El análisis de Fósforo (PO₄) realizado en el laboratorio LABSU a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 30. Resultado de Fósforo (PO₄) en proceso de Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* Mart.



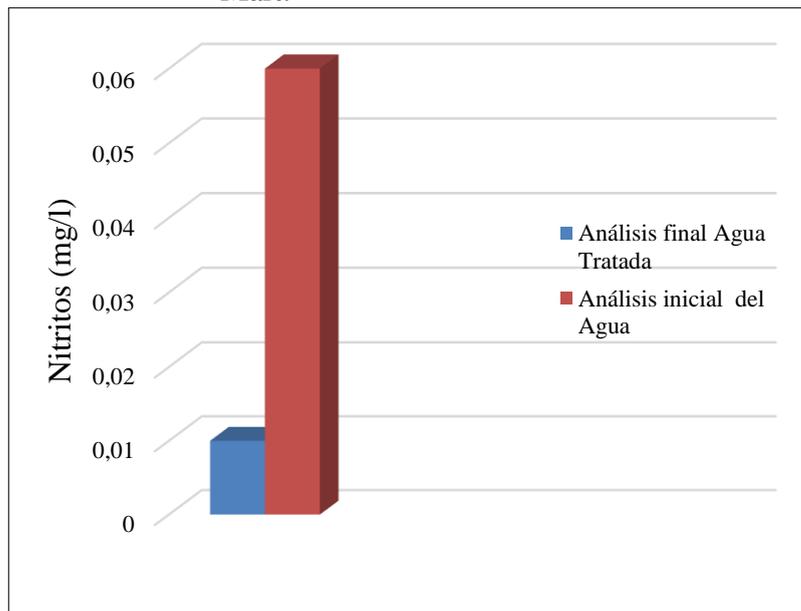
Realizado por: El Autor.

Interpretación: La cantidad de Fósforo (PO₄) presente en el agua residual doméstica tratada en el prototipo para Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* Mart, en la parroquia Unión Milagreña es de 2,72 mg/l, por lo tanto se considera una disminución en comparación con los resultados obtenidos en el análisis inicial de 12,85 mg/l, disminuyendo un total de 78,83 %.

- **Nitritos (NO₂).**

El análisis de Nitritos (NO₂) realizado en el laboratorio LABSU a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 31. Resultados Nitritos (NO₂) en proceso de Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* Mart.



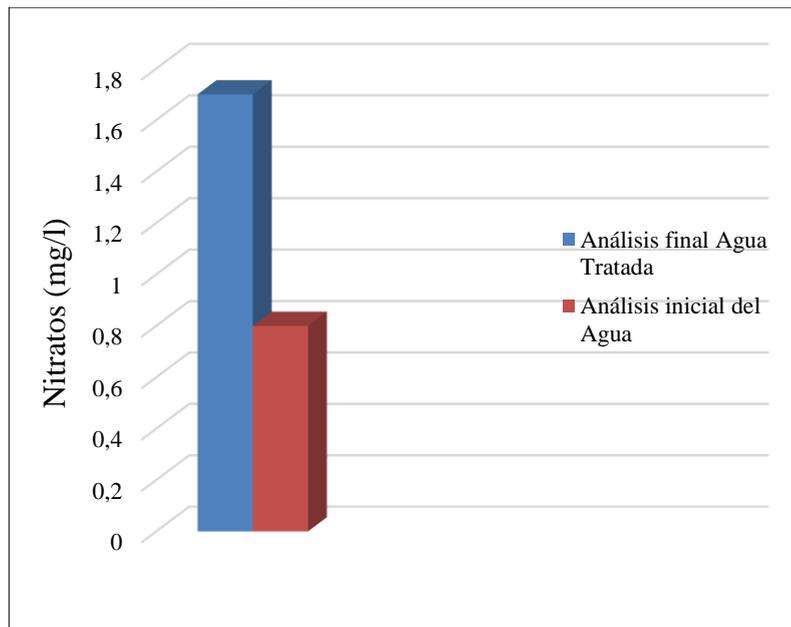
Realizado por: El Autor.

Interpretación: La cantidad de Nitritos (NO₂) presente en el agua residual doméstica tratada en el prototipo para Fitorremediación con Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes* Mart.). En la parroquia Unión Milagreña luego es de 0,010 mg/l, por lo tanto se considera un aumento en comparación con los resultados obtenidos en el análisis inicial de 0,06 mg/l, una disminución del 16,66%.

- **Nitratos (NO₃).**

El análisis de Nitratos (NO₃) realizado en el laboratorio LABSU a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 32. Resultados Nitratos (NO₃) en proceso de Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* Mart.



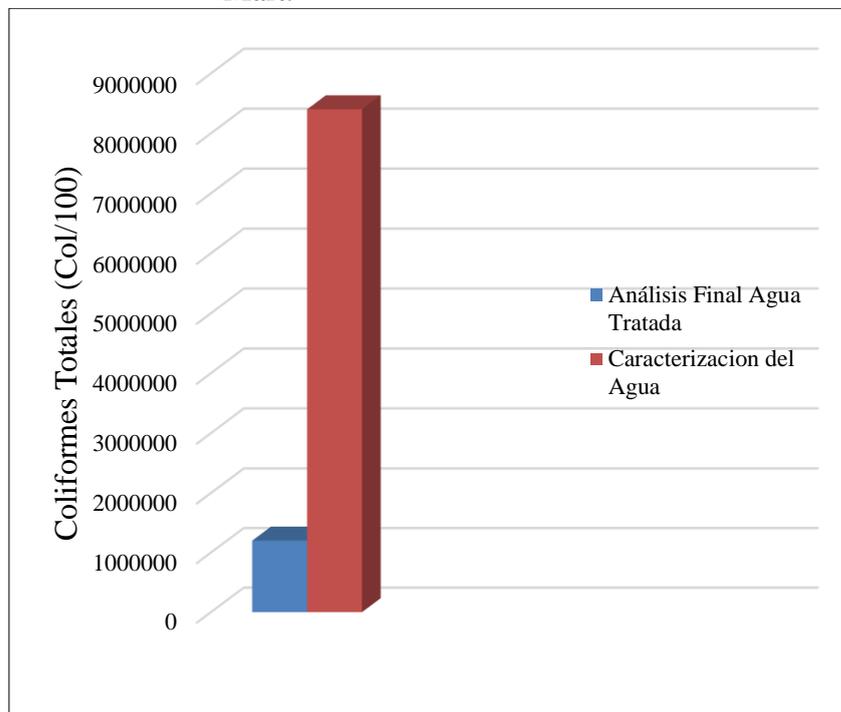
Realizado por: El Autor.

Interpretación: La cantidad de Nitratos (NO₃) presente en el agua residual doméstica tratada en el prototipo para Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* Mart, en la parroquia Unión Milagreña es de 1,7 mg/l, por lo tanto se considera un aumento en comparación con los resultados obtenidos en el análisis inicial de 0,8 mg/l.

- **Coliformes totales.**

El análisis Coliformes totales realizado en el laboratorio LABSU a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 33. Resultados Coliformes totales en proceso de Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* Mart.



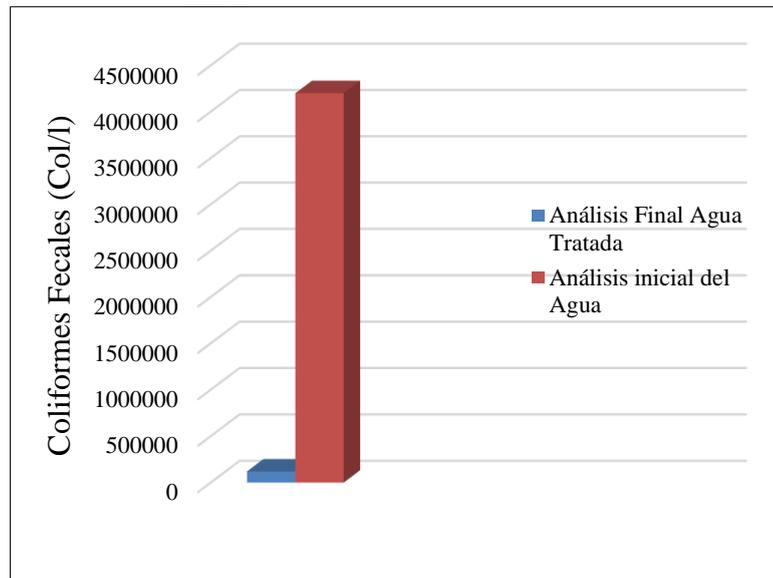
Realizado por: El Autor.

Interpretación: La cantidad de Coliformes Totales presente en el agua residual doméstica tratada en el prototipo para Fitorremediación con Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes* Mart.) en la parroquia Unión Milagreña es de $1,3 \times 10^6$ NMP/100ml, por lo tanto se considera una disminución en comparación con los resultados obtenidos en el análisis inicial de 54×10^5 NMP/100ml.

- **Coliformes Fecales.**

El análisis de Coliformes Fecales realizado en el laboratorio LABSU a las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas 2015, se muestra en el siguiente Gráfico:

Gráfico 34. Resultados Coliformes Fecales en proceso de Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* Mart.



Realizado por: El Autor.

Interpretación: La cantidad de Coliformes Fecales presente en el agua residual doméstica tratada en el prototipo para Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* Mart, en la parroquia Unión Milagreña es de $1,2 \times 10^5$ NMP/100ml, por lo tanto se considera una disminución en comparación con los resultados obtenidos en el análisis inicial de $4,2 \times 10^5$ NMP/100ml.

6.3.5. Análisis de capacidad Bioacumulación en las plantas.

- Bioacumulación en *Pistia stratiotes* L.

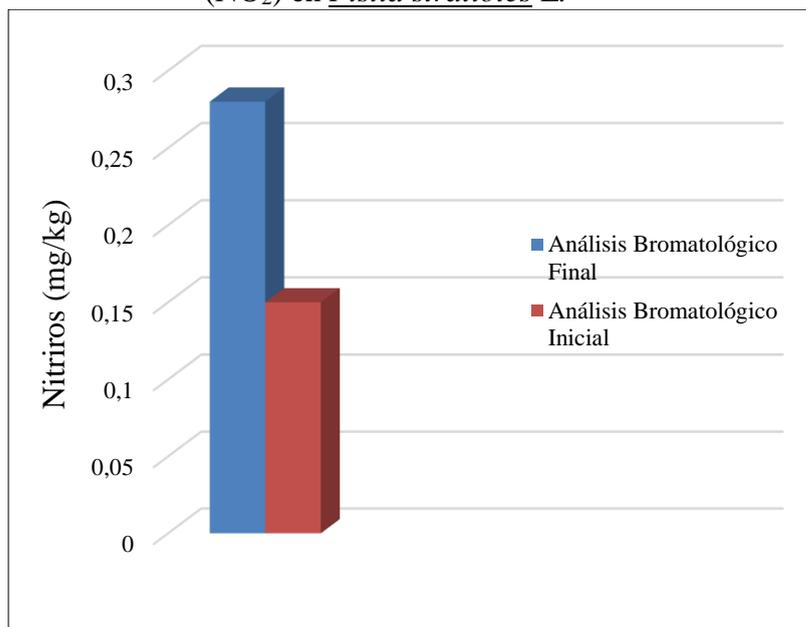
Tabla 30. Reultados de Bioacumulación en *Pistia stratiotes* L.

Parámetros	Expresado	Unidad	Resultado de análisis Bromatológico Final.	Resultado análisis Bromatológico inicial
Nitritos	NO ₂	mg/kg	0,28	0,15
Nitratos	NO ₃	mg/kg	250	229
Fósforo	PO ₄	mg/kg	175	144

Realizado por: El Autor.

- Nitritos (NO₂).

Gráfico 35. Resultado de Bioacumulación de Nitritos (NO₂) en *Pistia stratiotes* L.

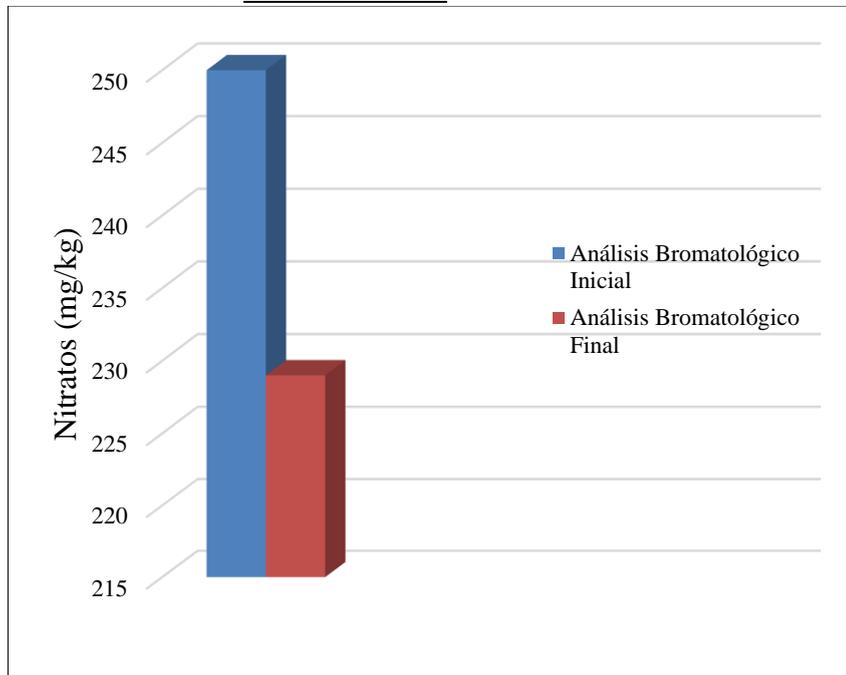


Realizado por: El Autor.

Interpretación: La cantidad de Nitritos (NO₂) acumulado en los tejidos de *Pistia stratiotes* L (Lechuga de agua) luego de realizar el proceso de Fitorremediación es de 0,28 mg/kg, en comparación con los resultados obtenidos en análisis bromatológico inicial de 0,15 mg/kg, se considera un aumento de 86,67%.

- Nitratos (NO₃).

Gráfico 36. Resultado de Bioacomulación de Nitratos (NO₃) en *Pistia stratiotes* L.

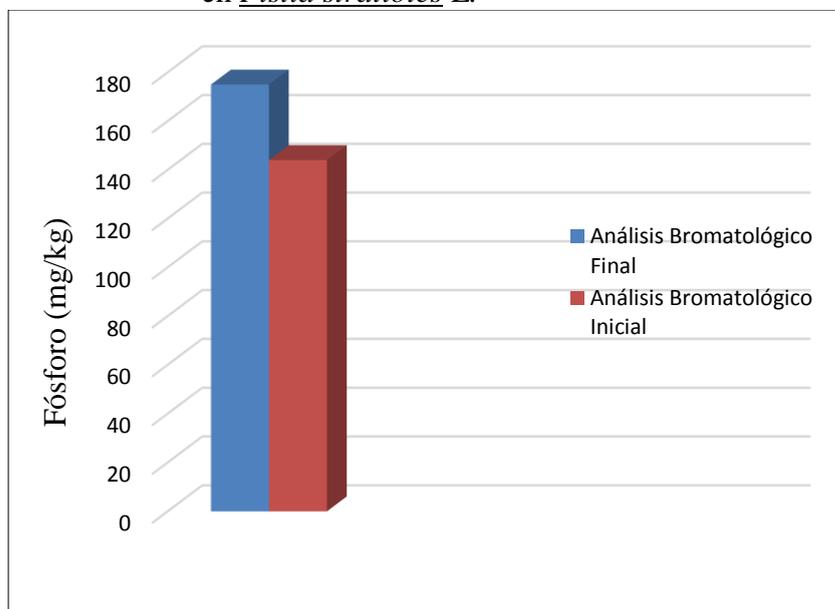


Realizado por: El Autor.

Interpretación: La cantidad de Nitratos (NO₃) acumulado en los tejidos de *Pistia stratiotes* L (Lechuga de agua) luego de realizar el proceso de Fitorremediación es de 250 mg/kg, en comparación con los resultados obtenidos en el análisis bromatológico inicial de 229 mg/kg, se considera un aumento de 9,17%.

- **Fósforo (PO₄)**

Gráfico 37. Resultado de Bioacumulación de Fósforo (PO₄) en *Pistia stratiotes* L.



Realizado por: El Autor.

Interpretación: La cantidad de Fósforo (PO₄) acumulado en los tejidos de *Pistia stratiotes* L (Lechuga de agua), luego de realizar el proceso de Fitorremediación es de 175 mg/kg, en comparación con los resultados obtenidos en el análisis bromatológico inicial de 144 mg/kg, se considera un aumento de 21,53%.

- **Bioacumulación en *Eichhornia crassipes* Mart.**

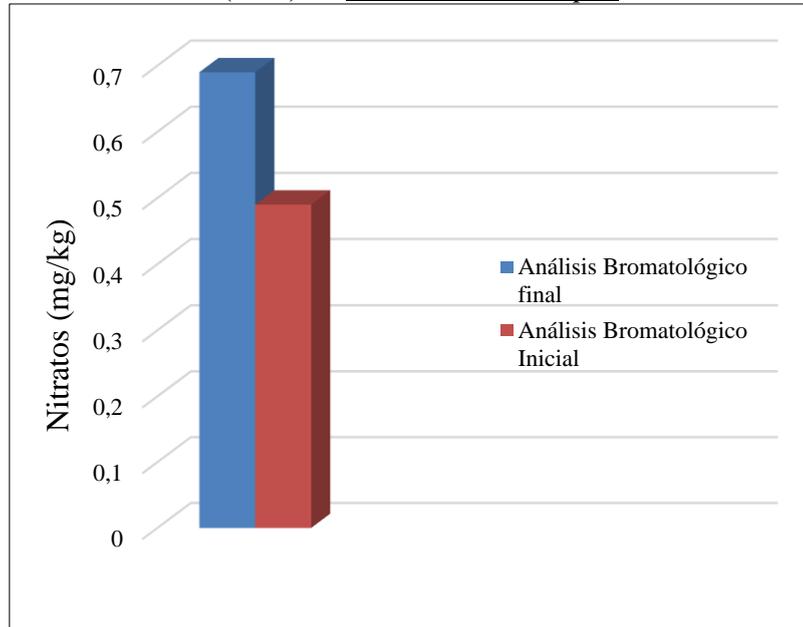
Tabla 31. Resultados de Bioacumulación en *Eichhornia crassipes* Mart.

Parámetros	Expresado	Unidad	Resultado de análisis Bromatológico Final.	Resultado de análisis Bromatológico inicial
Nitritos	NO ₂	mg/kg	0,69	0,49
Nitratos	NO ₃	mg/kg	320	300
Fósforo	PO ₄	mg/kg	209	180

Realizado por: El Autor.

- Nitritos (NO₂).

Gráfico 38. Resultados de Bioacumulación de Nitritos (NO₂) en *Eichhornia crassipes* Mart.

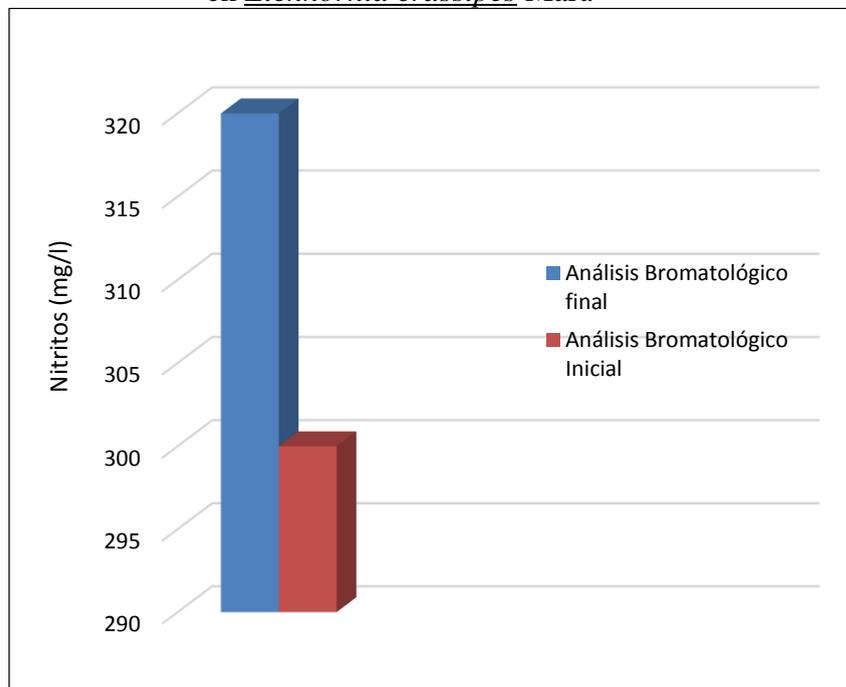


Realizado por: El Autor.

Interpretación: La cantidad de Nitritos (NO₂) acumulado en los tejidos de *Eichhornia crassipes* Mart (Jacinto de agua), luego de realizar el proceso de Fitorremediación es de 0,69 mg/kg, en comparación con los resultados obtenidos en el análisis bromatológico inicial de 0,49 mg/kg, se considera un aumento de 40,81 %.

- **Nitratos (NO₃).**

Gráfico 39. Resultados de Bioacomulación de Nitratos (NO₃) en *Eichhornia crassipes* Mart.

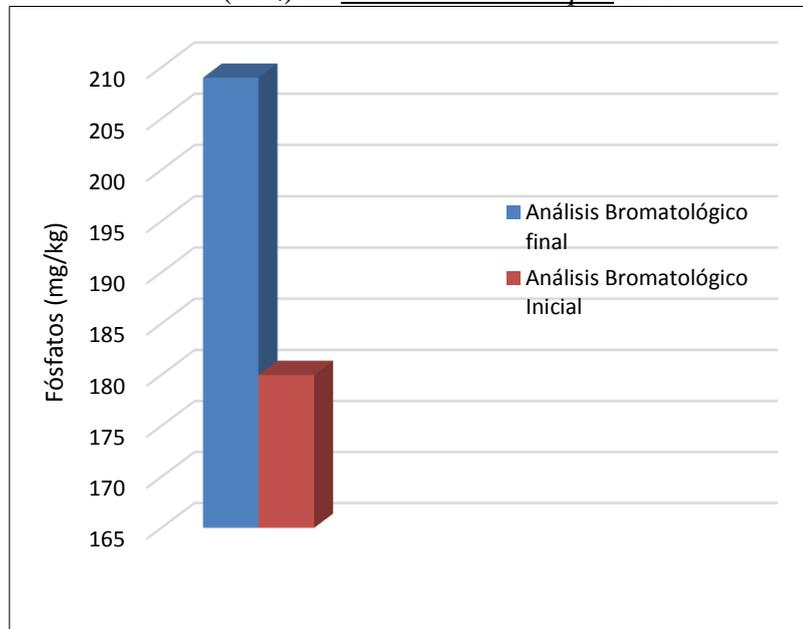


Realizado por: El Autor.

Interpretación: La cantidad de Nitratos (NO₃) acumulado en los tejidos de *Eichhornia crassipes* Mart (Jacinto de agua), luego de realizar el proceso de Fitorremediación es de 320 mg/kg, en comparación con los resultados obtenidos en el análisis bromatológico inicial de 300 mg/kg, se considera un aumento de 6,67 %.

- **Fósforo (PO₄)**

Gráfico 40. Resultados de Bioacumulación de Fósforo (PO₄) en *Eichhornia crassipes* Mart.



Realizado por: El Autor.

Interpretación: La cantidad de Fósforo (PO₄) acumulado en los tejidos de *Eichhornia crassipes* Mart (Jacinto de agua), luego de realizar el proceso de Fitorremediación es de 209 mg/kg, en comparación con los resultados obtenidos en el análisis inicial de 180 mg/kg, se considera un aumento de 16,11 %.

G. DISCUSIÓN.

- **Realizar la caracterización de las aguas residuales procedentes de los tanques sedimentores del sistema de alcantarillado de la Parroquia Unión Milagreña.**

El resultado de obtenido en el análisis inicial del agua residual doméstica de la Parroquia de la parroquia Unión Milagreña, las cuales son descargadas a un cuerpo de agua dulce se expone a continuación:

La temperatura del agua residual doméstica presenta un valor de 27°C, debido a que el contenido de materia orgánica de las aguas residuales incrementa la actividad microbiológica y esto a su vez provoca que se aumente la temperatura del agua; esto concuerda con Metcalf y Eddy (1998), quien afirma “que el aumento de la temperatura afecta y altera la vida acuática, modifica la concentración de oxígeno disuelto y la velocidad de reproducciones bacterianas”, cabe mencionarse que en el TUSMA libro VI, Anexo I, Tabla 10, establece el límite máximo permisible de descarga a un cuerpo de agua dulce de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ de la condición natural del ambiente, siendo la temperatura ambiente de Parroquia Unión Milagreña de 26 °C, por lo cual se considera que la temperatura se encuentra dentro del límite permisible.

El agua residual doméstica de Parroquia Unión Milagreña registra un valor de 6 unidades correspondiente a una solución alcalina, esto se debe a que el agua residual contiene iones disueltos de carbonatos, ácidos, carbonatos e hidróxidos; esto concuerda con Sánchez y Granda (2011), quien menciona que “cuando el pH aumenta, predomina la alcalinidad por carbonatos e hidróxidos y por ende se produce la precipitación de carbonatos de calcio, lo cual impide que el pH siga aumentando”. Este parámetro se encuentra dentro del límite máximo permisible (6-9) de acuerdo a la norma TUSMA libro VI, Anexo I, Tabla 10, de las descargas a un cuerpo de agua dulce.

Los sólidos totales presentes en el agua residual doméstica de la Parroquia Unión Milagreña presentan un valor de 825,86 mg/l, esto se debe a la presencia de materia sólida (sólidos disueltos, sólidos en suspensión y sólidos sedimentables), esto concuerda con lo mencionado por Metcalf y Eddy (1998), quien sostiene “que generalmente los sólidos totales en las aguas residuales constituyen los sólidos orgánicos (excretas humanas, desechos de productos alimenticios, carbohidratos) e inorgánicos (arena, tierra, sales minerales”. Este parámetro se encuentra dentro del límite máximo permisible (1600 mg/l) de acuerdo a la norma TULSMA libro VI, Anexo I, Tabla 10, de las descargas a un cuerpo de agua dulce.

La demanda química de oxígeno (DQO) presente en el agua residual doméstica tiene una concentración de 381,41 mg/l, esto se debe a la presencia de materia orgánica existente en el agua, esto concuerda con Soto et al., (2012), quienes indican que “la materia orgánica necesita una cantidad necesaria de oxígeno para su oxidación mediante la utilización de un fuerte oxidante químico en un medio ácido, se usa dicromato de potasio como oxidante”. Este parámetro se encuentra sobre los límites máximo permisible (200 mg/l) de acuerdo a la norma TULSMA libro VI, Anexo I, Tabla 10, de las descargas a un cuerpo de agua dulce.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) presente en el agua residual doméstica en la parroquia Unión Milagreña presenta un valor de 124 mg/l, debido a las altas presencias de materia orgánica, no permite que los microorganismos puedan estabilizar la materia orgánica biodegradable, por la insuficiente cantidad de oxígeno que se encuentra en el agua; esto coincide con lo mencionado por Soto et al (2012), quien menciona “que la cantidad de oxígeno consumida es proporcional a la materia orgánica que existe en un determinado desecho y que hará posible el posterior dimensionamiento de las unidades de tratamiento, así como la determinación de su eficiencia”. Este parámetro se encuentra fuera del límite máximo permisible (100 mg/l) de acuerdo a la norma TULSMA libro VI, Anexo I, Tabla 10, de las descargas a un cuerpo de agua dulce.

En el agua residual doméstica el fósforo presenta una concentración de 12,85 mg/l debido a que este se encuentra presente en los desechos humanos y los productos sintéticos utilizados en la limpieza del hogar, esto concuerda con Muñoz (2008), quien manifiesta “en las aguas residuales domesticas la concentración de fósforo es de 1 a 15 mg/l”. Este parámetro se encuentra fuera del límite máximo permisible (10 mg/l) de acuerdo a la norma TULSMA libro VI, Anexo I, Tabla 10, de las descargas a un cuerpo de agua dulce.

Los Nitratos y nitritos están dentro del grupo del Nitrógeno, en las aguas residuales domesticas de la Parroquia Unión Milagreña presentan concentraciones de Nitritos 0,06 mg/l y los Nitratos 0,8 mg/l, esto se debe a que a que las aguas residuales de origen doméstico, existe la aportación de Nitrógeno orgánico (excretas humanas, orinas, materia orgánica), y muy pocas concentraciones de compuestos nitrogenados utilizados en la agricultura, esto concuerda con Orozco (2005), quien manifiesta “el Nitrogeno normalmente esta presente como amoniaco (NH_3) su presencia se debe a los compuestos nitrogenados utilizados en la agricultura y como por ejemplo el uso de fertilizantes y detergentes; el nitrogeno organico es aportado a travez de las excretas humanas”. Este parámetro se encuentra dentro del límite máximo permisible (10 mg/l) de acuerdo a la norma TULSMA libro VI, Anexo I, Tabla 10, de las descargas a un cuerpo de agua dulce.

Los coliformas totales presentes en las aguas residuales domésticas de la Parroquia Unión Milagreña muestran una concentración de 84×10^5 NMP/100ml, los coliformes son indicadores de la existencia de organismos productores de enfermedades por lo tanto su presencia puede destacarse con facilidad y utilizarse como norma de control sanitario esto concuerda con Arcos et al., (2005), quien menciona que “los coliformes totales son un grupo de microorganismos que se encuentran en el suelo, aguas y sobre la superficie de las plantas y los intestinos de animales y humanos, estas bacterias son utilizadas como indicadoras en pruebas de agua porque su presencia señala que existe la presencia de excremento y organismos que pueden causar enfermedades están presentes en el agua”. Este

parámetro se encuentra sobre del límite máximo permisible (10000 NMP/100ml) de acuerdo a la norma TULSMA libro VI, Anexo I, Tabla 10, de las descargas a un cuerpo de agua dulce.

Los coliformes fecales presentes en el agua residual doméstica presentan un fuerte concentración de 42×10^5 NMP/100ml, esto se debe a que las bacterias presentes en el agua residual provienen de excretas humanas, las bacterias se colonizan en la pared intestinal del ser humano y son frecuentemente expulsadas en la heces fecales, contaminando las aguas, son indicadoras de la existencia de organismos productores de enfermedades, esto concuerda con lo mencionado por Arcos et al., (2005), “los coliformes fecales presentes en el agua residual domestica provienen de desechos humanos y animales, son causantes de enfermedades parasitarias y se considera del género *Escherichia coli*, como especie más representativa de contaminación fecal”. Este parámetro se encuentra sobre del límite máximo permisible (10000 NMP/100ml) de acuerdo a la norma TULSMA libro VI, Anexo I, Tabla 10, de las descargas a un cuerpo de agua dulce.

- **Diseñar un sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas mediante el empleo de *Ehichhornia crassipes* Mart. (Jacinto de agua), *Pistia stratiotes* L. (Lechuga de agua) como agente depurador.**

El diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas fue diseñado para 30 años de acuerdo a la norma INEN (XXX) que establece que los proyectos sociales deben ser diseñados con una proyección futura de 30 años, el sistema está compuesto por los siguientes componentes, canal de entrada de base 0,8m largo de 5m y alto 0,5m, en el canal se diseñó dos rejillas para retener los sólidos gruesos que se encuentran presentes en el agua, la rejilla cuenta de 14 barrotes los cuales cada barrote tiene un espesor de 0,02m x 0,50m de alto, la rejilla está diseñada a la misma medida del ancho del canal de entrada, esto concuerda con, Puente (2012), quien menciona “las rijillas de retención de solidos gruesos dentro de los pretratamiento debe de tener las mismas medidas del canal de entrada para evitar que se saturé al sistema por falta de mantenimiento”.

El tanque desarenador el cual cumple las funciones de retener las partículas gruesas de un diámetro de 0,05 cm hasta 0,02 cm con la finalidad de que estas lleguen a los siguientes tanques y poder garantizar la eficacia del proceso, de igual manera en este tanque se produce la retención del agua haciéndole perder fuerza el tanque desarenador se diseñó de 3 m de ancho por 10 de largo y dos de alto, con una capacidad de 32 m³ de agua, esto concuerda con Valdez & González (2003), quien menciona “ el tanque desarenador dentro de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas cumple la función de retener las partículas de arena para evitar que estas pasen al resto del sistema y se pueda garantizar la eficacia de los procesos.

El tanque sedimentador en cual cumple las funciones de sedimentación de las partículas disueltas menores a 0,02 cm que no fueron sedimentadas en el tanque desarenador el cual tiene una capacidad de 16,53 m³ con 1,66 m de ancho por 4,98 m de largo y dos metros de alto con una capacidad de retención de 1.11 h del agua ingresada, esto concuerda con Valdez & González (2003), quienes mencionan “la sedimentación de los sólidos suspendidos en un taque adecuado en el que mantienen las aguas por un lapso de 0,5 a 3 horas o más, que es suficiente para permitir que el 40 a 65% de los sólido finalmente divididos se posen en el fondo del tanque”.

La piscina para realizar los procesos de Fitorremediación se la diseño con una capacidad de acogida de 50 m³ de agua, la cual consta de 5 m de ancho por 10 m de largo y un metro de alto, debido a que las raíces de las plantas acuáticas llegan a crecer alta 0,60 m, y al ser plantas que no están plantadas en el suelo la corriente del tanque debe de ser mínima con la finalidad de evitar el arrastre de las plantas por la fuerza del agua esto concuerda con lo mencionado por Días, Atencio, & Pardo (2014), Quien menciona que “los sistemas de remediación de aguas residuales donde se vaya a implementar la Fitorremediación debe de ser diseñado tomando en cuenta las características de la planta como tamaño y reproducción”

- **Identificar el comportamiento en los parámetros físicos-químicos del agua tratada en comparación con el agua sin tratar en los procesos de Fitorremediación**

Los resultados obtenidos en el análisis luego de realizar los procesos de Fitorremediación con *Pistia Estratiotes* L y *Eihhornia Crassipes* Mart, se exponen a continuación:

Los niveles de Oxígeno luego de realizar los procesos de Fitorremediación con *Pistia Estratiotes* L y *Eihhornia Crassipes* Mart, aumentaron de 0,74 mg/l a 4 mg/l, esto se debe a que las plantas acuáticas flotantes ingresan oxígeno a través de sus raíces, esto concuerda con Velázquez, Martínez, & Quiroz, (2010), quienes mencionan que “los procesos de remediación mediante plantas flotantes consiste en que modifican las propiedades del pH, liberan exudados de las raíces, aumentan aireación-liberando oxígeno, incrementando la capacidad del suelo y el agua, efectúan transformación metabólica y reducen migraciones”.

Los Sólidos totales presentes en el agua residual luego de realizar los procesos de Fitorremediación con *Pistia Estratiotes* L disminuyeron de 825,86 mg/l a 330,20 mg/l, y con *Eihhornia Crassipes* Mart, 825,56 mg/l a 396 mg/l, la disminución de las concentraciones de sólidos totales se debe a que parte de estos se quedan retenidos en las fosas construidas para realizar el proceso de Fitorremediación, ya que las fosas actúan como un sistema de desarenado y sedimentación, a más de esto parte de los sólidos orgánicos son utilizados como fuente de nutriente de las plantas utilizadas en el proceso, esto concuerda con Velázquez, Martínez, & Quiroz, (2010), quienes mencionan que “los procesos de fitodepuración basado en utilización de humedales artificiales en los que se desarrollan las plantas acuáticas que contribuyen activamente a la eliminación de los contaminantes, principalmente materia orgánica, y el en sistema diseñado disminuyen la concentración de sólidos Inorgánicos (sedimentables)”.

La demanda bioquímica de oxígeno luego de realizar los procesos de Fitorremediación con *Pistia Estratiotes* L disminuyeron de 124 mg/l a 22 mg/l,

y con *Eihhornia Crassipes* Mart, de 124 mg/l a 31 mg/l, la remoción de la DBO₅ se lleva a cabo por la disminución de materia orgánica presente en el agua a más de esto los microorganismos asociados a las raíces de las plantas contribuyen a degradar la materia orgánica que no ha sido removida en el pre tratamiento, esto concuerda con lo mencionado por Marín & Correa (2010), “La remoción de DBO se lleva a cabo por la absorción de compuestos orgánicos en solución y por oxidación bacteria, ya que las capas superiores del suelo contienen microorganismos en abundancia, los valores más comunes que se estiman respecto a la cantidad de microorganismos son: 10⁷ bacterias, 10⁶ actinomices y 10⁵ hongos por gramo de tierra. Estos microorganismos son los responsables de remoción de DBO en las aguas residuales aplicada”.

El Fósforo (PO₄) luego de realizar los procesos de Fitorremediación con *Pistia Estratiotes* L disminuyeron de 12,85 mg/l a 1,92 mg/l, y con *Eihhornia Crassipes* Mart, de 12,85 mg/l a 2,72 mg/l, la remoción del fósforo se debe a que es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas es utilizado es los procesos metabólicos tales como la fotosíntesis, la transferencia de energía y la transformación de los carbohidratos, al encontrarse presente en el agua las plantas lo toman, esto concuerda con Delgadillo, Camacho, & Serie (2010), quienes mencionan que “El fosforo es el nutriente esencial para el crecimiento de las plantas y desarrollo de diversos organismos: por lo que las descargas de fosfatos en los cuerpos de aguas son aprovechados por las plantas y organismos asociadas a ellas”

H. CONCLUSIONES.

Luego de realizar el presente proyecto de investigación se ha considerado pertinente plantear las siguientes conclusiones;

- El análisis inicial realizado a las aguas residuales domesticas permitió identificar que las descargas poseen concentraciones de contaminación en su mayoría fuera de los límites permisibles contemplados en la Tabla 10 del TULSMA, entre los valores más significativos están coliformes Totales y Coliformes fecales lo que plantea un serio riesgo para la salud pública.
- El diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas está diseñado para para una población futura de 5500 habitantes en 30 años, La selección de la tecnología de tratamiento de aguas residuales ha sido escogida en función de parámetros ambientales, características propias de la zona, características del agua residual doméstica resultando como diseño de un canal de entrada provistas de rejillas de sólidos gruesos, un desarenador rectangular, un tanque para lodos, y por último una piscina para implementar el proceso de Fitorremediación.
- La Fitorremediación mediante el empleo de *Pistia Estratiotes* L y *Eihhornia Crassipes* Mart, son eficientes para descontaminar las aguas residuales domesticas reduciendo significativamente los índices de contaminación.
- En base a la realización de los procesos de Fitorremediación se determinó una disminución de los parámetros que se tomaron como indicadores en los cuales tenemos con *Pistia estratiotes* L: (OD) inicial 0,74mg/L, final 4 mg/L, Sólidos Totales inicial 825,85 mg/L, final 330,20 mg/L, Demanda Química de Oxigeno inicial 381,41 mg/L, final 67,90 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxigeno inicial 124,0 mg/L, final 22,0 mg/L, Fósforo inicial 12,86 mg/l. final 1,92 mg/L.

- En el proceso de Fitorremediación realizado con *Eichhornia crassipes* Mart, se obtuvo una disminución de los parámetros tal y como se indica a continuación: Sólidos Totales inicial 825,85 mg/L, final 396,0 mg/L, Demanda Química de Oxígeno inicial 38,41 mg/L, final 96,16 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno inicial 124,0 mg/L, final 31,0 mg/L, Fósforo inicial 12,86 mg/l, final 2,72 mg/L,
- Mediante un análisis bromatológico realizado a la *Pistia stratiotes* L antes y después del proceso de Fitorremediación se determinaron concentración tales como: concentración inicial de Nitritos 0,15mg/Kg concentración final 0,28mg/Kg, Nitratos concentración inicial 229mg/L concentración final 250mg/Kg , Fosforo inicial 144mg/Kg final 175
- En el examen bromatológico realizado a *Eichhornia crassipes* Mart, se identifica las siguientes concentraciones: Nitritos inicial 0,49mg/Kg, final 0,69mg/Kg, Nitratos Inicial 300mg/Kg final 320mg/Kg, Fósforo inicial 180mg/Kg final 209mg/Kg.

I. RECOMENDACIONES.

Luego de realizar este trabajo se recomienda lo siguiente.

- Se debe construir un sistema de alcantarillado pluvial para evitar el arrastre excesivo de partículas que provoquen el taponamiento de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales.
- Es necesario capacitar a la comunidad sobre la importancia de conservar el agua y los problemas que se presentan cuando se vierten productos químicos agrícolas en los sistemas de alcantarillado público.
- Al estudio realizado es necesario darle mantenimiento a las unidades de tratamiento existentes en el lugar para garantizar el adecuado funcionamiento del sistema de Fitorremediación, evitando taponamiento de las respectivas unidades diseñadas.
- De acuerdo a los procesos de Fitorremediación se debe plantear realizar abonos orgánicos con las plantas utilizadas en los procesos, debido a su alto contenido de nutrientes.
- Se recomienda que se continúe con la investigación más a fondo con los procesos de Fitorremediación en aguas residuales domésticas en los parámetros que no se estudiaron para determinar su eficiencia.

J. BIBLIOGRAFÍA.

- ArgenBio, C. (2007). *PQBio POR QUÉ BIOTECNOLOGÍA*. Obtenido de ArgenBIO:
<http://www.porquebiotecnologia.com.ar/index.php?action=cuaderno&opt=5&tipo=1¬e=36>
- Delgadillo, A. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16.
- Ecuared. (2015, 03 28). *Ecuared conocimiento con todos y para todos* . Obtenido de Ecuared conocimiento con todos y para todos :
http://www.ecured.cu/index.php/Jacinto_de_agua
- GALVEZ, J. J. (2011). *Ciclo Hidrológico*. Lima: Sociedad Geográfica de Lima.
- Gobierno de España. (2011, 11). *www.zaragoza.es*. Recuperado el 03 22, 2015, de www.zaragoza.es:
<https://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/materialesdidacticos/calidad/CarlosArrazola.pdf>
- INEC. (2010). *Población y Demografía*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- JAIRO, R. (2002). *Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de diseño*. Colombia: Colombia: Eeci.
- Metcalf y Eddy. (1998). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento; vertidos y reutilización*. 3 ed. Madrid, E : McGraw-Hill. Obtenido de Tratamiento, vertidos y reutilización.
- OMS. (2015). *Organización Mundial de la salud*. Obtenido de http://www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/es/
- OROZCO. (2003). *Contaminación ambiental una visión desde la química*. Madrid: Thomson Editores.
- Orozco, A. (2005). *Bioingeniería de las aguas residuales. Teoría y diseño*. 1ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- OTROS, R. n. (2004, 11). *Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones*. Obtenido de Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones:

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301332/CORE_2013/Actividad_7.pdf

- Rojas, O. (2006). *Manual Basico Para Medir Caudales*. Obtenido de Fondo para la protección del agua: <http://www.bivica.org/upload/medir-caudales-manual.pdf>
- Sánchez y Gránda. (2011). *Conceptos basicos de gestión ambiental y desarrollo sustentable. 1 ed.* Tlalpan Madrit: INE-SAMARNAT.
- Alvarado & Aguilar. (2009). Batimetría, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto en aguas del Parque Nacional Marino Ballena, Pacifico, Costa Rica, 57(November), 19–29. Retrieved from <http://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v57s1/art05v57s1.pdf>
- Arcos, P., Lilia, S., Navia, Á. De, Mónica, S., Torres, E., Cristina, A., & Prieto, G. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua . *NOVA - Puplicacion Cientifica*, 3, 69–79. Retrieved from http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/ARTREVIS2_4.pdf
- Borja, M. (2011). “*Diseño de una planta de tratamiento para aguas residuales de la ciudad de Guaranda.*” Escuela Superior Politecnica de Chimborazo.
- Cadena & Ramírez. (2014). “La seguridad humana y los problemas colaterales del agua.” *Bogotá (Colombia) Vol. 9 No.2*, 9(2), 183–203. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/ries/v9n2/v9n2a09.pdf>
- Carpena, R. O., & Bernal, M. P. (2007). Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos, *16*(2), 1–3.
- Castillo & Rovira. (2013). Eficiencia hídrica en la vivienda. *Tecnologia Y Ciencias Del Agua*, 4(4), 159–171.
- Cuenca, E., Alvarado, A., & Camacho, K. (2012). El tratamiento de aguas residuales somesticas para el desaroolo localsostenible: el caso de latecnica del sistema unitario de tratamiento de agaus, nutrientes y energia (SUTRNE) en San Migue Almaya, Mexico. *Quiviera*, 14, núm. 1(1405-8626), 78–97. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf><http://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>

- Delgadillo, A. (2008). "Fitorremediación: una alternativa para eliminar contaminación." *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2011), 597–612. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>
- Delgadillo, González, Prieto, Villagómez, & Acevedo. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597–612. Retrieved from http://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icap/LI_IntGenAmb/Otilio_Sando/1.pdf
- Delgadillo, O., Camacho, A., & Serie, M. A. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. (N. Duran, Ed.) (1 ed). Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. Retrieved from http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf
- Días, A., Atencio, V., & Pardo, S. (2014). "Assessment of an artificial free-flow wathand system with water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) from treatin fish farming effluents." *Revista Colombiana de Ciencias Pecuaris*, 202–210.
- Frers, C. (2008). El uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales, 11, 301–306.
- Fuentes, R., Esther, M., & Ludwin, P. (2011). Capitulo VI diseño de planta de tratamiento de aguas residuales. *Propuesta de Diseño de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de La Ciudad de Jocoro, Departamento de Morazán*, 82–117. Retrieved from http://www.univo.edu.sv:8081/tesis/021233/021233_Cap6.pdf
- Garcia, M. De. (2011). Guía para el Análisis Bromatológico de Muestras de Forrajes, 57. Retrieved from <http://msdegraciag-ciencianimal.com/Guia de Lab.pdf>
- Gonzáles, C. (2011). Monitoreo de la calidad del agua. Oxígeno Disuelto. *Universidad de Puerto Rico*, 13. Retrieved from <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-861/maguaoxigenodisuelto.pdf>
- Garcia, G. (2002). La contaminación del agua, 1–5. Retrieved from <http://www1.ceit.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/00General/IndiceGral.html>

- Jaramillo Jumbo, M. D. S., & Flores Campoverde, E. D. (2012). *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales lemna minor (Lenteja de agua) y Echhornia crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. Universidad Politécnica Saleciana. Universida Politécnica Seleciana*. Retrieved from <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2939>
- León Sanchez Rocío. (2010). *El pH y sus efectos*. Retrieved from http://docencia.izt.uam.mx/japg/Bioquimica1/Pliegos/pH_w6.pdf
- Lorenzo, E., Llanes, J., Fernández, L., & Bataller, M. (2009). Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. Valoración crítica. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 40(1), 35–44. Retrieved from <http://frm.utn.edu.ar/archivos/civil/Saneamiento/Reuso de efluentes en riego CEPIS.pdf>
- Marín, J., & Correa, J. C. (2010). *Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la Guadua angustifolia Kunth. Trabajo especial de grado. Universidad Tecnológica de Pereira*. Retrieved from <http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1801/1/6283M337.pdf>
- Mazabel. (2014). “Acción Colectiva y Sustentabilidad en el Manejo del agua.” *Scielo.org.com*, 39(1909-2474), 1–5. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n39/n39a01.pdf>
- MILAGREÑA, G. U. (2014). “Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Modelo Unión Milagreña,” 124.
- Moncayo, I., & Ayala, D. (2011). Estudio de tratabilidad biológica de aguas residuales domésticas para optimizar resultados a escala real. Retrieved from http://www.espe.edu.ec/portal/files/sitio_congreso_2011/papers/V3.pdf
- Mondaca & Campos. (2005). Riesgo De Enfermedades Transmitidas Por El Agua En Zonas Rurales. *Red Iberoamericana de Potabilización Y Depuración Del Agua*, CAPITULO 1, 155–167. Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd57/riesgo.pdf>
- Mondaca, M. (2005). Parametros Físico-Químicos: Temperatura. Retrieved from <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-temperatura.pdf>

- Mora, D. A., & Araya, A. (2008). Estado Del Agua Para Consumo Humano Y Saneamiento En Costa Rica. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 17(32), 17–34. Retrieved from <http://www.scielo.sa.cr/pdf/rcsp/v17n32/3756.pdf>
- Muñoz, A. (2008). *Caracterización y tratamiento de aguas residuales*. *Cvonlineuaehedumx*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Retrieved from http://cvonline.uaeh.edu.mx/Cursos/Especialidad/Modulo1_PDF/Gen12/ESTEM01T01E08.pdf
- Museo Nacional De Ciencias Naturales. (2010). Determinacion de la demandaquimica de oxigeno (DQO) por el metodo del dicromato, 2(Revisión 2), 1–9. Retrieved from http://www.mncn.csic.es/docs/repositorio/es_ES/investigacion/cromatografia/dqo.pdf
- Núñez, Meas, Ortega, & Olguin. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Ciencia. Revista de La Academia Mexicana ...*, 69–83. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Fitorremediacion?n:+fundamentos+y+aplicaciones#0>
- ONU. (n.d.). El agua, fuente de vida [2005–2015], 20. Retrieved from <http://www.un.org/waterforlifedecade/waterforlifebklt-s.pdf>
- Ordoñez, J. (2011). “Ciclo Hidrológico,” 44. Retrieved from http://www.gwp.org/Global/GWP-SAM_Files/Publicaciones/Varios/Ciclo_Hidrologico.pdf
- Orellana, J. A. (2005). “Características de los líquidos residuales,” 1–9. Retrieved from http://www.frru.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_08_Caracteristicas_de_Liquidos_Residuales.pdf
- Ortiz, L. (2009). Contaminación del agua por nitratos: significación sanitaria. *Revista Archivo Médico de Camagüey*, 13(2). Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-02552009000200017&lng=es&nrm=iso&tlng=es

- Puente, P. (2012). *“Diseño y Dimensionamiento de Plantas de Tratamiento concencionales de agua residuales con utilización de software libre.”* Universidad Técnica del Norte.
- Robles, W., Asistente, P., & Madsen, J. D. (1884). Jacinto de agua, 1–2. Retrieved from http://atlas.eea.uprm.edu/sites/default/files/Jacinto de agua-Eichhornia crassipes_0.pdf
- Romero, M. (2010). Proceso de Eutrofización de Afluentes y su prevención por medio de tratamiento de Efluentes. *Ingeniería Primero*, (17), 64–74. Retrieved from http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_17_AMB02_TRATAMIENTO.pdf
- Soto, F. J., Gutiérrez, M. A., & Ch, R. R. (2012). “Efectos de la nitrificación en la determinación de la DBO5, en aguas residuales municipales.” Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/116.pdf>
- Universidad Técnica Particular de Loja. (2010). Guía para la Selección de Tecnologías de Depuración de Aguas Residuales por Métodos Naturales, 227. Retrieved from <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/139/1/Guía para la selección de tecnologías.pdf>
- Uruguay, R. (2010). *Contaminación y eutrofización del agua* (de RAPAL U). Uruguay. Retrieved from <http://www.rapaluruguay.org/agrotoxicos/Uruguay/Eutrofizacion.pdf>
- Valdez, E., & González, A. (2003). *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales*. (C. Nápoles, Ed.) (1 ed). Mexico: Fundación ICA, A.C.
- Vázquez, O. & E. (2013). Fraccionamiento de DQO del agua residual de Toluca por el protocolo. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 2, 21–35. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v4n2/v4n2a2.pdf>
- Velázquez, Martínez, & Quiroz. (2010). “Investigación de plantas acuáticas uso, variedad y su capacidad de adaptación para el tratamiento de las aguas residuales servidas negras,” 53, 160. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Zamora, F., Rodriguez, N., Turres, D., & Yendis, H. (2008). "Efectos del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de las planicies de Coro, estado Falcón." *SciELO Scientific Electronic Library Online*, 20(3), 193–199.

Anexo 2. Cadena de custodia para toma de muestra de macrofitas, análisis bromatológico para determinar concentración inicial de contaminantes

2



CADENA DE CUSTODIA ESPECIES

Código LAB (1)	Código de campo	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Nombre Común	Nombre Científico	Puntos de muestreo		U.T.M		N° de Embares	N° Especies	Temperatura ambiente °C
						Este	Norte	Este	Norte			
	02	08-04-15	10:30	lechuga de agua	Lactuca sativales	1		302229.08	9959742	1	1	26
	01	08-04-15	10:45	Jacinto de agua	Hydrocharitaceae	1		302229.08	9959742	1	1	26

Entregado por:	Nombre	Intitución	Firma
	Kelvin Andrade	Universidad Nacional de Loja	<i>[Firma]</i>
Recibido Por:	Henry Jumbo	LABJU	<i>[Firma]</i>
Entregado por:			
Recibido Por:			

Comentarios:

Muestras recibidas intactas: Si No

Tipo de recipiente adecuado: Si No

Muestras dentro del periodo de analisis: Si No

Conservación de la muestra:



Anexo 3. Cadena de custodia para toma de muestras de agua residual para para determinar la eficiencia del procesos.

N° de informe de ensayo: 2

CADENA DE CUSTODIA

Solicitante	UNL		Proyecto	Tesis Fibra medicinal	
Dirección	Avenida 14 de Mayo		Provincia:	Cordoba	
Contacto	0980761005		Cantón:	San Carlos de Sabana	
e-mail:	nikk255@hotmail.com		Parroquia	Uyana Milagrosa	
Responsable de la muestra	Kelvin Andrade		Firma		

Código LAB (1)	Código de campo	Fecha de muestra	Hora de muestra	Matriz (2)	Origen de la fuente (3)	Puntos de muestreo	U.T.M		N° de frascos por punto de muestreo	Volumen total (ml)	PH	Temperatura C.
							Este	Norte				
1	AR	25/05/15	9:30	AR	Alcantarilla	1	301657,96	9959824,48	1	2200	7.7	25.4
2	AR	25/05/15	9:35	AR	Alcantarilla	1	301657,04	9959819,48	1	2200	7.40	25.4

(1) Campo exclusivo para laboratorio
 (2) AP(Agua potable); AR(Agua Residual); AT(Agua Subterránea; AI(Aguas Pluvial; LD(Lodos); SU(Suelos)
 (3) Rio; Vertiente; Alcantarilla; Pozo

Entregado por:	Nombre	Institución	Firma	Fecha	Muestras recibidas intactas:
	Kelvin Andrade	UNL		25/05/2015	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
	Kelvin Jumbo	LABSU		25/05/2015	Tipo de recipiente adecuado: <input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
					Muestras dentro del periodo de analisis: <input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No
					Conservación de la muestra: <input checked="" type="radio"/> Frio <input type="radio"/> Ambiente

Comentarios:

Anexo 4. Cadena de custodia para toma de muestra de macrofitas, análisis bromatológico para determinar concentración final de contaminantes.



CADENA DE CUSTODIA ESPECIES

1

Código LAB (1)	Código de campo	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Nombre Común	Nombre Científico	Puntos de muestreo	U.T.M		N° de Embases	N° Especies	Temperatura ambiente °C
							Este	Norte			
	01	25/05/15	10:00	Fuente de agua	<i>Epidemia crassipes</i>	1	301657.96	9959834.98	4	1	26
	02	25/05/15	10:15	Lebriga de agua	<i>Hydrocharitaceae</i>	1	301657.04	9959834.98	1	2	26

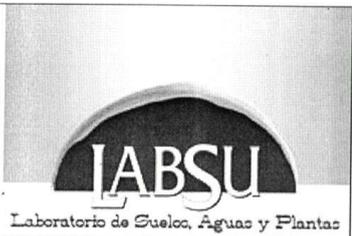
Solicitante	Kelvin Andradé		
Dirección	Caja de los Sabores		
Contacto	0950161005		
e-mail:	mulek255@hotmail.com		
Responsable de la muestra	Kelvin Andradé		
	Proyecto	Provincia:	Firma
	Flora Florencia	Orellana	
	Cantón:	Parroquia	
	Caja de los Sabores	Urcuquí	

Entregado por:	Nombre	Intitución	Firma
	Kelvin Andradé	Universidad Nacional de Loja	
Recibido Por:	Kelly Jumbo	LARSU	
Entregado por:			
Recibido Por:			

Muestras recibidas intactas:	(Si) No
Tipo de recipiente adecuado:	(Si) No
Muestras dentro del periodo de análisis:	(Si) No
Conservación de la muestra:	

Comentarios:

Anexo 5. Análisis de los parámetros físicos, químicos del agua residual doméstica.

 <p>Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas</p>	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax:(593)06- 2881105	 <p>LABORATORIO DE ENSAYOS N° OAE LE 2C 07-003</p>
	INFORME DE ENSAYO N°: 100 212	
SPS: 15 - 1 065	Análisis de agua	

Coca, 09 de marzo de 2015

Sr. Kelvin Andrade.

Dirección: La Joya de los Sachas.

1.- Datos generales:

Recogidas por.....Sr. Kelvin Andrade.
 Fecha hora de toma de muestra.....2 015 02 24 10:30.
 Fecha hora ingreso al Laboratorio2 015 02 24 14:44.
 Fecha del análisis2 015 02 24 a 2 015 03 09.
 Condiciones Ambientales de Análisis...T. Max. 27,0°C T. Min. 21,0°C
 Código de LabSuIdentificación de la muestra.
 a 94 206.....Muestra de Agua Residual, Planta de tratamiento Unión Milagreña.

2.- Parámetros y métodos / Referencias:

Ítem	Parámetros	Unidad	a 94 206	Límite máximo permisible	PEE-LABSU	Métodos / Norma Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	Sólidos totales	mg/L.	825,86	1 600	PEE-LABSU-49	SM 2540 B	± 10%
2	*Demanda química de oxígeno	mg/L.	381,41	250	PEE-LABSU-89	HACH 8000	~
3	*Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L.	124,0	100	PEE-LABSU-09	SM 5210 B	~
4	*Fósforo (P-PO ₄)	mg/L.	12,85	10	PEE-LABSU-19	SM 4500 E	~
5	Nitritos (N-NO ₂)	mg/L.	0,06	10,0	PEE-LABSU-17	SM 4500-NO2 B	± 22%
6	Nitratos (N-NO ₃)	mg/L.	0,8	10,0	PEE-LABSU-18	SM 4500 NO3 B	± 26%
7	Coliformes totales	Col/100 mL.	84x10 ⁵	**	PEE-LABSU-44	SM 9222 B	± 12%
8	Coliformes fecales	Col/100 mL.	42x10 ⁵	< 3 000	PEE-LABSU-43	SM 9222 D	± 5%

3.- Responsables del Informe:

Autorización: 
Ing. Gilberto López Pérez.
DIRECTOR TÉCNICO




Téc. Andrés Solís Plaza.
RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
 Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.
 Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

Anexo 6. Análisis Bromatológico de Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes* Mart).

	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax:(593)06- 2881105		Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003
	INFORME DE ENSAYO N°: 101 529		
SPS: 15 – 0 022		Análisis de Plantas	

Coca, 16 de abril de 20

Sr. Kelvin Andrade.

Dirección: Joya de los Sachas.

1.- Datos generales:

Recogidas por Sr. Kelvin Andrade.
 Fecha hora de toma de muestra 2 015 04 08 12:00.
 Fecha hora ingreso al Laboratorio 2 015 04 08 14:52.
 Fecha del análisis 2 015 04 08 a 2 015 04 16.
 Condiciones Ambientales de Análisis..:T. Máx: 26,5°C T. Mín: 21,0°C
 Código de LabSu Identificación de la muestra.
 b 1 340..... Muestra de vegetal Jacinto de agua, Eichhornia C.

2.- Resultados / Parámetros y métodos / referencias:

Ítem	Parámetros	Unidad	b 1 340	PEE-LABSU	Método / Norma / Referencia
1	Nitritos	mg/Kg	0,49	PEE-LABSU-17	SM 4500-NO ₂ B
2	Nitratos	mg/Kg	300	PEE-LABSU-18	SM 4500 NO3 B
3	Fósforo	mg/Kg	180	PEE-LABSU-19	SM 4500 E

3.- Responsables del Informe:

Autorización: Ing. Gilberto López Pérez.
DIRECTOR TÉCNICO



Téc. Andrés Solís Plaza.
RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
 Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.
 Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

MC2201-04

Página 1 de 1

Anexo 7. Análisis Bromatológico de Lechuga de agua (*Pistia stratiotes* L.)

	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax:(593)06- 2881105		Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003
	INFORME DE ENSAYO N°: 101 528		
	SPS: 15 – 0 022	Análisis de Plantas	

Coca, 16 de abril de 201

Sr. Kelvin Andrade.

Dirección: Joya de los Sachas.

1.- Datos generales:

Recogidas por Sr. Kelvin Andrade.
 Fecha hora de toma de muestra 2 015 04 08 12:00.
 Fecha hora ingreso al Laboratorio 2 015 04 08 14:52.
 Fecha del análisis 2 015 04 08 a 2 015 04 16.
 Condiciones Ambientales de Análisis... T. Máx: 26,5°C T. Mín: 21,0°C
 Código de LabSu Identificación de la muestra.
 b 1 339 Muestra de vegetal lechuga de agua, lámina M.

2.- Resultados / Parámetros y métodos / referencias:

Ítem	Parámetros	Unidad	b 1 339	PEE-LABSU	Método / Norma / Referencia
1	Nitritos	mg/Kg	0,15	PEE-LABSU-17	SM 4500-NO ₂ B
2	Nitratos	mg/Kg	229	PEE-LABSU-18	SM 4500 NO ₃ B
3	Fósforo	mg/Kg	144	PEE-LABSU-19	SM 4500 E

3.- Responsables del Informe:

Autorización: 
 Ing. Gilberto Lopez Pérez.
 DIRECTOR TÉCNICO




 Téc. Andrés Solís Plaza.
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
 Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.
 Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

MC2201-04

Página 1 de 1

Anexo 8. Análisis de los parámetros físicos, químicos, del agua residual doméstica tratada con Lechuga de agua (*Pistia stratiotes* L.).

 <p>LABSU Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas</p>	<p>VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax:(593)06- 2881105</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° OAE LE 2C 07-003 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
	<p>INFORME DE ENSAYO N°: 102 663</p>	
SPS: 15 – 2 551	Análisis de agua	

Coca, 02 de junio de 201

Sr. Kelvin Andrade.

Dirección: La Joya de los Sachas.

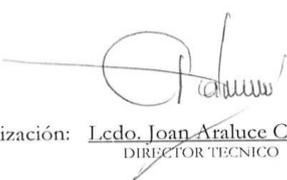
1.- Datos generales:

Recogidas por.....Sr. Kelvin Andrade.
 Fecha hora de toma de muestra.....2 015 05 25 09:35.
 Fecha hora ingreso al Laboratorio2 015 05 25 14:43.
 Fecha del análisis2 015 05 25 a 2 015 06 02.
 Condiciones Ambientales de Análisis...T. Max. 26,0°C T. Min. 21,0°C
 Código de LabSuIdentificación de la muestra.
 a 96 242.....Muestra de Agua Residual, Parroquia Unión Milagreña # 1.

2.- Parámetros y métodos / Referencias:

Ítem	Parámetros	Unidad	a 96 242	PEE-LABSU	Métodos / Norma Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	Sólidos totales	mg/L.	330,20	PEE-LABSU-49	SM 2540 B	± 10%
2	Demanda química de oxígeno	mg/L.	67,90	PEE-LABSU-89	HACH 8000	± 5%
3	*Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L.	22,0	PEE-LABSU-09	SM 5210 B	~
4	*Fósforo (P-PO ₄)	mg/L.	1,92	PEE-LABSU-19	SM 4500 E	~
5	*Nitritos (NO ₂)	mg/L.	5,86	PEE-LABSU-17	SM 4500-NO2 B	~
6	Nitratos (NO ₃)	mg/L.	16,0	PEE-LABSU-18	SM 4500 NO3 B	± 26%
7	Coliformes totales	Col/100 mL.	1,2x10 ⁶	PEE-LABSU-44	SM 9222 B	± 12%
8	Coliformes fecales	Col/100 mL.	1,1x10 ⁵	PEE-LABSU-43	SM 9222 D	± 5%

3.- Responsables del Informe:

Autorización: 
 Lcdo. Joan Araluce Calderius.
 DIRECTOR TÉCNICO




 Tcc. Andrés Solís Plaza.
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
 Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.
 Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

**Anexo 9. Análisis Bromatológico de Lechuga de agua (*Pistia stratiotes* L.)
luego del proceso de Fitorremediación.**

	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax:(593)06- 2881105	Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003
	INFORME DE ENSAYO N°: 102 665	
	SPS: 15 – 0 030	Análisis de Plantas

Coca, 10 de junio de 20

Sr. Kelvin Andrade.

Dirección: Joya de los Sachas.

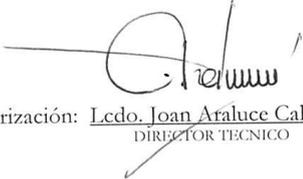
1.- Datos generales:

Recogidas por Sr. Kelvin Andrade.
 Fecha hora de toma de muestra 2 015 05 25 10:00.
 Fecha hora ingreso al Laboratorio 2 015 05 25 14:43.
 Fecha del análisis 2 015 05 25 a 2 015 06 10.
 Condiciones Ambientales de Análisis.. T. Máx: 27,5°C T. Mín: 21,0°C
 Código de LabSu..... Identificación de la muestra.
 b 1 366..... Muestra de vegetal lechuga de agua, pistia stratiotes L.

2.- Resultados / Parámetros y métodos / referencias:

Ítem	Parámetros	Unidad	b 1 366	PEE-LABSU	Método / Norma / Referencia
1	Nitritos	mg/Kg	0,28	PEE-LABSU-17	SM 4500-NO ₂ B
2	Nitratos	mg/Kg	250	PEE-LABSU-18	SM 4500 NO3 B
3	Fósforo	mg/Kg	175	PEE-LABSU-19	SM 4500 E

3.- Responsables del Informe:


 Autorización: Lcdo. Joan Aráluce Calderius.
 DIRECTOR TECNICO




 Téc. Andrés Solís Plaza.
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
 Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.
 Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

MC2201-04

Página 1 de 1

Anexo 10. Análisis de los parámetros físicos, químicos, del agua residual doméstica tratada con Lechuga de agua (*Pistia stratiotes* L.).

 <p>Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas</p>	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax:(593)06- 2881105	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano Acreditación N° OAE LE 20 07-003 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>
	INFORME DE ENSAYO N°: 102 664	
	SPS: 15 – 2 551	Análisis de agua

Coca, 02 de junio de 2015

Sr. Kelvin Andrade.

Dirección: La Joya de los Sachas.

1.- Datos generales:

Recogidas por.....Sr. Kelvin Andrade.
 Fecha hora de toma de muestra.....2 015 05 25 09:30.
 Fecha hora ingreso al Laboratorio2 015 05 25 14:43.
 Fecha del análisis2 015 05 25 a 2 015 06 02.
 Condiciones Ambientales de Análisis...T. Max. 26,0°C T. Min. 21,0°C
 Código de LabSuIdentificación de la muestra.
 a 96 243.....Muestra de Agua Residual, Parroquia Unión Milagreña # 2.

2.- Parámetros y métodos / Referencias:

Ítem	Parámetros	Unidad	a 96 243	PEE-LABSU	Métodos / Norma Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	Sólidos totales	mg/L	396,00	PEE-LABSU-49	SM 2540 B	± 10%
2	Demanda química de oxígeno	mg/L	96,16	PEE-LABSU-89	HACH 8000	± 5%
3	*Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	31,0	PEE-LABSU-09	SM 5210 B	~
4	*Fósforo (P-PO ₄)	mg/L	2,72	PEE-LABSU-19	SM 4500 E	~
5	Nitritos (NO ₂)	mg/L	< 0,10	PEE-LABSU-17	SM 4500-NO2 B	± 22%
6	Nitratos (NO ₃)	mg/L	1,7	PEE-LABSU-18	SM 4500 NO3 B	± 26%
7	Coliformes totales	Col/100 mL	1,3x10 ⁶	PEE-LABSU-44	SM 9222 B	± 12%
8	Coliformes fecales	Col/100 mL	1,2x10 ⁵	PEE-LABSU-43	SM 9222 D	± 5%

3.- Responsables del Informe:


 Autorización: Lcdo. Joan Araluce Calderius.
 DIRECTOR TÉCNICO




 Téc. Andres Solis Plaza.
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
 Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.
 Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

MC2201-04

Página 1 de 1

Anexo 11. Análisis Bromatológico de Jacinto de (*Eichhornia crassipes* Mart.) luego del proceso de Fitorremediación.

	VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO Fray P. de Villarquemado S/N y Av. Labaka E-mail: laboratorio@labsu.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefax:(593)06- 2881105		Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 07-003
	INFORME DE ENSAYO N°: 102 666		
	SPS: 15 – 0 030	Análisis de Plantas	

Coca, 10 de junio de 20

Sr. Kelvin Andrade.

Dirección: Joya de los Sachas.

1.- Datos generales:

Recogidas por Sr. Kelvin Andrade.
 Fecha hora de toma de muestra 2 015 05 25 10:00.
 Fecha hora ingreso al Laboratorio 2 015 05 25 14:43.
 Fecha del análisis 2 015 05 25 a 2 015 06 10.
 Condiciones Ambientales de Análisis.. T. Máx: 27,5°C T. Mín: 21,0°C
 Código de LabSu Identificación de la muestra.
 b 1367..... Muestra de vegetal jacinto de agua, eichhamia crassipes (Mart).

2.- Resultados / Parámetros y métodos / referencias:

Ítem	Parámetros	Unidad	b 1367	PEE-LABSU	Método / Norma / Referencia
1	Nitritos	mg/Kg	0,69	PEE-LABSU-17	SM 4500-NO ₂ B
2	Nitratos	mg/Kg	320	PEE-LABSU-18	SM 4500 NO3 B
3	Fósforo	mg/Kg	209	PEE-LABSU-19	SM 4500 E

3.- Responsables del Informe:


 Autorización: Lcdo. Joan Araluce Calderius.
 DIRECTOR TECNICO




 Téc. Andres Solis Plaza.
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
 Prohibida la reproducción total o parcial; por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.
 Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE

MC2201-04

Página 1 de 1

Anexo 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce establecidos por el TULSMA.

ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA

TABLA 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Est. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	10000
Color real ¹	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	1000
Sulfuros	S ⁻²	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

¹ La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida

Anexo 13. Resultados de monitoreo de caudal.

	7:00 am	10:30 am	12:00 am	3:00 pm	6:00 pm	Caudal promedio diario.
23-02-2015	0.34	0.16	0.36	0.19	0.39	0.29 lt/s
24-02-2015	0.34	0.16	0.38	0.20	0.40	0.30 lt/s
25-02-2015	0.36	0.19	0.39	0.21	0.45	0.32 lt/s
26-02-2015	0.34	0.18	0.37	0.17	0.49	0.31 lt/s
27-02-2015	0.39	0.16	0.40	0.30	0.50	0.35 lt/s
28-02-2015	0.38	0.16	0.34	0.20	0.40	0.30 lt/s
Caudal promedio						0.31 lt/s

Anexo 14. Fotografías del proyecto.

Toma de muestras de aguas residuales de las salidas de los tanques sedimentadores en la Parroquia Unión Milagreña.



Toma de muestras de plantas para examen bromatológico



Colocación de plástico en el prototipo para Fitorremediación



Prototipo para Fitorremediación.



Recolección de muestras de especies para sembrar en el prototipo de Fitorremediación



Colocación de plantas en piscinas para procesos de Fitorremediación



Reproducción de Lechuga de agua segunda semana



Mantenimiento del sistema de alcantarillado de la Parroquia Unión Milagreña.



Población de lechuga de agua a los 30 días en piscina de Fitorremediación.



Población del Jacinto de agua a los 30 días en piscina de Fitorremediación.



Piscinas de Fitorremediación con Jacinto de agua y lechuga de agua a los 30 días



Jacinto de agua con flores lila a los 90 días de haber realizado el proceso de Fitorremediación.



Lechuga de agua a los 90 días de haber realizado los procesos de Fitorremediación en el prototipo construido.



Toma de muestras de aguas para examen final



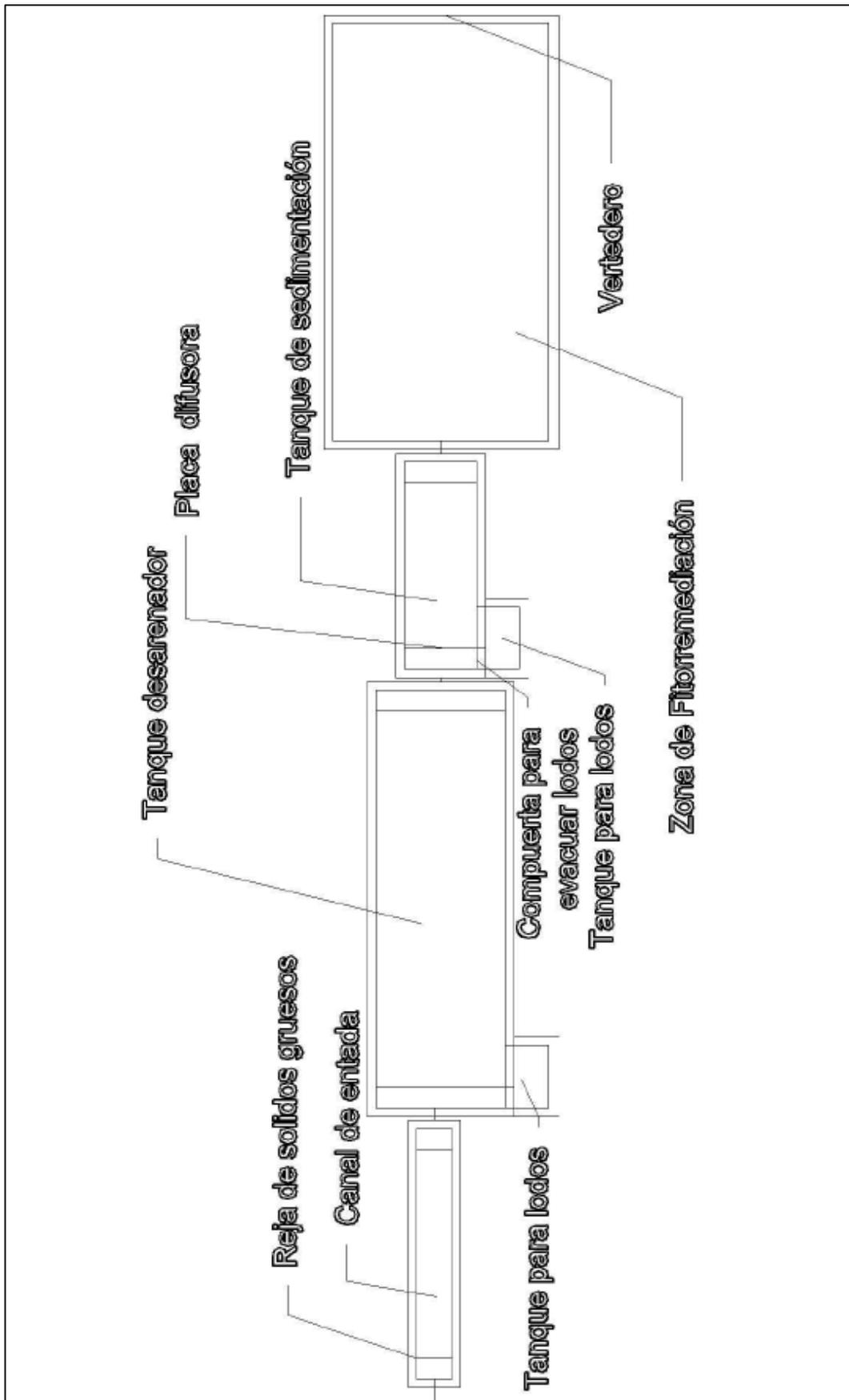
Colocación de hielo seco para conservar la muestra de agua a 4 C°, y luego trasladarla a al laboratorio para análisis



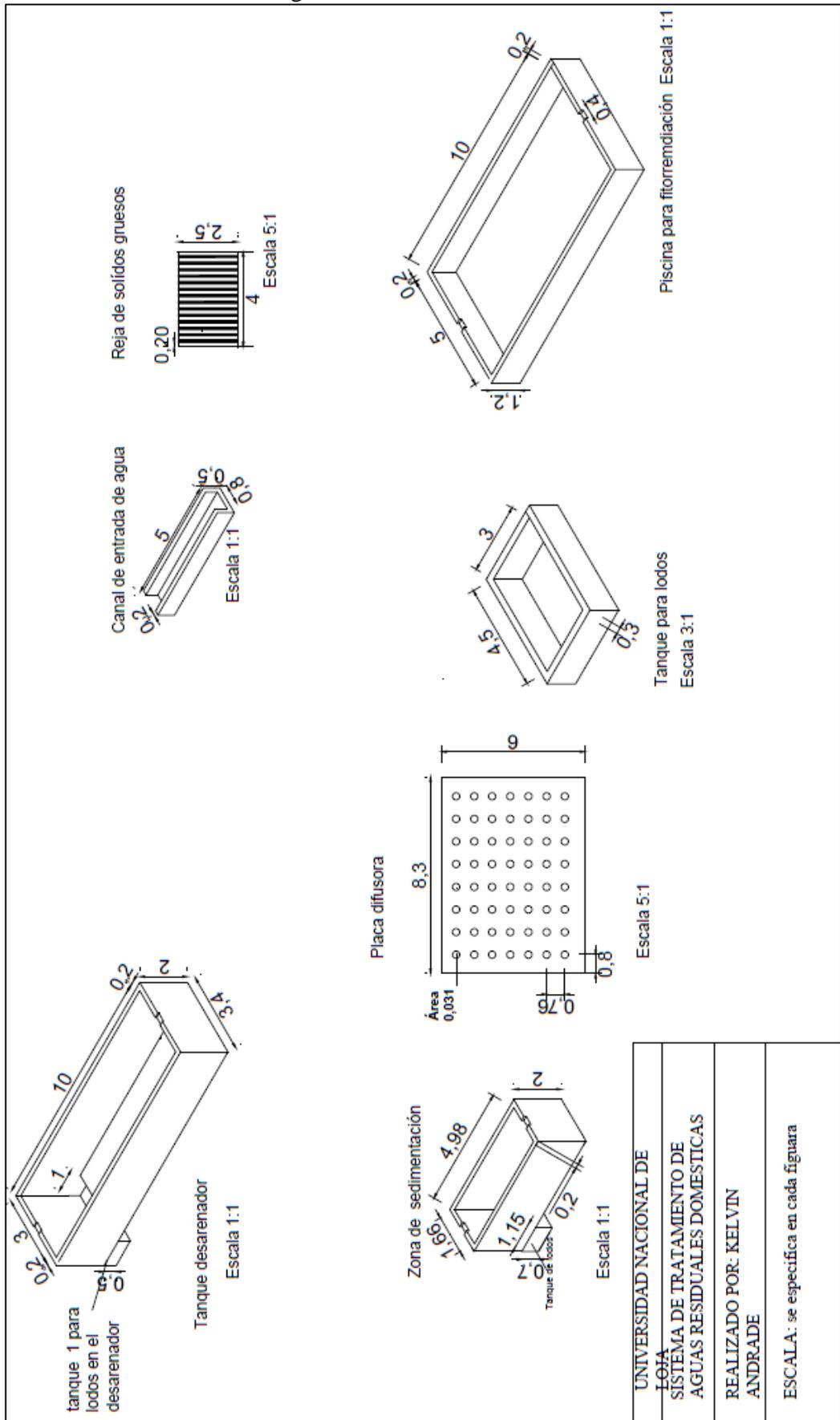
Conservación de especies vegetales para trasladar a laboratorio y realizar análisis bromatológico



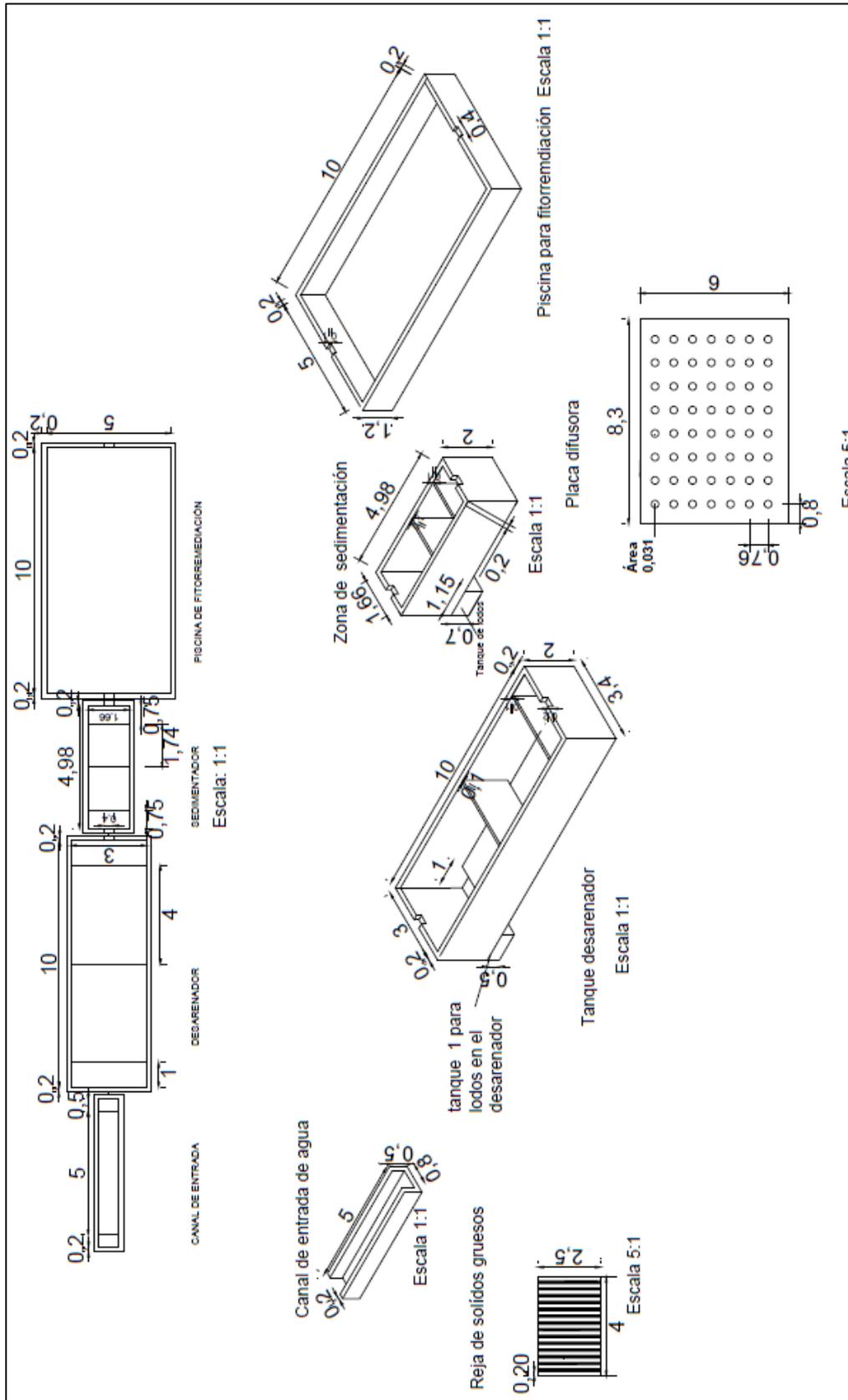
Anexo 15. Componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales



Anexo 16. Medidas de los componentes principales de la planta de tratamiento de aguas residuales.



Anexo 17. Diseño de los componentes secundarios del sistema de tratamiento de aguas residuales.



Anexo 18. Sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.

