

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA**



**DESARROLLO DE UN MICROHUMEDAL ARTIFICIAL PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE TIPO ORDINARIO**

TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR

INGRID JAQUELINE ARTERO GANUZA

MAIRA GRICELDA QUIUSQUE ARGUETA

PARA OPTAR AL GRADO DE

LICENCIATURA EN QUIMICA Y FARMACIA

ABRIL DE 2012

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA

DECANA

LICDA. ANABEL DE LOURDES AYALA DE SORIANO

SECRETARIO

LIC. FRANCISCO REMBERTO MIXCO

COMITE DE TRABAJO DE GRADUACION

COORDINADORA GENERAL

Licda. María Concepción Odette Rauda Acevedo

ASESORA DE AREA DE GESTION AMBIENTAL:

CALIDAD AMBIENTAL

MSc. Cecilia Haydeé Gallardo de Velásquez

ASESORA DE AREA DE GESTION AMBIENTAL:

TOXICOLOGIA Y QUIMICA LEGAL

Licda. María Luisa Ortíz de López

DOCENTE DIRECTORA

MSc. Sonia Maricela Lemus Martínez

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios por haber permitido tener lo necesario para realizar nuestro trabajo de graduación.

A nuestra docente directora MSc. Sonia Maricela Lemus, quien con paciencia y dedicación nos asesoró durante el trabajo de graduación.

A los jurados Licda. María Luisa Ortiz de López, MSc. Cecilia Gallardo de Velásquez y a la coordinadora general de los trabajos de graduación Licda. María Concepción Odette Rauda Acevedo por revisar exhaustivamente nuestro trabajo de graduación y señalar las áreas que se tenían que mejorar para obtener una investigación de calidad.

Al Lic. Henry Hernández, quien aportó sus servicios profesionales en el análisis fisicoquímico del agua que se estudió en nuestro trabajo de graduación.

También a las autoridades de la Facultad de Química y Farmacia por haber permitido utilizar sus instalaciones y equipos para la ejecución de esta investigación.

Finalmente agradecemos a nuestros padres quienes se esforzaron para que alcanzáramos culminar nuestra carrera y la presente investigación.

MUCHAS GRACIAS.

Con Cariño: Ingrid Artero

Maira Quiusque

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida y permitirme llegar hasta este momento en el cual veo realizadas mis ilusiones de culminar mi carrera.

A la Santísima Virgen María de Guadalupe, por abogar ante Dios y su Hijo Jesucristo para que pudiera alcanzar esta meta en mi vida.

A mi madre, Sra. Dolores Beatriz Ganuza Vda. de Artero, por su apoyo incondicional, su amor, confianza y paciencia para con mi persona.

A mi padre, (Q.D.D.G) Licdo. Rafael Artero Herrera, quien fue y seguirá siendo el mejor ejemplo en mi vida de lucha, esfuerzo, superación, valentía, humildad y quien me apoyo hasta el último día de su vida con mucho amor y me enseñó a confiar en mí misma y a depositar la confianza en Dios Nuestro Señor.

A Jaime Humberto Saavedra, quien a lo largo de mi carrera estuvo a mi lado para apoyarme siempre.

A mi compañera Maira, quien confió en mí para la realización de este trabajo de graduación.

Este trabajo, también es parte de ustedes...GRACIAS.

Ingrid

DEDICATORIA

A Dios, a Nuestro Señor Jesucristo y a la Santísima Virgen María de Guadalupe por su gracia y acompañamiento en mi vida y mi carrera.

A mi madre, Sra. María Magdalena Argueta, por su apoyo incondicional para la culminación de mi carrera y por su amor, confianza y paciencia para con mi persona.

A mi hermana Celi del Carmen Quiusque Argueta y mis queridos sobrinos, Maira Alejandra y Miguel Steve, por sus palabras de ánimo y su acompañamiento.

Al padre Lucio Reyes y padre Santos Belisario Hernández por haberme tendido la mano para llevar a cabo mi trabajo de graduación.

A Nelson Martínez y a todas aquellas personas que me brindaron con amabilidad algunos materiales necesarios para elaborar mi trabajo de graduación.

A mi compañera Ingrid, quien confió en mí para la realización de este trabajo de graduación.

Este trabajo, también es parte de ustedes...GRACIAS.

Maira

INDICE

Agradecimientos

Dedicatoria

Abreviaturas

Resumen

CAPITULO I

1.0 Introducción. xxiii

CAPITULO II

2.0 Objetivos. 26

 2.1 Objetivo general. 26

 2.2 Objetivos específicos. 26

CAPITULO III

3.0 Marco teórico. 28

3.1 Generalidades del agua. 28

3.2 Calidad del agua. 29

3.3 Contaminación del agua. 30

 3.3.1 Domésticas. 31

 3.3.2 Comerciales. 32

 3.3.3 Industriales. 32

3.4 Clasificación de contaminantes de las aguas residuales

 3.4.1 Contaminantes orgánicos. 33

 3.4.2 Contaminantes inorgánicos. 34

3.5 agua residual. 34

3.5.1 Aguas residuales de tipo especial.	34
3.5.2 Aguas residuales de tipo ordinario.	34
3.6 Características de importancia en las aguas residuales.	34
3.7 Efectos dañinos de las aguas residuales.	38
3.8 Efectos contaminantes de las aguas residuales en el agua natural.	38
3.9 Tipos de tratamientos.	39
3.9.1 Tratamiento físico.	39
3.9.2 Tratamiento químico.	40
3.9.3 Tratamiento biológico.	40
3.10 Humedales.	41
3.10.1 Humedal.	41
3.10.2 Importancia de los humedales.	41
3.10.3 El papel de Ramsar en la conservación de los humedales.	42
3.10.4 Funciones de los humedales.	42
3.10.5 Clasificación.	43
3.10.5.1 Criterio estructural hidrológico.	44
3.10.5.1.1 Aspectos externos.	44
3.10.5.1.2 Aspectos internos.	44
3.10.5.2. Criterio estructural hidrogeológico.	44
3.11 Tipos de humedales.	45
3.11.1 Clasificación de los humedales según la circulación del agua.	49
3.11.2 Clasificación de humedales según la vegetación empleada.	50
3.11.3 Vegetación utilizada en los humedales.	52

3.11.3.1 Ventajas de las plantas acuáticas.	53
3.11.4 Microorganismos.	54
3.12 Parámetros fisicoquímicos.	55
3.12.1 Temperatura.	55
3.12.2 Determinación de pH.	55
3.12.3 Sólidos sedimentables.	56
3.12.4 Oxígeno disuelto (OD).	56
3.12.5 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).	57
3.12.5.1 Limitaciones e interferencias de la DBO.	59
3.12.5.2 Toma y preservación de las muestras.	60
3.12.5.3 Verificación del agua de dilución.	61
3.12.5.4 Preparación de agua para dilución.	61
3.12.5.5 Chequeo de glucosa – ácido glutámico.	61
3.12.5.6 Inoculación.	62
3.12.5.7 Pretratamiento de la muestra.	62
3.12.5.7.1 Muestras con alcalinidad cáustica o acidez.	62
3.12.5.7.2 Muestras con compuestos residuales de cloro.	63
3.12.5.7.3 Muestras contaminadas con sustancias tóxicas.	63
3.12.5.7.4 Muestras sobresaturadas con oxígeno disuelto (OD).	
3.12.5.8 Técnica de dilución.	63
3.12.5.8.1 Diluciones preparadas en botellas de DBO.	64

3.12.5.8.2 Determinación de OD inicial.	64
3.12.6 Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno.	64
3.12.6.1 Principio.	64
3.12.6.2 Método.	65
3.12.6.2.1 Método modificado de Winkler	65
CAPITULO IV	
4.0 Diseño metodológico.	68
4.1 Tipo de estudio.	68
4.2 Investigación bibliográfica.	68
4.3 Investigación de campo.	69
4.3.1 Universo.	69
4.3.2 Muestra.	69
4.3.3 Tipo de muestreo.	69
4.4 Parte experimental.	69
4.4.1 Diseño del microhumedal.	69
4.4.1.1 Elaboración de microhumedales artificiales No. 1 y No. 2	69
4.4.2 Selección de dos plantas acuáticas.	70
4.4.3 Recolección de muestras para la determinación de parámetros fisicoquímicos.	71
4.4.4 Tratamiento de las aguas residuales de tipo ordinario en los microhumedales No. 1 y No. 2.	71
4.5 Determinación de los parámetros fisicoquímicos.	73
4.5.1 Determinación de temperatura.	73
4.5.2 Determinación de potencial de hidrógeno pH.	73

4.5.3 Determinación de sólidos sedimentables.	73
4.5.4 Determinación de oxígeno disuelto (OD).	74
4.5.5 Determinación de la demanda biológica de oxígeno (DBO).	75

CAPITULO V

5.0 Resultados y análisis de resultados	79
5.1 Selección e identificación de las plantas acuáticas utilizadas en el microhumedal.	79
5.1.1 Tule (<i>Typha domingensis Pers.</i>).	79
5.1.1.1 Descripción taxonómica.	80
5.1.1.1.1 Clasificación.	81
5.1.1.2 Identificación y descripción.	81
5.1.1.3 Hábitat.	83
5.1.1.4 Biología.	83
5.1.1.5 Impacto e importancia.	83
5.1.1.6 Control.	83
5.1.2 Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes (Mart.) Solms.</i>).	84
5.1.2.1 Descripción taxonómica.	85
5.1.2.1.1 Clasificación.	86
5.1.2.2 Identificación y descripción.	86
5.1.2.3 Hábitat.	87
5.1.2.4 Biología.	87
5.1.2.5 Impacto e importancia.	88
5.1.2.6 Control.	88

5.2 Medición de la actividad del microhumedal artificial por medio de la determinación de los parámetros fisicoquímicos.	89
5.2.1 Temperatura.	90
5.2.2 pH.	94
5.2.3 Sólidos sedimentables.	99
5.2.3.1 Turbidez.	100
5.2.4 Oxígeno Disuelto (OD).	103
5.2.5 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).	104
CAPITULO VI	
6.0 Conclusiones	108
CAPITULO VII	
7.0 Recomendaciones	111
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

INDICE DE CUADROS

Cuadro N°	Página
1. Indicadores de la calidad del agua.	29
2. Funciones generales de las plantas de los humedales.	53
3. Características de los humedales.	54
4. Clasificación taxonómica del Tule (<i>Typha domingensis Pers</i>).	81
5. Clasificación taxonómica del Jacinto de Agua (<i>Eichornia crassipes Mart. Solms</i>).	86
6. Alteraciones físicas y químicas del agua.	116
7. Composición típica de las aguas residuales.	117

INDICE DE FIGURAS

Figura N°	Página
1. Esquema de tratamiento de aguas utilizando humedales construidos.	47
2. Esquema de los componentes de un humedal.	47
3. Inflorescencia de Tule (<i>Typha domingensis Pers</i>).	79
4. Inflorescencia de Jacinto de Agua (<i>Eichornia crassipes (Mart.) Solms</i>).	84
5. Gráfica de los resultados de la medición de la temperatura del microhumedal artificial No.1, fase I, con planta de Tule (<i>Typha domingensis Pers</i>).	90
6. Gráfica de los resultados de la medición de la temperatura del microhumedal artificial No. 1, fase II, con planta de Tule (<i>Typha domingensis Pers</i>).	91
7. Gráfica de los resultados de la medición de la temperatura del microhumedal artificial No.2, fase I, con planta de Jacinto de Agua (<i>Eichornia crassipes (Mart.) Solms</i>).	93
8. Gráfica de los resultados de la medición de la temperatura del microhumedal artificial No.2, fase II, con planta de Jacinto de Agua (<i>Eichornia crassipes (Mart.) Solms</i>).	94
9. Gráfica de los resultados de la medición de pH en el microhumedal No.1, fase I, con planta de Tule (<i>Typha domingensis Pers</i>).	95
10. Gráfica de los resultados de la medición de pH en el microhumedal No.1, fase II, con planta de Tule (<i>Typha domingensis Pers</i>).	96
11. Gráfica de los resultados de la medición de pH en el microhumedal No.2, fase I, con planta de Jacinto de Agua (<i>Eichornia crassipes (Mart.) Solms</i>).	97

12. Gráfica de los resultados de la medición de pH en el microhumedal No.2, fase II, con planta de Jacinto de Agua (<i>Eichornia crassipes</i> (Mart.) Solms).	98
13. Agua residual de tipo ordinario antes y después del tratamiento en los microhumedales No.1 y No.2, fase I.	101
14. Agua residual de tipo ordinario antes y después del tratamiento en los microhumedales No.1 y No.2, fase II.	102
15. Principales procesos que se llevan a cabo en un humedal y que permiten la depuración del agua residual.	118
16. Plantas acuáticas más utilizadas en los humedales artificiales.	119
17. Diagrama de tratamiento de aguas residuales.	120
18. Microhumedales artificiales No.1 con planta Tule (<i>Typha domingensis</i> Pers) y No.2 con planta Jacinto de Agua (<i>Eichornia crassipes</i> (Mart.) Solms).	121
19. Vista frontal de microhumedales artificiales con plantas de Tule (<i>Typha domingensis</i> Pers) y Jacinto de Agua (<i>Eichornia crassipes</i> (Mart.) Solms).	122
20. Vista lateral de microhumedales artificiales con plantas de Tule (<i>Typha domingensis</i> Pers) y Jacinto de Agua (<i>Eichornia crassipes</i> (Mart.) Solms).	122
21. Informe de resultados de la medición de parámetros fisicoquímicos de DBO ₅ , OD y SS del agua residual de tipo ordinario antes del tratamiento en los microhumedales. Fase I.	125
22. Informe de resultados de la medición de parámetros fisicoquímicos de DBO ₅ , OD y SS del agua residual de tipo ordinario antes del tratamiento en los microhumedales. Fase II.	126
23. Informe de resultados de la medición de parámetros fisicoquímicos de DBO ₅ , OD y SS del agua residual de tipo ordinario tratada con planta de Tule (<i>Typha domingensis</i> Pers) en microhumedal No.1. Fase I.	127

24. Informe de resultados de la medición de parámetros fisicoquímicos de DBO₅, OD y SS del agua residual de tipo ordinario tratada con planta de Jacinto de Agua (***Eichornia crassipes (Mart.) Solms***) en microhumedal No.2. Fase I. 128
25. Informe de resultados de la medición de parámetros fisicoquímicos de DBO₅, OD y SS del agua residual de tipo ordinario tratada con planta de Tule (***Typha domingensis Pers***) en microhumedal No.1. Fase II. 129
26. Informe de resultados de la medición de parámetros fisicoquímicos de DBO₅, OD y SS del agua residual de tipo ordinario tratada con planta de Jacinto de Agua (***Eichornia crassipes (Mart.) Solms***) en microhumedal No.2. Fase II. 130
27. Certificación de las plantas de Tule (***Typha domingensis Pers***) y Jacinto de Agua (***Eichornia crassipes (Mart.) Solms***). 131
28. Diagrama de preparación del agua de dilución para la determinación de DBO₅. 137

INDICE DE TABLAS

Tabla N°	Página
1. Resultados de la medición de la temperatura del microhumedal artificial N° 1, fase I, con planta de Tule (<i>Typha domingensis Pers.</i>)	90
2. Resultados de la medición de la temperatura del microhumedal artificial N° 1, fase II, con planta de Tule (<i>Typha domingensis Pers.</i>)	91
3. Resultados de la medición de la temperatura del microhumedal artificial N° 2, fase I, con planta de Agua (<i>Eichornia crassipes (Mart.) Solms.</i>)	92
4. Resultados de la medición de la temperatura del microhumedal artificial N° 2, fase II, con planta de Jacinto de Agua (<i>Eichornia crassipes (Mart.) Solms.</i>)	93
5. Resultados de la medición de pH en el microhumedal artificial N° 1, fase I, con planta de Tule (<i>Typha domingensis Pers.</i>)	94
6. Resultados de la medición de pH en el microhumedal artificial N° 1, fase II, con planta de Tule (<i>Typha domingensis Pers.</i>)	95
7. Resultados de la medición de pH en el microhumedal artificial N° 2, fase I, con planta de Jacinto de Agua (<i>Eichornia crassipes (Mart.) Solms.</i>)	96
8. Resultados de la medición de pH en el microhumedal artificial N° 2, fase II, con planta de Jacinto de Agua (<i>Eichornia crassipes (Mart.) Solms.</i>)	98
9. Resultados obtenidos de Sólidos Sedimentables de los microhumedales artificiales N° 1 y N° 2. Fase I.	99
10. Resultados obtenidos de Sólidos Sedimentables de los microhumedales artificiales N° 1 y N° 2. Fase II.	100

11. Resultados obtenidos de OD de los microhumedales artificiales N° 1 y N° 2. Fase I.	103
12. Resultados obtenidos de OD de los microhumedales artificiales N°1 y N° 2. Fase II.	103
13. Resultados obtenidos de DBO ₅ de los microhumedales artificiales N°1 y N° 2. Fase I.	105
14. Resultados obtenidos de DBO ₅ de los microhumedales artificiales N° 1 y N° 2. Fase II.	106
15. Parámetros sobre valores permisibles para aguas residuales de tipo ordinario descargadas a un cuerpo receptor.	115
16. Clasificación de las aguas de acuerdo con su contenido de pH.	115
17. Parámetros de funcionamiento del microhumedal artificial N° 1.	123
18. Parámetros de funcionamiento del microhumedal artificial N° 2.	124

ABREVIATURAS

CONACYT: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno medida a los 5 días.

DQO: Demanda Química de Oxígeno.

EPA: Environme

ntal Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de los
Estados Unidos de América).

FMF: Filtro de Macrófitas en Flotación.

N: Nitrógeno.

NSR: Norma Salvadoreña Obligatoria.

OD: Oxígeno Disuelto.

SS: Sólidos Sedimentables.

RESUMEN

La contaminación del agua es uno de los graves problemas existentes hoy en día en El Salvador. El 90% de los recursos hídricos presenta altos niveles de contaminación química y biológica. Una de las principales fuentes de contaminación del agua lo constituyen las aguas residuales domésticas.

Como una alternativa de solución a esta problemática el presente trabajo de investigación consiste en la depuración de las aguas residuales domésticas de tipo ordinario de una familia de cinco miembros, implementando dos microhumedales artificiales de tipo subsuperficial de cuatro estadíos en dos fases y con dos plantas acuáticas: Tule (***Typha domingensis Pers.***) y Jacinto de Agua (***Eichornia crassipes (Mart.) Solms***), como una alternativa de bajo costo y fácil manejo.

La actividad de los microhumedales se midió con la determinación de parámetros fisicoquímicos de temperatura, pH, sólidos sedimentables, oxígeno disuelto y DBO₅, que fueron comparados con la Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09.

En la primera fase de tratamiento el agua ingresó con un valor inicial de DBO₅ de 1396.7 mg/L, disminuyendo a un valor final de DBO₅ de 65 mg/L en ambos microhumedales; y en la fase II DBO₅ se presentó un valor inicial de 2310.0 mg/L en ambos microhumedales, disminuyendo drásticamente a un valor de 5.0 mg/L en el microhumedal que contiene la planta de Tule (***Typha domingensis Pers.***) y un valor de BDO₅ de 7 mg/L que contiene la planta del Jacinto de Agua (***Eichornia crassipes (Mart.) Solms***).

Por lo que se puede concluir que el tratamiento de las aguas residuales de tipo ordinario es altamente eficiente. Por lo que se recomienda la implementación de estos sistemas de microhumedales para el tratamiento de aguas contaminadas provenientes de descargas de las diferentes industrias.

CAPITULO I
INTRODUCCION

1.0 INTRODUCCION

El agua es un elemento esencial para la vida. Cubre casi 4/5 partes de la superficie terrestre y en el hombre ocupa aproximadamente el 70% del peso total de el cuerpo. Es por eso que el agua es indispensable para todo ser viviente, sin ella el grado de desarrollo de la humanidad no habría sido posible. En los últimos años uno de los mayores problemas es la contaminación del agua debido a la descarga de desechos domésticos, industriales y mineros sin previo tratamiento directamente a los recursos hídricos, siendo el grado de industrialización y crecimiento poblacional los índices que marcan el porcentaje de contaminación de los recursos hídricos de los pueblos. De acuerdo a datos del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), las enfermedades ocasionadas por la contaminación del agua son la tercera causa de muerte infantil en el país; y en vista del impacto social, económico y ambiental causado por los altos índices de contaminación de las aguas superficiales es indiscutible la necesidad de tratamiento para las aguas residuales (tanto las aguas residuales de tipo ordinario como las de tipo especial). Asimismo, existe un grave déficit en el área de saneamiento y no está en funcionamiento ninguna planta de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario y estas siguen vaciándose en los cuerpos de agua al aire libre ⁽⁸⁾.

Existen en la actualidad diversos proyectos tecnológicos que son una respuesta a esta necesidad y que han sido ampliamente estudiadas a nivel mundial; entre ellos, los sistemas de depuración basados en mecanismos naturales como los humedales. Aprovechando estas ventajas, se desarrolló un microhumedal

artificial de tipo subsuperficial que es un sistema de depuración basado en mecanismos naturales constituidos por una biota, plantas acuáticas y agua con el fin de purificar las aguas residuales domésticas de tipo ordinario de una familia de cinco miembros.

El proyecto se ejecutó en dos fases: una fase de campo con dos microhumedales, de cuatro estadios cada uno, y dos tipos de plantas acuáticas emergentes: Tule (***Typha domingensis Pers.***) y Jacinto de Agua (***Eichornia crassipes (Mart.) Solms.***) por un período de 6 semanas. Y una segunda fase experimental que consistió en la medición de la actividad purificadora de los microhumedales mediante la determinación de los parámetros fisicoquímicos de temperatura, pH, sólidos sedimentables, oxígeno disuelto y demanda biológica de oxígeno (DBO₅) comparados con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01:09.

CAPITULO II

OBJETIVOS

2.0 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un microhumedal artificial para el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 2.2.1 Elaborar dos microhumedales artificiales.
- 2.2.2 Seleccionar dos plantas acuáticas emergentes, según referencia bibliográfica, que muestren una mayor capacidad depuradora de las aguas residuales de tipo ordinario.
- 2.2.3 Medir la actividad del microhumedal artificial, en cada estadio por medio de T^o, pH, Sólidos Sedimentables inicial y final, Oxígeno Disuelto inicial y final y DBO₅ inicial y final.
- 2.2.4 Comparar la actividad purificadora los microhumedadales artificiales.
- 2.2.5 Comparar la calidad de las aguas tratadas en los microhumedales artificiales con los parámetros de DBO₅ y Sólidos Sedimentables especificados en la NSO 13.49.01:O9.

CAPITULO III
MARCO TEORICO

3.0 MARCO TEORICO.

3.1 Generalidades del agua. (8)

El agua es una sustancia fundamental para los seres vivos y en muchos procesos industriales, en los que puede intervenir como:

- Materia prima de un proceso.
- Disolvente, diluyente o medio de transporte de otras materias.
- Medio de transporte térmico adicionando calor (agua caliente, vapor) o retirándolo (lavado, limpieza general, etc.).

Los múltiples usos a que se destina el agua (consumo doméstico, agricultura, ganadería, producción de energía, e incluso el ocio, además de la industria) y la creciente demanda la han convertido en un recurso limitado, cuando no escaso. Por otra parte, las aguas residuales pueden ser la causa de un impacto ambiental cuyo control toma parte de los programas de bienestar social de cualquier gobierno. El agua natural puede contener una gran variedad de impurezas, características del ciclo hidrológico que ha experimentado previamente. El agua natural puede llegar directamente a la industria desde una captación independiente o a través de una red de suministro que probablemente entregará el agua con algunas modificaciones en su composición original.

Cuando las impurezas representan elementos nocivos para el uso a que va destinada en el agua se denominan contaminantes por lo tanto es el grado de calidad requerido el que determina si una impureza es contaminante o no. Atendiendo a los problemas que pueden plantear y las posibles

soluciones con tratamientos adecuados, se pueden distinguir los siguientes grupos de contaminantes acuáticos:

- Gases disueltos: Oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, amoníaco.
- Materias en suspensión: Fangos diversos, restos de vegetales.
- Materias emulsionadas: Aceites, hidrocarburos, suspensiones coloidales.
- Sales minerales en disolución: Carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos, silicatos, combinados con metales alcalinos, alcalinotérreos.
- Materia orgánica de origen natural.
- Compuestos sintéticos y artificiales de difícil degradación.
- Metales pesados y tóxicos inorgánicos.
- Organismos vivos que constituyen la fauna y flora del medio.
- Organismos patógenos de origen animal o humano.

3.2 Calidad del Agua. ⁽⁸⁾

Para definir la calidad del agua existen ciertos parámetros que se pueden clasificar en cuatro grandes grupos: físicos, químicos, biológicos y radiológicos.

Cuadro N° 1 Indicadores de la calidad del agua. ⁽²²⁾

Parámetros físicos	Parámetros químicos	Parámetros biológicos	Parámetros Radiológicos ⁽²⁴⁾
Sabor. Color. Turbidez. Conductividad y resistividad.	Gases disueltos. Bicarbonatos y Carbonatos. Fosfatos. Sodio.	Demanda Bioquímica de Oxígeno.(DBO) Demanda Química de Oxígeno. (DQO)	Partículas alfa y beta mediante contadores de centelleo.

Cuadro N°1. Continuación.

Sólidos totales. Sólidos en suspensión.	Potasio. Cloruros. Metales tóxicos. Coloides. Alcalinidad. Dureza. Sulfatos. Acidez mineral. Magnesio. Manganeso. Fluoruros. Sílice.	Carbón Orgánico Total. (COT)	
---	---	---------------------------------	--

3.3 Contaminación del agua. (17)

Se entiende por contaminación del agua la alteración de la calidad natural física, química o biológica ya sea como consecuencia directa o indirecta de la actividad del hombre o por razones naturales, y de acuerdo con la Ley del Medio Ambiente de El Salvador, promulgada en 1998, en el reglamento especial de aguas residuales, Capítulo I, establece como objeto velar porque las aguas residuales no alteren la calidad de los medios receptores, para contribuir a la recuperación, protección y aprovechamiento sostenibles del recurso hídrico. Bajo este concepto se estimó que más del 90% de todas las fuentes de agua superficial se encuentran con algún grado de contaminación por desechos orgánicos, industriales y agroquímicos.

La OPS -UNICEF estimó en el año 2000 que toda la población cubierta con servicios de alcantarillado, solo el 2% y 3% de las aguas residuales reciben tratamiento antes de ser lanzadas a ríos o quebradas.

Las alteraciones físicas y químicas del agua se resumen en los cuadros (Anexo N° 2).

En general las actividades humanas que contribuyen a la contaminación del agua, se clasifican en la siguiente forma:

- Domésticas
- Comerciales
- Industriales
- Agropecuarias
- Hospitales
- Por derrame de petróleo.

3.3.1 Domésticas

Entre los contaminantes de origen doméstico se encuentran los desechos sólidos sin tratar, aguas servidas, carga orgánica y bacterias, químicos tóxicos, etc. En el informe de Desarrollo Humano 2003, se afirma que gran parte de las familias en la zona rural consumen agua con algún tipo de contaminación, principalmente de origen microbiológico.

Las aguas residuales frescas de origen doméstico emergen como un líquido turbio de color gris o amarillento con olor séptico, en el cual van suspendidas partículas de sedimento, heces, residuos vegetales, tiras de papel y materiales sintéticos. Composición típica promedio de las aguas residuales domésticas (Anexo N° 3). ⁽⁸⁾

3.3.2 Comerciales

Consisten en materiales sólidos o líquidos provenientes de instituciones comerciales, como tiendas, mercados, supermercados, almacenes, ferreterías, librerías entre otros.

3.3.3 Industriales

Entre los contaminantes de origen industrial están: metales pesados, álcalis, ácidos procedentes de industrias textiles, tipografías e industria fotográfica, así como la carga orgánica procedente industrias alimenticias, procesamiento del añil, del maguey, desechos de beneficios del café e ingenios azucareros.

Según la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01:09 “Agua, Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor”, del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) se pueden clasificar en 14 grupos según la Tabla N°. 2 de dicha norma. Valores permisibles de parámetros para verter aguas residuales de tipo especial al cuerpo receptor por tipo de actividad y subgrupos, los cuales son: ⁽⁸⁾

- a) Animales vivos y productos del reino animal.
- b) Productos del reino vegetal.
- c) Grasas y aceites animales y vegetales.
- d) Productos de las industrias alimentarias, bebidas, líquidos alcohólicos, tabaco y sucedáneos.
- e) Productos minerales.
- f) Productos de las industrias químicas.
- g) Materias plásticas, cauchos y sus manufacturas.

- h) Pieles, cueros, talabartería y papelería.
- i) Pastas de madera, papel y cartón, manufacturas y aplicaciones.
- j) Materias textiles y sus manufacturas.
- l) Perla, piedra y metales preciosos.
- m) Metales comunes y sus manufacturas.
- n) Maquinaria y aparatos, material eléctrico y mantenimiento. ⁽⁸⁾

3.4 Clasificación de contaminantes de las aguas residuales. ⁽⁸⁾

Los contaminantes de las aguas residuales se pueden clasificar en contaminantes orgánicos y contaminantes inorgánicos.

3.4.1 Contaminantes orgánicos.

Son compuestos cuya estructura química está constituida fundamentalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Son los contaminantes mayoritarios en vertidos urbanos y generalmente en la industria agroalimentaria. Entre los compuestos que pueden aparecer en las aguas residuales como contaminantes orgánicos se encuentran:

- **Proteínas:** proceden fundamentalmente de excretas humanas o desechos de productos alimentarios, son biodegradables, bastantes inestables y responsables de los malos olores.
- **Carbohidratos:** se incluyen en este grupo azúcares, almidones y fibras celulósicas procedentes al igual que las proteínas de excretas o desperdicios.
- **Aceites y grasas:** altamente estables, inmiscibles con el agua, procedentes en su mayoría de desperdicios alimentarios a excepción de los aceites minerales que proceden de otras actividades.

- **Otros:** tensoactivos, fenoles organoclorados y organofosforados, su origen es muy variable y presenta elevada toxicidad.

3.4.2 Contaminantes inorgánicos.

Son de origen mineral y de naturaleza acida más abundantes sales, óxidos, ácidos, bases y metales. Los contaminantes en forma de compuestos inorgánicos de las aguas residuales están en función del material contaminante y de la naturaleza de la fuente contaminante, aparecen en cualquier tipo de agua residual, aunque se observan con mayor frecuencia en los vertidos generados por las grandes plantas industriales. ⁽¹²⁾

3.5 Agua residual. ⁽¹⁾

Es el agua resultante de cualquier uso, proceso u operaciones de tipo agropecuario, doméstico o industrial, sin que forme parte de productos finales.

3.5.1 Aguas residuales de tipo especial.

Agua residual generada por actividades agroindustriales, industriales, hospitalarias y todas aquellas que no se consideran de tipo ordinario.

3.5.2 Aguas residuales de tipo ordinario.

Agua residual generadas por las actividades domésticas de los seres humanos, tales como uso de servicios sanitarios, lavatorios , fregaderos, lavado de ropa y otras similares.

3.6 Características de importancia en las aguas residuales. ⁽⁸⁾

- **Acidez:** la acidez se origina en la disolución de CO₂ atmosférico, en la oxidación biológica de la materia orgánica o en la descarga de aguas residuales industriales. Su efecto corrosivo en aguas residuales es de gran importancia, así

como su efecto posible destructor o alterador de la flora y fauna de fuentes receptoras.

- **Acido Sulfúrico:** se consideran indeseables concentraciones de H_2S en aguas residuales mayores de 1 mg/L. Es causante del color negro en muchas aguas residuales por la combinación del H_2S con hierro para formar sulfuro ferroso.

- **Alcalinidad:** las aguas residuales domésticas son generalmente alcalinas, concentraciones de 50 – 200 mg/L $CaCO_3$ son comunes.

- **Bacterias:** organismos eubacteriales procarióticos unicelulares, morfológicamente reclasifican como: cocos, bacilos curvados o vibriones, espirales o espiroquetas y filamentosas, son los organismos más importantes en la descomposición y estabilización de la materia orgánica.

- **Carbohidratos:** son muy comunes en aguas residuales y en la industria de la madera, papel, textiles y alimentos, incluye azúcares, almidones, celulosa, hemicelulosa.

- **Cloruros:** son comunes en aguas residuales pues la contribución diaria por persona es de 6 a 9 gramos.

En aguas residuales domésticas crudas la concentración de cloruros oscila entre 30 – 200 mg/L.

- **Color:** las aguas residuales domésticas frescas son generalmente de color gris y a medida que el agua envejece cambia de color gris oscuro y luego a negro.

El color en aguas residuales industriales puede indicar el origen de la contaminación así como el buen estado o deterioro de los procesos de

tratamiento. Entre los residuos industriales de color fuerte se tienen los de la industria colorante de textiles y de pulpa de papel.

- **Compuestos orgánicos volátiles:** en aguas residuales es común encontrarlos, los cuales al ser emitidos a la atmósfera pueden constituirse en contaminantes tóxicos o en gases orgánicos altamente reactivos.

- **Detergentes:** su presencia disminuye la tensión superficial del agua y favorece la formación de espuma inhibe la actividad biológica y disminuye la solubilidad del oxígeno.

- **Fenoles:** compuestos aromáticos comunes en aguas residuales de la industria del petróleo, del carbón, plantas químicas, fábricas de explosivos, de resinas y otras.

- **Fósforo:** en aguas residuales domésticas el contenido de fósforo oscila entre 6 y 20 mg/L.

- **Aceite y grasa:** sustancia química no miscible en el agua pero soluble en solventes designados en los métodos de análisis recomendados en esta norma. (NSO 13.49.01:09). ⁽¹⁾

- **Nitrógeno:** las formas de interés en aguas residuales son las de nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, hidrogeno de nitritos y nitratos. Un agua residual con contenido suficiente de nitrógeno para su adecuada biodescomposición. La forma predominante del nitrógeno en aguas residuales domésticas frescas es el nitrógeno orgánico.

- **Olor:** las aguas residuales frescas tienen un olor característico desagradable, las aguas residuales sépticas tienen un olor muy ofensivo, generalmente

producido por H_2S proveniente de la descomposición anaerobia de los sulfatos o sulfuros. Las aguas residuales industriales tienen, a veces, olores característicos específicos del proceso industrial del cual provienen.

- **Proteínas:** los residuos industriales más ricos en proteínas son los provenientes de procesadoras de carnes, quesos, huevos y ciertos vegetales.

- **Oxígeno Disuelto:** la baja disponibilidad del oxígeno disuelto (OD) limita la capacidad auto purificadora de los cuerpos de agua y hace necesario el tratamiento de las aguas residuales para su disposición en ríos y embalses. En general todo proceso aerobio requiere una concentración de OD mayor de 0.5 mg/L.

- **Turbiedad:** constituye una medida óptica del material suspendido en el agua. Las aguas residuales tratadas pueden ser un factor importante de control de calidad.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno:** es la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. Las aguas residuales domésticas crudas tienen DBO promedio 250 a 1000 mg/L con relaciones DQO/DBO que generalmente varían entre 1.2 y 2.5.

- **Demanda Química de Oxígeno:** es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales industriales o municipales tóxicas a la vida biológica y se puede realizar en solo unas 3 horas. ⁽¹⁴⁾

3.7 Efectos dañinos de las aguas residuales. ⁽¹²⁾

Se considera que las aguas residuales son dañinas cuando impiden o perjudican el uso normal del agua ó cuando acarrear hasta las aguas naturales, productos residuales considerados como nocivos.

Pueden producirse daños directos, cuando las aguas residuales son descargadas a un cuerpo receptor cuya agua sea utilizada por ejemplo para:

- a) Cultivo de peces
- b) Abastecimiento de agua potable
- c) Áreas recreativas.

Las aguas residuales podrían destruir completamente un sistema ecológico y de esa manera eliminar una fuente de recursos naturales y de producción de alimentos. Los daños indirectos causados por las aguas residuales son difíciles de cuantificar. Las aguas residuales que presentan efectos excepcionalmente tóxicos, sobre los seres humanos y animales son aquellos que contienen los siguientes componentes:

- Solventes orgánicos
- Compuestos orgánicos halogenados
- Sulfuro de hidrogeno, entre otros.

3.8 Efectos contaminantes de las aguas residuales en el agua natural. ⁽¹²⁾

El mayor contaminante de las aguas naturales es la descarga de aguas residuales provenientes de las ciudades y de las industrias. El resultado de esta contaminación se refleja en una considerable modificación de las propiedades del agua natural, observándose sobre las aguas naturales efectos como:

- Disminución del contenido de oxígeno debido a los constituyentes de las aguas residuales que son química y biológicamente oxidables y consumen oxígeno disuelto del agua natural mediante la oxidación de compuestos orgánicos.
- Incremento en el contenido de sólidos totales. Las aguas residuales contienen componentes sólidos que pueden ser de origen mineral orgánico y pueden descomponerse produciendo la flotación de los mismos.

Cuanto más largo sea el colector que conduce las aguas residuales hasta el cuerpo receptor y más turbulento el flujo de la alcantarilla, más pequeñas serán las partículas presentes en el agua residual.

3.9 Tipos de tratamientos. ⁽¹⁷⁾

El objetivo de los diferentes tipos de tratamiento es en general, reducir la carga de contaminantes del vertido o agua residual y convertirlo en inocuo para el medio ambiente y la salud humana.

Los tipos de tratamiento se pueden clasificar a grandes rasgos como: físicos, químicos y biológicos.

3.9.1 Tratamiento físico.

Son todos aquellos en los que se utilizan las fuerzas físicas para el tratamiento, por ejemplo el procedimiento de sedimentación por gravedad para separar los sólidos en suspensión de las aguas residuales, se utiliza para los siguientes propósitos:

- Separar la arenilla.
- Clarificar las aguas de alcantarillado que están sin tratar y concentrar los sólidos sedimentados (llamados lodos crudos o primarios).

- Clarificar suspensiones biológicas y concentrar los flóculos sedimentados (llamados lodos biológicos, activados o secundarios).
- Espesar por gravedad los lodos primarios o secundarios.

3.9.2 Tratamiento químico.

Son todos aquellos procesos en los que la eliminación de los contaminantes presentes en el agua residual se lleva a cabo mediante la adición de reactivos químicos, o bien mediante las propiedades químicas de diversos compuestos.

El tratamiento químico, solo o combinado con otros procesos, suele ser necesario para residuos que no son susceptibles de tratamiento por medios biológicos. Son ejemplos de esto la oxidación con el cianuro tóxico a cianato, que es manejable, o del cromo hexavalente a la forma trivalente no tóxica en la eliminación de residuos de procesos de recubrimiento con metales. Los procesos químicos son útiles además en el tratamiento de residuos municipales, donde la concentración de fósforo se reduce y se mejora la separación de sólidos por precipitación de estos contaminantes con sales metálicas. (12)

3.9.3 Tratamiento biológico.

Este tipo de tratamiento es facilitado principalmente por bacterias que digieren la materia orgánica presente en los fluidos residuales.

Las sustancias presentes en el líquido residual se utilizan como nutrientes (sustrato) para dichos microorganismos. Los principales procesos biológicos según el tipo de microorganismo, se clasifican como aeróbicos y anaeróbicos. Los procesos aeróbicos requieren la presencia de oxígeno y los anaeróbicos no

requieren oxígeno, también está el facultativo en el que los microorganismos requieren o no la presencia de oxígeno.

3.10 Humedales.

La forma que tiene la naturaleza para purificar aguas, es a través de los humedales, ellos proveen sumideros efectivos de nutrientes y sitios amortiguadores para contaminantes orgánicos e inorgánicos. Esta capacidad es el mecanismo detrás de los humedales artificiales para simular un humedal natural con el propósito de tratar las aguas residuales. Estos logran el tratamiento de las aguas residuales a través de la sedimentación, absorción y metabolismo bacterial; además interactúan con la atmósfera.

3.10.1 Humedal. (18)

Un humedal es una zona de tierras, generalmente planas, en la que la superficie se inunda permanente o intermitentemente, al cubrirse regularmente de agua, el suelo se satura, quedando desprovisto de oxígeno y dando lugar a un ecosistema híbrido entre los puramente acuáticos y los terrestres.

3.10.2 Importancia de los humedales. (23)

Los sistemas de humedales sustentan directamente a millones de seres humanos aportando bienes y servicios a todo el mundo. Los seres humanos cultivan los suelos de los humedales, capturan peces de humedales para consumirlos, talan árboles de humedales para obtener madera de construcción y leña y cortan sus cañizos (tejido de caña) para fabricar esteras (tejidos de junco) y construir techos. Su utilización directa puede revestir también la forma de

actividades recreativas, como la observación de aves y la navegación o de estudios científicos.

3.10.3 El papel de Ramsar en la conservación de los humedales. (23)

La misión de la Convención de Ramsar (Ramsar, 1996) es la conservación y el uso racional de los humedales, a través de la acción a nivel nacional y mediante la cooperación internacional, a fin de contribuir al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo; sus actividades principales:

- Designar humedales para ser incluidos en la “Lista de Humedales de Importancia Internacional” y mantener sus características ecológicas.
- Elaborar políticas nacionales de humedales, tener las cuestiones concernientes a la conservación de los humedales en cuenta, y en la planificación nacional del uso del suelo.
- Elaborar planes integrados de manejo/gestión de cuencas hidrográficas y, en particular, adoptar y aplicar las directrices para poner en práctica el concepto de uso racional, y sostenible, de los humedales en beneficio de la humanidad de forma compatible con el mantenimiento de las propiedades naturales de los ecosistemas.
- Promover la conservación de los humedales que se encuentren en su territorio estableciendo reservas naturales por medio de la capacitación en cuanto a la investigación, el manejo/gestión y la vigilancia de los mismos.

3.10.4 Funciones de los humedales. (23)

La función principal del humedal, luego de ser un gran ecosistema y un importante hábitat para muchos seres vivos, es que actúan como filtradores

naturales de agua, esto se debe a que sus plantas hidrófitas, gracias a sus tejidos, almacenan y liberan agua, y de esta forma hacen un proceso de filtración.

Además los humedales tienen tres funciones básicas que los hacen un atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales, las cuales son:

- Fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica.
- Utilizar y transformar los elementos por intermedio de los microorganismos.
- Lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energías y bajo mantenimiento.

Los humedales también son importantes por:

- Contribuir a la precipitación local y constituir un sistema eficiente y de bajo costo para la purificación del agua (pantanos herbáceos).
- Ser un área de recreación (caza, pesca, paseos en bote).
- Por brindar protección contra las inundaciones y protección contra la erosión de la costa debido a las tormentas (manglares).
- Por contribuir a la preservación de la diversidad biológica para muchas especies de camarones, peces y aves acuáticas, siendo de vital importancia como tierras de reproducción y áreas de descanso en sus rutas migratorias.

3.10.5 Clasificación. (18)

Se pueden establecer distintos criterios para clasificar los humedales, en función de los objetivos que se persiguen o de los estudios en los que se basen: criterio morfológico general (principalmente para divulgación), hidrogenético (según el

origen y usos del agua, para demandas de agua), funcional (ecológico, según sus hábitats, para conservación medioambiental); o los criterios estructurales (desde el punto de vista de gestión).

Desde este último punto de vista, se puede diferenciar a la vez, los aspectos basados en el criterio hidrológico y aquellos otros en el hidrogeológico, los cuales son:

3.10.5.1 Criterio estructural hidrológico:

3.10.5.1.1 Aspectos externos:

- Hidrohumedal: presentan casi siempre lámina de agua aflorante (prácticamente durante todo el año).
- Higrohumedal: presentan casi siempre lámina de agua oculta (prácticamente todo el año).

3.10.5.1.2 Aspectos internos.

- Epigénicos: desvinculada su estructura de flujos subterráneos localizados próximos.
- Freatogénicos: vinculada su estructura a flujos subterráneos localizados próximos.

3.10.5.2 Criterio estructural hidrogeológico:

- Humedales de Recarga: charcas de infiltración, tramos de recarga fluviales, etc.
- Humedales de Tránsito: criptohumedales continentales, criptohumedales litorales, lagunas de lámina aflorante, etc.
- Humedales de Descarga: encharcados, manantiales, descargas de fondo.

3.11 Tipos de humedales. (25)

a) Naturales.

b) Artificiales.

a) Humedales naturales.

Entre los humedales naturales tenemos los humedales comprendidos en la definición de la Convención, Scott (1989), esta identificó 30 grupos de humedales naturales y nueve artificiales. Con todo, a título ilustrativo se pueden identificar cinco grandes sistemas de humedales:

- Estuarios: es decir, donde los ríos desembocan en el mar y el agua alcanza una salinidad equivalente a la media del agua dulce y salada (deltas, bancos fangosos y marismas).
- Marinos: los que no resultan afectados por los caudales fluviales (litorales y arrecifes de coral).
- Fluviales: las tierras anegadas periódicamente como resultado del desbordamiento de los ríos (llanuras de inundación, bosques anegados y lagos de meandro).
- Palustres: los que contienen aguas relativamente permanentes (pantanos de papiro, marismas y ciénagas).
- Lacustres: zonas cubiertas de aguas permanentes caracterizadas por una baja circulación (lagunas, lagos glaciales y lagos de cráteres de volcanes).

b) Humedales artificiales.

Entre los humedales artificiales (construidos) tenemos los sistemas desarrollados específicamente para el tratamiento de aguas residuales y el control de la contaminación.

Estos son creados para reproducir y optimizar los procesos que se desarrollan en los humedales naturales y pueden ser diseñados para remover varios tipos de contaminantes que pueden existir en las aguas residuales. Los medios de depuración de estos sistemas se basan en procesos microbiológicos, biológicos, físicos y químicos.

Hasta el momento han sido utilizados para tratar una variedad de aguas residuales con distintos grados de contaminación, que incluyen aguas residuales urbanas, municipales, industriales, agrícolas y aguas provenientes de minas ácidas.

Pueden ser utilizados para tratar efluentes como tratamientos secundarios o terciarios pero no se recomienda su uso como tratamiento primario. También pueden ser utilizados en combinación con otras tecnologías de tratamiento de agua secundario para optimizar los procesos.

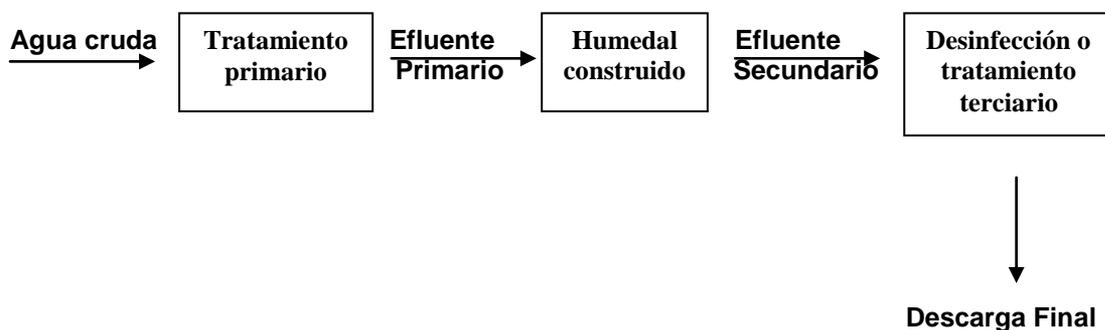


Figura N° 1 Esquema de tratamiento de aguas utilizando humedales construidos. (11)

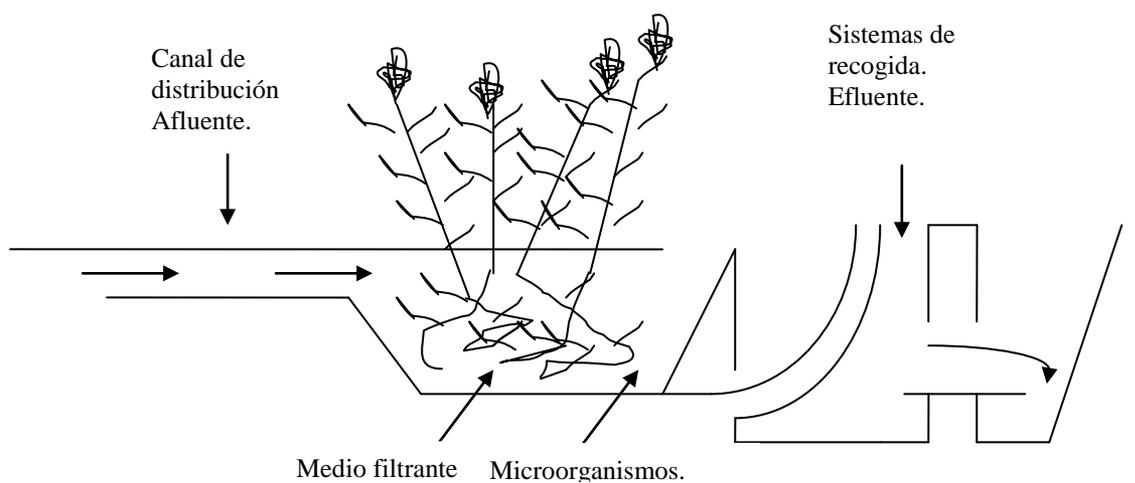


Figura N° 2 Esquema de los componentes de un humedal artificial. (11)

Los humedales construidos tienen ciertos componentes básicos que incluyen las estructuras para manejo de efluente y afluente, el medio filtrante o granular, la vegetación y las comunidades microbianas que se desarrollan naturalmente.

- Estructura de Distribución y Recogida de Aguas.

Estas configuraciones se utilizan para el control del flujo de salida y entrada del humedal y tienen por objetivo procurar un flujo homogéneo a lo largo ancho y alto del humedal.

- Medio granular.

En los humedales construidos el material de relleno debe ser un medio lo suficientemente permeable para permitir el flujo del agua. Además provee el ambiente necesario para el desarrollo de los microorganismos que causan transformaciones químicas y microbiológicas, además de permitir la sedimentación y filtración de sólidos en suspensión por la baja velocidad del agua a través del medio.

- Vegetación.

Las plantas mejoran el rendimiento del humedal; pueden absorber grandes cantidades de nitrógeno y fósforo; pueden servir como fuente; los sólidos se eliminan por sedimentación, decantación, filtración y degradación a través del conjunto que forma el sustrato del humedal con las raíces y rizomas de las plantas.

- Microorganismos.

Las biopelículas formadas en el medio granular son las principales responsables de la depuración de las aguas residuales. Contribuyen de forma significativa a la reducción de la DBO del agua ya que aprovechan el oxígeno transportado desde las hojas a las raíces de las plantas.

3.11.1 Clasificación de los humedales según la circulación del agua. (11)

Existen dos tipos de sistemas de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento de aguas residual, que se clasifican en superficiales o subterráneos, de acuerdo a la circulación del agua a través de ellos.

- Humedales de flujo superficial.

Este tipo de humedales son muy similares en forma y operación a los encontrados en la naturaleza donde el agua está expuesta directamente a la atmósfera y el flujo es horizontal, este consta de estructuras para la distribución de aguas que regulan y distribuyen el flujo para un tratamiento óptimo, combinaciones de zonas densamente pobladas, junto con zonas de agua libre sin plantar, un fondo aislado del suelo natural para evitar infiltraciones, una capa sumergida de suelo para las raíces de la vegetación y estructuras de recogida de aguas que complementan a las de distribución y permiten el ajuste del nivel de agua.

- Humedales de flujo subsuperficial.

Estos sistemas consisten en canales de zanjas excavados, impermeabilizados y rellenos de material granular en donde el nivel del agua se mantiene por debajo de la superficie del material granular, plantados con vegetación propia de zonas húmedas.

Según el sentido del flujo del agua, los humedales subsuperficiales se clasifican en sistemas de flujo vertical y horizontal.

Sistemas de flujo subsuperficial vertical.

En estos humedales el efluente se reparte por la superficie del humedal, fluye en su seno, experimentando un tratamiento físico (filtración), químico (adsorción), y biológico (biomasa fijada sobre soporte fino) operan de forma intermitente por lo que hay fases de llenado, reacción y vertido.

Sistemas de flujo subsuperficial horizontal.

En estos humedales el lecho filtrante está casi totalmente lleno de agua, el afluente se reparte sobre todo el ancho y alto del lecho por la acción de un sistema distribuidor situado a un extremo del humedal y fluye principalmente en sentido horizontal a través del estrato.

3.11.2 Clasificación de humedales según la vegetación empleada. (21)

a) Sistemas que utilizan helófitas enraizadas ya sea en el suelo del humedal (sistemas de flujo superficial: Este tipo de humedales son muy similares en forma y en operación a los humedales encontrados en la naturaleza donde el agua está expuesta directamente a la atmósfera y el flujo es horizontal. Usualmente la forma, el tamaño y la complejidad del diseño de los humedales superficiales están recogidos por las características propias del sitio y no por los criterios del diseño). O en lechos de grava o arena por los que se hace circular el agua residual (sistema subsuperficial: consisten en canales o zanjales excavadas, impermeabilizados rellenos de material granular, generalmente grava o arena de una granulometría variable según la calidad de las aguas residuales que se deben tratar en donde el nivel del agua se mantiene por debajo superficie del material granular, plantados con

vegetación propia de la zonas húmedas).

b) Sistemas que utilizan plantas flotantes sobre la superficie del agua, como el jacinto de agua o la lenteja de agua.

c) Sistemas que utilizan helófitas, pero con el sistema radicular libre, directamente bañado por el agua.

Todos estos sistemas tienen la ventaja de ser naturales, integrados en el medio ambiente natural, que eliminan los sólidos en suspensión, la materia orgánica, los elementos eutrofizantes y los microorganismos patógenos y desde un punto de vista económico tienen un reducido costo de instalación y mantenimiento. Los sistemas correspondientes a los apartados b) y c) tienen las siguientes ventajas respecto a los del apartado a):

- 1) Mayor economía en la implantación ya que no necesita el relleno de grava o arena.
- 2) Mayor capacidad de depuración al estar todo el sistema radicular bañado por el agua (necesita menos superficie de plantación).
- 3) No se produce colmatación del lecho y por lo tanto no existen caminos preferenciales en el movimiento del agua residual.
- 4) Facilidad de cosechar la totalidad de la biomasa formada (incluidas las raíces y rizomas) para eliminar los elementos minerales fijados por las plantas o aprovechar la biomasa para nutrición animal o para usos industriales.

Los sistemas del apartado b) tienen el inconveniente que debido al bajo desarrollo de las plantas se hace preciso eliminar con bastante frecuencia una

parte de la biomasa producida, por lo que el sistema resulta costoso y requiere bastante trabajo.

Dentro de los sistemas del grupo c) está el FMF (filtro de macrófitas en flotación) patentado por el Grupo de Agrogenética del Departamento de Producción Vegetal Botánica, de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid, España, con el título: "Procedimientos de depuración de aguas residuales y vertidos contaminantes en base a cultivos de macrófitas emergentes convertidas en flotantes".

3.11.3 Vegetación utilizada en los humedales. (11)

El papel de la vegetación de depuración de humedales construidos es uno de los aspectos que más discusión ha generado en la comunidad científica durante años, ya que los experimentos comparando humedales plantados y sin plantar, presentaban resultados contradictorios llegando a considerar las plantas como un simple elemento estético.

Según la EPA (2000) las investigaciones han confirmado que para el tratamiento de contaminantes típicos como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) o los Sólidos Suspendidos Totales en humedales superficiales, los sistemas plantados son mejores que aquellos sin plantar.

En sistemas de flujo subsuperficial los resultados tienden a señalar un efecto importante de la vegetación pero no son tan claros como los de los humedales superficiales. (11).

En términos generales las plantas mejoran el rendimiento del humedal a pesar que los resultados comparando sistemas plantados y sin plantar no sean siempre diferentes.

Las plantas emergentes que frecuentemente se encuentran en la mayoría de los humedales para aguas residuales incluyen, espadañas, carrizos y juncos de laguna.

El siguiente cuadro presenta las funciones generales atribuidas a las plantas de los humedales subsuperficiales.

Cuadro N° 2 Funciones generales de las plantas de los Humedales. (11)

Elemento	Proceso	Efecto
Tejido aéreo	Influencias microclimáticas Almacenamiento de nutrientes Estética	Protección contra la temperatura. Eliminación de nutrientes. Buena incorporación al medio.
Raíces y tejido aéreo muerto	Descomposición en el suelo	Fuente de carbono para las bacterias nitrificantes u otros microorganismos.
Raíces y rizomas.	Estabilización de la superficie Aumento de la superficie para la formación de la biopelícula.	Disminución de la erosión. Mejoramiento de eficiencia del humedal.

3.11.3.1 Ventajas de las plantas acuáticas. (25)

Las plantas pueden ser utilizadas como bombas extractoras de bajo costo para depurar aguas contaminadas. Algunos procesos degradativos ocurren de forma más rápida con las plantas que con microorganismos. Es un método apropiado para disminuir la contaminación de superficies grandes o para finalizarla en áreas restringidas en plazos largos.

3.11.4 Microorganismos. (11)

Las funciones de descontaminación de los humedales son reguladas por microorganismos.

En los humedales de flujo subsuperficial las biopelículas formadas en el medio granular son las principales responsables de la depuración de las aguas residuales. Una biopelícula o biofilm es una conformación de microorganismos donde las células se adhieren a una superficie y forman una estructura en tres dimensiones que actúa como una comunidad integrada.

Los microorganismos que se desarrollan en los humedales incluyen bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. Algunos de estos microorganismos son aeróbicos es decir, requieren de oxígeno libre, mientras que otros son anaeróbicos y viven en ausencia de oxígeno. Muchas especies bacterianas pueden funcionar bajo condiciones anaeróbicas o aeróbicas en respuesta a los cambios en las condiciones medioambientales .

El cuadro No. 3 presenta un resumen con las características de los humedales construidos que ponen de manifiesto sus ventajas y desventajas sobre otros sistemas de depuración.

Cuadro Nº 3 Características de los humedales (11)

Aspecto	Tratamiento con humedales
Producción de residuos	No se producen biosólidos ni lodos residuales que requerirán disposición posterior.
Operación	Simplicidad de la operación. Se requieren pocos operarios y el conocimiento técnico no es requerido.

Cuadro N° 3. Continuación.

Niveles de remoción	La remoción de DBO, Sólidos Suspendidos, metales y compuestos orgánicos, pueden ser muy efectiva. La remoción de Nitrógeno y fósforo a bajos niveles es también posible pero con requisitos mayores de tiempo de retención.
Puesta en marcha	Este periodo comprende la extensión de la vegetación en la superficie del humedal y el establecimiento de las comunidades microbianas.
Tamaño	Que se ajuste al área de trabajo
Impacto ambiental	Bajo impacto ambiental y excelente integración en el ambiente natural.
Generación de gases de efecto invernadero	Es posible que produzca una mayor proporción de metano y nitratos.

3.12 Parámetros fisicoquímicos.

3.12.1 Temperatura. (7)

Es una propiedad física de un sistema en la que se da una transferencia de energía térmica o calor, entre ese sistema y otros. Cuando existe una diferencia de temperatura, el calor tiende a transferirse del sistema de mayor temperatura al de menor temperatura hasta alcanzar el equilibrio térmico. En el sistema internacional de unidades, la unidad de temperatura es el Kelvin. Sin embargo está muy generalizado el uso de otras escalas de temperatura, concretamente es escala Celsius (o centígrado). Una diferencia de temperatura de un Kelvin equivale a una diferencia de un grado centígrado.

3.12.2 Determinación de pH. (7)

El pH óptimo de las aguas debe estar entre 6.5 y 8.5, es decir, entre neutra y ligeramente alcalina, el máximo aceptado es 9. Las aguas de pH menor de 6.5 son corrosivas, por el anhídrido carbónico, ácidos o sales ácidas que tienen en

dilución. Para determinarlo se usan métodos colorimétrico o potenciométrico. Para poder decidir sobre la potabilidad del agua se requiere el control de un número elevado de parámetros químicos y determinados parámetros bacteriológicos. Dentro de los primeros tienen especial importancia el amonio, los nitratos y nitritos, indicadores de contaminación por excelencia.

3.12.3 Sólidos Sedimentables. (7)

Los sólidos sedimentables de las aguas de superficie y salinas, así como de los residuos domésticos e industriales, pueden ser determinados y expresados en función de un volumen (ml/L) o de un peso (mg/L).

Para determinar los sólidos sedimentables en las aguas de tipo ordinario tratadas en los microhumedales artificiales se determinarán por prueba volumétrica.

La prueba volumétrica requiere solamente un cono de Imhoff.

3.12.4 Oxígeno Disuelto (OD). (7)

La determinación de oxígeno disuelto (OD) es el fundamento del cálculo de la DBO y de la valoración de las condiciones de aerobividad de un agua.

Todo proceso aerobio requiere una concentración de OD mayor de 0.5 mg/L. El oxígeno es un elemento muy importante en el control de la calidad del agua. Su presencia es esencial para mantener las formas superiores de vida biológica y el efecto de una descarga de desechos en un río se determina principalmente por el balance de oxígeno del sistema.

Desafortunadamente el oxígeno poco soluble en el agua. Las aguas superficiales limpias normalmente están saturadas oxígeno de disuelto, pero la

demanda de oxígeno de los desechos orgánicos puede consumirlo rápidamente. Los peces ordinarios no existirán por debajo de 2 mg/L de OD y además las aguas saturadas de oxígeno tienen un sabor agradable. La demanda de oxígeno de las aguas residuales y de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, domésticas e industriales, se debe a tres diferentes clases de materiales:

- a) Material orgánico carbonoso, utilizable como fuente de alimento para los organismos aeróbicos.
- b) Nitrógeno oxidable, derivado de nitritos, amoníaco y compuestos de nitrógeno orgánico que sirven como alimento a bacterias específicas.
- c) Ciertos compuestos químicos reductores.

En aguas residuales domésticas, gran parte de la demanda de oxígeno se debe a la primera clase de materiales y se determina por la de DBO (cinco días).

El oxígeno disuelto: Es una medida del oxígeno que se encuentra disuelto en el agua debido a la solubilidad que este gas presenta en este elemento vital.

3.12.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) . (7)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales y en general residuales; su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores. Los datos de la prueba de DBO se utilizan en ingeniería para diseñar las plantas de tratamiento de aguas residuales.

La prueba de la DBO es un procedimiento experimental, tipo bioensayos que mide el oxígeno requerido por los microorganismos en sus procesos metabólicos al consumir la materia orgánica presente en las aguas residuales o naturales. Las condiciones estándares del ensayo incluyen incubación en la oscuridad a 20°C por un tiempo determinado, generalmente cinco días. La disminución de la concentración de oxígeno disuelto (OD), medida por el método de Winkler o una modificación del mismo.

La demanda de oxígeno de las aguas negras, aguas contaminadas y desechos industriales se debe a tres clases de materiales:

- a) Materiales orgánicos carbonosos, que se aprovechan como fuente de nutrientes por los organismos aerobios.
- b) Materiales nitrogenados oxidables que se derivan de los compuestos de nitrito amónico y nitrógeno orgánico, que sirven de nutrientes a bacterias específicas, como nitrosomonas y nitrobacter.
- c) Ciertos compuestos químicos reductores (hierro ferroso, sulfito y sulfuro) que reaccionan con el oxígeno molecular disuelto. En aguas negras domésticas, crudas y sedimentadas la mayor parte (y para propósitos prácticos en total) de la demanda de oxígeno se debe a la primera clase de materiales y se determina por la prueba de demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Si el desecho consistiera únicamente en agua negra, doméstica, cruda o tratada sería muy simple la medición de la carga de oxígeno sobre la corriente receptora; por desgracia este no es el caso usual pues la mayor parte de los desechos son de naturaleza compleja y pueden contener compuestos orgánicos

poco susceptibles de una oxidación biológica. Cuando existen tales compuestos los métodos usuales de inoculación e incubación por el período normal de 5 días no ponen de manifiesto el efecto que estos desechos puedan ejercer en algún lugar, aguas abajo del punto de descarga. La cantidad de sustancias nutrientes descompuestas en la prueba y por lo tanto la cantidad de oxígeno disuelto consumido depende de la temperatura y duración de la incubación. Se puede considerar que el proceso de descomposición en la prueba ocurre en dos etapas. En la primera la descomposición es de los nutrientes carbonáceos cuya descomposición se acerca a su terminación después de cerca de tres semanas a 20°C. En la segunda etapa son los nutrientes nitrogenados los que se oxidan primero. Así en la prueba normal de 5 días la DBO registrada se debe virtualmente a la descomposición de la proporción principal de los nutrientes carbonáceos.

3.12.5.1 Limitaciones e interferencias de la DBO. (7)

- Relación de la materia orgánica soluble a la materia orgánica suspendida, los sólidos sedimentables, los flotables, la presencia de hierro en su forma oxidada o reducida, la presencia de compuestos azufrados y las aguas no bien mezcladas.

- La oxidación de las formas reducidas del nitrógeno como amoníaco y nitrógeno orgánico, mediada por los microorganismos, ejercen una demanda de nitrógeno, que ha sido considerada como interferencias en la prueba; sin embargo, esta puede ser eliminada con la adición de inhibidores químicos.

- Requerimientos de dilución. Si el agua de dilución es de baja calidad, su DBO aparecerá como DBO de la muestra, efecto que será amplificado por el factor de dilución, y el resultado tendrá una desviación positiva. El método de análisis debe incluir agua de dilución de verificación y agua de dilución como blanco para establecer su calidad, mediante la medición del consumo de oxígeno con una mezcla orgánica conocida, generalmente glucosa y ácido glutámico. Los residuos que contengan fenol pueden dar un resultado cero para la prueba DBO ya que si todos los microorganismos de la prueba están muertos no se consumirá oxígeno.

3.12.5.2 Toma y preservación de las muestras. ⁽⁷⁾

Las muestras para el análisis del DBO pueden degradarse significativamente mientras están almacenadas, entre su recogida y el análisis, y como resultado producir valores de DBO bajos. Se debe hacer mínima la reducción del BDO analizando la muestra inmediatamente o enfriándola hasta una temperatura próxima a la de congelación durante su almacenamiento. Se deben calentar las muestras enfriadas a una temperatura de 20 °C antes del análisis.

- Muestras tomadas al azar (muestras simples): Se debe conservar la muestra a, o por debajo de, 4 °C desde el momento de su recogida. Comenzar el análisis en el plazo de 6 horas a partir de la toma; cuando esto no sea posible porque el punto de recogida de la muestra está lejos del laboratorio, almacenar a 4°C por debajo de esta temperatura, e informar de la duración y temperatura del almacenamiento con los resultados. En ningún caso se debe empezar el análisis después de 24 horas de la toma de muestras al azar.

3.12.5.3 Verificación del agua de dilución. (7)

Este procedimiento se aplica como una forma de verificación básica de la calidad de agua de dilución. Si el agua consume más de 0.2 mg/L de oxígeno se debe mejorar su purificación o emplear agua de otra fuente, el almacenamiento no es recomendable cuando se va a determinar la DBO sin inhibición de nitrificación ya que los organismos nitrificantes se pueden desarrollar en este periodo. Revisar el agua de dilución para determinar la concentración de amonio y si es suficiente después del almacenamiento; de lo contrario agregar solución de cloruro de amonio para asegurar un total de 0.45 mg/L de amonio como nitrógeno.

3.12.5.4 Preparación de agua para dilución. (7)

Colocar el volumen deseado de agua en un frasco adecuado y añadir 1 mL de las soluciones de tampón fosfato, $MgSO_4$, de $CaCl_2$ y de $FeCl_3$ por litro de agua. Antes de usar el agua de dilución debe ponerse a una temperatura de 20 °C. Saturar con oxígeno disuelto agitando en una botella parcialmente llena o aireando con aire filtrado libre de materia orgánica.

3.12.5.5 Chequeo de Glucosa – Ácido Glutámico. (7)

Para determinaciones de la DBO que no requieren una semilla adaptada se usa como solución estándar de chequeo una mezcla de 150mg/L de glucosa 150 mg/L de ácido glutámico. La glucosa tiene una velocidad de oxidación excepcionalmente alta y variable pero cuando es empleada con ácido glutámico se estabiliza.

3.12.5.6 Inoculación. (7)

Origen de las semillas o inóculo. Es necesario que en la muestra este presente una población de microorganismos capaces de oxidar la materia orgánica biodegradable. Las aguas residuales domésticas no cloradas, los efluentes no desinfectados de plantas de tratamiento biológico y las aguas superficiales que reciben descargas residuales contienen poblaciones satisfactorias de microorganismos. La semilla o inóculo preferible es el efluente de un sistema de tratamiento biológico, en su defecto, el sobrenadante de las aguas residuales domésticas después de dejarlas decantar a temperatura ambiente por lo menos 1 hora pero no más de 36 horas. También se puede obtener la semilla en el cuerpo de agua receptor del vertimiento, preferiblemente de 3 a 8 km del punto de descarga. Cuando no se disponga de ninguna de dichas fuentes de inóculo, desarrollar en el laboratorio una semilla adaptada, por aireamiento continuo de una muestra clarificada de agua residual doméstica y adición de pequeños incrementos diarios de aguas residuales.

3.12.5.7 Pretratamiento de la muestra. (7)

Hay que considerar 4 tipos de muestras a la hora de preparar una muestra:

3.12.5.7.1 Muestras con alcalinidad cáustica o acidez.

Estas se neutralizan a un pH entre 6.5 y 7.5 con una solución de H_2SO_4 o NaOH de concentración tal que la cantidad de reactivo no diluya la muestra en más de 0.5%.

3.12.5.7.2 Muestras con compuestos residuales de cloro.

Si la muestra ha sido clorada pero no presenta cloro residual detectable inocular el agua de dilución, si hay cloro residual eliminarlo de la muestra e inocular el agua de dilución.

3.12.5.7.3 Muestras contaminadas con sustancias tóxicas.

Las aguas residuales provenientes de industrias por ejemplo electroquímicas contienen metales tóxicos. Estas muestras requieren de estudios especiales y deben ser tratadas antes de medirle la DBO.

3.12.5.7.4 Muestras sobresaturadas con oxígeno disuelto (OD). (7)

En muestras procedentes de aguas muy frías o aguas en que la producción primaria es alta, los valores de OD a 20°C suelen ser mayores de 9 mg/L de OD (oxígeno disuelto).

3.12.5.8 Técnica de dilución. (7)

Los resultados más acertados se obtienen con diluciones de muestra en las que los valores de OD residual son por lo menos 1 mg/L y un consumo de OD de por lo menos 2 mg/L después de los 5 días de incubación. La experiencia con muestras de diferente origen permiten optimizar el número de diluciones requeridas; la correlación de la DQO con la DBO puede constituir un guía efectiva para la selección de las diluciones más convenientes. Si no se dispone de esta metodología, se pueden emplear las diluciones de 0.0 a 1.0% para efluentes líquidos industriales, 1 a 5% para efluentes industriales no tratados y decantados, 5 a 25% para efluentes con tratamiento secundario o biológico, y 25 a 100% para corrientes contaminadas. Las diluciones se efectúan en probetas y

luego se transfieren a las botellas de DBO, o se preparan directamente en las botellas. El número de botellas a ser preparadas para cada dilución depende de la técnica de análisis de OD y del número de réplicas deseadas.

3.12.5.8.1 Diluciones preparadas en botellas de DBO. (7)

Con una pipeta de boca ancha se agrega el volumen de muestra deseado a diferentes botellas para DBO de volumen conocido. Agregar, a cada botella o el agua de dilución, las cantidades apropiadas de semilla; llenar las botellas con suficiente agua de dilución, inoculada si es necesario, de tal manera que al insertar el tapón se desplace todo el aire, sin dejar burbujas.

3.12.5.8.2 Determinación de OD inicial. (7)

Si la muestra contiene sustancias que reaccionan fácilmente con el OD, es necesario determinar el OD antes de llenar la botella de DBO con la muestra diluida. Si el consumo de OD inicial es insignificante, el periodo entre la preparación de la dilución y la medida del OD inicial no es crítico.

3.12.6 Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). (7)

3.12.6.1 Principio.

La determinación de DBO se basa en la determinación de OD a diferentes intervalos de tiempo, consecuentemente la exactitud de los resultados se ve afectada grandemente por el cuidado al efectuar el análisis. El procedimiento usual recomienda que la temperatura de incubación debe ser constante y ésta es de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Se llenan dos o más botellas para DBO con la muestra, en caso necesario se añade agua de dilución. Se determina el OD inmediato, al menos a una botella y las otras se incuban a 20°C durante cinco días. Después

de este tiempo se les determina la cantidad de oxígeno remanente; la demanda bioquímica de oxígeno será igual a la cantidad de OD inicial menos el OD al quinto día dividido entre el porcentaje de dilución.

3.12.6.2 Método.

Para la determinación de DBO se utiliza el método de Winkler modificado para determinar el OD en las muestras que se almacenan por 5 días a 20°C y se procede a la titulación con tiosulfato de sodio.

Fundamento del método de Winkler.

Permite determinar el oxígeno disuelto en mg/L (OD) a través de una reacción química. Una solución de manganeso se añade a la muestra que se va a analizar. Después de tratarla con una base de yoduro, el manganeso reacciona con el oxígeno para formar un compuesto estable de manganeso y oxígeno (precipitado formado), luego se trata la solución con ácido, que disuelve el compuesto de oxígeno y manganeso y forma una cantidad proporcional de yodo libre (proporcional al oxígeno disuelto en la muestra), después se determina la cantidad de yodo en la solución titulando con una solución estandarizada de tiosulfato hasta que el yodo libre (I_2) es transformado en yoduro (I^-). Se usa almidón como indicador el cual se torna púrpura en presencia de yodo pero es incoloro en contacto con yoduro. El color del almidón es el indicador de que todo el yodo se convirtió en yoduro.

3.12.6.2.1 Método modificado de Winkler.

1- El sulfato manganoso agregado a una muestra con el hidróxido de potasio reacciona produciendo un precipitado flocúleno de hidróxido manganoso.

2- Si el precipitado permanece blanco se debe a que no contiene oxígeno disuelto (OD). Si el precipitado es pardo oscuro, indica la presencia de OD que ha reaccionado con el hidróxido manganoso, oxidándolo.

3- Se agrega ácido sulfúrico hasta que el precipitado se disuelva, formándose sulfato mangánico.

4- Este sulfato fuertemente oxidante reacciona inmediatamente con el yoduro de potasio presente en la solución, según el numeral 1, fuertemente reductor, liberándose yodo, que da color característico a la muestra.

El yodo liberado es equivalente a la masa de oxígeno presente en la muestra, de donde:

$$8 \text{ g de O}_2 = 127 \text{ g de yodo}$$

$$1 \text{ Eq O} = 1 \text{ Eq de yodo}$$

1 mL de una solución 0.025 N de Tiosulfato de Sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) equivale a 0.2 mg de O_2 .

Este resultado permite interpretar como, a través de la valoración de Yodo (I_2) con Tiosulfato de Sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), se está determinando el oxígeno disuelto en la muestra.

CAPITULO IV
DISEÑO METODOLOGICO

4.0 DISEÑO METODOLOGICO

4.1 TIPO DE ESTUDIO

Experimental: Se realizaron los análisis fisicoquímicos de temperatura, pH Sólidos Sedimentables, OD y DBO₅.

Transversal: Los análisis fueron desarrollados en un período de seis semanas.

Retrospectivo: Debido a que el proyecto está basado en trabajos internacionales y nacionales propuestos para el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario.

Prospectivo: Puede ser aplicado en un futuro para el tratamiento de otro tipo de aguas y evitar así la contaminación.

4.2 INVESTIGACION BIBLIOGRAFICA

Esta se realizó en las siguientes bibliotecas:

- Biblioteca “Dr. Benjamín Orozco” de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador.
- Biblioteca de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de El Salvador.
- Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas “.
- Internet.

4.3 INVESTIGACION DE CAMPO

4.3.1 Universo: Todos los tipos de Microhumedales artificiales.

4.3.2 Muestra: Dos Microhumedales artificiales de tipo subsuperficial y dos plantas acuáticas.

Tratamiento de 6 galones de agua residual de tipo ordinario en dos fases por cada micro-humedal por un periodo de 6 semanas haciendo un total de 12 galones.

4.3.3 Tipo de muestreo: Puntual y dirigido a las aguas residuales de tipo ordinario producidas por una familia de cinco miembros.

4.4 PARTE EXPERIMENTAL

4.4.1 Diseño del microhumedal.

Se construyeron dos microhumedales artificiales de tipo subsuperficial, de cuatro estadíos, con una planta diferente en cada uno, denominados **Microhumedal Artificial No. 1 y 2.**

4.4.1.1 Elaboración de Microhumedales Artificiales No. 1 y 2

- 1- Se colocaron cuatro cubetas plásticas con capacidad de cinco galones cada una, en una plataforma construida de madera, de modo que se simulara una cascada de cuatro estadíos. (Ver Anexo N° 7).
- 2- Se colocó una manguera, en cada una de las cubetas dejando un extremo a 5 cm. del fondo de la cubeta y el otro extremo a una altura de entre 5 y 10 cm. sobre superficie del agua la superficie de la siguiente cubeta.
- 3- Se colocó grava previamente lavada, cubriendo dos terceras partes de la altura de cada cubeta.

4- Se agregó 3 galones de agua potable en cada una de las cubetas y se dejó reposar por 24 horas para estabilizarlas.

Nota: para construir el Microhumedal Artificial No. 2, repetir los pasos del 1 al 4.

5- Se sembró en el microhumedal número 1, la planta acuática de Tule (***Typha domingensis Pers.***) y en el microhumedal número 2, planta acuática de Jacinto de Agua (***Eichhornia crassipes (Mart.) Solms***) y se dejaron el tiempo necesario con el fin de que se estabilizaran.

Después de estabilizadas las plantas se inició el tratamiento (en dos fases) de las aguas residuales tipo ordinario, entre los meses de agosto y septiembre de 2009.

La fase I se inició el 19 de agosto de 2009 (semana 1) y concluyó 16 de septiembre de 2009 (semana 5); la fase II se inició el 26 de agosto de 2009 (semana 2) y concluyó el 23 de septiembre de 2009 (semana 6). (Ver Anexo N° 9 y N° 10).

4.4.2 SELECCIÓN DE DOS PLANTAS ACUÁTICAS

Según referencia bibliográfica, de un universo de diez plantas acuáticas emergentes (Anexo N° 5), se seleccionaron el berro (***Nasturtium officinale***) y el Jacinto de agua (***Eichhornia crassipes (Mart.) Solms***); en la etapa de ambientación el berro se marchitó, por lo que se seleccionaron debido a su reconocida capacidad depuradora de aguas residuales de tipo ordinario ⁽²⁰⁾ dos plantas acuáticas emergentes: el Tule (***Typha domingensis Pers.***) y el Jacinto de Agua (***Eichhornia crassipes (Mart.) Solms***), fueron certificadas por la

Sección Técnica Científica del Jardín Botánico La Laguna, El Salvador. (Anexo N° 17).

4.4.3 Recolección de muestras para la determinación de parámetros fisicoquímicos: Se tomó una muestra de agua residual de tipo ordinario antes de iniciar el tratamiento de depuración en cada microcrohumedal, en frascos plásticos con tapa, limpios de capacidad para 1.0 Litro de agua. Se tuvo el cuidado de evitar burbujas de aire al momento de llenar los frascos. Se guardaron en un contenedor que se mantuvo a una temperatura de 4°C como máximo.

Se trasladaron al Laboratorio Fisicoquímico de Aguas y Laboratorio General, ambos de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador donde se les determinó pH, OD y DBO₅.

4.4.4 Tratamiento de las aguas residuales de tipo ordinario en los Microhumedales 1 y 2.

Fase I

Semana 1.

- Se evacuó el agua potable de los estadios 1 de ambos microhumedales y se sustituyó por 3 galones de agua residual de tipo ordinario a la cual se le determinó previamente Temperatura, pH, Sólidos Sedimentables, OD inicial, DBO₅ inicial.

Semana 2.

-Se evacuó el agua potable de los estadios 2 de ambos microhumedales y se sustituyó por el agua residual de tipo ordinario contenida en los estadios número 1 a la que se le determinó Temperatura y pH.

Semana 3.

-Se evacuó el agua potable de los estadios 3 de ambos microhumedales y se sustituyó por el agua residual de tipo ordinario contenida en los estadios número 2 a la que se le determinó Temperatura y pH.

Semana 4.

-Se evacuó el agua potable de los estadios 4 de ambos microhumedales y se sustituyó por el agua residual de tipo ordinario contenida en los estadios número 3 a la que se le determinó Temperatura y pH.

Semana 5.

Se evacuó de los estadios 4 de ambos microhumedales el agua residual de tipo ordinario tratada y se le determinó Temperatura, pH, Sólidos Sedimentables final, OD final y DBO₅ final,

Fase II

La Fase II se inició en la semana 2 de la fase I con una nueva carga de agua residual de tipo ordinario a la que previamente se le había determinado Temperatura, pH, Sólidos Sedimentables inicial, OD inicial y DBO₅ inicial y se concluyó en la semana 6, una semana después de haber concluido la fase I, siguiendo el procedimiento descrito en la Fase I.

A partir de la semana 2, las dos fases se llevaron simultáneamente.

4.5 DETERMINACION DE LOS PARAMETROS FISICOQUÍMICOS.

4.5.1 Determinación de temperatura. (7)

Procedimiento:

- 1- Se introdujo el termómetro en los estadios a analizar.
- 2- Se dejó el termómetro dentro del agua por un par de minutos para estabilizarlo; se midió la temperatura inicial.
- 3- Se anotó las temperaturas obtenidas en cada estadio.

4.5.2 Determinación de potencial de Hidrógeno pH. (7)

Método: Potenciométrico.

Procedimiento:

- 1- Se calibró el equipo con solución buffer de pH 7 a una temperatura de 25°C.
- 2- Se Lavó el electrodo después de cada determinación y se secó con papel especial.
- 3- Se enjuagó el electrodo con la muestra, la cual fue llevada a una temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$.
- 4- Se realizó la lectura del pH de la muestra y se anotó.

4.5.3 Determinación de sólidos sedimentables. (7)

Procedimiento:

- 1- Se llenó un cono de Imhoff hasta la marca 1-1 con la muestra bien mezclada.
- 2- Se dejó sedimentar durante 45 minutos.
- 3- Se removió suavemente las paredes del cono mediante rotación.

4- Se mantuvo en reposo 15 minutos más y se registró el volumen de sólidos sedimentables del cono como miligramos por litro.

4.5.4 Determinación de Oxígeno Disuelto (OD). (7)

Método de análisis: Método de Winkler: Modificación de Azida.

Procedimiento a):

- 1- A la muestra recogida en un frasco de 300 ml se añadió 1 mL de solución de MnSO_4 y 1 mL de reactivo de álcali- yoduro-azida.
- 2- Si se mojan las pipetas con la muestra, lavar antes de volver al frasco de reactivo.
- 3- Alternativamente, se mantuvo la punta de la pipeta justo por encima de la superficie del líquido, al añadir los reactivos.
- 4- Se tapó con cuidado para excluir las burbujas de aire, y se mezcló invirtiendo varias veces para observar si no se introduce aire.
- 5- Con el precipitado hasta aproximadamente la mitad del volumen del frasco, se añadió 1 mL H_2SO_4 concentrado, para dejar un sobrenadante claro por encima del hidróxido de manganeso floculado.
- 6- Se volvió a tapar y mezclar invirtiendo varias veces hasta disolución completa.
- 7- Se tituló un volumen correspondiente a 200 mL de muestra original tras corregir la pérdida de muestra por el desplazamiento con los reactivos. Así, para un total de 2 mL (1 mL de cada uno) de MnSO_4 y reactivos álcali-yoduro-azida en un frasco de 300 mL, titular $200 \times 300 / (300 - 2) = 201$ mL.

Procedimiento b):

- 1- Se tituló con solución 0.025 M de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ hasta color café pálido.
- 2- Se añadió unas gotas de solución de almidón y continuó valorando hasta la primera desaparición del color azul. Si se sobrepasa el punto final, valorar por retroceso con solución de biyodato 0.0021 M añadiendo gota a gota, o por adición de un volumen medido de muestra tratada.
- 3- Se realizó las correcciones para la solución de biyodato o muestra. Despreciar las recoloraciones posteriores debidas al efecto catalítico del nitrito o a trazas de sales férricas que no han sido complejadas con fluoruro.

4.5.5 Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) (7)

Método de análisis: Titrimétrico.

Procedimiento:

- 1-Se tomó el pH de la muestra, el cual se mantuvo en un rango de 6.5 – 7.5.
- 2- Se preparó el agua de dilución. (Ver Anexo N° 20).
- 3- Se preparó un lote de frascos para DBO por duplicado etiquetándolos de la siguiente manera: frascos para blancos de reactivos, muestras con su número correlativo, sus respectivas diluciones, fecha de siembra y simiente control cuando esta se utilizó.
- 4- Se midió los mililitros de muestra equivalente a cada porcentaje de muestra a sembrar directamente en el frasco de DBO₅, tomando en cuenta que la capacidad del frasco es ± 300 mL.
- 5- Se preparó los frascos para blancos agregando solo agua de dilución, el pH de la muestra se mantuvo entre 6.5 – 7.5.

- 6- Se cerró los frascos herméticamente, se homogenizó y verificó que no quedaran burbujas de aire para evitar error en las mediciones.
- 8- Se llevó a incubación a $20 \pm 1^\circ\text{C}$ por 5 días.
- 9- Al otro set de frascos, se agregó sucesivamente 2 mL de sulfato manganoso y 2 mL de álcali- yoduro- azida.
- 10- Se cerró los frascos herméticamente y se descartó el remanente que quedó alrededor del tapón.
- 11- Se mezcló las muestras invirtiendo varias veces los frascos, se sedimentó hasta que el floculo formado se haya sedimentado hasta la mitad del volumen del frasco, se repitió esta acción dos veces.
- 12- Se destapó todos los frascos y se agregó 2 mL de H_2SO_4 concentrado.
- 13- Se cerró herméticamente todos los frascos, se descartó el remanente que quedó alrededor del tapón. Se mezcló invirtiendo varias veces hasta la dilución del flóculo formado.
- 14- Se preparó una probeta de 100 mL. El criterio para seleccionar el volumen de muestra a titular es:

Titular un volumen correspondiente a 200.0 mL de la muestra, tras corregir la pérdida de volumen por desplazamiento debido a los reactivos agregados, en total 4 mL (2 mL de sulfato manganoso y 2 ml de álcali- yoduro- azida) para cada frasco de DBO de 300 mL hacer el cálculo de la siguiente manera:
- 15- Destapar todos los frascos de DBO y con una probeta de 100 mL medir 97 mL de solución de cada frasco de 300 mL de DBO y descartar, repetir

para cada uno de los frascos.

- 16- En cada frasco para DBO conteniendo 203 mL de muestra se introdujó una barra agitadora.
- 17- Se llenó la bureta con el titulante, se desgasificó, se llevó a cero y se tituló con tiosulfato de sodio 0.025N agitando continuamente hasta un color amarillo, se agregó 1 mL de solución de almidón y se continuó valorando hasta la desaparición de color azul.
- 18- Se Anotó los mililitros de tiosulfato de sodio 0.025N consumidos en cada titulación.
- 19- Después de 5 días de incubación, se retiró de cada frasco el sello hidráulico, y se sacó los frascos de la incubadora.
- 20- Se determinó el oxígeno disuelto en los literales 16 hasta 19.

CAPITULO V

RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

5.0 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Selección e identificación de las plantas acuáticas utilizadas en el microhumedal.

De un universo de diez plantas acuáticas emergentes (Anexo N° 5), se seleccionaron el berro y el Jacinto de agua; en la etapa de ambientación el berro se marchitó, por lo que se seleccionaron según referencia bibliográfica, debido a su reconocida capacidad depuradora de aguas residuales de tipo ordinario dos plantas acuáticas emergentes: el Tule (*Typha domingensis* Pers.) y el Jacinto de Agua (*Eichornia crassipes* (Mart.) Solms)⁽²⁰⁾, que soportaron muy bien la etapa de ambientación y fueron certificadas por la Sección Técnica Científica del Jardín Botánico La Laguna, El Salvador. (Anexo N° 17).

5.1.1 Tule (*Typha domingensis* Pers.)⁽²⁸⁾



Figura. N° 3 Inflorescencia de Tule (*Typha domingensis* Pers.).

La *Typha domingensis* Pers es originaria de América y se ha distribuido por Europa y África; es capaz de crecer bajo diversas condiciones medioambientales, y se propaga fácilmente, por lo que representa una especie de planta ideal para un humedal artificial. También es capaz de producir una biomasa anual grande y tiene un potencial pequeño de remoción de N y P por la vía de la poda y cosecha. Los rizomas de espaldaña plantados a intervalos de aproximadamente 0.6 m pueden producir una cubierta densa en menos de un año. Es muy resistente tanto al calor como al frío y a las características del suelo. Por estas condiciones prospera tanto que se hace invasiva. Florece a mediados o finales del verano.

La temperatura óptima para su crecimiento es de entre 25 °C - 35 °C. Soporta sol pleno, pero acepta semi-sol.

Su desarrollo óptimo se da en suelos encharcados con un pH de 5 a 8 y ricos en nitrógeno.

Actualmente su resistencia a medios con altos grados de contaminación ha ampliado sus aplicaciones al campo de la fitorremediación, en particular en sistemas de depuración de aguas residuales como los humedales artificiales y sistemas de filtros de macrófitas en flotación (FMF). También se estudia su uso como fitoacumulador de metales pesados.

5.1.1.1 Descripción taxonómica.

Nombres.

-Nombre científico: *Typha domingensis* Pers.

-Nombre comunes usados en español:

Espadaña, tule, masa de agua, cola de gato, cola de pecho, petalzimicua, vela de sabana.

-Nombres comunes en inglés:

Southern cattail.

5.1.1.1.1 Clasificación.

Cuadro N° 4 Clasificación taxonómica de el Tule (*Typha domingensis* Pers.)

Categorías Taxonómicas	
-Reino	Plantae.
-Subreino	Traqueobionta (plantas vasculares).
-Superdivisión	Spermatophyta (plantas con semillas).
-División	Magnoliophyta (plantas con flor).
-Clase	Liliopsida (monocotiledóneas).
-Orden	Poales.
-Familia	Typhaceae.
-Género	Typha
-Especie	<i>T. domingensis</i> Pers.

5.1.1.2 Identificación y descripción.

-Hábitat y forma de vida: Hierba acuática, enraizada, emergente

-Tamaño: Hasta de 2.5 m de altura.

-Tallo: Son ligeramente más cortos que las hojas.

-Hojas: Generalmente igualando o excediendo la altura de las espigas, parte superior de las vainas atenuada hacia la lámina, generalmente asimétricas, pero algunas veces simétricas, epidermis de la superficie ventral (hacia dentro) conteniendo gran cantidad de glándulas mucilaginosas de color oscuro,

dispuestas en líneas longitudinales y comúnmente extendiéndose hacia la base de la lámina, láminas hasta de 1.5 m de largo y de 0.8 a 1.3 cm de ancho, envés ligeramente convexo cerca de la vaina y plano hacia el ápice, que es agudo.

-Inflorescencia: De color moreno claro, con una o más brácteas foliáceas caducas.

-Espiga/Flores: Espigas masculinas hasta de 42 cm de largo y 1.5 cm de ancho y en general separadas de las femeninas por 0.7 a 5 cm, bractéolas de las flores masculinas filiformes a espatuladas, simples a ramificadas, algunas veces con incisiones que forman segmentos largos, frecuentemente coloreadas con puntos morenos en el ápice, de 2.5 a 3.5 mm largo, estambres de 2 a 4, total o parcialmente soldados, filamentos de 1 a 2.5 mm de largo, anteras de 2 a 3 mm de largo y 0.15 a 0.2 mm de ancho, conectivo generalmente obtuso y algunas veces con una punta corta y aguda, polen arreglado en mónadas; espigas femeninas hasta de 48 cm de largo y 2 cm de diámetro, flores femeninas con bractéolas largas y delgadas, acuminadas en el ápice, más largas que los pelos del ginóforo (estructura que levanta al ovario), de color moreno claro en el ápice, de 3 a 5 mm de largo, pelos del ginóforo ligeramente coloreados en la punta y más cortos que los estigmas, ovario fusiforme (con extremos que se alargan y la parte media ancha), estilo de 1 a 2 mm de largo, estigma largo y delgado, de 0.5 a 1.5 mm de largo.

-Frutos y semillas: Fruto fusiforme, de 1 a 1.5 mm de largo.

-Raíz: Rizomas de crecimiento horizontal hasta a 60 cm de profundidad, alcanza hasta 2 m de altura.

5.1.1.3 Hábitat.

En lugares tranquilos de agua dulce de lagos, lagunas, pantanos, zanjas y canales.

-Distribución por tipo de clima.

Se distribuye preferentemente en las regiones cálido-húmedas por debajo de los 1000 m de altitud.

5.1.1.4 Biología.

-Ciclo de vida: Perenne.

5.1.1.5 Impacto e importancia.

Efectos sobre la biodiversidad y ecosistemas

Es una especie nativa, pero puede comportarse como invasiva ocasionalmente, estableciendo poblaciones grandes casi exclusivas de esta especie.

-Cultivos afectados y efectos sobre los cultivos.

Puede afectar a la eficiencia de canales de riego y de estanques de almacenamiento de agua.

-Usos.

Se utiliza en la cestería, para hacer petates, También se las puede utilizar para fabricar papel. Son ocasionalmente utilizadas como ornamentales.

5.1.1.6 Control.

-Control químico.

Se han obtenido buenos resultados con aplicaciones de ésteres, también puede emplearse dicloropropionato de sodio.

5.1.2 Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms).⁽⁵⁾



Figura. N° 4 Inflorescencia de Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms).

La *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms es una planta nativa de Sudamérica, extendida actualmente por todas las regiones cálidas del mundo.

Florece de agosto a octubre.

En condiciones normales es capaz de duplicar su biomasa en pocas semanas. Para poder conseguir este gran crecimiento la planta necesita absorber grandes cantidades de fósforo y nitrógeno.

Esta capacidad aumenta con la edad y tamaño de la planta.

La temperatura óptima de su crecimiento es de 15 °C-30°C, a un pH de entre 5.5 y 9.0; cesando este a 10 °C y produciéndose la muerte de la planta en condiciones de helada.

El Jacinto de Agua está considerada como una de las plantas más productivas de la Tierra, siendo una de las especies acuáticas más invasoras y peligrosas en climas tropicales y subtropicales.

En medios ricos en nutrientes, como las aguas residuales parece rendir mucho más.

En el caso del Jacinto de Agua, los microorganismos asociados a la zona radicular contribuyen de forma significativa a la reducción de la DBO del agua ya que aprovechan el oxígeno transportado desde las hojas a las raíces de las plantas.

Así, la eficiencia en eliminación de materia orgánica está directamente relacionada con la densidad de cobertura y la profundidad del agua.

5.1.2.1 Descripción taxonómica.

-Nombre científico: *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.

-Nombres comunes usados en español:

Cucharilla, camalote, flor de agua, flor de huachinango, jacinto, jacinto de agua, lagunera, lechuguilla, lirio acuático, lirio de agua, carolina, papalacate, pico de pato, reina, tamborcillo, violeta de agua.

-Nombres comunes en inglés:

Water-hyacinth, water lily.

5.1.2.1.1 Clasificación.

Cuadro N° 5 Clasificación taxonómica del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)

Categorías Taxonómicas	
-Reino:	Plantae.
-Subreino:	Traqueobionta (plantas vasculares).
-Superdivisión:	Spermatophyta (plantas con semillas).
-División:	Magnoliophyta (plantas con flor).
-Clase:	Liliopsida (monocotiledóneas).
-Subclase:	Lilidae.
-Orden:	Liliales.
-Familia:	Pontederiaceae.
-Género:	Eichhornia.
-Especie:	<i>E. crassipes</i> (Mart.) Solms.

5.1.2.2 Identificación y descripción.

-Hábitat y forma de vida: Planta acuática libremente flotadora o fija al sustrato.

-Tamaño: Muy variable en tamaño, normalmente alrededor de 30 cm. Puede formar matas flotantes grandes.

-Tallo: Reducido, estolonífero, aunque un tallo horizontal (rizoma) alargado conecta a diferentes individuos.

-Hojas: Formando una roseta basal, los pecíolos largos y cilíndricos en las plantas fijas al sustrato (de 3 a 60 cm de largo), y cortos y globosos en las plantas flotantes, las láminas de las hojas casi circulares o más anchas que largas, de 2.5 a 16 cm de largo y 3 a 12 cm de ancho, ápice truncado, redondeado a ligeramente obtuso, base truncada a algo cordada.

-Inflorescencia: Espiciforme, con 4 a 16 flores solitarias y alternar a lo largo del pedúnculo, sésiles, pedúnculo de 6 a 26 cm de largo, grueso, ligeramente pubescente.

-Flores: Grandes (hasta de 5 cm de largo) de color lila, variando del azul a morado, rara vez blanca, con pelillos, con la base tubulosa y hacia el ápice dividida en 6 segmentos desiguales, 3 externos y 3 internos, uno de éstos más ancho y con una mancha amarilla; 6 estambres con pelos glandulares en los filamentos, 3 de ellos más largos, las anteras aflechadas, de un tono azul.

-Frutos y semillas: El fruto es una cápsula elíptica, de más o menos 1.5 cm de largo, con 3 ángulos. Las semillas numerosas, de poco más de 1 mm de largo, con 10 costillas longitudinales, de color negruzco.

-Raíz: Fibrosas, comúnmente coloreadas.

5.1.2.3 Hábitat.

En aguas dulces tranquilas o de ligero movimiento, como zanjas, canales, presas, arroyos, ríos y pantanos; es considerada como maleza acuática.

-Distribución por tipo de clima.

En la actualidad se distribuye en todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo.

5.1.2.4 Biología.

-Ciclo de vida: Perenne.

5.1.2.5 Impacto e importancia.

-Efectos sobre la biodiversidad y ecosistemas.

Cubre extensas superficies en presas, lagunas y canales, impidiendo el libre paso del agua o la navegación, además afecta la supervivencia de las plantas y los animales nativos.

-Cultivos afectados y efectos sobre los cultivos.

Se afecta la acuicultura, ya que el agua abajo del lirio acuático puede perder su oxígeno.

-Usos.

Es usada como abono verde. También se le utiliza como fertilizante, forraje y ornamental. Sirve como alimento de carpas, para elaborar artesanías, producir biogás, depurar aguas residuales.

-Impacto sobre la salud humana.

Favorece el desarrollo de mosquitos que producen daños a la salud humana y del ganado.

-Impacto económico y social.

Crea problemas a la pesca, la navegación y al mantenimiento apropiado de áreas recreativas.

5.1.2.6 Control.

-Prevención.

Controlar la dispersión por introducciones a propósito como ornamental.

-Control cultural.

El lirio acuático sólo prospera en aguas con altos contenidos de nutrientes, o sea, contaminados. Controlar los contaminantes también controla al lirio.

-Control biológico.

Existen numerosos trabajos sobre el control biológico, y algunos éxitos, pero parece que no existe un método que funcione bajo diferentes condiciones.

5.2 Medición de la actividad del microhumedal artificial por medio de la determinación de los parámetros fisicoquímicos.

La actividad de los dos microhumedales se determinó mediante los parámetros fisicoquímicos de Temperatura y pH, sólidos sedimentables, OD y DBO₅, se realizaron en dos fases, en un periodo de seis semanas. (Anexo N° 7).

La **fase I** inició el 19 de agosto de 2009 y concluyó el 16 de septiembre de 2009.

Y la **fase II** inició el 26 de agosto de 2009 y concluyó el 23 de septiembre de 2009.

A continuación se describen los resultados de análisis fisicoquímicos para la Fase I y la fase II de los microhumedales artificiales número 1 con Planta de Tule (*Typha domingensis Pers.*) y microhumedal artificial número 2 con planta de Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes (Mart.) Solms.*)

5.2.1 Temperatura.

Tabla N° 1 Resultados de la medición de la T° del Microhumedal artificial No.1, Fase I, con planta de Tule (*Typha domingensis Pers.*).

MICROHUMEDAL No.1, FASE I CON PLANTA DE TULE (<i>Typha domingensis Pers.</i>)							
Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4	
Día	T °C	Día	T °C	Día	T °C	Día	T °C
1	30.0	8	29.3	15	29.7	22	26.0
2	28.3	9	28.3	16	28.0	23	26.3
3	28.3	10	28.0	17	27.7	24	25.0
4	29.0	11	29.7	18	25.7	25	24.3
5	28.3	12	29.0	19	23.0	26	26.7
6	27.7	13	28.0	20	23.3	27	26.7
7	29.3	14	29.0	21	27.0	28	29.7

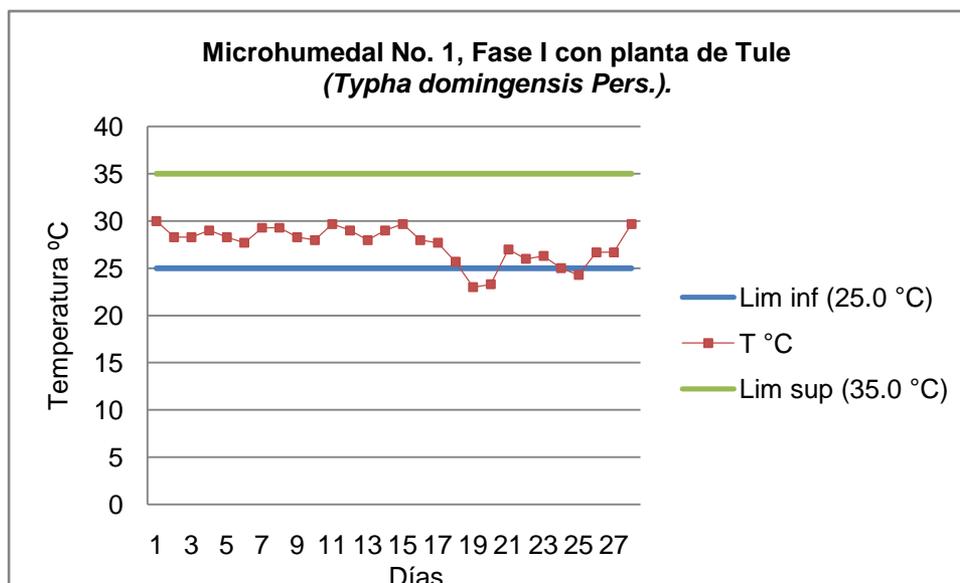


Figura N° 5 Gráfico de los resultados de la medición de la T° del Microhumedal artificial No.1, Fase I, con planta de Tule (*Typha domingensis Pers.*).

En la tabla N° 1 se presentan los resultados de la medición de temperatura obtenidos en el microhumedal No. 1 con planta de Tule en la fase I. Se observa que la temperatura en el microhumedal se mantiene constante entre 25.0 °C y 35.0 °C, rango de crecimiento y desarrollo óptimo del Tule, con la excepción en

los días 19, 20 y 25 con temperatura de 23 °C, 23.3 °C y 24.3 °C respectivamente, sin embargo no influyeron significativamente en el desarrollo normal del Tule. Ver figura N° 5.

Tabla N° 2 Resultados de la medición de la T° del Microhumedal artificial No. 1 Fase II, con planta de Tule (*Typha domingensis* Pers.).

MICROHUMEDAL No. 1, FASE II CON PLANTA DE TULE (<i>Typha domingensis</i> Pers.)							
Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4	
Día	T °C	Día	T °C	Día	T °C	Día	T °C
1	26.0	8	29.3	15	26.7	22	27.7
2	28.7	9	28.3	16	25.7	23	25.7
3	28.0	10	27.7	17	25.0	24	26.7
4	29.0	11	25.7	18	24.3	25	23.7
5	28.3	12	22.7	19	27.0	26	25.0
6	28.0	13	22.7	20	26.7	27	26.3
7	29.3	14	26.7	21	29.7	28	24.0

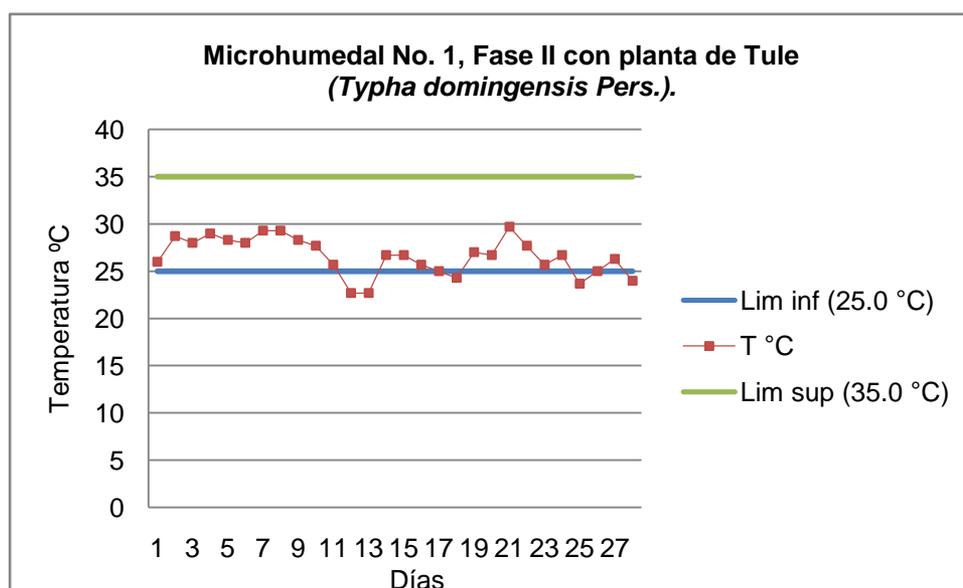


Figura N° 6 Gráfica resultados de la medición de la T° del Microhumedal artificial No. 1 Fase II, con planta de Tule (*Typha domingensis* Pers.).

En la tabla N° 2 se presentan los resultados de la medición de temperatura obtenidos en el microhumedal No. 1 con planta de Tule en la fase II. Se observa que la temperatura en el microhumedal se mantiene constante entre 25 °C y 35.0 °C, rango de crecimiento y desarrollo óptimo del Tule, con la excepción en los días 12 y 13, en los cuales la temperatura fue de 22.7 °C, el día 18 fue de 24.3 °C, el día 25 fue de 23.7 °C y el día 28 la temperatura fue de 24.0 °C; sin embargo estas temperaturas no influyen significativamente en el desarrollo normal del Tule y en la actividad óptima del microhumedal. Ver figura N° 6.

Tabla N° 3 Resultados de la medición de la T° del Microhumedal artificial No.2, Fase I, con planta de Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.).

MICROHUMEDAL No.2, FASE I CON PLANTA DE JACINTO DE AGUA (<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart) Solms.)							
Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4	
Día	T °C	Día	T °C	Día	T °C	Día	T °C
1	30.0	8	29.3	15	29.3	22	26.0
2	28.3	9	28.7	16	28.0	23	26.3
3	28.7	10	28.8	17	27.7	24	25.0
4	29.0	11	29.3	18	25.7	25	24.3
5	28.3	12	28.7	19	23.0	26	26.7
6	27.7	13	28.0	20	23.0	27	26.0
7	29.0	14	29.0	21	27.0	28	29.0

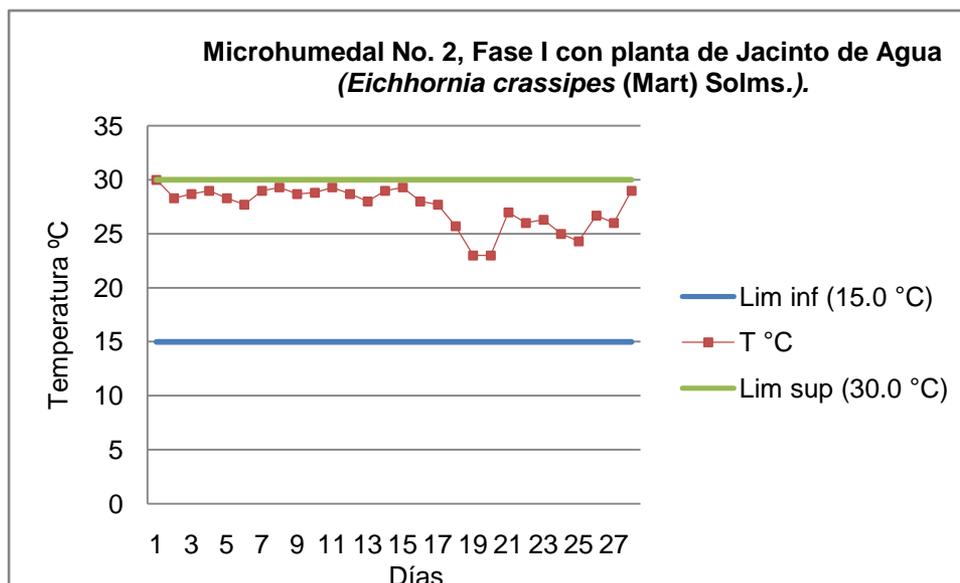


Figura N° 7 Gráfica de los resultados de la medición de la T° del Microhumedal artificial No.2, Fase I, con planta de Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.).

En la tabla N° 3 se presentan los resultados de la medición de temperatura obtenidos en el microhumedal No. 2 con planta de Jacinto de Agua en la fase I. Se observa que la temperatura en el microhumedal se mantiene constante entre 15.0 °C y 30.0 °C, rango de crecimiento y desarrollo óptimo del Jacinto de Agua. Ver figura N° 7.

Tabla N° 4 Resultados de la medición de la T° del Microhumedal artificial No. 2, Fase II, con planta de Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.).

MICROHUMEDAL No.2, FASE II CON PLANTA DE JACINTO DE AGUA (<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms.)							
Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4	
Día	T °C	Día	T °C	Día	T °C	Día	T °C
1	28.0	8	29.3	15	26.7	22	28.0
2	28.7	9	28.3	16	25.7	23	25.3
3	28.3	10	27.7	17	25.3	24	26.3
4	29.3	11	25.3	18	24.3	25	23.7
5	29.3	12	23.0	19	27.7	26	25.0
6	27.7	13	23.0	20	26.3	27	26.7
7	29.7	14	26.3	21	29.0	28	24.3

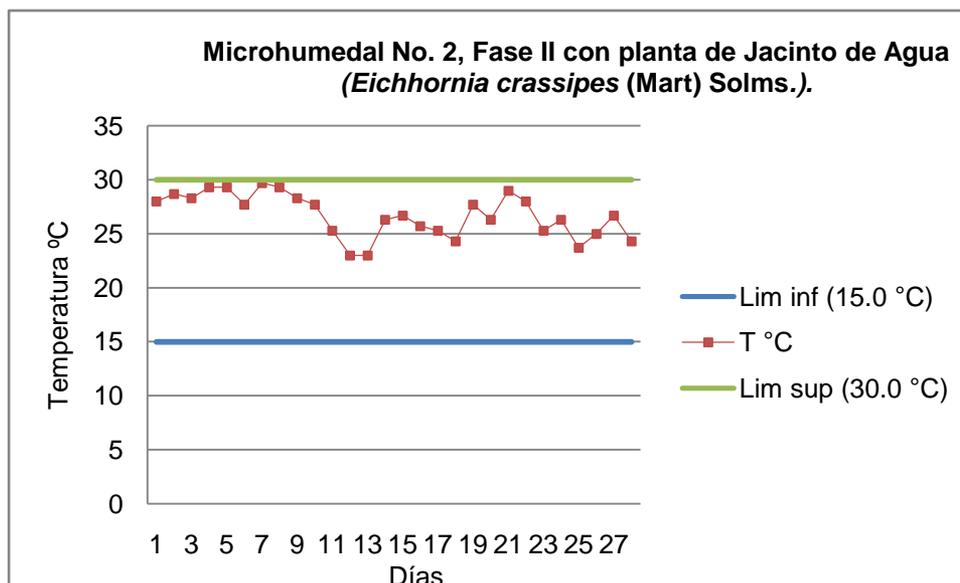


Figura N° 8 Gráfica de los resultados de la medición de la T° del Microhumedal artificial No. 2, Fase II, con planta de Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.).

En la tabla N° 4 se presentan los resultados de la medición de temperatura obtenidos en el microhumedal No. 2 con planta de Jacinto de Agua en la fase II. Se observa que la temperatura en el microhumedal se mantiene constante entre 15.0 °C y 30.0 °C, rango de crecimiento y desarrollo óptimo del Jacinto de Agua. Ver figura N° 8.

5.2.2 pH.

Tabla N° 5 Resultados de la medición de pH en el microhumedal Artificial No.1, fase I con planta de Tule (*Typha domingensis* Pers.).

Estadío	Semana de Medición	pH
	Inicio	7.21
1	1	7.14
2	2	6.85
3	3	7.36
4	4	6.93

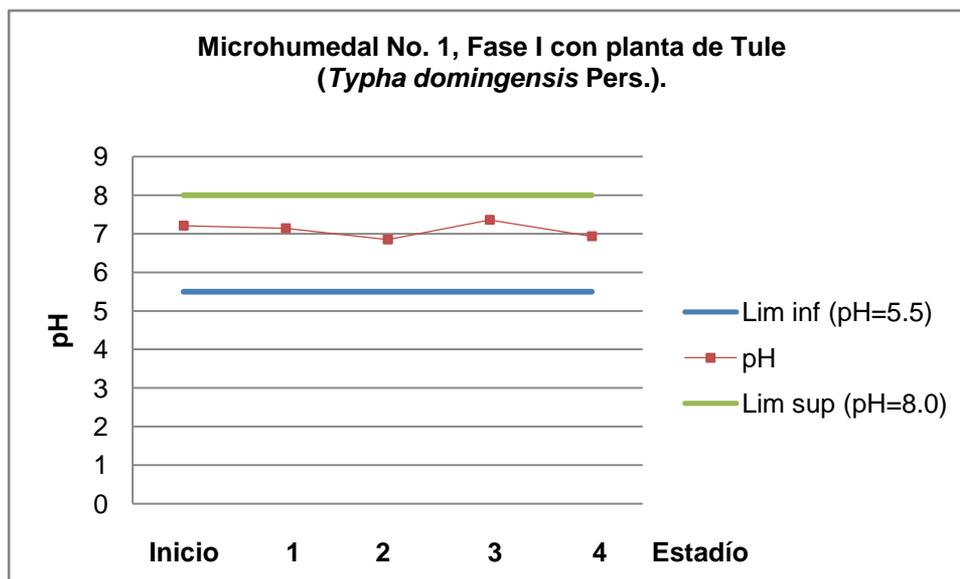


Figura N° 9 Gráfica de los resultados de la medición de pH en el microhumedal Artificial No.1, fase I con planta de Tule (*Typha domingensis* Pers.).

En la tabla N° 5 se presentan los resultados de la medición de pH obtenidos en el microhumedal No. 1 con planta de Tule, fase I. Se observa que el pH se mantiene constante entre de 5.5 y 8.0, rango de crecimiento y desarrollo óptimo del Tule₍₂₈₎. Ver figura N° 9.

Tabla N° 6 Resultados de la medición de pH en el microhumedal Artificial No.1, fase II con planta de Tule (*Typha domingensis* Pers.).

Estadío	Semana de Medición	pH
	Inicio	7.18
1	1	6.83
2	2	7.10
3	3	7.12
4	4	6.89

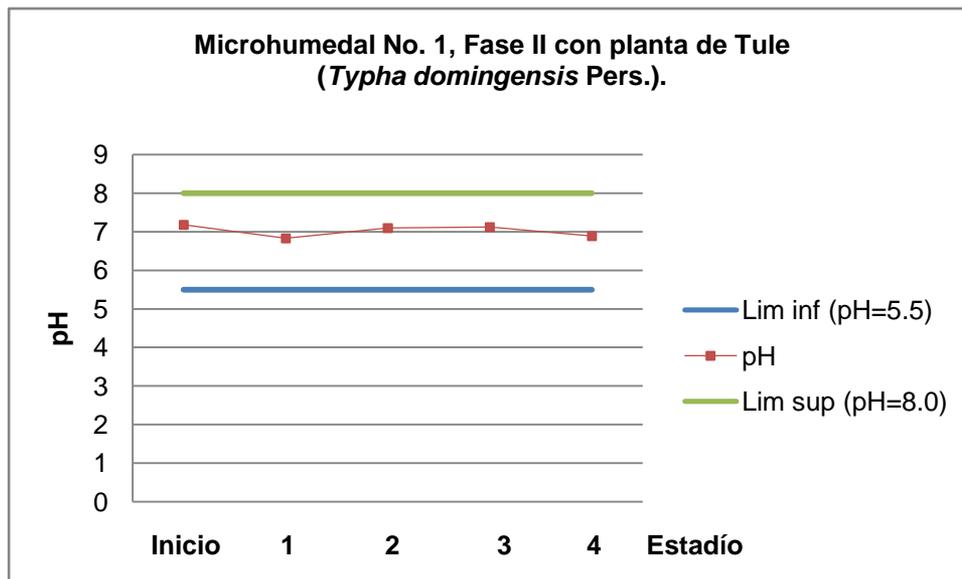


Figura N° 10 Gráfica de los resultados de la medición de pH en el microhumedal Artificial No.1, fase II con planta de Tule (*Typha domingensis* Pers.).

En la tabla N° 6 se presentan los resultados de la medición de pH obtenidos en el microhumedal No. 1 con planta de Tule, fase II. Se observa que el pH se mantiene constante entre 5.5 y 8.0, rango de crecimiento y desarrollo óptimo del Tule₍₂₈₎. Ver figura N° 10.

Tabla N° 7 Resultados de la medición de pH en el microhumedal Artificial No.2, **fase I** con planta de Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.).

Estadio	Semana de Medición	pH
Inicio	Inicio	7.21
1	1	7.10
2	2	7.18
3	3	7.29
4	4	7.21

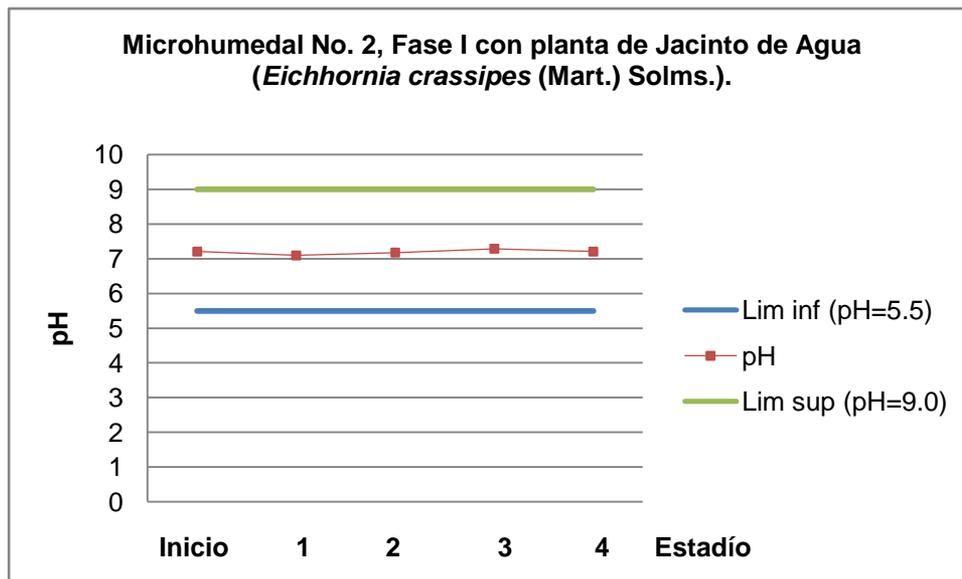


Figura N° 11 Gráfica de los resultados de la medición de pH en el microhumedal Artificial No.2, fase I con planta de Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.).

En la tabla N° 7 se presentan los resultados de la medición de pH obtenidos en el microhumedal No. 2 con planta de Jacinto de Agua, fase I. Se observa que el pH se mantiene constante entre los límites inferior de 5.5 y superior de 9.0, rango de crecimiento y desarrollo óptimo del Jacinto de Agua⁽⁵⁾. Ver figura N° 11.

Tabla N° 8 Resultados de la medición de pH en el microhumedal Artificial No.2, **fase II** con planta de Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.).

Estadío	Semana de Medición	pH
	Inicio	7.18
1	1	6.89
2	2	7.17
3	3	7.17
4	4	7.14

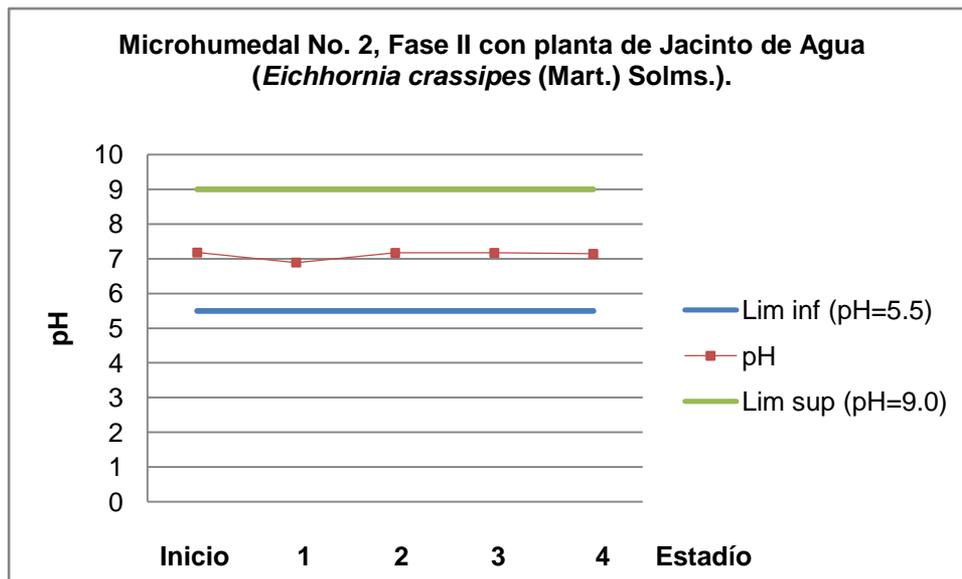


Figura N° 12 Gráfica de los resultados de la medición de pH en el microhumedal Artificial No.2, fase II con planta de Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.).

En la tabla N° 8 se presentan los resultados de la medición de pH obtenidos en el microhumedal No. 2 con planta de Jacinto de Agua, fase II. Se observa que el pH se mantiene constante entre los límites inferior de 5.5 y superior de 9.0, rango de crecimiento y desarrollo óptimo del Jacinto de Agua ⁽⁵⁾. Ver figura N° 12.

5.2.3 Sólidos Sedimentables.

Tabla N° 9 Resultados obtenidos de Sólidos Sedimentables del Microhumedal Artificial No. 1 y del Microhumedal Artificial No.2. Fase I.

Microhumedal Artificial	Planta	Estadío	Sólidos Sedimentables	Norma CONACYT NSO13.49.01:09 ⁽¹⁾ (mg/L)
1	Tule (<i>Typha domingensis Pers.</i>)	Inicio	1.8 mg/L	1.0
		Estadío 4	< 0.2 mg/L	
2	Jacinto de Agua (<i>Eichornia crassipes (Mart.) Solms</i>)	Inicio	1.8 mg/L	1.0
		Estadío 4	< 0.2 mg/L	

En la tabla N° 9 se presentan los resultados de Sólidos Sedimentables en el Microhumedal Artificial No. 1 y del Microhumedal Artificial No. 2 de la Fase I. comparados con la Norma CONACYT NSO13.4901:09⁽¹⁾.

En la tabla N° 9 se observa la cantidad de sólidos sedimentables al inicio del tratamiento con un valor de 1.8 mg/L. Se puede observar que al final del tratamiento la cantidad de Sólidos Sedimentables fue menor a 0.2 mg/L, siendo un valor inferior a 1.0 mg /L como valor máximo exigido por la Norma CONACYT NSO 13.49.01:09.

Con la salvedad de que la sedimentación de los sólidos es un fenómeno físico en el cual las plantas no tienen ninguna influencia

Tabla N° 10 Resultados obtenidos de Sólidos Sedimentables de la fase II del Microhumedal Artificial No. 1 y del Microhumedal Artificial No.2.

Microhumedal Artificial	Planta	Estadio	Sólidos Sedimentables	Norma CONACYT NSO13.49.01:09 ⁽¹⁾ (mg/L)
1	Tule (<i>Typha domingensis</i> Pers.)	Inicio	2.5 mg/L	1.0
		Estadio 4	< 0.2 mg/L	
2	Jacinto de Agua (<i>Eichornia crassipes</i> (Mart.) Solms)	Inicio	2.5 mg/L	1.0
		Estadio 4	< 0.2 mg/L	

En la tabla N° 10 se presentan los resultados de Sólidos Sedimentables en el Microhumedal Artificial No. 1 y del Microhumedal Artificial No.2 de la Fase II. comparados con la Norma CONACYT NSO13.4901:09⁽¹⁾

La cantidad de sólidos sedimentables al inicio del tratamiento fue de 2.5 mg/L. Se puede observar que al final del tratamiento la cantidad de Sólidos Sedimentables fue menor a 0.2 mg/L. Siendo un valor inferior a 1.0 mg /L, el cual es el máximo exigido por la Norma CONACYT NSO 13.49.01:09⁽¹⁾.

La sedimentación de los sólidos es un fenómeno físico en el cual las plantas no tienen ninguna influencia.

5.2.3.1 Turbidez.

La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez. ⁽²⁶⁾

Fase I.

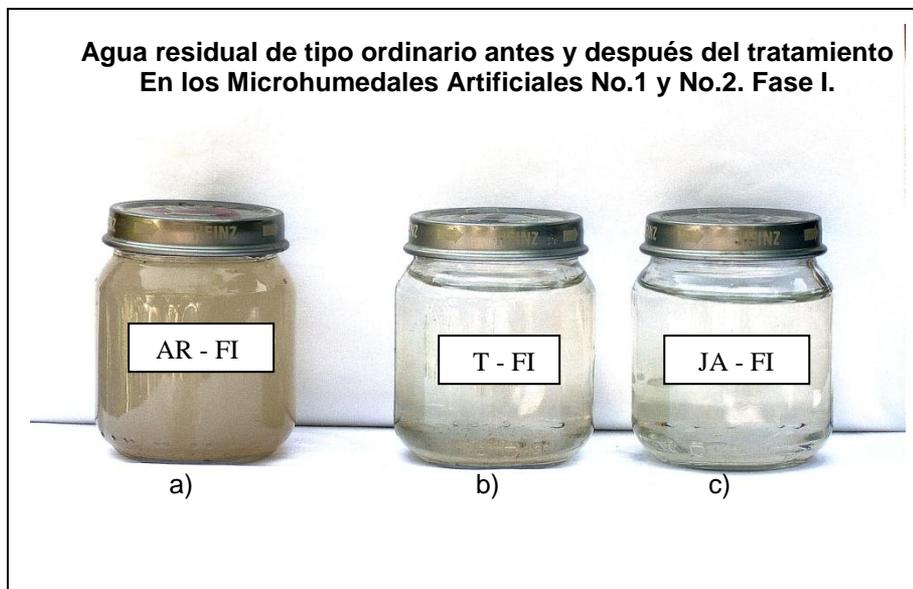


Figura N° 13 Agua residual de tipo ordinario antes y después del tratamiento en los Microhumedales Artificiales No.1 y No.2. Fase I.

- a) Agua residual de tipo ordinario al inicio del tratamiento;
- b) Agua residual de tipo ordinario tratada en el microhumedal artificial No. 1 con planta de Tule;
- c) Agua residual de tipo ordinario tratada en el microhumedal artificial No. 2 con planta de Jacinto de Agua.

En la figura N° 13 se observa la turbidez en el agua residual de tipo ordinario tratada en los Microhumedales Artificiales No. 1 con planta de Tule (*Typha domingensis Pers.*) y No. 2 con planta de Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes (Mart.) Solms*) antes y después del tratamiento. Se evidencia el fenómeno físico de la sedimentación de sólidos. El sedimento sirve como sustrato para nutrir la biota.

Fase II.

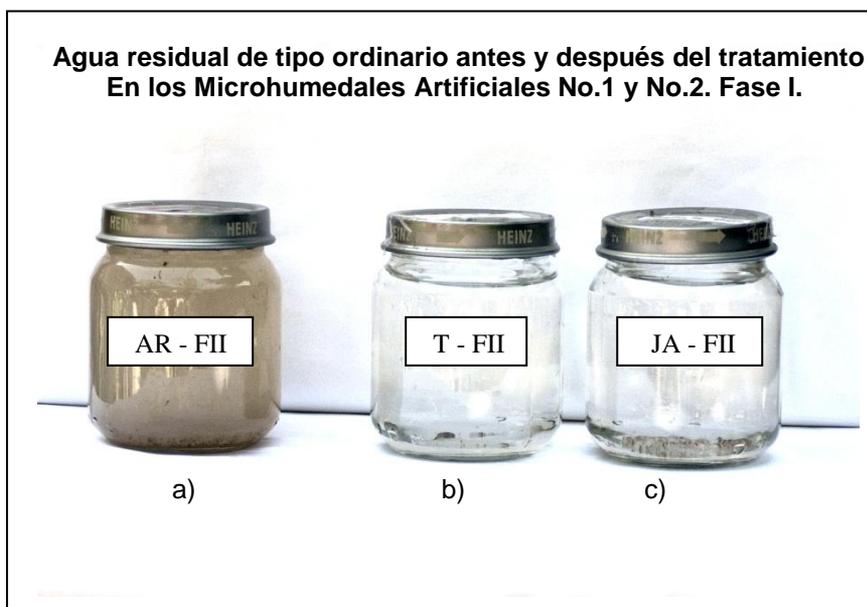


Figura N°14 Agua residual de tipo ordinario antes y después del tratamiento en los Microhumedales Artificiales No. 1 y No.2. Fase I.
 a) Agua residual de tipo ordinario al inicio del tratamiento;
 b) Agua residual de tipo ordinario tratada en el microhumedal artificial No. 1 con planta de Tule;
 c) Agua residual de tipo ordinario tratada en el microhumedal artificial No. 2 con planta de Jacinto de Agua.

En la figura N° 14 se observa la turbidez en el agua residual de tipo ordinario tratada en los Microhumedales Artificiales No. 1 con planta de Tule (*Typha domingensis Pers.*) y No. 2 con planta de Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes (Mart.) Solms*) antes y después del tratamiento. Se evidencia el fenómeno físico de la sedimentación de sólidos. El sedimento sirve como sustrato para nutrir la biota.

5.2.4 Oxígeno Disuelto (OD).

Tabla N° 11 Resultados obtenidos de OD del Microhumedal Artificial No.1 y del Microhumedal Artificial No 2. Fase I.

Microhumedal Artificial	Planta	OD (mg/L)		Norma CONACYT NSO13.49.01:09 ₍₁₎ (mg/L)
		Inicial	Final	
1	Tule (<i>Typha domingensis Pers.</i>)	Inicial	0.9	No Normado
		Final	2.0	
2	Jacinto de Agua (<i>Eichornia crassipes (Mart.) Solms</i>)	Inicial	0.9	No Normado
		Final	3.2	

En la tabla N° 11 se presentan los resultados obtenidos de la determinación de Oxígeno Disuelto en el agua residual de tipo ordinario tratada en los microhumedales Arificiales No. 1 y No. 2 con plantas de Tule y Jacinto de Agua respectivamente. En la Fase I, el agua ingresó con una cantidad de 0.9 mg/L de Oxígeno Disuelto y el agua tratada con la planta de Tule obtuvo un valor de 2.0 mg/L y el agua tratada con la planta de Jacinto de Agua un valor de 3.2 mg/L de Oxígeno Disuelto.

Tabla No. 12 Resultados obtenidos de OD del Microhumedal Artificial No.1 y del Microhumedal Artificial N°. 2. Fase II.

Microhumedal Artificial	Planta	OD (mg/L)		Norma CONACYT NSO13.49.01:09 ₍₁₎ (mg/L)
		Inicial	Final	
1	Tule (<i>Typha domingensis Pers.</i>)	Inicial	1.0	No Normado
		Final	1.0	
2	Jacinto de Agua (<i>Eichornia crassipes (Mart.) Solms</i>)	Inicial	1.0	No Normado
		Final	3.1	

En la tabla N° 12 se presentan los resultados obtenidos de la fase II de la determinación de Oxígeno Disuelto del agua residual de tipo ordinario tratada en los microhumedales artificiales No. 1 y No.2 con plantas de Tule y Jacinto de Agua respectivamente.

Al iniciar la Fase II, el agua ingresó en ambos micro humedales con 1.0 mg/L de Oxígeno Disuelto y al finalizar el tratamiento, el agua tratada en el microhumedal N° 1 mantuvo el mismo valor 1.0 mg/L de Oxígeno Disuelto; en el microhumedal No. 2 con planta de Jacinto de Agua el agua tratada aumento a un valor de 3.1 mg/L de Oxígeno Disuelto.

De acuerdo a los resultados observados en las tablas N° 11 y N° 12, a medida que el agua pasaba en cada uno de los estadios, las plantas actuaban proporcionando más oxígeno, como consecuencia del proceso de fotosíntesis que realizan las plantas.

De esta manera, las plantas cumplen una importante labor biológica en el michohumedal que es la de oxigenar, haciendo efectivo el método por aportación de oxígeno, lo que permite el desarrollo adecuado de la biota. Siendo el Jacinto de Agua el que incorpora más oxígeno al sistema.

5.2.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación de esta muestra líquida; determina la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar biológicamente la materia orgánica presente.

Tabla N° 13 Resultados obtenidos de DBO₅ del Microhumedal Artificial No.1 y del Microhumedal Artificial No.2. Fase I.

Microhumedal Artificial	Planta	DBO (mg/L)		Norma CONACYT NSO13.49.01:09 ⁽¹⁾ (mg/L)
		Inicial	Final	
1	Tule (<i>Typha domingensis</i> Pers.)	Inicial	1396.7	60.0
		Final	65.0	
2	Jacinto de Agua (<i>Eichornia crassipes</i> (Mart.) Solms)	Inicial	1396.7	60.0
		Final	65.0	

En la tabla N° 13 se observan los resultados de DBO₅ del agua residual de tipo ordinario comparados con la Norma Salvadoreña Obligatoria del CONACYT NSO 13.49.01:09.

Antes del tratamiento el agua residual ingreso en los microhumedales artificiales No.1 con planta de Tule y No.2 con planta de Jacinto de Agua con un valor de DBO₅ de 1396.7 mg/L y después del tratamiento el DBO₅ disminuyó a un valor de 65 mg/L, en ambos microhumedales, un valor ligeramente superior en cinco unidades con respecto al valor de 60 mg/L exigido por la Norma Salvadoreña Obligatoria del CONACYT NSO 13.49.01:09.

Tabla N° 14 Resultados obtenidos de DBO₅, en la Fase II, del Microhumedal Artificial No.1 y del Microhumedal Artificial No.2.

Microhumedal Artificial	Planta	DBO (mg/L)		Norma CONACYT NSO13.49.01:09 ⁽¹⁾ (mg/L)
		Inicial	Final	
1	Tule (<i>Typha domingensis</i> Pers.)	Inicial	2310.0	60.0
		Final	5.0	
2	Jacinto de Agua (<i>Eichornia crassipes</i> (Mart.) Solms)	Inicial	2310.0	60.0
		Final	7.0	

En la tabla N° 14 se presentan los resultados de DBO_5 , Fase II en los Microhumedales Artificiales No.1 con planta de Tule y N° 2 con planta de Jacinto de Agua y se comparan con la Norma Salvadoreña Obligatoria del CONACYT NSO13.49.01:09.

El agua residual de tipo ordinario antes del tratamiento presentó un valor de DBO_5 de 2310.0 mg/L y después del tratamiento presentó un valor de DBO_5 de 5 mg/L Microhumedal Artificial No.1 con planta de Tule y de 7 mg/L en el Microhumedal Artificial No.2 con planta de Jacinto de Agua, siendo valores de DBO considerablemente inferiores al valor exigido de 60 mg/L por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01:09 del CONACYT.

La determinación del DBO_5 , evidencia la efectividad de los microhumedales en la depuración de aguas residuales de tipo ordinario.

Al medir el DBO_5 requerido para oxidar la materia orgánica biodegradable al inicio del tratamiento en ambos microhumedales, el DBO_5 es sumamente alto; pero al tratar el agua en los microhumedales, el DBO_5 disminuye considerablemente de acuerdo a los resultados obtenidos.

CAPITULO VI
CONCLUSIONES

6.0 CONCLUSIONES

1. Se comprobó la efectividad del método ya que la temperatura promedio de ambos microhumedales oscila entre 23°C y 30 ° C; rango de temperatura que influyó en el desarrollo adecuado de las plantas de Tule y Jacinto de Agua, debido a que pertenecen a un hábitat tropical y su crecimiento es óptimo a temperaturas que oscilan entre los 10°C y los 35°C, lo que permitió que realizaran una eficiente actividad depuradora de las aguas residuales de tipo ordinario.
2. El pH de ambos microhumedales osciló entre 6.85 y 7.36; aunque el pH máximo presenta una ligera alcalinidad que se debe a la presencia de detergentes y jabones en el agua residual, este no fue un factor influyente en el crecimiento óptimo del Tule el cual crece o se desarrolla a un pH entre 5.5 - 8.0 y el del Jacinto de agua entre 5.5 - 9.0. Rango de pH que permitió una excelente actividad depuradora del microhumedal.
3. Los sólidos sedimentables en la fase I presentaron un valor de 1.8 mg/L y en la fase II un valor de 2.5 mg/L; al final del tratamiento en ambos microhumedales se determinó 0.2 mg/L de sólidos sedimentables, siendo un valor inferior a 1.0 mg /L el cual es el valor máximo exigido por la Norma CONACYT NSO 13.49.01:09.
4. La determinación de sólidos sedimentables es un fenómeno físico, que por efecto de la gravedad, estos sólidos se sedimentan sirviendo para el crecimiento de la biota y el agua tratada en los microhumedales se observa transparente, libre de partículas suspendidas.
5. El oxígeno disuelto es muy importante para la vida de los microorganismos de la biota y es un parámetro importante en la determinación del DBO₅
6. El tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario mediante el uso de microhumedales es altamente eficiente debido a que el DBO₅ que es un parámetro de calidad del agua, exigido en la Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09 de CONACYT para Aguas Residuales, que especifica un valor de DBO₅ de 60 mg/ L, disminuyó a un DBO₅ de 1396.7 mg / L, a un DBO₅ de 65 mg/L en la primera fase en ambos microhumedales y de un DBO₅ de 2310.0 mg / L, a un DBO₅ de 5 mg /L, en el microhumedal No.1 (con planta de Tule) y un DBO₅ de 7 mg /L en el microhumedal No.2 (Jacinto de agua).
7. La efectividad de depuración en el microhumedal es mayor en la fase II; y la planta de Tule presenta mayor actividad depuradora que la planta de Jacinto de Agua en dicha fase.

8. En el microhumedal los tallos y hojas sumergidas de ***Typha domingensis Pers*** (Tule) y de ***Eichhornia crassipes (Mart.) Solms*** (Jacinto de Agua) se degradan y se convierten en restos de vegetación y que junto a los sólidos sedimentables que contiene el agua residual, sirven como sustrato para el crecimiento de la biota, que es la responsable en gran parte de la depuración del agua.

CAPITULO VII
RECOMENDACIONES

7.0 RECOMENDACIONES

1. Implementar el sistema de microhumedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales como alternativa de bajo costo y fácil manejo a nivel comunitario y en zonas rurales aisladas o donde no hay sistemas de alcantarillado.
2. Implementar el sistema de microhumedales para el tratamiento de otras aguas procedentes de la industria Química, Farmacéutica, minería, agroindustria, alimenticia.
3. Que en futuras investigaciones determinar los estadios necesarios y volúmenes para acelerar el proceso en la depuración del agua, el tiempo de formación de la biota; la implementación de otras plantas y la observación de condiciones medioambientales mientras se lleva a cabo el tratamiento.
4. A las instituciones gubernamentales encargadas del medio ambiente, promover el uso de estos sistemas de microhumedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales de tipo ordinario.
5. Que en futuras investigaciones se realicen las mismas determinaciones de los parámetros fisicoquímicos en cada estadio.
6. Comparar cual es la efectividad del tratamiento en los humedales de tipo vertical y horizontal.
7. Mantener el nivel de agua en los estadios evitando que no supere la superficie de la grava para evitar la proliferación de vectores transmisores de enfermedades.

BIBLIOGRAFIA

1. Agua. "Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor". Norma Salvadoreña NSR 13.49.01:09. Consejo Nacional para la Ciencia y la Tecnología (CONACYT). San Salvador, El Salvador.
2. Bécares, E. 2004. Función de la vegetación y procesos de diseño de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal y flujo superficial. En: Nuevos Criterios para el diseño y operación de humedales construidos. Editores (Joan García, Jordi Morató y Joseph María Bayona).
3. Burgos. V.M. y otros. 1979. "Aprovechamiento del Jacinto Acuático". Trabajo de graduación. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de El Salvador.
4. Cuellar, N. 2001. La contaminación del Agua en El Salvador. Desafíos y Respuestas institucionales.
5. *Eichhornia crassipes* Pers. - ficha informativa.mht; consultado el 10 de octubre de 2009.
6. García Hernández, O.G. 2001. Estudio de la contaminación del río San Antonio de Nejapa, mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos. Tesis para optar al título de Licenciatura en Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.
7. Greenberg, A. y otros. 1992. "Standard Methods for the examination of water and waste water" 17th. American Public Health Association. (APHA).
8. Jaime Godoy, M.G. 2008. Determinación de la Curva de Calibración en la Demanda Bioquímica de Oxígeno por el Método de la Azida Sódica Modificada. Tesis para optar al título de Licenciatura en Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.
9. Lara J. 1999. Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales. Trabajo final para Master en Ingeniería y Gestión Ambiental, Tiempo Completo para el Instituto Catalán de Tecnología de la Universidad Politécnica de Cataluña.
10. Martínez, N. 2009. La deuda pendiente del medio ambiente. Diario Co Latino, San Salvador, ES. Mar.19.
11. Mena Aquino, S. E. y otros, 2006. Diseño, construcción y puesta en marcha de una unidad experimental de humedales artificiales. San Salvador, El Salvador, Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas". 16, 17, 18, 20, 21, 22 p.

12. Ríos Pacheco, D. y otros. 1981. "Estudio de la contaminación de las aguas marinas de las playas del Puerto de la Libertad" Trabajo de graduación. Facultad de Química y Farmacia. Universidad de El Salvador. El Salvador.
13. Rigola Lapeña, L. "Tratamiento de aguas industriales, aguas de proceso y residuales". Editorial Alfa y Omega. Marcombo. México. 1999.
14. Romero Rojas, J.A. Calidad del Agua. Segunda edición, México, D.F, Editorial Alfa y Omega, S.A. de C.V. 131,134 p.
15. UNESCO 2003, El agua en El Salvador.
16. <http://www.boti.botany.wisc.edu>; consultado el 10 de enero de 2009.
17. <http://www.contaminaciondelagua.htm>; consultado el 15 de diciembre de 2008.
18. <http://www.es.wikipedia.org/wiki/humedales>; consultado 10 de enero de 2009.
19. <http://iigeo@unmsm.edu.pe>; consultado el 10 de enero de 2009.
20. <http://www.infoagro.com>; consultado el 15 de diciembre de 2008.
21. <http://www.marimas.org>; consultado el 15 de diciembre de 2008.
22. <http://www.pnuma.org/reccnat/esp/documentos/cap5.pdf>; consultado el 10 de enero de 2009.
23. <http://www.ramsar.org>; consultado el 15 de diciembre de 2008.
24. http://sanidadambiental.com/wp-content/uploads/xix_jornada/2_Salas.pdf; consultado el 10 de enero de 2009.
25. <http://www.tierramor.org/Articulos>; consultado el 15 de diciembre de 2008.
26. info@lennotech.com turbidez.
27. [Typha-domingensis-infrutescence_jpg.mht](#); consultado el 12 de octubre de 2009.
28. TULE\ *Typha domingensis* (Mart.) Solms - Wikipedia, la enciclopedia libre.mht; consultado el 12 de octubre de 2009.

ANEXOS

ANEXO Nº 1

Tabla Nº 15 Parámetros sobre valores permisibles para aguas residuales de tipo ordinario descargadas a un cuerpo receptor.⁽¹⁾

ACTIVIDAD	AGUAS RESIDUALES DE TIPO ORDINARIO
DBO ₅ (mg/L)	60
Sólidos Sedimentables (ml/L)	1
Oxígeno Disuelto (ml/L)	No normado

Tabla Nº 16 Clasificación de la aguas de acuerdo con su contenido de pH. ⁽⁸⁾

PARAMETRO	RANGOS	CLASIFICACION
pH	< 3.0	Extremadamente Acido
	3.0 – 4.5	Fuertemente Acido
	4.6 – 6.0	Moderadamente Acido
	6.1 – 6.9	Ligeramente Acido
	7.0	Neutro
	7.1 – 8.9	Ligeramente Alcalino
	9.0 – 10.5	Moderadamente Alcalino
	10.6 – 12.0	Fuertemente Alcalino
	>12.0	Extremadamente Alcalino

ANEXO Nº 2

Cuadro Nº 6 Alteraciones físicas y químicas del agua.⁽¹⁷⁾

Alteraciones físicas	Características y contaminación que indica
Color	El agua no contaminada suele tener ligeros colores rojizos, pardos, amarillentos o verdosos. Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores pero, en general, no se pueden establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminación.
Olor y sabor	Compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos pueden dar colores y sabores muy fuertes al agua, aunque estén en bajas concentraciones.
Temperatura	El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. La temperatura óptima del agua para beber está entre 10 y 14°C
Materiales en suspensión	Partículas como arcillas, limos y otras, aunque no llegue a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: En suspensión estable o en suspensión que solo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspensiones coloidalmente solo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación.
Espumas	Los detergentes producen espumas y añaden fosfatos al agua (eutrofización). Disminuyen mucho el poder autodepurador de los ríos al dificultar la actividad bacteriana, también interfieren en la floculación y sedimentación en las estaciones depuradoras.
Conductividad	El agua pura tiene una conductividad muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas deben hacerse a 20°C.
Alteraciones químicas	Contaminación que indica
pH	Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO ₂ disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos, por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos del mantillo del suelo, la principal sustancia básica en el agua natural es el Carbonato de Calcio que puede reaccionar con el CO ₂ formando un sistema tampón carbonato/bicarbonato.

ANEXO N°3

Cuadro N° 7 Composición típica de las aguas residuales. (8)

CONTAMINANTE	EFECTO
Materia orgánica biodegradable	Desoxigenación del agua, muerte de peces, olores indeseables.
Materia suspendida	Deposición en los lechos de los ríos; si es orgánica se descompone y flota mediante el empuje de los gases, cubre el fondo e interfiere con la producción de los peces o transforma la cadena alimenticia
Sustancias corrosivas, cianuros, metales, fenoles, etc.	Extinción de peces y vida acuática, destrucción de bacterias, interrupción de la autopurificación
Microorganismos patógenos	Las ARD pueden transportar organismos patógenos, los residuos de curtiembre ántrax.
Sustancias que causan turbiedad, temperatura, olor, color, etc.	El incremento de temperatura afecta los peces; el color, olor y turbiedad hacen estéticamente inaceptable el agua para uso público.
Sustancias o factores que transforman el equilibrio biológico.	Pueden causar crecimiento excesivo de hongos o plantas acuáticas las cuales alteran el ecosistema acuática, causan olores, etc.
Constituyentes minerales	Incrementan la dureza, el contenido de sólidos disueltos, limitan los usos industriales sin tratamiento especial, contribuyen a la eutrofización del agua.

ANEXO N°4

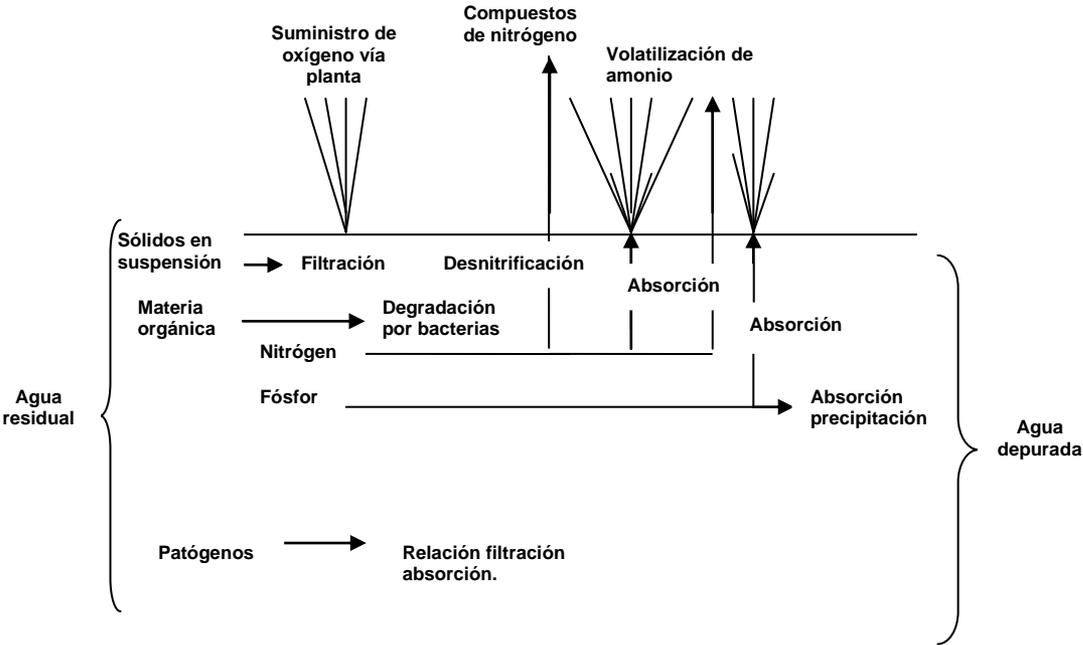


Figura N° 15 Principales procesos que se llevan a cabo en un humedal y que permite la depuración del agua residual. (18)

ANEXO N° 5

Plantas acuáticas más comunes utilizadas para el tratamiento de aguas residuales. (20)

1. Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)
2. Junco de laguna (*Scirpus lacustris*)
3. Hierba del maná (*Glyceria fluitans*)
4. Carrizo (*Arundo donax*)
5. Lirio amarillo (*Iris pseudacorus* L.)
6. Junco (*Juncus effusus* Spiralis)
7. Eneas (*Typha angustifolia* L.)
8. Espaldañas (*Typha latifolia*)
9. Berro (*Nasturtium officinale*)
10. Tule (*Typha domingensis* Pers.)

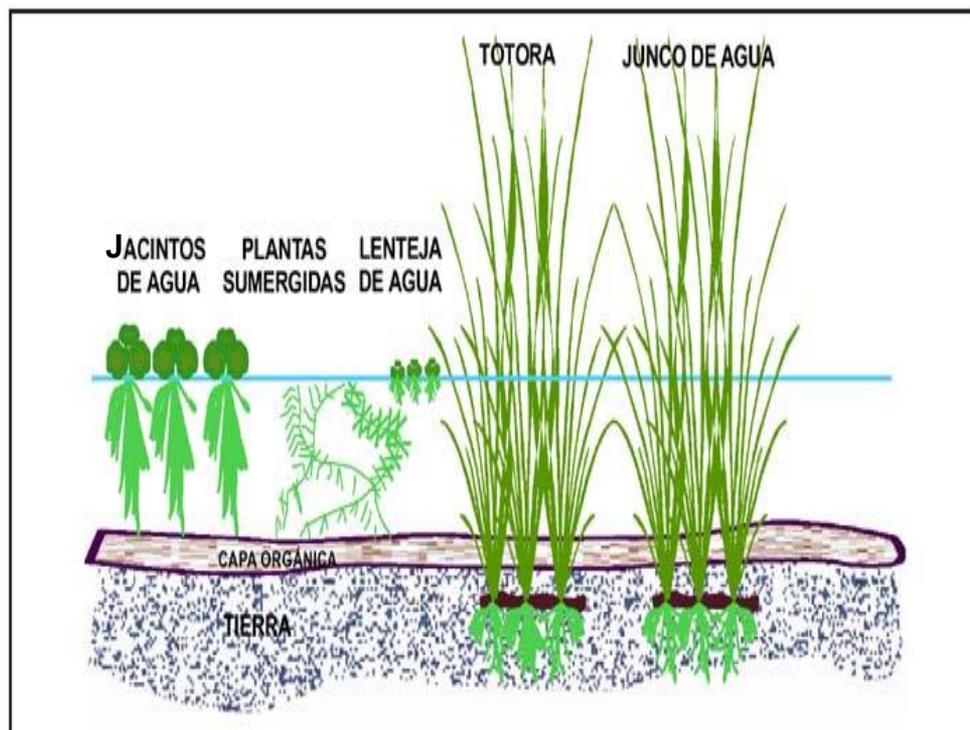


Figura N° 16 Plantas acuáticas más utilizadas. (19)

ANEXO Nº 6

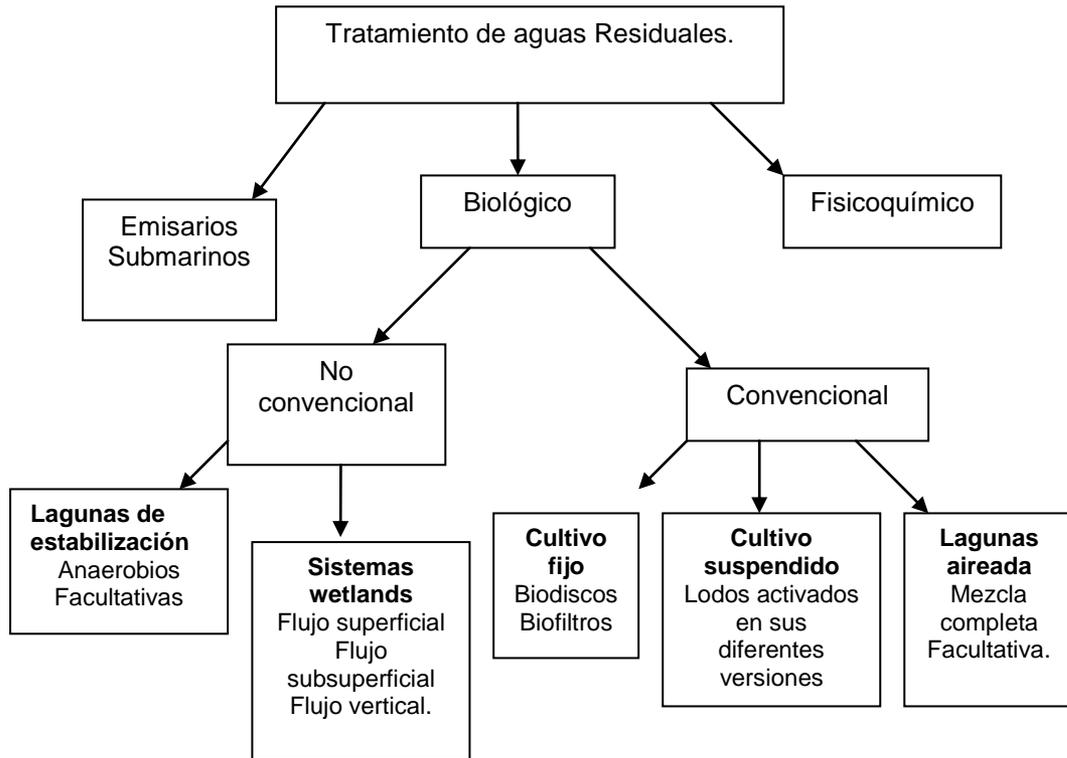


Figura Nº 17 Diagrama de tratamiento de aguas residuales⁽¹³⁾.

ANEXO Nº 7

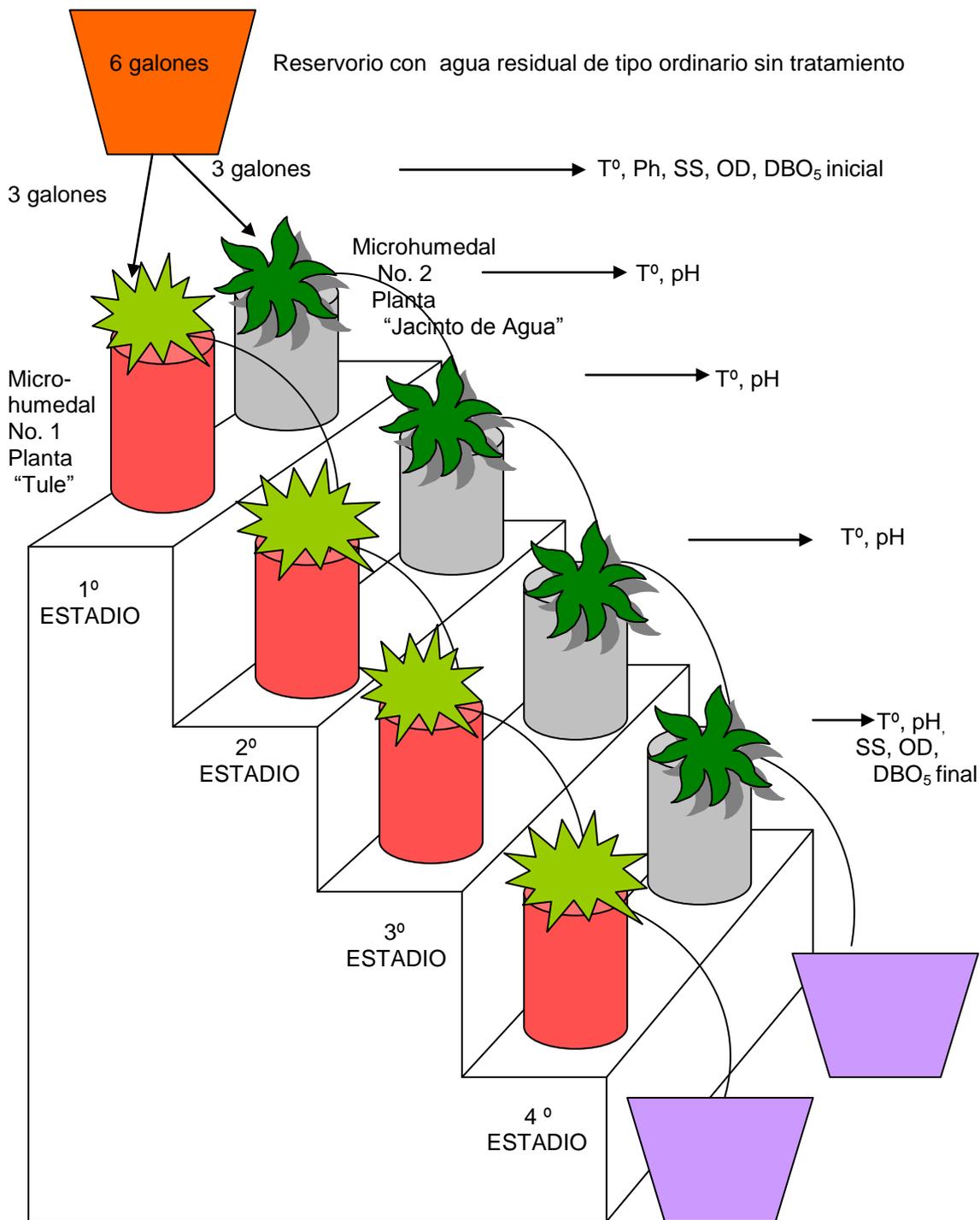


Figura Nº 18 Microhumedales artificiales Nº 1 con planta "Tule" y Nº 2 con planta "Jacinto de Agua".

ANEXO Nº 8



Figura Nº 19 Vista frontal de microhumedales artificiales con plantas de Tule y Jacinto de Agua.



Figura Nº 20 Vista lateral de microhumedales artificiales con plantas de Tule y Jacinto de Agua.

ANEXO N° 9

Tabla N° 17 Parámetros de funcionamiento del microhumedal artificial
N° 1.

Microhumedal N° 1					
Planta de Tule					
Fase 1			Fase 2		
Semana	Vol. de agua residual de tipo ordinario (galones)	Parámetros	Semana	Vol. de agua residual de tipo ordinario (galones)	Parámetros
	3 galones de agua sin tratamiento	T°, pH, SS, ODi, DBO ₅ inicial			
	↓				
1					
	↓	pH, T°		3 galones de agua sin tratamiento	T°, pH, SS, ODi, DBO ₅ inicial
2			1		
	↓	pH, T°		↓	pH, T°
3			2		
	↓	pH, T°		↓	pH, T°
4			3		
	↓	T°, pH, SS, ODf, DBO ₅ final		↓	pH, T°
5			4		
				↓	T°, pH, SS, ODf, DBO ₅ final
6			5		
Sub total de muestra	3 galones de agua tratada		Sub total de muestra	3 galones de agua tratada	
Total de muestra	6 galones de agua tratada				

ANEXO N° 10

Tabla N° 18 Parámetros de funcionamiento del microhumedal artificial
N° 2.

Microhumedal N° 2					
Planta Jacinto de Agua					
Fase 1			Fase 2		
Semana	Vol. de agua residual de tipo ordinario (galones)	Parámetros	Semana	Vol. de agua residual de tipo ordinario (galones)	Parámetros
	3 galones de agua sin tratamiento	T°, pH, SS, ODi, DBO ₅ inicial			
	↓				
1					
	↓	pH, T°		3 galones de agua sin tratamiento	T°, pH, SS, ODi, DBO ₅ inicial
2			1		
	↓	pH, T°		↓	pH, T°
3			2		
	↓	pH, T°		↓	pH, T°
4			3		
	↓	T°, pH, SS, ODf, DBO ₅ final		↓	pH, T°
5			4		
				↓	T°, pH, SS, ODf, DBO ₅ final
6			5		
Sub total de muestra	3 galones de agua tratada		Sub total de muestra	3 galones de agua tratada	
Total de muestra	6 galones de agua tratada				

ANEXO N° 11





F - 09

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO N° 23-09	INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: INGRID ARTERO GANUZA. COLONIA SAN RARAEI, PASAJE "C" N° 48. DEPARTAMENTO DE AHUACHAPAN.			Pág. 1 de 1	
Descripción de muestra: AGUA RESIDUAL TIPO ORDINARIO.		N° DE MUESTRAS: 1		
Lugar de muestreo: COLONIA LLANO VERDE N° 2, CALLE "A", CASA N° 14. ILOPANGO.				
Fecha de recepción de muestra: 19 DE AGOSTO DE 2009.		Fecha de Análisis: DEL 19 AL 24 DE AGOSTO DE 2009		
Método de Análisis: AZIDA SODICA MODIFICADO, CONO IMHOFF.				
Parámetros	Identificación de la Muestra		Resultados	Norma CONACYT Agua, Aguas Residuales Descargadas a un cuerpo Receptor NSO 13.49.01:09
	CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
DBO ₅	23-09-01	AGUA RESIDUAL TIPO ORDINARIO QUE PROCEDE DE COLONIA LLANO VERDE N° 2, CALLE A, CASA N° 14. ILOPANGO	1396.7	60.0 mg/L
OXIGENO DISUELTO			0.9	No Normado
SÓLIDOS SEDIMENTABLES			1.8	1 mg/L
Observaciones:				
1. El muestreo estuvo a cargo del interesado.				

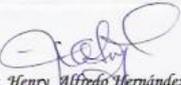
Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.
NOTA: El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.

FECHA DE ENTREGA: 05 SEP 2009



Lidia Odette Rauda Acevedo
Jefe del Laboratorio Físicoquímico de Aguas
y Analista

LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



Lic. Henry Alfredo Hernández
Analista

ach*

Final 25 Avenida Norte, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
Teléfono Directo: 2531-2948. Telefax: 2225-4967 Extensión 109.

Figura N° 21 Informe de resultados de la medición de parámetros físicoquímicos de DBO₅, OD y SS del agua residual de tipo ordinario antes del tratamiento en los microhumedales. Fase I.

ANEXO Nº 12



F - 09

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS**

CODIGO Nº 24-09		INFORME DE RESULTADOS		
Nombre y dirección del cliente: INGRID ARTERO GANUZA. COLONIA SAN RARAEI, PASAJE "C" Nº 48. DEPARTAMENTO DE AHUACHAPAN.				Pág. 1 de 1
Descripción de muestra: AGUA RESIDUAL TIPO ORDINARIO.			Nº DE MUESTRAS: 1	
Lugar de muestreo: COLONIA LLANO VERDE Nº 2, CALLE "A", CASA Nº 14. ILOPANGO.				
Fecha de recepción de muestra: 26 DE AGOSTO DE 2009.			Fecha de Análisis: DEL 26 AL 31 DE AGOSTO DE 2009	
Método de Análisis: AZIDA SODICA MODIFICADO, CONO IMHOFF.				
Parámetros	Identificación de la Muestra		Resultados	Norma CONACYT Agua, Aguas Residuales Descargadas a un cuerpo Receptor NSO 13.49.01:09
	CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
DBO ₅	24-09-01	AGUA RESIDUAL TIPO ORDINARIO QUE PROCEDE DE COLONIA LLANO VERDE Nº 2, CALLE A, CASA Nº 14. ILOPANGO	2310.0	60.0 mg/L
OXIGENO DISUELTO			1.0	No Normado
SÓLIDOS SEDIMENTABLES			2.5	1 mg/L
Observaciones:				
1. El muestreo estuvo a cargo del interesado.				

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.

FECHA DE ENTREGA: 05 SEP 2009

LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Licda. Odette Rauda Acevedo
Jefe del Laboratorio Físicoquímico de Aguas
y Analista

Lic. Henry Alfredo Hernández
Analista

acl

Final 25 Avenida Norte, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
Teléfono Directo: 2531-2948. Telefax: 2225-4967 Extensión 109.

Figura Nº 22 Informe de resultados de la medición de parámetros fisicoquímicos de DBO₅, OD y SS del agua residual de tipo ordinario antes del tratamiento en los microhumedales. Fase II.

ANEXO Nº 13



F - 09

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS**

CODIGO Nº 27-09		INFORME DE RESULTADOS		
Nombre y dirección del cliente: INGRID ARTERO GANUZA. COLONIA SAN RARAEI, PASAJE "C" Nº 48. DEPARTAMENTO DE AHUACHAPAN.				Pág. 1 de 2
Descripción de muestra: AGUA RESIDUAL TIPO ORDINARIO.			Nº DE MUESTRAS: 2	
Lugar de muestreo: COLONIA LLANO VERDE Nº 2, CALLE "A", CASA Nº 14. ILOPANGO.				
Fecha de recepción de muestra: 16 DE SEPTIEMBRE DE 2009.			Fecha de Análisis: DEL 16 AL 21 DE SEPT. DE 2009	
Método de Análisis: AZIDA SODICA MODIFICADO, CONO IMHOFF.				
Parámetros	Identificación de la Muestra		Resultados	Norma CONACYT Agua, Aguas Residuales Descargadas a un cuerpo Receptor NSO 13.49.01:09
	CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
DBO ₅	27-09-01	MUESTRA Nº 1 TULE FASE I	65.0	60.0 mg/L
OXIGENO DISUELTO			2.0	No Normado
SÓLIDOS SEDIMENTABLES			<0.2	1 ml/L
Observaciones: 1. El muestreo estuvo a cargo del interesado.				

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.

FECHA DE ENTREGA: 01 OCT 2009

Licda. Odette Rauda Acevedo
Jefe del Laboratorio Físicoquímico de Aguas
y Analista

Lic. Henry Alfredo Hernández
Analista

LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Final 25 Avenida Norte, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
Teléfono Directo: 2531-2948. Telefax: 2225-4967 Extensión 109.

Figura Nº 23 Informe de resultados de la medición de parámetros fisicoquímicos de DBO₅, OD y SS del agua residual de tipo ordinario tratada con planta de Tule en microhumedal No. 1. Fase I.

ANEXO N° 14



F - 09

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FISCOQUÍMICO DE AGUAS**

CODIGO N° 27-09		INFORME DE RESULTADOS		
Nombre y dirección del cliente: INGRID ARTERO GANUZA. COLONIA SAN RARAEI, PASAJE "C" N° 48. DEPARTAMENTO DE AHUACHAPAN.				Pág. 2 de 2
Descripción de muestra: AGUA RESIDUAL TIPO ORDINARIO.			N° DE MUESTRAS: 2	
Lugar de muestreo: COLONIA LLANO VERDE N° 2, CALLE "A", CASA N° 14. ILOPANGO.				
Fecha de recepción de muestra: 16 DE SEPTIEMBRE DE 2009.			Fecha de Análisis: DEL 16 AL 21 DE SEPT. DE 2009	
Método de Análisis: AZIDA SODICA MODIFICADO, CONO IMHOFF.				
Parámetros	Identificación de la Muestra		Resultados	Norma CONACYT Agua, Aguas Residuales Descargadas a un cuerpo Receptor NSO 13.49.01:09
	CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
DBO ₅	27-09-02	MUESTRA N° 2 JACINTO DE AGUA FASE 1	65.0	60.0 mg/L
OXIGENO DISUELTO			3.2	No Normado
SÓLIDOS SEDIMENTABLES			<0.2	1 mg/L
Observaciones:				
1. El muestreo estuvo a cargo del interesado.				

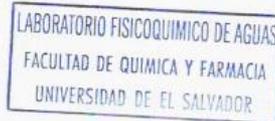
Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.

FECHA DE ENTREGA: 01 OCT 2009

Licda. Odette Rauda Acevedo
Jefe del Laboratorio Físicoquímico de Aguas
y Analista

Lic. Henry Alfredo Hernández
Analista



ael*

Final 25 Avenida Norte, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
Teléfono Directo: 2531-2948. Telefax: 2225-4967 Extensión 109.

Figura N° 24 Informe de resultados de la medición de parámetros fisicoquímicos de DBO₅, OD y SS del agua residual de tipo ordinario tratada con planta de Jacinto de Agua en microhumedal No. 2. Fase I.

ANEXO Nº 15



F - 09

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FISIQUÍMICO DE AGUAS**

CODIGO Nº 30-09		INFORME DE RESULTADOS		
Nombre y dirección del cliente: INGRID ARTERO GANUZA, COLONIA SAN RARAEI, PASAJE "C" Nº 48, DEPARTAMENTO DE AHUACHAPAN.				Pág. 1 de 2
Descripción de muestra: AGUA RESIDUAL TIPO ORDINARIO.			Nº DE MUESTRAS: 2	
Lugar de muestreo: COLONIA LLANO VERDE Nº 2, CALLE "A", CASA Nº 14. ILOPANGO.				
Fecha de recepción de muestra: 23 DE SEPTIEMBRE DE 2009.			Fecha de Análisis: DEL 23 AL 29 DE SEPTIEMBRE DE 2009.	
Método de Análisis: AZIDA SODICA MODIFICADO, CONO IMHOFF.				
Parámetros	Identificación de la Muestra		Resultados	Norma CONACYT Agua, Aguas Residuales Descargadas a un cuerpo Receptor NSO 13.49.01:09
	CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
DBO ₅	30-09-01	MUESTRA Nº 1: TULE, FASE 2	5	60.0 mg/L
OXIGENO DISUELTO			1.0	No Normado
SÓLIDOS SEDIMENTABLES			<0.2	1 mg/L
Observaciones: 1. El muestreo estuvo a cargo del interesado.				

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

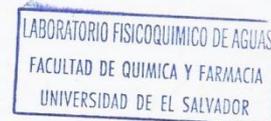
NOTA: El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.

FECHA DE ENTREGA: 01 OCT 2009

[Signature]
Licda. Odette Rauda Acevedo
Jefe del Laboratorio Físicoquímico de Aguas
y Analista

[Signature]
Lic. Henry Alfredo Hernández
Analista

[Signature]
Licda. Rosa Miriam Rivas Larín
Analista



ael*

Figura Nº 25 Informe de resultados de la medición de parámetros fisicoquímicos de DBO₅, OD y SS del agua residual de tipo ordinario tratada con planta de Tule en microhumedal No. 1. Fase II.

ANEXO Nº 16



F - 09

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS**

CODIGO Nº 30-09	INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: INGRID ARTERO GANUZA. COLONIA SAN RARAEI, PASAJE "C" Nº 48. DEPARTAMENTO DE AHUACHAPAN.			Pág. 2 de 2	
Descripción de muestra: AGUA RESIDUAL TIPO ORDINARIO.		Nº DE MUESTRAS: 2		
Lugar de muestreo: COLONIA LLANO VERDE Nº 2, CALLE "A", CASA Nº 14. ILOPANGO.				
Fecha de recepción de muestra: 23 DE SEPTIEMBRE DE 2009.		Fecha de Análisis: DEL 23 AL 29 DE SEPTIEMBRE DE 2009.		
Método de Análisis: AZIDA SODICA MODIFICADO, CONO IMHOFF.				
Parámetros	Identificación de la Muestra		Resultados	Norma CONACYT Agua, Aguas Residuales Descargadas a un cuerpo Receptor NSO 13.49.01:09
	CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
DBO ₅	30-09-02	MUESTRA Nº 2: JACINTO DE AGUA. FASE 2	7	60.0 mg/L
OXIGENO DISUELTO			3.1	No Normado
SÓLIDOS SEDIMENTABLES			<0.2	1 mg/L
Observaciones:				
1. El muestreo estuvo a cargo del interesado.				

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

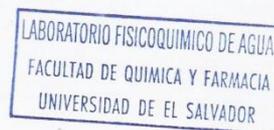
NOTA: El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.

FECHA DE ENTREGA: 01 OCT 2009

[Signature]
Licda. Odette Rauda Acevedo
Jefe del Laboratorio Físicoquímico de Aguas
y Analista

[Signature]
Lic. Henry Alfredo Hernández
Analista

[Signature]
Licda. Rosa Mirian Rivas Larín
Analista



acé*

Final 25 Avenida Norte, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
Teléfono Directo: 2531-2948. Telefax: 2225-4967 Extensión 109.

Figura Nº 26 Informe de resultados de la medición de parámetros físicoquímicos de DBO₅, OD y SS del agua residual de tipo ordinario tratada con planta de Jacinto de Agua en microhumedal No. 2. Fase II.

ANEXO N° 17

Antiguo Cuscatlán 10 de Noviembre de 2009.

Lic. Maricela Lemus
Facultad de Química y Farmacia.
Universidad de El Salvador
Presente.

Reciba un cordial saludo de partes del personal que labora en la Sección
Técnica Científica del Jardín Botánico La Laguna de El Salvador.

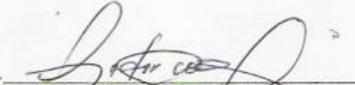
Por medio de la presente hago constar que el día 10 de noviembre de 2009,
se determinaron 2 ejemplares de muestras de la zona Joya Grande, Lago de
Ilopango, Departamento de San Salvador colectadas por la señorita Maira
Griselda Quiusque Argueta de la Universidad Nacional de El Salvador cuyas
plantas serán usadas para el trabajo de investigación de Tratamiento de Aguas
residuales.

Para lo cual certifico que los dos ejemplares examinados corresponden a las
especies siguientes:

Nombre común	Nombre científico	Familia
tule	<i>Typha domingensis</i> Pers.	Typhaceae
jacinto de Agua	<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms	Pontederiaceae



F.


Lic. Daroberto Rodríguez Delcid
Curador del Herbario LAGU
Jardín Botánico La Laguna
El Salvador

Tel. (503) 2244-2012, 2243-2013, 2243-5650

E-mail: darodelcid@yahoo.com

Figura N° 27 Certificación de las plantas de Tule (*Typha domingensis* Pers.)
y Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.)

ANEXO N° 18

CÁLCULOS MATEMÁTICOS⁽⁶⁾.

Oxígeno Disuelto (OD).

Para titular 200 mL de muestra:

1 mL de Tiosulfato de Sodio 0.025 M = 1mg OD/L

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

$$\text{Mg/ L} = \frac{(\text{OD}_1\text{Mx} - \text{OD}_5\text{Mx}) - (\text{OD}_1\text{ B} - \text{OD}_5\text{B})}{\text{Fracción decimal de la muestra usada}}$$

Donde:

OD₁Mx = Oxígeno Disuelto de la Muestra el 1º día.

OD₅Mx = Oxígeno Disuelto de la Muestra el 5º día.

OD₁B = Oxígeno Disuelto del Blanco el 1º día.

OD₅B = Oxígeno Disuelto del Blanco el 5º día.

ANEXO N° 19

Preparación de reactivos.

1. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). (7)

- **Agua destilada:** El agua destilada que se use para la preparación de las soluciones y para el agua de dilución debe de ser de la más alta calidad, y debe de contener menos de 0.01 mg/L de Cu y debe de estar exenta de cloro, cloraminas, alcalinidad cáustica, sustancias orgánicas o ácidos.
- **Solución amortiguadora de fosfato:** Se disuelven 8.5 g de KH_2PO_4 , 21.75 g de K_2HPO_4 , 33.4 g de $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y 1.7 g de NH_4Cl en unos 500 mL de agua destilada, diluyéndose a 1 litro. El pH de esta solución amortiguadora debe ser de 7.2, sin ajuste alguno. Desechar el reactivo (o cualquiera de los reactivos) si hay algún signo de crecimiento biológico en frasco de reserva.
- **Solución de sulfato de magnesio:** Se disuelven 22.5 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada y se diluye a 1 litro.
- **Solución de cloruro de calcio:** Se disuelven 27.5 g de CaCl_2 anhidro en agua destilada y se diluye a 1 litro.
- **Solución de cloruro férrico:** Se disuelven 0.25 g de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada y se diluye a 1 litro.
- **Solución de ácidos o álcalis 1N:** Para la neutralización de las muestras de desechos que sean cáusticas o álcalis.
 - 1) Ácida: Lentamente y mientras se agita, añadir 28 mL de ácido sulfúrico concentrado en agua destilada. Diluir hasta 1L.
 - 2) Básica: Disolver 40 g de hidróxido sódico en agua destilada. Diluir hasta 1L.

- **Solución de sulfito de sodio 0.025 N:** Se disuelven 1.575 g de Na_2SO_3 anhidro en 1000 mL de agua destilada. Esta solución no es estable y se debe de preparar el día que se vaya a usar.
- **Inhibidor de la nitrificación:** 2-cloro-6-(tricloro metil) piridina.
- **Solución de glucosa-ácido glutámico:** Secar glucosa de calidad para reactivos y de ácido glutámico para calidad de reactivos a 103°C durante una hora. Añadir 150 mg de glucosa y 150 mg de ácido glutámico en agua destilada y diluir hasta 1 L. Preparar siempre inmediatamente antes de usarla.
- **Solución de Cloruro de amonio:** Disolver 1.15 g de NH_4Cl en unos 500 mL de agua destilada, ajustar el pH a 7.2 con solución de NaOH , y diluir hasta 1L. La solución contiene 0.3 mg N/mL.
- **Inóculo:** en la determinación de DBO es un factor importante la selección del inóculo adecuado. En muchos casos, particularmente en desechos de industrias alimenticias, se puede lograr un inóculo satisfactorio con el líquido sobrenadante de aguas negras domésticas que previamente se ha mantenido, por 24-36 horas a 20°C .

2. Determinación OD. (7)

- Solución de sulfato manganoso:

Se disuelven 480 g de $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 400 g de $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ó 364 g de $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ en agua destilada, se filtra y se diluye a 1 litro.

- Reactivo de álcali-yoduro-azida:

1) Para muestras saturadas o menos que saturadas: Se disuelven 500 g de

NaOH (ó 700g de KOH) y 135g de NaI (ó 150g de KI) en agua destilada y se diluye a 1 litro. A esta solución se le agrega 10 g de NaN_3 disueltos en 40 mL de agua destilada.

Las sales de potasio y sodio pueden intercambiarse. Este reactivo no debe producir coloración con el almidón, cuando se diluya y acidule.

2) Para muestras sobresaturadas: Disolver 10 g de NaN_3 en 500 mL de agua destilada. Añadir 480 g de NaOH y 750 g NaI y agiter hasta disolución. Se producirá una turbidez blanca debida al carbonato de sodio (Na_2CO_3), pero que no es perjudicial. Precaución: No acidificar esta solución porque se pueden producir humos de ácido hidrazoico.

- **Acido sulfúrico concentrado:** La concentración de este ácido es Aproximadamente 36N por lo tanto, 1 mL equivale a unos 3 mL del reactivo álcali-yoduro-azida.

- **Solución de almidón:** Utilizar una solución acuosa o mezclas solubles de polvo de almidón.

Para preparar una solución acuosa, disolver 2 g de almidón calidad laboratorio 0.2 g de ácido salicílico, como conservador, en 100 mL de agua destilada caliente.

- **Titulante de tiosulfato de sodio patrón:** Se disuelven 6.205 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada recién hervida y enfriada. Añadir 1.5 mL de NaOH ó 0.4 g de NaOH sólido y dilúyase a 1 L. Estandarizar con solución de biyodato potásico 0.0021 M.

- **Solución patrón de biyodato potásico 0.0021 M:** Disolver 812.4 mg de $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$ en agua destilada y se diluye a 1 L.
Estandarización: Disolver aproximadamente 2 g de KI, exento de yodato, en un erlenmeyer con 100 a 150 mL de agua destilada. Añadir 1 mL de H_2SO_4 6N o unas gotas de H_2SO_4 concentrado y 20 mL de solución patrón de biyodato. Diluir a 200 mL y titúlese el yodo liberado con tiosulfato, añadiendo almidón hacia el final de la titulación, cuando se produzca un color paja pálido. Cuando las soluciones tengan igual concentración, se necesitará 20 mL de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.025 M. Si no es así, ajústese la solución de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ a 0.025 M.
- **Solución de fluoruro potásico:** Disolver 40 g de $\text{KF} \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ en agua destilada y diluir a 100 mL.

ANEXO N° 20

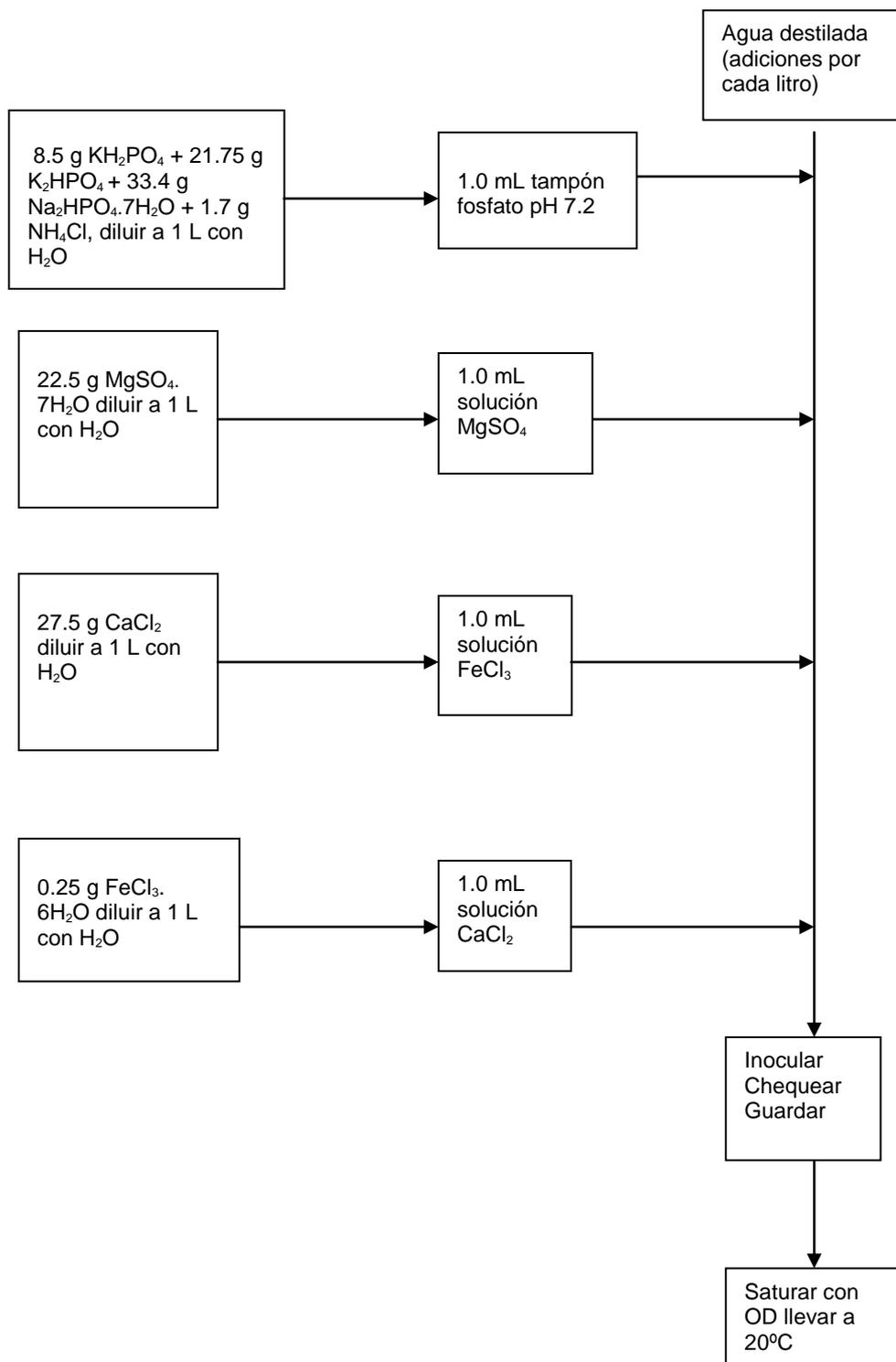


Figura N° 28 Diagrama de preparación del Agua de dilución para la determinación de DBO₅. (8)

ANEXO N° 21

Materiales y equipos utilizados para la determinación de paraámetros fisicoquímicos

Material utilizado para determinación de DBO₅.⁽⁸⁾

- Desecador.
- Termómetro.
- Barras agitadoras forradas de teflón.
- Frascos de incubación de 300 mL con tapón de vidrio y boca especial para sello de agua.
- Erlenmeyer de 500.0, 250.0, 125.0 y 50.0 mL.
- Probetas de 1000.0, 50.0 y 25.0 mL.
- Dispensador de 10.0mL.
- Pizetas de 1000.0 y 500.0 mL.
- Pipetas Morh de 10.0 y 5.0 mL.
- Frascos de vidrio o plástico de 1000.0 y 500.0 mL.
- Espátula.
- Vidrio de reloj.
- Balones volumétricos 2000.0, 1000.0, 500.0, 250.0, 100.0, 50.0, 25.0 y 10.0 mL.
- Beaker de polietileno de 100.0 mL.
- Papel Whatman # 40
- Pipetas volumétricas de 1.0, 2.0, 4.0, 5.0, 10.0, 20.0, 25.0 y 50.0 mL.

Equipo.

- Refrigeradora.
- Incubadora.
- Estufa.
- pH Metro.
- Balanzas Analíticas
- Cámara de extracción de gases.
- Hot Plate
- Agitador magnético.

Material y equipo utilizado para determinación de OD. (8)

- Desecador con sílica gel.
- Barras agitadoras forradas de teflón.
- Frascos de incubación de 300.0 mL con tapón de vidrio y boca especial para sello de agua.
- Erlenmeyer de 500.0, 250.0, 125.0 y 50.0 mL.
- Probetas de 250.0, 100.0 y 50.0 mL.
- Dispensador de 10.0 mL.
- Pizetas de 500.0 y 50.0 mL.
- Pipetas Morh de 10.0 y 5.0 mL.
- Frascos de vidrio o polietileno de 1000.0 mL.
- Espátula.
- Vidrio de reloj.

- Balones volumétricos 2000.0, 1000.0, 500.0, 250.0, 100.0, 50.0, 25.0 y 10.0 mL.
- Beaker de polietileno de 100.0 mL.
- Papel Whatman # 40

Equipo.

- Estufa.
- Balanzas Analíticas.
- Cámara de extracción de gases
- Hot Plate.
- Agitador magnético.
- Bureta de 25 mL.
- Agitador de vidrio.
- Soporte.
- Pinza de sostén.
- Termómetro de 20 °C a 110 °C.

Material y equipo para determinar Sólidos Sedimentables. (8)

- Cono Imhoff

Material y equipo utilizado para determinar Temperatura. (8)

- Termómetro.

Material y equipo utilizado para determinar pH. (8)

- Beaker de 100.0, 200.0 y 500.0 mL.
- Probetas de 100.0 y 200.0 mL.
- Agitador de vidrio.
- Pizetas.

Equipo.

- pH Metro.
- Termómetro

Material de seguridad

- Mascarillas
- Guantes
- Gafas
- Gabacha
- Zapatos cerrados
- Desinfectante para manos