

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS



**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS GRISES MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE UN
HUMEDAL ARTIFICIAL CON UN MÉTODO
FISICOQUÍMICO EN LOS COMEDORES DE LA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

PRESENTADO POR:

CAREN MARIELA BOLAÑOS CALDERÓN

DELMY BEATRIZ GONZÁLEZ SERRANO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERA QUÍMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO 2020

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

DIRECTOR:

INGA. SARA ELISABETH ORELLANA CLAROS

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE
ALIMENTOS

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERA QUÍMICO

Título:

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS GRISES MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE UN
HUMEDAL ARTIFICIAL CON UN MÉTODO
FISICOQUÍMICO EN LOS COMEDORES DE LA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

Presentado por:

CAREN MARIELA BOLAÑOS CALDERÓN

DELMY BEATRIZ GONZÁLEZ SERRANO

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. FERNANDO TEODORO RAMIREZ ZELAYA

SAN SALVADOR, ENERO 2020

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. FERNANDO TEODORO RAMIREZ ZELAYA

AGRADECIMIENTOS.

Llegar al final de este camino ha sido posible gracias a la voluntad de Dios todopoderoso, quien iluminó mi camino, me dio sabiduría, protección y salud, a Dios sea la gloria.

A mis padres. Con su amor y apoyo incondicional, su ayuda en cada momento, me dieron todo y más de lo que necesite, sin duda puedo decir que mis padres son los mejores padres del mundo, sin ustedes no sería quien soy hoy en día, este logro es de los tres y dedicado a ustedes, los amo Néstor Manuel Bolaños y Silvia Jeannette Calderón.

A mi hermano Dr. Oscar Mauricio Caballero, quién es un ejemplo a seguir para mí, te admiro por tu gran humanidad y dedicación, siempre puedo contar contigo y siempre estaré para ti hermano.

A Samy Rivera. Mi otra mitad, estos últimos años tenerte a mi lado ha sido lo mejor, gracias por tu ayuda en muchos detalles de este trabajo, por superar juntos materias difíciles, noches de desvelo, adversidades de la vida, por poner mis pies sobre la tierra, por enseñarme a ser más fuerte cada día y a pelear por mis sueños.

Gracias a mi familia, mis abuelas Rosa Elvira Lorenzana y Zoila Ramírez, han sido un pilar de amor y oraciones. A mis tíos y tías, primos y primas que siempre me han apoyado.

A mi compañera y amiga Delmy Beatriz González, la mejor compañera de tesis, gracias por todo tu esfuerzo y dedicación, por ser tan detallista y estar pendiente de todo, desde que nos conocimos nos complementamos con nuestra forma de trabajo y nuestra amistad. Gracias a Don Carlos Gerardo González por su valiosa colaboración durante la etapa experimental. A mis amigos Nelson Morales y Erick Martínez quienes fueron un gran apoyo estos años. Gracias a mi amiga Angélica que nos colaboró cuando necesitábamos manos para el desarrollo de este trabajo. A mis compañeros Jennifer, Alejandro, Mario y Oswaldo con quienes compartimos risas, buenos momentos y logros.

Gracias a los docentes que contribuyeron con mi formación, especialmente nuestro asesor Ing. Fernando Teodoro Ramírez, Ing. Delmy Rico Peña, Ing. Tania Torres e Ing. Eugenia Gamero. Además, un agradecimiento especial a Ing. Ingrid Alfaro quien nos proporcionó información relevante a nuestra investigación, nos orientó en la zona de recolección de muestras y siempre brindo su apoyo.

Caren Mariela Bolaños Calderón.

Agradezco a Dios Todopoderoso y a la Virgen María por haberme acompañado y guiado a lo largo de este camino de mi carrera universitaria, por brindarme la salud, perseverancia ante los momentos difíciles, por brindarme la fortaleza y la valentía suficiente para superar cada obstáculo que se me presentaba y lograr culminar una etapa más de mi vida.

A mis padres Carlos Gerardo González y Delmi Serrano de González, quienes son mis modelos a seguir, por su apoyo incondicional, por acompañarme en todo el proceso, por ser mi ayuda en los momentos que más los he necesitado, por compartir tantas alegrías y tristezas, por brindarme sus consejos, su confianza, amor incondicional, sacrificios, comprensión y palabras de ánimos que me motivaron a siempre salir adelante cumpliendo todas mis metas propuestas. A mis hermanos Ing. Carlos González y Francisco González por todo su apoyo, por compartir tantos momentos de alegría que siempre les da color a mis días tristes y por sus consejos valiosos.

A mi compañera y amiga Caren Bolaños por su paciencia, compromiso, entrega y compartir tantas aventuras durante el proceso de este trabajo de graduación y a lo largo de toda la carrera universitaria y sobre todo gracias por su valiosa amistad.

A mis amigos que me han acompañado a lo largo de mi vida. En especial a mis amigos que han estado conmigo a lo largo de la carrera universitaria a ustedes: Angélica, Mario, Jennifer, Alejandro, Oswaldo, Samuel y Rosario gracias por tantas risas, ánimos y aventuras vividas a lo largo de estos años en la universidad y sobre todo por su valiosa amistad. A mis amigos de mi infancia: Luisa, Bessy y Armando gracias por su amistad incondicional y por siempre creer en mí que podría lograr llegar a mi meta.

A nuestro asesor el Ing. Fernando Teodoro Ramírez, gracias por todos los conocimientos adquiridos y el apoyo en la realización de este Trabajo de Graduación y además a la Inga. Delmy Rico, Inga. Eugenia Gamero e Inga. Tania Torres por motivarme a ser una profesional de altura, conciencia e integridad. En especial, a la Inga. Ingrid Alfaro por su orientación, ayuda y apoyo en la realización en esta investigación.

Delmy Beatriz González Serrano.

RESUMEN

El agua es uno de los componentes vitales para la vida del ser humano, sin agua, no hay vida, y la calidad de vida a su vez estará asociada a la calidad de agua con la que se abastece y satisface sus necesidades diarias. Esta necesidad ha llevado a la investigación de métodos para dar tratamiento a las aguas después de su uso. Se busca, además, que estos métodos sean eficientes y amigables con el medio ambiente. En este contexto se desarrolla esta investigación, buscando la mejor alternativa para el tratamiento de aguas grises provenientes de los comedores de la Universidad de El Salvador.

Se realiza primeramente un estudio sobre un método biológico de tratamiento a través de humedales artificiales, donde se selecciona un humedal artificial de tipo subsuperficial de flujo vertical. En estos humedales el agua a tratar circula exclusivamente a través de un material granular (arena y gravilla), de permeabilidad suficiente, confinado en un recinto impermeabilizado y que sirve de soporte para el enraizamiento de la vegetación acuática que habitualmente suele ser *Phragmites australis* (Carrizo).

La vegetación que se utiliza en el método es de suma importancia, debe elegirse de acuerdo a los contaminantes que se desea remover, a las condiciones climáticas del lugar, y al tipo de agua al que estará siendo sometida.

Se desarrolla la caracterización de las aguas grises a recibir el tratamiento, con el fin de conocer que parámetros influyen con mayor peso en la contaminación actual de las aguas.

Posterior a la investigación teórica se procede al dimensionamiento a escala real y la construcción y montaje de un humedal artificial a escala piloto, cuya eficiencia ob-

tenida es comparada con un método fisicoquímico convencional de floculación-coagulación, sedimentación y adsorción por carbón activado, donde se evalúa la factibilidad de ambos procesos, los beneficios y ventajas que estos brindan.

En la evaluación del humedal artificial se realiza un análisis económico donde se plantea el costo de inversión, mantenimiento y operación requeridos, así como los beneficios de carácter social que brinda esta alternativa y cuál es el costo de no ser implementada.

Por medio de la comparación de las alternativas se concluyó que el humedal artificial de flujo subsuperficial de flujo vertical es una opción favorable en el tratamiento de aguas grises del área en estudio. Los resultados obtenidos fueron muy satisfactorios, tanto técnicamente con una remoción promedio de parámetros fisicoquímicos del 71.76%, como económicamente con un costo total para el primer año del \$17,065.00, permitiendo generar una alternativa ecológicamente amigable, eficiente e innovadora dentro de la Universidad de El Salvador.

ÍNDICE DE CONTENIDO

TEMA	Pág.
RESUMEN.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	2
ALCANCES.....	3
CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO.....	4
1.1 Generalidades de las aguas residuales.....	4
1.1.1 Tipologías de aguas residuales.....	5
1.2 Tratamiento de las aguas residuales.....	6
1.3 Características de las aguas grises.....	10
1.3.1 Parámetros físicos.....	10
1.3.2 Parámetros químicos.....	11
1.3.3 Parámetros biológicos.....	12
1.4 Humedal Artificial.....	12
1.4.1 Mecanismos de Remoción de Contaminantes en Humedales Artificiales ...	16
1.4.2 Elementos que compone el humedal artificial.....	21
1.4.3 Modelo General de Diseño.....	22
1.5 Vegetación acuática (Macrófitas).....	25
1.5.1 Typha dominguensis Pers.....	25
1.5.2 Zantedeschia aethiopica.....	27
1.5.3 Phragmites australis.....	29
1.5.4 Eichhornia crassipes.....	31
1.5.5 Comparación de las especies macrófitas.....	34
CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	35
2.1 Ubicación del estudio.....	37
2.2 Condiciones climatológicas del área.....	39
2.3 Medición del caudal.....	40
2.3.1 Metodología para la determinación del caudal.....	41
2.4 Metodología para el muestreo del agua residual.....	42
2.4.1 Criterios de selección para la técnica de muestreo.....	42
2.4.2 Metodología de preparación de muestra compuesta.....	45
2.4.3 Determinación de volumen de las alícuotas.....	46
2.5 Medición de Temperatura de las aguas grises.....	47
2.6 Medición del pH.....	47
2.7 Medición de Sólidos Sedimentables.....	48
2.8 Medición de Sólidos Suspendidos.....	49
2.9 Tratamiento de aguas residuales por el método físico-químico de Coagulación – Floculación.....	51

TEMA	Pág.
2.9.1	Teoría de Coagulación - Floculación 52
2.9.2	Prueba de Jarras para agua residual..... 54
2.9.3	Metodología de Prueba de Jarras..... 55
2.10	Tratamiento de aguas residuales por adsorción de carbón activado..... 57
2.10.1	Metodología de tratamiento de agua residual por adsorción de carbón activado. 58
CAPÍTULO 3 DIMENSIONAMIENTO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL..... 59	
3.1	Caudales de entrada..... 59
3.2	Dimensionamiento del humedal artificial..... 61
3.2.1	Constante de Temperatura..... 62
3.2.2	Tiempo de retención (residencia hidráulica)..... 63
3.2.3	Tasa de carga orgánica..... 64
3.2.4	Área superficial del terreno..... 65
3.2.5	Ancho del humedal artificial..... 66
3.2.6	Longitud del humedal artificial..... 67
3.2.7	Pendiente Hidráulica..... 67
3.3	Diseño del humedal artificial a escala piloto..... 68
3.4	Selección de la especie macrófita..... 72
3.5	Proceso de construcción del humedal artificial a escala de planta piloto. . 75
3.5.1	Montaje del sistema..... 76
3.5.2	Puesta en marcha..... 78
CAPÍTULO 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS..... 79	
4.1	Determinación del cumplimiento de parámetros del Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 “AGUA. AGUAS RESIDUALES. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES PARA DESCARGA Y MANEJO DE LODOS RESIDUALES”..... 79
4.1.1	Resultados de la caracterización de las aguas grises proveniente de comedores..... 80
4.1.2	Determinación del cumplimiento de parámetros del humedal artificial..... 83
4.1.3	Determinación del cumplimiento de parámetros del método físico químico. 86
4.2	Comparación y selección de eficiencias del humedal artificial y el sistema de tratamiento físico químico. 89
4.2.1	Comparación de procesos a nivel de planta piloto..... 91
4.3	Estudio de factibilidad económica del humedal artificial..... 92
4.3.1	Costos de inversión del humedal artificial..... 92
4.3.2	Costos de operación..... 93
4.3.3	Costos de mantenimiento..... 94
4.3.4	Valor de salvamento..... 95
4.3.5	Comparación de impactos económicos 95
4.4	Alternativas de reutilización del agua tratada..... 97
4.5	Mantenimiento del humedal artificial..... 98

TEMA	Pág.
4.5.1 Unidad de Pre-tratamiento.....	98
4.5.2 Humedal Artificial.....	99
CONCLUSIONES.....	101
RECOMENDACIONES.....	103
BIBLIOGRAFÍA.....	105
ANEXOS	110
Anexo 1: Proceso de muestreo de las aguas residuales en comedores de la Universidad de El Salvador	111
Anexo 2: Resultados de parámetros químicos del proceso.....	114
Anexo 3: Procedimiento de Medición de pH en aguas residuales.....	118
Anexo 4: Procedimiento de Medición de Sólidos Sedimentables en aguas residuales.....	119
Anexo 5: Procedimiento de Medición de Sólidos Suspendedos en aguas residuales.....	120
Anexo 6: Procedimiento del método físicoquímico de tratamiento de aguas residuales.....	122
Anexo 7: Encuesta de consumo de agua de los comedores.....	124
Anexo 8: Memoria de Cálculos.....	126
Anexo 9: Proceso de ensayo de Prueba de Jarras.....	131
Anexo 10: Proceso de Tratamiento por Adsorción de Carbón Activado.....	134
Anexo 11: Proceso de Construcción del Humedal Artificial a escala Piloto.....	136

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	CONTENIDO	Pág.
Figura 1.1	Vista esquemática de un humedal artificial de flujo superficial	13
Figura 1.2	Vista esquemática de un humedal artificial de flujo horizontal	15
Figura 1.3	Vista esquemática de un humedal artificial de flujo vertical	16
Figura 1.4	Mecanismo de remoción de contaminantes	16
Figura 1.5	Transformaciones del nitrógeno en humedales artificiales	20
Figura 1.6	Componentes de un humedal artificial	21
Figura 1.7	<i>Thypha domingensis</i> pers	26
Figura 1.8	<i>Zantedeschia aethiopica</i> o Cala	29
Figura 1.9	<i>Phragmites Australis</i> o Carrizo	31
Figura 1.10	<i>Eichhornia Crassipes</i>	33
Figura 2.1	Vista espacial de los Comedores Universitarios de la Universidad de El Salvador.	38
Figura 2.2	Promedio mensuales de Temperatura Máxima, Estación Climatológica Ilopango	39
Figura 2.3	Promedio mensuales de Humedad Relativa, Estación Climatológica Ilopango	40
Figura 2.4	Promedio mensuales de Precipitaciones, Estación Climatológica Ilopango	40
Figura 2.5	Esquema general recolección muestras compuestas	44
Figura 2.6	Medición del pH de las aguas grises.	47
Figura 2.7	Medición de sólidos sedimentables de las aguas grises.	48
Figura 2.8	Equipo de filtrado al vacío, para el análisis de sólidos suspendidos	50
Figura 3.1	Plano del Humedal Artificial de tipo Subsuperficial de flujo vertical (Vista Aérea)	69
Figura 3.2	Plano del Humedal Artificial de tipo Subsuperficial de flujo vertical (Vista Frontal)	70
Figura 3.3	Plano del Humedal Artificial de tipo Subsuperficial de flujo vertical a escala piloto	73
Figura 3.4	Vista espacial de la Laguna El jocotal	74
Figura 3.5	Extracción de <i>Phragmites Australis</i> .	75
Figura 3.6	Vista espacial de la Estación Meteorológica de la Universidad de El Salvador	76
Figura 3.7	Depósito para almacenamiento de las aguas residuales	77
Figura 3.8	Montaje del humedal artificial a escala piloto	77

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	CONTENIDO	Pág.
Tabla 1.1	Tratamientos de la línea de aguas.	9
Tabla 1.2	DQO y DBO según fuentes de aguas residuales grises.	11
Tabla 1.3	Mecanismos de remoción de contaminantes en humedales artificiales.	17
Tabla 1.4	Características típicas de los medios para Humedales artificiales	24
Tabla 1.5	Comparación de características comunes de las especies acuáticas.	34
Tabla 2.1	Ubicación geográfica de los comedores universitarios de la Universidad de El Salvador.	37
Tabla 2.2	Clasificación de los tipos de muestreo para las aguas residuales.	43
Tabla 2.3	Material, equipo y reactivo para la medición de sólidos suspendidos.	49
Tabla 2.4	Material, equipo y reactivo para la prueba de jarras a escala de laboratorio.	55
Tabla 2.5	Material, equipo y reactivo para el tratamiento por adsorción de carbón activado.	58
Tabla 3.1	Medición de tiempos de aforo diario en el comedor N°3 de la Universidad de El Salvador.	60
Tabla 3.2	Medición de caudales diario en el comedor N°3 de la Universidad de El Salvador.	60
Tabla 3.3	Determinación del caudal promedio de comedores de la Universidad de El Salvador.	61
Tabla 3.4	Parámetros de dimensionamiento del humedal artificial a escala real.	68
Tabla 3.5	Parámetros de dimensionamiento del humedal artificial a escala piloto.	72
Tabla 4.1	Determinación de análisis de parámetros químicos del agua de los comedores de la Universidad de El Salvador.	80
Tabla 4.2	Medición de Temperatura del agua residual de los comedores de la Universidad de El Salvador.	81
Tabla 4.3	Medición del pH del agua residual de los comedores de la Universidad de El Salvador.	82
Tabla 4.4	Resultados de determinación de análisis de parámetros fisicoquímicos del agua de los comedores de la Universidad de El Salvador.	83
Tabla 4.5	Resultados de análisis parámetros químicos del agua a la salida del humedal artificial.	83
Tabla 4.6	Medición de Temperatura del agua a la salida del humedal artificial.	84
Tabla 4.7	Medición del pH del agua a la salida del humedal artificial.	85

TABLA	CONTENIDO	Pág.
Tabla 4.8	Determinación de análisis de parámetros fisicoquímicos a la salida del humedal artificial.	86
Tabla 4.9	Determinación del pH óptimo.	86
Tabla 4.10	Determinación de la dosis óptima.	87
Tabla 4.11	Resultados de análisis de parámetros químicos del agua en el tratamiento coagulación – floculación.	88
Tabla 4.12	Resultados de análisis de parámetros químicos del agua en el tratamiento por adsorción de carbón activado.	88
Tabla 4.13	Resultados de análisis de parámetros fisicoquímicos del agua en el tratamiento coagulación – floculación.	89
Tabla 4.14	Comparación de resultados de análisis de parámetros fisicoquímicos en las diferentes etapas del proceso.	90
Tabla 4.15	Comparación de procesos del tratamiento de aguas grises a nivel de laboratorio.	91
Tabla 4.16	Presupuesto de costos de materiales para construcción del humedal artificial.	93
Tabla 4.17	Costos de limpieza de la trampa de grasas.	94
Tabla 4.18	Costos de mantenimiento del humedal artificial.	94
Tabla 4.19	Resumen de costos del primer año para el humedal artificial.	95
Tabla 4.20	Impactos económicos.	96
Tabla 4.21	Cronograma de mantenimiento del Pretratamiento y Humedal Artificial.	100

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO	CONTENIDO	Pág.
Gráfico 3.1	Variación del caudal diario en el comedor N°3 de la Universidad de El Salvador.	60
Gráfico 4.1	Variación de Temperatura de agua del afluente.	81
Gráfico 4.2	Variación del pH de agua del afluente.	82
Gráfico 4.3	Variación de Temperatura del agua del efluente del humedal artificial.	84
Gráfico 4.4	Variación del pH del agua del efluente del humedal artificial.	85
Gráfico 4.5	Variación de la turbidez en función de la dosis de coagulante.	87

INTRODUCCIÓN.

Actualmente el recurso hídrico ha sido afectado por los contaminantes vertidos. Estas descargas, debido a las actividades humanas no han sido tratadas y controladas adecuadamente en su totalidad. Se han planteado diferentes medidas para la evaluación y mitigación de los impactos ambientales sobre el recurso hídrico con el fin de determinar y mejorar la calidad de agua que se está vertiendo a los ecosistemas.

En El Salvador se estima que cerca del 90% de las aguas superficiales y subterráneas se encuentran contaminadas, tanto por las aguas residuales de tipo ordinario como por aguas especiales derivadas de las actividades humanas. De acuerdo a algunos estudios, solo un 3.5% reciben algún tipo de tratamiento antes de ser vertidas a cuerpos receptores (MARN, 2013).

En este sentido, se vuelve necesario la validación y generación de tecnologías que permitan la depuración de las aguas residuales, a través de procesos que comprueben la eficiencia en la remoción de contaminantes presentes en ellas. La presente investigación promueve la evaluación de un humedal artificial para el tratamiento de las aguas grises con el fin de obtener a través de la fitodepuración un posterior reúso de las aguas residuales domésticas; en este caso provenientes de los comedores de la Universidad de El Salvador. Las cuales se hará una comparación en el método primario tradicional físico químico de floculación-coagulación y sedimentación para evaluar eficiencia en remoción de contaminantes presentes en dichas aguas, además de una evaluación de viabilidad económica para dicho proceso.

Para ellos se tomarán parámetros de rigor e importancia para descargas a un cuerpo receptor contemplados con los valores permisibles del Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 “AGUA. AGUAS RESIDUALES. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES PARA DESCARGA Y MANEJO DE LODOS RESIDUALES”, vigente en el país, comparando las estimaciones de los resultados que se obtenga en la evaluación de los dos métodos antes mencionados.

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL:

Evaluar las eficiencias de tratamiento de aguas grises mediante la comparación de un humedal artificial con un método fisicoquímico en los comedores de la Universidad de El Salvador.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Realizar la caracterización físico-química y bacteriológica de las aguas grises provenientes de comedores, a la entrada y a la salida del sistema de tratamiento más apropiado.
2. Determinar los parámetros óptimos de diseño del humedal artificial para tratamiento de las aguas grises de los comedores universitarios.
3. Construir un humedal artificial a nivel de planta piloto para evaluar la eficiencia de la remoción de contaminantes y definir si el sistema es el adecuado para el tipo de aguas a tratar.
4. Proponer el uso de un humedal artificial como un sistema viable técnica y económicamente para el tratamiento de aguas grises.
5. Evaluar las condiciones óptimas para la inserción y desarrollo de la especie de vegetación a utilizar en el humedal artificial.
6. Evaluar la eficiencia en la remoción de contaminantes de las aguas grises, mediante una evaluación y comparación del humedal artificial con un sistema de tratamiento convencional.

ALCANCES.

- A. Establecimiento de la medición del caudal promedio de descarga de las aguas grises de los comedores universitarios.
- B. Realizar procedimiento estandarizado para muestreo de aguas grises de los comedores universitarios.
- C. Establecimiento de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua a la entrada y salida del sistema de tratamiento de aguas seleccionado.
- D. Diseño de un humedal artificial a escala piloto para el tratamiento de aguas grises proveniente de los comedores universitarios.
- E. Se realizará la comparación de eficiencias obtenidas en cada tipo de sistema de tratamiento de aguas grises evaluado, para determinar la mejor opción.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO.

El agua constituye uno de los componentes principales de nuestro planeta, es útil en procesos de las actividades humanas tales como el saneamiento, uso de riego, agricultura, procesos industriales, usos domésticos, entre otros.

Alrededor del 70% de la superficie terrestre está cubierta por agua, la cual la mayor parte está distribuida en los océanos y aproximadamente 2.5% de toda el agua en la tierra es dulce en su mayor parte se encuentra en los polos o en superficie subterráneas. Las aguas dulces existentes en la superficie de la tierra que el hombre tiene acceso para sus actividades constituye el 1% de toda la Tierra, por lo cual es un insumo indispensable para la vida humana.

En el presente capítulo se desarrolla, en primer lugar, las generalidades de las aguas residuales, conociendo sus características en el caso de las aguas grises a través de los parámetros, físico, químicos y biológicos. Así mismo, se aborda la descripción de un humedal artificial conociendo los mecanismos de remoción de contaminantes en dicho sistema, elementos que lo componen, el diseño y mantenimiento general del sistema, por último, se aborda la taxonomía de las especies acuáticas existente en el país y su comparación entre ellas para la selección adecuada a climatizar en el diseño del humedal artificial.

1.1 Generalidades de las aguas residuales.

Las aguas residuales se refieren a todos los efluentes provenientes de hogares, establecimientos comerciales e instituciones, hospitales, industrias etc. También incluye aguas pluviales y escorrentía urbana, efluentes agrícolas, hortícolas y acuícolas.

Efluente se refiere a las aguas residuales o residuos líquidos que se descargan en cuerpos de agua ya sea de fuentes directas o de plantas de tratamiento. Influyente se refiere a agua, aguas residuales u otro líquido que fluye a un reservorio, cuenca o planta de tratamiento.

Las aguas negras y grises también son aguas residuales. Se trata de aguas residuales provenientes de inodoros y accesorios de baño, baños, lavaderos, fregaderos, limpiadores y agua sucia similar que se produce en los hogares y lugares públicos. El agua utilizada para regar el césped y los jardines, las piscinas, el drenaje del techo, la escorrentía superficial y las aguas pluviales son aguas residuales, pero no se clasifican como aguas residuales.

El agua natural puede contener una gran variedad de impurezas, características del ciclo hidrológico que experimenta, cuando las impurezas presentan elementos nocivos se denomina contaminantes, esto se traduce al grado que determina si una impureza es contaminante o no. De esta manera se conocen los diferentes tipos de agua (SORTO Y ROMERO, 2013).

1.1.1 Tipologías de aguas residuales.

En la directiva 91/271 CEE, del Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas, se definen Tipologías de Aguas Residuales (CYCLUS, 2019):

- I. Aguas residuales domésticas:** Aquellas procedentes de zonas de vivienda y de servicios generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.

- II. Aguas residuales industriales:** Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.

- III. Aguas residuales urbanas:** Las aguas residuales domésticas o la mezcla de las mismas con aguas residuales industriales y/o aguas de escorrentía pluvial. Todas ellas habitualmente se recogen en un sistema colector y son enviadas mediante un emisario terrestre a una planta depuradora de aguas residuales. Las industrias que realicen el vertido de sus aguas residuales en esta red colectora, habrán de acondicionar previamente sus aguas.

1.2 Tratamiento de las aguas residuales.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales consisten generalmente en una secuencia de procesos que dependen de las características del agua residual a tratar y del grado de purificación requerido según los niveles de contaminación permitidos por la legislación, lo que depende fuertemente del lugar de descarga y cuerpo receptor (ALASINO, 2009).

Según RODRÍGUEZ (2017), la instalación de sistema de depuración de las aguas residuales tiene como objetivo reducir los contaminantes presentes en el agua hasta cumplir con los límites de vertido que establece la normativa o legislación. Para ello, se utilizan determinados procesos que se pueden clasificar de la siguiente manera:

A. Procesos Físicos:

Los procesos físicos son aquellos en los que predomina la aplicación de fuerzas físicas para modificar las características y propiedades del agua. Algunas de las operaciones más comunes que se utilizan en el tratamiento de agua residual urbana son: desbaste, sedimentación primaria y secundaria, floculación, filtración.

B. Procesos Químicos:

Mediante los procesos químicos se logra la transformación o eliminación de contaminantes mediante reacciones químicas. Este objetivo se consigue con el uso de aditivos químicos (coagulantes) para lograr la precipitación de fosfatos o desinfectantes para lograr la eliminación de patógenos.

C. Procesos Biológicos:

El tratamiento biológico se lleva a cabo mediante una serie de procesos que tienen en común la utilización de microorganismos para llevar a cabo la eliminación de componentes solubles en el agua. Estos procesos aprovechan la capacidad de los microorganismos de asimilar la materia orgánica y los nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) disueltos en el agua residual para su propio crecimiento. Cuando se reproducen, se agregan entre ellos y forman unos flóculos macroscópicos con suficiente masa crítica como para decantar en un tiempo razonable.

Según Lapa (2014), estos procesos se combinan a lo largo de la depuración de las aguas, que está compuesta por varias etapas en el sistema de tratamiento que se describen a continuación:

A. Tratamiento Preliminar o Pretratamiento.

El tratamiento preliminar se encarga principalmente de separar la fracción gruesa de los sólidos de la fase líquida. Tiene como misión preparar las aguas residuales entrantes para su posterior tratamiento en el humedal mediante la reducción o remoción de los elementos problemáticos que podrían impedir la operación o incrementar excesivamente los costos de mantenimiento y de los mecanismos de bombeo, en

caso de que los haya. Estos elementos problemáticos típicos suelen ser los sólidos de gran tamaño, los desechos, el polvo, los olores, etc.

B. Tratamiento Primario.

El tratamiento primario consiste en la separación de la materia suspendida mediante operaciones físicas, principalmente la sedimentación. Las aguas residuales sin procesar contienen partículas suspensas más pesadas que el agua. Estas partículas tienden a depositarse por influencia de la gravedad, especialmente en condiciones de inactividad. El tratamiento primario reduce la cantidad de sólidos en suspensión y de carga orgánica que pasarían al humedal y equilibra la calidad y el caudal de aguas residuales hasta un cierto límite.

C. Tratamiento Secundario.

Esta parte se desarrolla mediante procesos biológicos y químicos para remoción principalmente de compuestos orgánicos biodegradables y sólidos suspendidos, los cuales pueden lograrse mediante tanques anaerobios, lagunas de estabilización y humedal artificial de flujo Horizontal o vertical, etc.

D. Tratamiento Terciario.

Incluye la retención del fósforo y del nitrógeno, incluyendo también la eliminación de microorganismos patógenos. (Andreo, 2014).

Existen varias alternativas para cada una de las etapas antes descritas, en las que se pueden observar en la Tabla 1.1:

Tabla 1.1 Tratamientos de la línea de aguas.

Pre-tratamiento	<ul style="list-style-type: none"> - Desbaste - Desarenado - Desengrasado 	<ul style="list-style-type: none"> - Homogeneización y regulación de caudales - Pre-aireación 	
Tratamientos primarios	<ul style="list-style-type: none"> - Decantación primaria - Flotación 	<ul style="list-style-type: none"> - Tratamiento Físico-Químico - Fosas sépticas - Decantadores-digestores 	
Tratamientos secundarios	Aerobios	<i>Fangos activados</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Alta carga - Medio carga - Aireación prolongada - Contacto-Estabilización - Doble etapa - Sistemas secuenciales - Biorreactores con membranas
		<i>Procesos de película fija</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Lechos bacterianos - Biodiscos - Biofiltros aireados - Lechos aireados sumergidos - Sistemas de biomasa fija sobre lecho móvil
	Procesos no convencionales	<i>Lagunaje</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Lagunas anaerobias - Lagunas aerobias - Lagunas facultativas - Lagunas aireadas
			<ul style="list-style-type: none"> - Infiltración-percolación - Lechos de turba - Humedales artificiales - Filtros verdes
Procesos anaerobios			
Tratamientos secundarios con eliminación de nutrientes	<ul style="list-style-type: none"> - Tratamientos con eliminación de nitrógeno - Tratamientos con eliminación de fósforo - Tratamientos con eliminación de nitrógeno y fósforo 		
Tratamientos terciarios	Reducción de DBO₅	<ul style="list-style-type: none"> - Tratamiento físico-químico - Filtración - Micro filtración - Ultrafiltración 	
	Desinfección	<ul style="list-style-type: none"> - Cloro gas - Hipoclorito sódico - Dióxido de cloro - Ozono - Rayos ultravioleta 	
	Reducción de sales	<ul style="list-style-type: none"> - Ósmosis inversa - Electrodialisis reversible - Intercambio iónico. 	

Fuente: (RODRÍGUEZ, 2017, pág. 16).

1.3 Características de las aguas grises.

Las aguas grises son específicamente aguas provenientes de las duchas, lavamanos, lavaplatos y lavandería. En comparación con las aguas negras, poseen una baja carga de nutrientes y materia orgánica.

Sus características varían principalmente según la fuente de donde provengan (ya que no en todas las fuentes se realiza el mismo proceso), del estilo de vida y costumbres de los usuarios, de la calidad de abastecimiento de agua y del tipo de red de distribución que tenga. Además, la composición variará considerablemente tanto en términos del lugar como en términos del tiempo, debido a las variaciones en el consumo de agua en relación con las cantidades descargadas de contaminantes (Moncada, 2011).

1.3.1 Parámetros físicos.

- A. Color.** La coloración de las aguas residuales urbanas determina cualitativamente el tiempo de las mismas. Generalmente varía del beige claro al negro. Si el agua es reciente, suele presentar coloración beige clara; oscureciéndose a medida que pasa el tiempo, pasando a ser de color gris o negro, debido a la implantación de condiciones de anaerobiosis, por descomposición bacteriana de la materia orgánica.
- B. Olor.** Se debe principalmente a la presencia de determinadas sustancias producidas por la descomposición anaerobia de la materia orgánica: ácido sulfhídrico, indol, escatol (3-metilindol procedente de la degradación anaeróbica del triptófano), mercaptanos y otras sustancias volátiles. Si las aguas residuales son recientes, no presentan olores desagradables ni intensos. A medida que pasa el tiempo, aumenta el olor por desprendimiento de gases como el sulfhídrico o compuestos amoniacales por descomposición anaerobia (Andreo, 2014).

- C. Temperatura.** La temperatura de las aguas grises varía entre 18°C y 38°C, siendo las altas temperaturas ocasionadas por el uso de agua caliente para la higiene personal. Las altas temperaturas pueden generar problemas ya que estas favorecen el crecimiento microbiológico.
- D. Sólidos suspendidos.** Estos se generan en mayor medida en la lavandería y cocina, pues las aguas grises provenientes de ambas zonas pueden contener partículas de arena y arcilla. En el caso de la cocina, la generación de estas partículas es el resultado del lavado de frutas y verduras, principalmente (Moncada, 2011).

1.3.2 Parámetros químicos.

- A. La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO),** de las aguas grises difieren según la fuente de generación, tal como se muestra en la Tabla 1.2:

Tabla 1.2 DQO y DBO según fuentes de aguas residuales grises.

Fuente	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)
Baño	184-633	76-300
Lavandería	725-1815	48-472
Cocina	26-1380	5-1460

Fuente: (Moncada, 2011, pág. 20).

- B. Nitrógeno Total.** La concentración es menor en las aguas residuales grises en comparación con la concentración en las aguas residuales domésticas. La fuente principal de nitrógeno en aguas domésticas, es la orina; en las aguas grises la principal fuente de nitrógeno proviene de la cocina.
- C. Fósforo.** La principal fuente de este compuesto en el agua gris son los detergentes.
- D. pH.** El ámbito característico encontrado en las aguas grises es de 6.5- 8.7. El uso de jabones y detergentes pueden incrementar el pH.

E. Aceites y grasas. Las aguas grises provenientes de la cocina son la principal fuente de grasas y aceites. Su presencia en estas aguas puede generar altos niveles de contenido orgánico y por ende dificultar aún más el tratamiento (Moncada, 2011).

1.3.3 Parámetros biológicos.

Según estudios, las aguas grises pueden contener un gran número de indicadores fecales, lo cuál puede ser un riesgo para la salud humana por presencia de microorganismos patógenos. Su presencia en este tipo de aguas, proceden del lavado de manos, lavado de ropa, lavado de vegetales y carnes crudas, entre otros.

Los coliformes fecales son los indicadores de contaminación microbiana más usados, sin embargo, se considera que estos pueden sobreestimar la carga microbiana presente debido a su facilidad de reproducción bajo condiciones cálidas y húmedas que comúnmente se encuentran en tuberías y tanques de almacenamiento (Moncada, 2011).

1.4 Humedal Artificial.

Un Humedal Artificial es una cubeta de poca profundidad rellena de algún tipo de material (substrato), generalmente arena o grava, y plantada con vegetación resistente a condiciones de saturación. Las aguas residuales se introducen en la cubeta y fluyen sobre la superficie o a través del substrato y son vertidas fuera de ésta a través de una estructura que controla la profundidad de dichas aguas en el interior del humedal (ONU-HABITAT, 2008).

La función principal de este sistema es limpiar el agua y su posterior reutilización en el riego de los jardines, también infiltrándola por medio del alcantarillado o descargándola en algún curso natural que exista en las cercanías como ríos o quebradas.

Existen dos tipos de humedales artificiales, de acuerdo al flujo del agua residual en el lecho filtrante o sustrato, los cuales son:

A. Humedales artificiales de flujo superficial (HFS).

En este tipo de humedales el agua se encuentra expuesta directamente a la atmósfera y circula preferentemente a través de los tallos de las plantas. Pueden considerarse como una variedad de los lagunajes clásicos, con las diferencias de que se opera con menores profundidades de la lámina de agua (inferiores a 0.4 m) y de que las balsas se encuentran colonizadas por plantas acuáticas emergentes (véase la Figura 1.1).

Este tipo de humedales suelen instalarse para tratar efluentes procedentes de tratamientos secundarios, y emplearse para crear y restaurar ecosistemas acuáticos. La alimentación a estos humedales se efectúa de forma continua y la depuración tiene lugar en el tránsito de las aguas a través de los tallos y las raíces de la vegetación emergente implantada. Tallos, raíces y hojas caídas sirven de soporte para la fijación de la película bacteriana responsable de los procesos de biodegradación, y las hojas que están por encima de la superficie del agua dan sombra a la masa de agua, limitando el crecimiento de microalgas (Burgos, 2015).

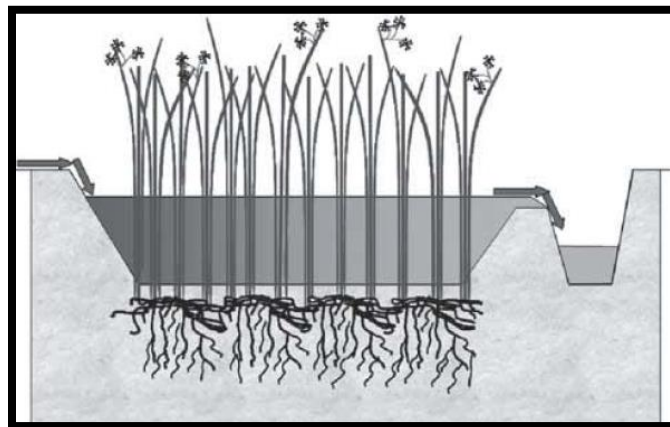


Figura 1.1 Vista esquemática de un humedal artificial de flujo superficial (Burgos, 2015).

B. Humedales artificiales de flujo sub superficial.

En estos humedales el agua a tratar circula exclusivamente a través de un material granular (arena, gravilla, grava), de permeabilidad suficiente, confinado en un recinto impermeabilizado y que sirve de soporte para el enraizamiento de la vegetación que habitualmente suele ser *Phragmites australis*.

Los Humedales artificiales de flujo sub superficial (HFSs) son generalmente instalaciones de menor tamaño que los de Flujo Superficial, y que en la mayoría de casos se emplean para el tratamiento de aguas residuales generadas en núcleos de población de menos de 2,000 habitantes (Burgos, 2015).

Existen dos tipos de direcciones en este tipo de humedales que se describirán a continuación:

I. Flujo Horizontal (FH)

Se le denomina humedal de Flujo Horizontal (FH) porque las aguas residuales se descargan a la entrada y fluyen lentamente a través del substrato poroso bajo la superficie del lecho siguiendo una trayectoria más o menos horizontal hasta que alcanzan la zona de salida. Durante este trayecto, las aguas residuales entran en contacto con una red de zonas anaeróbicas, aeróbicas y anóxicas. Los humedales FH pueden eliminar de forma efectiva los contaminantes orgánicos (SST, DBO₅ y DQO) de las aguas residuales. Debido a la poca transferencia de oxígeno en el interior del humedal, la remoción de nutrientes (especialmente el nitrógeno) es limitada, sin embargo, los humedales FH eliminan los nitratos existentes en las aguas residuales (ONU-HABITAT, 2008).

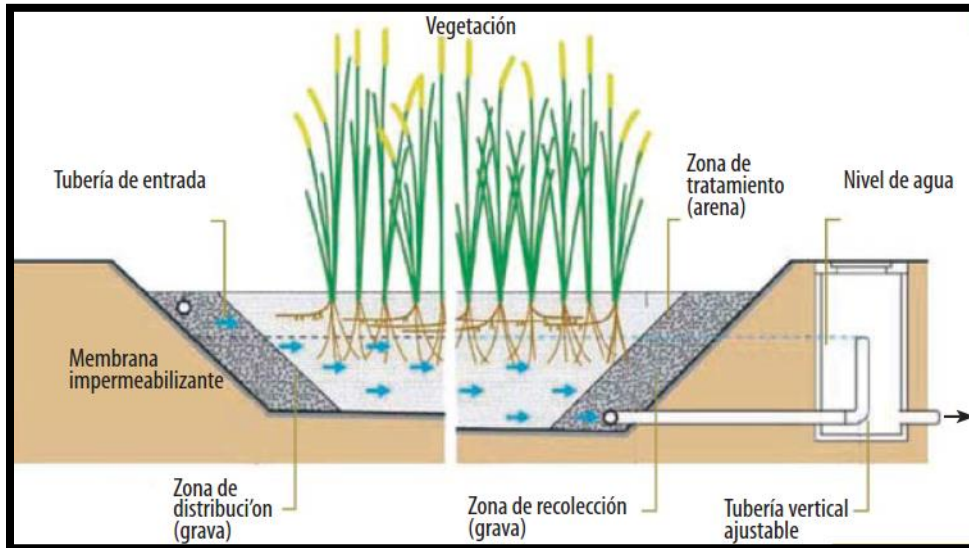


Figura 1.2 Vista esquemática de un humedal artificial de flujo horizontal (ONU-HABITAT, 2008).

II. Flujo Vertical (FV).

Los humedales artificiales de Flujo Vertical (FV) están formados por un lecho plano de arena o grava cubierto por otra capa del mismo lecho filtrante y vegetación. Las aguas residuales son vertidas en la parte superior y se filtran a través del lecho para ser posteriormente recogidas mediante una red de drenaje situada en la base.

Los humedales FV son alimentados de forma intermitente en grandes cantidades que inundan la superficie. El líquido drena gradualmente hacia abajo a través del lecho y es recogido por una red de drenaje situada en la base. El lecho drena completamente hasta quedar libre de líquido, lo que posibilita que haya de nuevo aire. La siguiente dosis de líquido atrapa este aire y junto con a la aireación causada por la rápida presencia de líquido en el lecho, genera una buena transferencia de oxígeno posibilitando, por tanto, la nitrificación. La difusión del oxígeno del aire generado por el sistema de descargas intermitentes contribuye en mayor medida a la oxigenación del lecho de filtrado en comparación con la transferencia de oxígeno por medio de la planta (ONU-HABITAT, 2008).

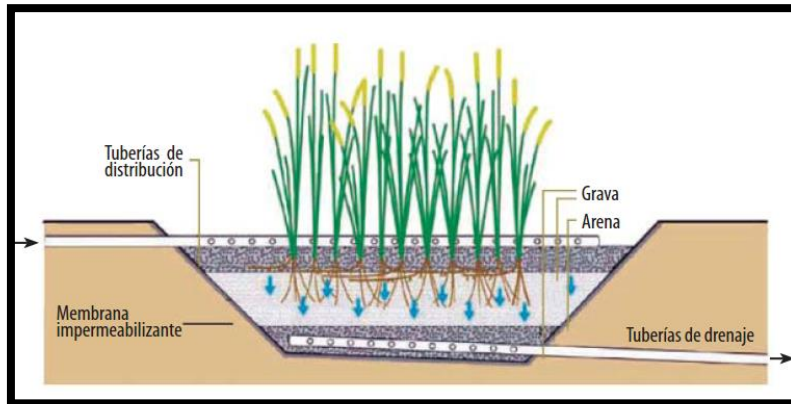


Figura 1.3 Vista esquemática de un humedal artificial de flujo vertical (ONU-HABITAT, 2008).

1.4.1 Mecanismos de Remoción de Contaminantes en Humedales Artificiales

Los humedales artificiales pueden eliminar la mayoría de contaminantes incluyendo orgánicos (DBO, DQO), materias en suspensión, nutrientes (nitrógeno y fósforo), metales pesados y microorganismo. Este proceso de remoción de los contaminantes es regido por un sistema de procesos físicos, químicos y biológicos, como se observa en la Figura 1.4:

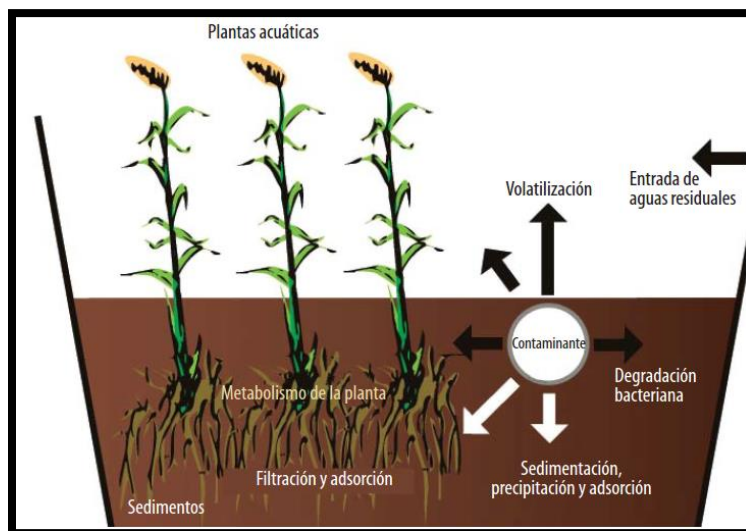


Figura 1.4 Mecanismo de remoción de contaminantes (ONU-HABITAT, 2008).

A continuación, se describirá de los diferentes componentes de las aguas residuales los mecanismos de remoción como puede observarse en la Tabla 1.3:

Tabla 1.3 Mecanismos de remoción de contaminantes en humedales artificiales.

COMPONENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES	MECANISMOS DE REMOCIÓN
Sólidos en suspensión	<ul style="list-style-type: none"> - Sedimentación - Filtración
Orgánicos solubles	<ul style="list-style-type: none"> - Degradación microbiana aeróbica - Degradación microbiana anaeróbica
Fósforo	<ul style="list-style-type: none"> - Adsorción de la matriz - Absorción por la planta
Nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> - Amonificación seguida por nitrificación microbiana - Desnitrificación - Absorción por la planta - Adsorción de la matriz - Volatilización del amoníaco (principalmente en sistemas de flujo superficial)
Metales	<ul style="list-style-type: none"> - Adsorción e intercambio catiónico - Complexación - Precipitación - Absorción por la planta - Oxidación/reducción microbiana
Patógenos	<ul style="list-style-type: none"> - Sedimentación - Filtración - Degradación natural - Depredación - Irradiación UV (sistemas de flujo superficial) - Excreción de antibióticos por las raíces de los macrofitos

Fuente: (ONU-HABITAT, 2008, pág. 12).

A. Materia en suspensión.

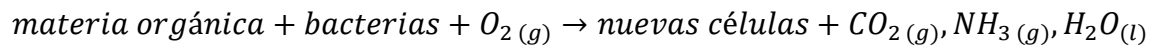
Los sólidos en suspensión como los sedimentados que no son eliminados en el tratamiento primario son eliminados de forma efectiva en el humedal mediante filtración y sedimentación. Las partículas se sedimentan en microceldas estáticas o son forzadas por restricciones de caudal (ONU-HABITAT, 2008).

B. Materia Orgánica.

Según Moncada (2011), la degradación de la materia orgánica disuelta se produce por la presencia de los microorganismos que forman la biopelícula. En este sentido se asume que los compuestos orgánicos son degradados de forma simultánea mediante procesos aeróbicos y anaerobios, aunque resulta difícil cuantificar la proporción en que se producen cada uno de ellos.

I. Degradación aeróbica.

La degradación aeróbica de químicos solubles orgánicos es gobernada por dos grupos de microorganismos: los quimioheterótrofos, que oxidan la materia orgánica y liberan amonio; y los quimioautótrofos, los cuales oxidan el nitrógeno amoniacal a nitrato y nitrito (nitrificación).

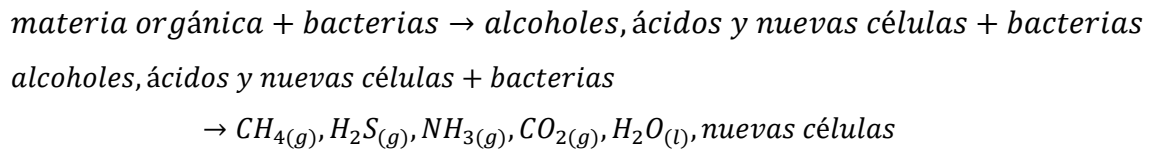


Ambos grupos consumen materia orgánica pero la proporción metabólica más rápida de los heterótrofos significa que ellos son los principales responsables de la reducción de la DBO en el sistema.

II. Degradación anaeróbica.

Es un proceso de dos etapas que se da en ausencia de oxígeno disuelto por bacterias heterotróficas de tipo anaeróbico estricto o facultativo. En el primer paso, las bacterias formadoras de ácido convierten la materia orgánica en nuevas células, ácidos y alcoholes.

Un segundo grupo de bacterias, las bacterias formadoras de metano, continúan la oxidación utilizando de nuevo parte de la materia orgánica para sintetizar nuevas células, pero convirtiendo el remanente a metano y dióxido de carbono.



Las bacterias formadoras de ácido son adaptables pero las formadoras de metano son más sensibles y solamente operarán en el ámbito de pH de 6.5 a 7.5. Una sobre-producción de ácido por las bacterias formadoras de ácido puede resultar en un bajo pH, deteniendo la acción de las formadoras de metano y produciendo malos olores. La degradación anaerobia predomina en sistemas sobrecargados orgánicamente.

C. Nitrógeno.

Los mecanismos de remoción del nitrógeno en los humedales artificiales son manuales e incluyen la volatilización, la amonificación, la nitrificación/desnitrificación, la absorción por la planta y la adsorción de la matriz (véase la Figura 1.5). El amoniaco se oxida y se transforma en nitrato mediante la acción de bacterias nitrificantes en las zonas aeróbicas. El nitrato se convierte en gas dinitrógeno por medio de bacterias desnitrificantes en zonas anóxicas y anaeróbicas (ONU-HABITAT, 2008).

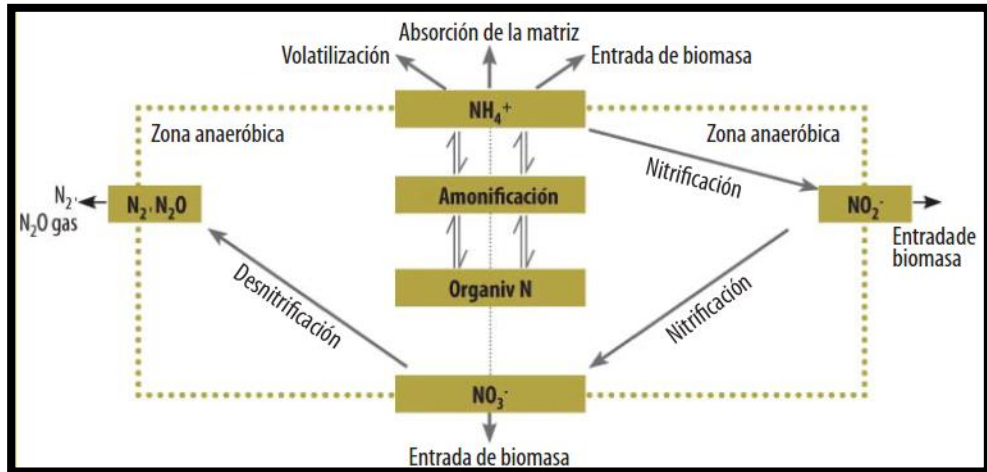


Figura 1.5 Transformaciones del nitrógeno en humedales artificiales (ONU-HABITAT, 2008).

D. Metales.

El proceso de remoción de metales en los humedales artificiales incluye la sedimentación, la filtración, la adsorción, la complejación, la precipitación, el intercambio catiónico, la absorción por la planta y las reacciones mediadas por microbios, especialmente la oxidación. La adsorción implica la unión de iones de metal a la planta o a la superficie matriz mientras que la presencia de bacterias genera la precipitación de óxidos de metal y sulfuros dentro de los humedales. Algunos tipos de humedales disponen de una alta capacidad para la adsorción directa de metales.

E. Patógenos.

Los patógenos son eliminados durante el paso de las aguas residuales a través del sistema, principalmente mediante sedimentación, filtración y adsorción por biomasa. Una vez que estos organismos son atrapados dentro del sistema, su número disminuye rápidamente, principalmente por procesos de degradación natural y depredación (ONU-HABITAT, 2008).

1.4.2 Elementos que compone el humedal artificial.

Un humedal artificial se compone de cinco elementos importantes para su construcción (véase la Figura 1.6):

1. Cubeta
2. Lecho Filtrante
3. Vegetación acuática
4. Membrana impermeabilizante
5. Estructura de entrada y salida

La cubeta excavada se rellena con un sustrato permeable (se ha usado roca, grava, arena y suelo) y el nivel de agua se mantiene por debajo de la parte superior del sustrato, de tal manera que se produzca un flujo subsuperficial. Este sustrato da soporte a las raíces de los mismos tipos de vegetación emergente, plantada en la superficie superior del sustrato.

Por medio de sistemas de estructuras de entrada y salida, se consigue que la distribución y recolección de aguas residuales sea homogénea. En caso de que sea importante proteger las aguas subterráneas, se debe usar una membrana impermeabilizante (ONU-HABITAT, 2008).

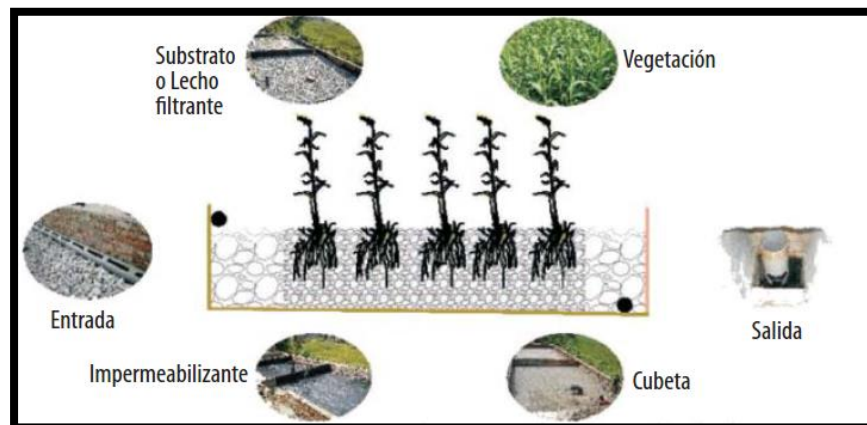


Figura 1.6 Componentes de un humedal artificial (ONU-HABITAT, 2008).

1.4.3 Modelo General de Diseño.

Los sistemas de humedales artificiales pueden ser considerados como reactores biológicos y su rendimiento puede ser estimado mediante una cinética de primer orden de flujo a pistón para la remoción de DBO_5 y nitrógeno (CUEVA Y RIVADENEIRA, 2013).

A. Caudal.

Es necesario calcular el caudal medio del humedal mediante la ecuación 1.1, para estimar las pérdidas o ganancias de agua causada por la precipitación o filtración a través del sistema.

Ecuación básica para determinar el caudal:

$$Q = \frac{Q_e + Q_o}{2}$$

Ecuación 1.1

Donde:

Q : Caudal medio del humedal en m^3 /día.

Q_e : Caudal de entrada o efluente.

Q_o : Caudal de salida o afluyente.

B. Área superficial.

Tras la obtención del caudal, se debe determinar el área superficial mediante la ecuación 1.2:

$$A_s = \frac{Q(\ln(DBO_5)_e - \ln(DBO_5)_s)}{K_T(y)(n)}$$

Ecuación 1.2

Donde:

A_s : Área Superficial.

Q : Caudal.

$\ln(DBO_5)_e$: Concentración del contaminante al ingreso.

$\ln(DBO_5)_s$: Concentración del contaminante al Salida.

K_T : Constante de temperatura en el humedal.

y : Profundidad del Humedal.

n : Porosidad promedio de las capas filtrantes del humedal.

C. Diseño Hidráulico.

El diseño hidráulico de un humedal artificial es crítico para el éxito de su rendimiento. En los humedales de flujo subsuperficial (HFSs) se asumen condiciones uniformes de flujo a pistón, y el flujo debe superar la resistencia por fricción, provocado por el medio, y las raíces de las plantas. La relación largo – ancho tiene gran influencia en el régimen hidráulico como en la resistencia de flujo del sistema, esta relación para humedal no debe superar 4:1 (CUEVA Y RIVADENEIRA, 2013).

La retención hidráulica para alcanzar los niveles de contaminación aceptables para descargas se la consigue mediante la ecuación 1.3:

$$TRH = \frac{(A_s)(y)(n)}{Q}$$

Ecuación 1.3

Donde:

TRH : Tiempo de retención hidráulica en días.

A_s : Área superficial

y : Profundidad del Humedal.

n : Porosidad promedio de las capas filtrantes del humedal.

La conductividad hidráulica del medio varía según los espacios vacíos de este, en el (véase la Tabla 1.4) se muestran los valores estimados para algunos medios que se pueden utilizar para la construcción del Humedal Artificial.

Tabla 1.4 Características típicas de los medios para Humedales artificiales

Tipo de Material	Tamaño efectivo D ₁₀ (mm)	Porosidad, n (%)	Conductividad Hidráulica K _s (m ³ /m ² /d)
Arena fina	2	28-32	100-1 000
Arena gruesa	8	30-35	500-5 000
Grava fina	16	35-38	1 000-10 000
Grava media	32	36-40	10 000-50 000
Roca gruesa	128	38-45	50 000-250 000

Fuente: (CUEVA Y RIVADENEIRA, 2013, pág. 13).

Para determinar la relación largo ancho de un humedal, se determinan la dimensión del ancho del humedal artificial a escala real, según el Instituto Nicaragüense de acueductos y alcantarillados (2008), se establece una relación Largo/Ancho que puede establecerse entre 2:1 a 4:1, y esta viene determinada por la ecuación 1.4:

$$W = \sqrt{\frac{A_s}{R_A}}$$

Ecuación 1.4

Dónde:

W : Ancho del Humedal

A_s : Área Superficial

R_A : Es la proporción, como longitud/ancho.

Y el largo del Humedal:

$$L = \frac{A_s}{W}$$

Ecuación 1.5

1.5 Vegetación acuática (Macrófitas).

La vegetación acuática cumple una función importante en el tratamiento de las aguas grises por medio de los humedales artificiales, ya que por medio de sus raíces ayudan a incrementar el proceso físico de filtración y el desarrollo de los microorganismos en la superficie del sistema. A continuación, se hará una pequeña descripción de la taxonomía de algunas especies acuáticas.

1.5.1 *Typha domingensis* Pers.

Typha domingensis Pers (Tule o Espadaña) es una especie de rápido crecimiento y elevada biomasa y, por lo tanto, posee una elevada capacidad competitiva frente a otras especies emergentes. Es una monocotiledónea perteneciente a la Familia Typhaceae, es una especie de amplia distribución mundial. Esta especie es ampliamente estudiada en humedales naturales y construidos para el tratamiento de diversos efluentes debido a su elevada resistencia a los contaminantes.

T. domingensis puede tolerar condiciones drásticas como pH=10 y salinidad 8 000 mg/L ya que no se observan signos de senescencia de las plantas. Es una especie que puede ser utilizada en humedales construidos para tratamiento de efluentes con alta salinidad y pH, características comunes de muchos efluentes industriales (Mufarrege, 2012).

Florece de julio a noviembre. Tallos 2.5 – 4.0 m de alto. Hojas 10 o más, lineares, planas, hasta 2.5 m de largo y 1.5 cm de ancho, raíces de 0.3 – 0.4 m. Se desarrolla en temperaturas deseables de 10°C – 30°C. Inflorescencias con las flores estaminadas y pistiladas separadas; inflorescencias carpeladas café-bronceadas; polen solitario; Localmente abundante en aguas poco profundas o en áreas inundadas, en las zonas norcentral y pacífica; 0 – 900 m; Golfo de México hasta Argentina.

Es robusta, 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 Nitrógeno y Fósforo por vía de la poda y cosecha. Los rizomas de Espadaña plantados a intervalos de aproximadamente 0.6 m pueden producir una cubierta densa en menos de un año. Tiene una baja penetración en grava (0.3 m) por lo que no es recomendable para sistemas de flujo subsuperficial (SORTO Y PINEDA, 2013).

Hábitat y ecología: Suelos húmedos, inundados o encharcados la mayor parte del año, en aguas de diferente tipo, desde dulces hasta subsalinas, está muy bien adaptada a los hábitats acuáticos alterados o contaminados, ricos en nutrientes; 0-1100 m.

Requerimientos ecológicos: **Luz:** Crece a plena luz, aunque soporta sombra. **Temperatura:** Calor moderado. Piso montano principalmente. **Continentalidad:** Intermedia. **Humedad:** Suelos encharcados. **Acidez:** Suelos ricos en bases; pH de 5.5 – 10; indicadora de alcalinidad. **Nitrógeno:** Suelos moderadamente pobres o ligeramente ricos; no está presente en suelos muy fertilizados (Asturnatura. 2019).



Figura 1.7 *Thya domingensis* pers (Foto por Humberto Vidal Fariña)

1.5.2 *Zantedeschia aethiopica*.

La cala o *Zantedeschia aethiopica* es una planta herbácea de follaje perenne que se destaca por sus singulares y hermosas flores. Su origen viene del Sur de África y puede cultivarse tanto en la tierra como en el medio acuático y se puede colocar en lugares internos y externos, ya que se destaca por resaltante belleza y elegancia.

Esta planta vivaz contiene un agradable perfume y ornamentalmente se cultiva por sus vistosas espatas de color blanco, son órganos decorativos muy parecidos a los pétalos. Es robusta y la más naturalizada de su género y a pesar de ser de origen tropical, puede llegar a soportar las heladas vegetando solamente de un tallo carnoso subterráneo que puede rebrotar cada año.

Entre las características más resaltantes de la cala o *Zantedeschia aethiopica* se encuentran:

- a) Esta planta herbácea puede alcanzar una altura hasta de 100 centímetros, y requiere de un espacio normal de 0.6 m.
- b) Construye un rizoma en el suelo donde se encuentra, para formar las raíces y las hojas. Sus raíces van de 0.3 – 0.6 m.
- c) Las hojas que desarrolla son bastante grandes, son de color verde oscuro brillante y contienen peciolos largos de 30 centímetros de longitud. El limbo tiene la misma longitud que el peciolo, también tiene un ápice erecto y un nervio central prominente.
- d) Las flores poseen una inflorescencia espádice en la terminación de un péndulo alargado y circular. Se encuentra envuelta por una bráctea blanca con forma de cucurucho. Estas son bisexuales, en la parte de arriba son masculinas y en la parte de abajo femeninas.
- e) Su reproducción suele ser sencilla, se puede hacer por medio de las semillas o por la compartición de la planta.

A pesar de que la *Zantedeschia aethiopica* es resistente y su vegetación se da con bastante facilidad, necesitan ciertos cuidados como los que se mencionan a continuación:

- a) Se pueden cultivar tanto en el interior como en el exterior, pero se desarrollan mejor en lugares sombreados. Se debe tener en cuenta que el aire de la calefacción y del aire acondicionado logra dañar significativamente la planta.
- b) Aunque se mantienen en temperaturas estables de 14°C y 20°C, pueden soportar el frío mientras se mantenga protegida, y su rango efectivo de pH debe estar entre 5.0 – 8.0.
- c) Es muy importante que mantengan humedad del suelo, ya que debe ser constante. Para esto se le puede colocar un plato debajo de la maceta para esté siempre húmeda.
- d) En la época de crecimiento y floración se debe regar la planta constantemente, en otoño se puede reducir el aporte de agua hasta que llegue el invierno que es la temporada que no necesitará del regado.
- e) En la temporada de floración es necesario aplicarle fertilizantes líquidos que sean ricos en potasio al menos cada dos semanas, para que mantenga su belleza, especialmente si se tiene una variedad en colores.
- f) Cuando estén en crecimiento, pero no floreciendo, se le pueden aportar fertilizantes solubles en agua cada quince días. Se debe cuidar la salinidad ya que es poco tolerante a ella.
- g) En caso de que se corte la flor antes de que se reproduzca la semilla, igualmente podrá florecer nuevamente.
- h) Se deben cuidar de los caracoles, las moscas blancas, los pulgones y las babosas, ya que tienden a atacar este tipo de plantas y podría ser peligroso (EL ARBOL, 2019).



Figura 1.8 *Zantedeschia aethiopica* o Cala (elarbol.org,2019)

1.5.3 Phragmites australis.

El *Phragmites australis* o carrizo es una planta fanerógama perteneciente a la familia de las Poáceas o Gramíneas, también se le conoce como caña, caña de borde, caña de río, cañavera, cañafila, cañeta, cañilga, cañiza, cañota, jiscas, manchega o sisca, entre otros. Esta planta perenne posee un largo rizoma leñoso rastrero que se desarrolla sobre el terreno en busca de agua.

El carrizo es considerado una planta de relevancia medioambiental, ya que restaura y estabiliza los ecosistemas naturales de zonas húmedas y costeras internas. Además, es una de las más comunes y utilizadas en estanques y lagunas artificiales, por lo que se considera un importante elemento ornamental.

Sus principales características son:

- a) Flexibles y alargados tallos o cañas, con entrenudos que llegan a superar los 3 metros de altura, que emergen de sus raíces.
- b) Envainadoras hojas alargadas, agudas y de lígula pelosa, que se encuentran a lo largo de las cañas, las cuales según se dijo anteriormente son de color verde en primavera y luego se vuelven amarillo cañizo cuando alcanza su altura definitiva.

- c) Los tallos terminan en una inflorescencia, conocida como panículas, las cuales lucen un gran número de flores pequeñas de poco valor individual cuando se trata el tema ornamental.
- d) Las flores en conjunto tienen un aspecto ramoso, estas al fecundarse dan frutos cariósidos.
- e) El hábitat ideal para el *Phragmites australis* son los suelos húmedos o encharcados, estanques, lagunas, zonas de marjal u orillas de arroyos, ríos, ramblas y cursos de agua.
- f) Esta planta es bastante rústica, soporta niveles de salinidad moderados, bien sea en el suelo o en el agua.
- g) Alcanza grandes magnitudes, llegando a medir de 1 m hasta 4 m de altura, y requiere un espacio normal de 0.20 m.
- h) Estos carrizales suelen estar ocupados por diversas aves acuáticas, aquí ellas nidifican fácilmente.
- i) Se da en suelos con poca acidez, con un pH de 4.5 a 7.5. Suelos a la vez ricos en nutrientes.
- j) Se encuentra en todo el mundo, en algunas zonas tiene forma invasiva.

Los múltiples usos del carrizo van de acuerdo a la cultura, por ejemplo, en África algunas tribus lo usan para hacer pipas y para cortar los cordones umbilicales, en Polonia y Rumania se usa en la industria química y papelera, como materia prima, algunos países lo usan como alimento consumen los brotes y el rizoma tostado, Estados Unidos y algunos países de Europa lo utilizan en el tratamiento de aguas residuales, en México es utilizado en el mallado de la construcción de casas de adobe.

Para su uso la recolección de la misma se lleva a cabo con la entrada de las lluvias, luego de que la planta ha superado los 2.5 metros de altura.

Los cuidados del carrizo son bastante simples, constan básicamente en proveer a la planta de sus necesidades, como son:

- a) Abundante luz, pues la misma crece a plena luz, soporta poco la sombra.
- b) Aguanta un calor moderado.
- c) Debe proveerse de abundante agua, humedad o riego, la necesaria para que el piso sea montano (El Árbol, 2019).



Figura 1.9 Phragmites Australis o Carrizo (elarbol.org,2019)

1.5.4 Eichhornia crassipes.

Eichhornia crassipes o Jacinto de Agua, de la familia Pontederiaceae, es originaria de la América del Sur tropical y una hierba exótica en las cálidas aguas del mundo. Sus rosetas, estolones y vistosas flores azules flotan en la superficie del agua y sus raíces y rizomas se extienden hacia la columna de agua. En la base de cada hoja hay un pecíolo en forma de bulbo lleno de espacios de aire que mantienen a la planta flotante. Suele ser inferior a 0.5 m, y sus raíces de 0.02 – 0.6 m, requiriendo espacio normal de 0.5 m. Sus flores son polinizadas por insectos y autocompatibles. La polinización parece ser más exitosa en áreas tropicales donde los polinizadores de insectos son más numerosos. La floración comienza de 10 a 15 semanas después de la germinación y una inflorescencia con 20 flores produce hasta 3000 semillas. Se pueden producir hasta cuatro inflorescencias por una sola roseta en un período de 21 días. En los trópicos y subtrópicos, E. crassipes florece durante 5 a 9 meses. La mayoría de los nuevos individuos surgen a través de la reproducción

asexual cuando se forman rosetas hijas en nodos a lo largo de los estolones (Cronk y Fennessy, 2001).

Descripción del hábitat del Jacinto de agua: El jacinto de agua ahora florece en todos los continentes. Crece en estanques poco profundos, humedales y pantanos, aguas que fluyen lentamente, lagos, embalses y ríos. Las plantas pueden tolerar los extremos de la fluctuación del nivel del agua y las variaciones estacionales en la velocidad del flujo, y los extremos de disponibilidad de nutrientes, pH entre 6.0 y 8.0, temperatura y sustancias tóxicas.

El crecimiento del jacinto de agua es en gran medida por las aguas ricas en nutrientes, particularmente aquellas ricas en nitrógeno, fósforo y potasio. Originada en las regiones tropicales de América del Sur, esta maleza presenta sensibilidad a las heladas y no tolera el agua salobre. La salinidad puede limitar o modificar su distribución (por ejemplo, en las lagunas costeras de África occidental, donde el jacinto de agua se acumula durante la estación húmeda y se reduce a regiones salinas durante la estación seca).

El jacinto de agua se reproduce tanto vegetativamente como sexualmente. La planta florece durante todo el año en climas suaves, produciendo abundantes cantidades de semillas de larga vida. Sin embargo, se ha informado que la reproducción sexual es limitada y, aunque las flores de la planta son abundantes, pocos observadores han visto semillas o plántulas en el campo. El fructificación máximo se produce en un 90% de humedad y entre 22.5°C y 35°C. Varias especies de abejas polinizan las flores y varios investigadores reportan un alto nivel de auto-compatibilidad. La alta intensidad de luz y la alteración de las temperaturas altas y bajas (5°C a 40°C) favorecen la germinación.

Entre los usos del jacinto del agua es para la eliminación de nutrientes y metales pesados de las piscinas de aguas residuales y lodos (biorremediación). Desde finales de la década de 1980, el uso del jacinto de agua ha disminuido enormemente y

su uso exclusivo ahora es para alimentar patos y como planta de prueba para la purificación de agua contaminada (Global Invasive Species Database, 2019).



Figura 1.10 *Eichhornia Crassipes* (Foto por Colin Wilson)

1.5.5 Comparación de las especies macrófitas.

Tabla 1.5 Comparación de características comunes de especies acuáticas utilizadas en humedales artificiales.

NOMBRE CIENTÍFICO DE LA VEGETACIÓN	NOMBRE COMÚN DE LA VEGETACIÓN	TEMPERATURA DESEABLE (°C)	PROFUNDIDAD DE LAS RAÍCES (m)	MÁXIMA SALINIDAD TOLERABLE	RANGO EFECTIVO DE PH	VELOCIDAD DE CRECIMIENTO	ESPACIO NORMAL (m)	LUZ
Thypha dominguensis pers	Tule o Espadaña	10 °C- 30 °C	0.3 m - 0.4 m	8000 mg/L Buena tolerancia a salinidad	5.5 - 10	Rápida	0.6 m	Crece a plena luz, aunque soporta sombra
Zantedeschia aethiopica	Cala	14 °C - 20 °C	0.3 m - 0.6 m	Poca tolerancia a salinidad	5.0 - 8.0	Moderada	0.6 m	Sombra y/o semi sombra
Phragmites australis	Carrizo	Calor moderado	1 m - 4 m	Soporta niveles moderados	4.5 - 7.5	Lenta	0.20 m	Crece a plena luz, aunque soporta sombra
Eichhornia Crassipes	Jacinto de agua	22.5 °C - 35°C Poca resistencia a bajas temperaturas	0.02 m - 0.6 m	No tolera el agua salobre	6.0 - 8.0	Moderada	0.5 m	La alta intensidad de luz favorece la germinación

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo se desarrolla, en primer lugar, la ubicación del estudio para el muestreo y mediciones de caudal de las aguas grises. Así mismo, la metodología de cada aspecto físico y químico de las aguas residuales a tratar, parámetros de entrada de suma importancia para el dimensionamiento del humedal artificial.

Para la caracterización de las aguas grises proveniente de los comedores de la Universidad de El Salvador es necesario tomar en cuenta diferentes aspectos físicos y químicos, los cuales son de importancia para el dimensionamiento del humedal artificial, además, su evaluación está regulada por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 “AGUA. AGUAS RESIDUALES. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES PARA DESCARGA Y MANEJO DE LODOS RESIDUALES” que reflejan los métodos de análisis para la determinación de los parámetros y las condiciones del agua residual en vía de su tratamiento.

A. Aspectos Físicos:

- I. *Sólidos Sedimentables*: Los sólidos en las aguas residuales que son lo suficientemente grandes o densos para asentarse en el tiempo que se permite que las aguas residuales pasen a través del tanque de sedimentación. Los coloides o partículas más ligeras permanecen en el efluente y no se depositan. Los sólidos sedimentables se miden en un cono Imhoff (Smith y Scott, 2005).
- II. *Sólidos Suspendidos*: Los sólidos suspendidos en un líquido incluyen sólidos sedimentables y no sedimentables. Los sólidos suspendidos totales se miden filtrando el agua a través de un filtro de membrana de 0,45 μm (o posiblemente un papel de filtro de fibra de vidrio) y secando el papel a 105°C durante 1 h (Smith y Scott, 2005).

- III. *Temperatura*: Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. Se expresa en °C (GUEVARA Y MARTÍNEZ, 2017).

B. Aspectos Químicos:

- I. *Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)*: Una medida de la cantidad de sustancias orgánicas biodegradables en el agua. Se expresa como la cantidad de miligramos de oxígeno requeridos por los microorganismos para oxidar los orgánicos en un litro de agua. En la prueba estándar, se incuba una muestra del agua o una dilución a 20°C durante 5 días (DBO). Una muestra en blanco muestra cuánto disminuye el oxígeno disuelto en el agua de dilución con el tiempo. El agua de dilución se siembra con bacterias, típicamente agregando unos pocos ML de efluente de aguas residuales y algunos nutrientes inorgánicos (Smith y Scott, 2005).
- II. *Aceites y Grasas*: Sustancias químicas no miscibles en el agua, pero soluble en solventes designados en los métodos de análisis. La prueba de grasas y aceites flotantes no mide un tipo exacto de estas sustancias; más bien los resultados vienen determinados por la prueba (SORTO Y ROMERO, 2013).
- III. *Demanda Química de Oxígeno (DQO)*: Es una medida de la capacidad del agua para consumir oxígeno durante la descomposición de la materia orgánica y la oxidación de sustancias químicas inorgánicas como amoníaco y nitrito (GUEVARA Y MARTÍNEZ, 2017).
- IV. *pH*: La determinación del pH en agua residuales es un parámetro importante, pues determina la calidad de la misma. Existe un intervalo de pH óptimo para el desarrollo de la vida que se encuentra entre 6.5 a 8.5, si este es alterado, provocará una acidez o basicidad de la misma que producirá la muerte de la vida acuática (GUEVARA Y MARTÍNEZ, 2017).
- V. *Detergentes*: Sustancias solubles en agua que contienen un tensioactivo más un adyuvante y posiblemente también un blanqueador o abrillantador. Solo

del 15 al 35% de detergente comercial es tensioactivo. Los tensioactivos son compuestos orgánicos de cadena larga que contienen grupos solubles en agua y en aceite (Smith y Scott, 2005).

2.1 Ubicación del estudio.

Los comedores universitarios forman parte del área de la Ciudad Universitaria de la Universidad de El Salvador, ubicada a 222.37 m del Polideportivo de la Universidad de El Salvador y 174.91 m de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (véase la Figura 2.1) con coordenadas como puede observarse en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Ubicación geográfica de los comedores de la Universidad de El Salvador.

Punto	X	Y	Elevación
Comedor Universitario	89°12'9.94"	13°43'10.84"	700 m

Fuente: Google Earth, 2019

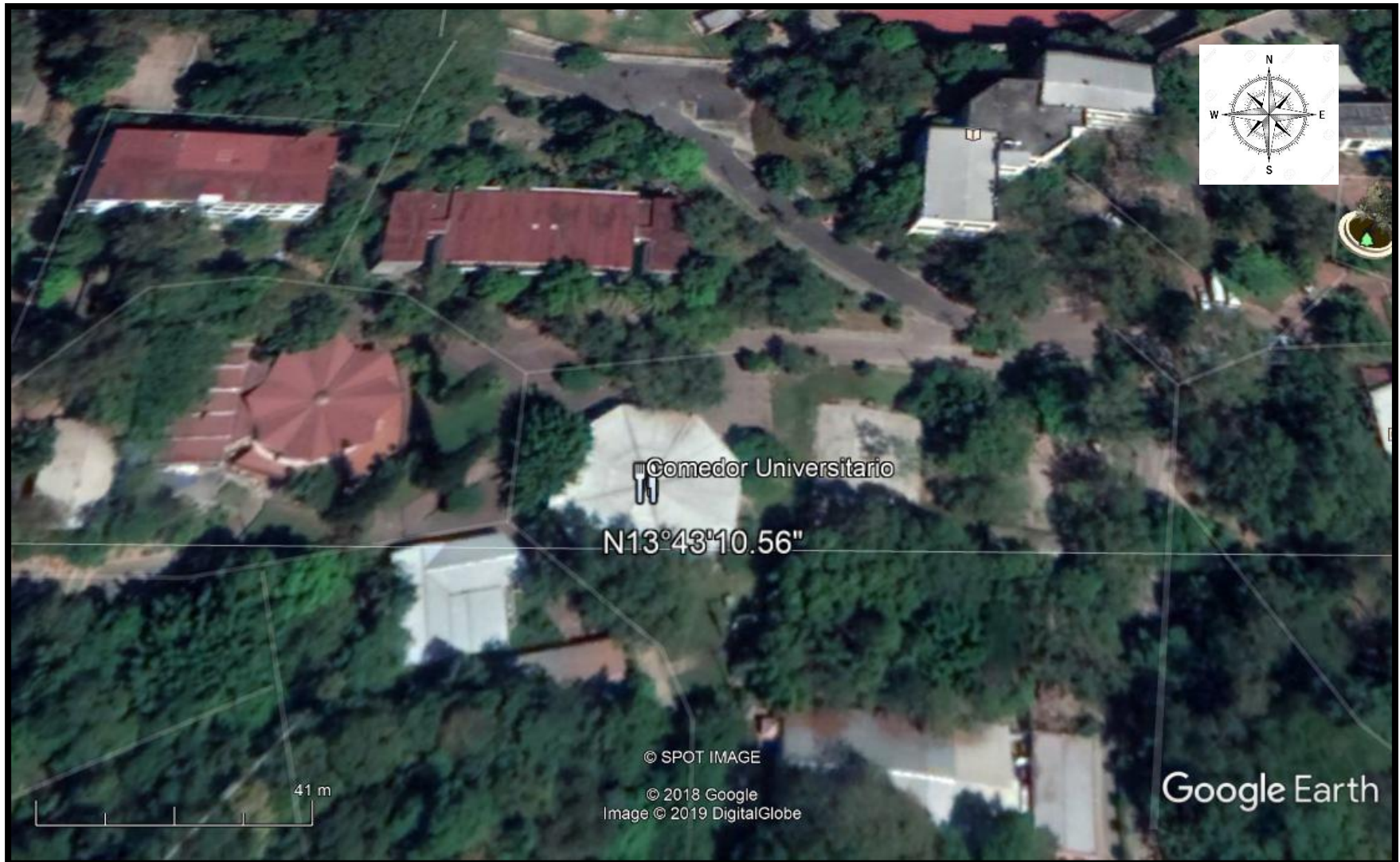


Figura 2.1 Vista espacial de los comedores de la Universidad de El Salvador (Google Earth).

2.2 Condiciones climatológicas del área.

Para determinar las condiciones climatológicas del área de los comedores universitarios, se tomaron datos proporcionados por el Sistema Nacional de Estudios Territoriales (SNET) del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la estación climatológica de Ilopango ubicada a 10 km al Este de la ciudad de San Salvador.

Según el informe de Perfiles Climatológicos (MARN, 2019) la región donde se ubica la estación es considerada como zona de Sabana Tropical Caliente (0 – 800 msnm). Los rumbos de los vientos son predominantes del Norte durante la estación seca y la estación lluviosa, la brisa marina del Sur y Sureste ocurre después del mediodía, la velocidad promedio anual es de 8 kilómetros por hora.

La temperatura anual de la estación oscila entre 34°C como temperatura máxima promedio registrándose en el mes de abril y una temperatura mínima promedio de 20°C registrándose en el mes de mayo (véase la Figura 2.2).

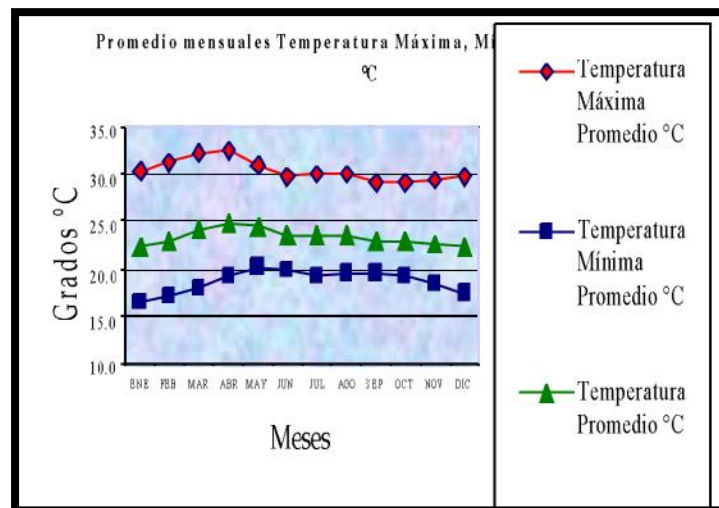


Figura 2.2 Promedio mensuales de Temperatura Máxima, Estación Climatológica Ilopango (MARN,2019).

En cuanto a la humedad relativa y precipitaciones promedios mensuales en la estación meteorológica, se puede apreciar un promedio de 85% de humedad relativa y 350 mm de precipitación registrado en el mes de septiembre (véase las Figura 2.3 y Figura 2.4).

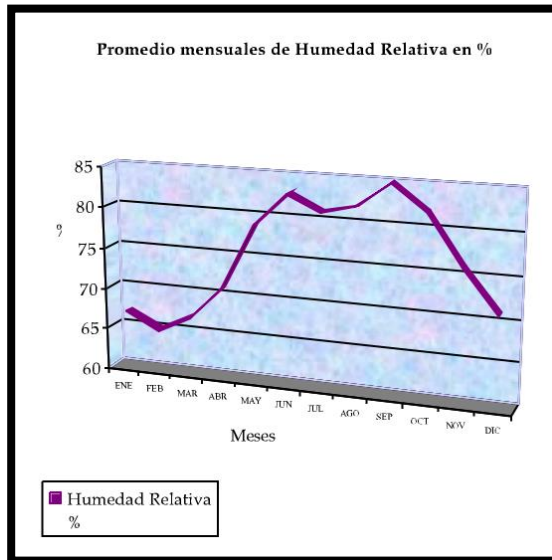


Figura 2.3 Promedio mensuales de Humedad Relativa, Estación Climatológica Ilopingo (MARN,2019).

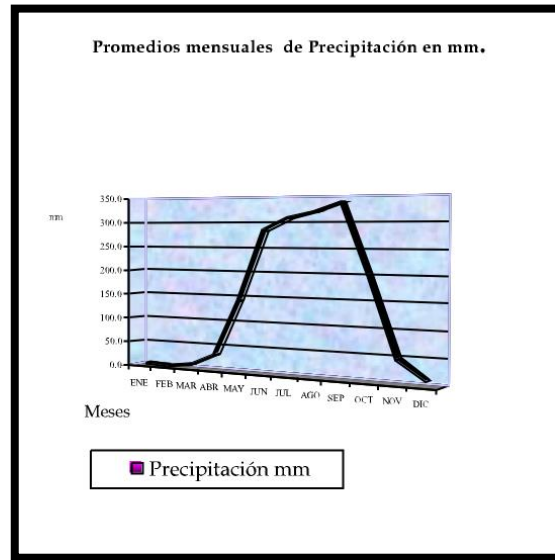


Figura 2.4 Promedio mensuales de Precipitaciones, Estación Climatológica Ilopingo (MARN,2019).

2.3 Medición del caudal.

Para calcular el caudal del efluente o descarga del área de los comedores se utiliza el método volumétrico, recomendado para la medición de pequeños caudales como los que escurren en surcos, pequeños canales o tuberías (GUEVARA Y MARTÍNEZ, 2017). El método requiere de:

- a) Depósito (balde o tambor) de volumen conocido en el cual se colecta el agua.
- b) Cronómetro para medir el tiempo de llenado del depósito.
- c) Repetir 2 o 3 veces el procedimiento y promediar para asegurar mayor exactitud.

Para obtener el cálculo del caudal se determinará por la ecuación 2.1:

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

Ecuación 2.1

Dónde:

Q : Caudal del efluente

V : Volumen del recipiente

t : Tiempo

2.3.1 Metodología para la determinación del caudal.

Para la obtención del caudal se mide de forma manual en un comedor representativo de los cinco que existente en el lugar, con la utilización de un cronómetro y un recipiente con una capacidad volumétrica de 1000 ML, con el cual se toman los volúmenes de muestra tomando el tiempo requerido desde que se introduce a la tubería de descarga hasta que se retira de ella.

Una vez realizadas las mediciones del caudal durante cinco días consecutivos, se procede a obtener un promedio diario de descarga de las aguas usada para el lavado de las diferentes actividades en los comedores, obteniendo así un volumen por día.

Conociendo este dato se determina el consumo diario de cada uno de los 5 comedores por medio indirecto obtenido a través de recolección de información por medio de una encuesta a cada uno de los encargados de cada comedor (véase el Anexo 7), el cual nos permite conocer de manera investigativa el uso del agua en las distintas actividades que se realizan en los comedores antes descritos.

2.4 Metodología para el muestreo del agua residual.

Posterior a la determinación del caudal, es necesario medir los parámetros de importancia para el estudio de las aguas grises en base a un procedimiento de muestreo adecuado que proporcionará la información necesaria para el interés del estudio.

El muestreo es el primer paso para la determinación de la calidad de una fuente de agua, por lo que la persona que recoge una muestra y la lleva al laboratorio es responsable de la validez de los resultados. En este sentido se debe asegurar que la muestra sea representativa de la fuente cuya calidad se desea evaluar, y que no se deteriore, ni se contamine antes de llegar al laboratorio, ya que la calidad de los resultados, depende de la integridad de las muestras que ingresan al mismo. Por esto se recalca que la toma de la muestra se debe realizar con sumo cuidado, a fin de garantizar que el resultado analítico represente la composición real de la fuente de origen, y que antes de iniciar el muestreo se debe consultar al laboratorio sobre las condiciones en que éste debe desarrollarse y la información mínima requerida (SERRANO, 2013).

2.4.1 Criterios de selección para la técnica de muestreo.

Previo a un muestreo es importante tener claramente definido varios aspectos; entre los cuales están: la forma como sean tomadas las muestras, revisando el presupuesto, el personal con que se cuenta, la capacitación del personal, el transporte, los costos de inversión, los requerimientos de energía, espacio y la disponibilidad de los mismos, entre otros; así mismo, la recolección de las muestras depende de los procedimientos analíticos a emplear y de los objetivos del estudio (GUEVARA Y MARTÍNEZ, 2017).

SENASBA (2015) clasifica los tipos de muestreo para las aguas residuales en las categorías mostrada en la Tabla 2.2:

Tabla 2.2 Clasificación de los tipos de muestreo para las aguas residuales.

Tipo de muestras	Descripción
Muestra Simple	Es solo una muestra tomada en un instante. Es muy fácil de hacerla, ya que solamente se toma con un recipiente el agua de la tubería o de una caída. Además es rápido de tomarla.
Muestra Compuesta	Es un término genérico que se le otorga a la mezcla de un número de muestras simples, tomadas durante un cierto periodo de tiempo. Se la usa para conocer las condiciones promedio del agua, con el fin de controlar la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales. En general, las muestras compuestas son aptas para indicar el promedio de las variaciones de la contaminación en el agua.
Muestra Cualificada	Es un tipo de muestra compuesta consiste en 5 muestras simples mezcladas y tomadas en por lo menos 8 minutos; así cada muestra se toma en un intervalo de por lo menos 2 minutos. Para hacer esta muestra se necesita más tiempo, paciencia y equipos como un muestreador, un balde limpio y una jarra de medición.

Fuente: SENASBA (2015).

Debido a que no se tiene un caudal constante y que las composiciones en estudio varían con el tiempo (el caudal de las aguas en los comedores, suele variar dependiendo de la hora y el uso que se da a la misma); la metodología de muestreo más adecuada a emplear es la toma de muestras compuestas (véase el Anexo 1). Según Guevara y Martínez (2017) es necesario tener en cuenta especificaciones como:

Las muestras deben ser recogidas en recipientes a lo largo de un período que puede variar desde unos pocos minutos, horas, hasta semanas o meses, siendo lo más

habitual 24 horas, de tal manera que cubran las variaciones de la descarga. El intervalo entre la toma de cada muestreo simple para integrar la muestra compuesta, debe ser el suficiente para determinar la variación de los contaminantes del agua residual. Una ventaja de este tipo de muestreos, es que el número de determinaciones analíticas que se suelen realizar es menor. Al recoger durante un período de tiempo las muestras simples, esta se puede componer de volúmenes proporcionales al caudal circulante. En este caso se puede conocer simultáneamente la concentración y la cantidad de contaminantes del vertido en el tiempo o en su totalidad. En la figura 2.2 se observa la secuencia del procedimiento de un muestreo compuesto:

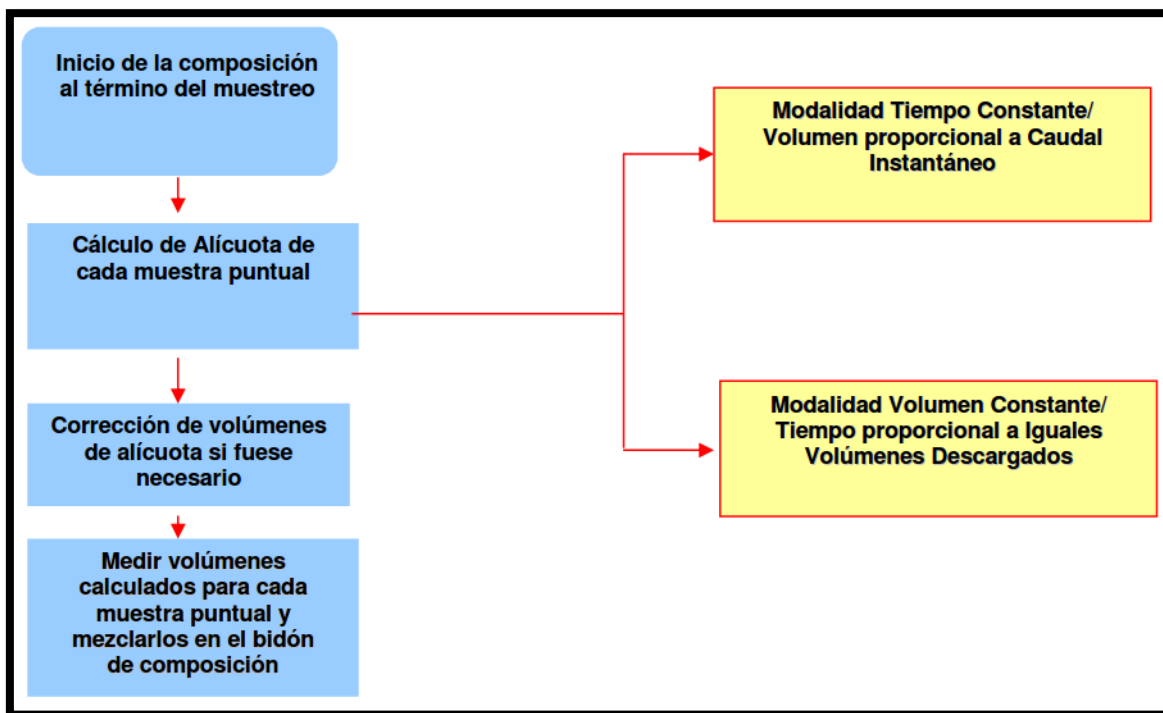


Figura 2.5 Esquema general recolección muestras compuestas (Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2010).

2.4.2 Metodología de preparación de muestra compuesta.

Según la Superintendencia de Servicios Sanitarios (2010), para preparar una muestra compuesta de forma manual de las aguas residuales, se deben de seguir los pasos:

- a) Disponer de un bidón limpio, de capacidad suficiente para contener el volumen total, y de una serie de probetas de volumen y graduación adecuada.
- b) Calcular la alícuota a considerar por cada muestra puntual, en función de los datos del caudal instantáneo, medido simultáneamente o entregado por equipo en línea. En aquellos casos donde algunos de los valores de la alícuota sean mayor a la cantidad de muestra recolectada, se debe realizar un ajuste disminuyendo el volumen final de la muestra compuesta, cuidando que sea suficiente para todos los análisis solicitados. Nota: Esta situación se puede presentar en el monitoreo automático, donde los volúmenes a recolectar se programan en forma anticipada.
- c) Previa agitación de cada una de las muestras puntuales, medir las alícuotas calculadas para cada una de ellas con la probeta pertinente y trasvasiar al bidón de composición.
- d) Agitar vigorosamente el bidón de composición para homogeneizar adecuadamente antes de trasvasiar la muestra compuesta preparada, a los envases definitivos de laboratorio que contienen los distintos preservantes.
- e) Etiquetar y guardar las muestras en un contenedor o cooler de material aislante, con suficiente hielo o ice pack, cuidando de disponer de un sistema que permita evidenciar la temperatura de transporte de las muestras hasta el laboratorio.
- f) Proceder a efectuar el registro de los datos de terreno (identificación del punto de muestreo, fecha y hora de recolección, etc.)

2.4.3 Determinación de volumen de las alícuotas.

Los valores de caudal permiten calcular la alícuota a considerar por cada muestra puntual recolectada durante el periodo de monitoreo. Se debe considerar estrictamente que el valor de caudal utilizado para la composición final de la muestra es el caudal instantáneo asociado al horario de recolección de la muestra (Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2010).

Información de Caudal + Volumen muestra puntual = Muestra Compuesta

Ecuación 2.2

Las modalidades de composición de muestras son las siguientes:

- a) *Modalidad tiempo constante/volumen proporcional a caudal instantáneo.*
Consiste en recolectar muestras de igual volumen, durante intervalos de tiempo determinado, en conjunto con la medición de caudal al momento de la recolección de la muestra. Esta modalidad es aplicable tanto para el monitoreo manual como para el monitoreo automático.
- b) *Modalidad volumen constante/tiempo proporcional a iguales volúmenes descargados.* Consiste en componer la muestra durante el periodo del monitoreo, mediante la recolección de muestras puntuales al tiempo en que un volumen constante de aguas residuales ha pasado por el punto de muestreo. Es por esta razón que no debe existir una diferencia mayor al 10% entre los volúmenes históricos descargados y los del periodo de monitoreo. Esta modalidad es aplicable en monitoreos manuales o con equipo de muestreo automático en programación manual, requiriéndose una certeza del comportamiento del caudal, que aseguren el volumen de descarga diario.

2.5 Medición de Temperatura de las aguas grises.

En la medición de la Temperatura se sigue el procedimiento de Referencia Standar Methods 2550, utilizando un termómetro de mercurio, se toman mediciones durante 4 horas en un intervalo de una hora en donde ocurre la mayor descarga de las aguas grises, obteniendo un promedio de las mediciones realizadas para determinar un promedio al día.

2.6 Medición del pH.

En la medición del pH se sigue el procedimiento del Número de Referencia Standar Methods 4500 - H⁺ (véase el Anexo 3). Se mezclan y agitan las muestras que se obtienen durante 4 horas, para su homogeneidad, luego se procede a medir el pH mediante el equipo de la marca Venier Lab Quest (véase la Figura 2.3), acondicionando y limpiando el electrodo para introducir a la muestra con una duración de 1 minuto para tomar nota de la medición, luego secar el electrodo y sumergir en la siguiente porción de muestra.

Para la muestra compuesta se sigue el procedimiento descrito, y se toma su resultado para realizar una comparación según el Reglamento Técnico Salvadoreño 13.05.01:18.

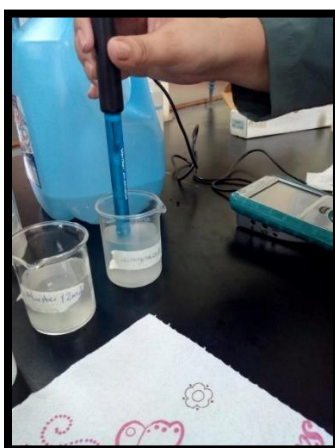


Figura 2.6 Medición del pH de las aguas grises.

2.7 Medición de Sólidos Sedimentables.

En la medición de los sólidos sedimentables de las aguas residuales, se sigue el procedimiento del Número de Referencia Standar Methods 2540 F (véase el Anexo 4).

Para óptimos resultados el desarrollo de la metodología planteada en Standar Methods, a nivel de laboratorio se realiza el método volumétrico utilizando solamente un cono de Imhoff, describiendo el procedimiento a continuación:

- a) Agitar la muestra del agua residual y verter un litro de la muestra homogeneizada en el cono de Imhoff.
- b) Se deja sedimentar la muestra del agua residual por un tiempo de 45 minutos.
- c) Agitar suavemente la muestra contenida en el cono con un agitador de vidrio para el desprendimiento de los sólidos contenidos en las paredes del recipiente y se deja sedimentar durante 15 minutos.
- d) Se registra la cantidad de los sólidos sedimentables en ml/L*h leyendo directamente en el cono (véase la Figura 2.7).



Figura 2.7 Medición de sólidos sedimentables de las aguas grises.

2.8 Medición de Sólidos Suspendidos.

En la determinación de los sólidos suspendidos se sigue el procedimiento del Número de Referencia Standar Methods 2540 D (véase el Anexo 5), determinándose a escala de laboratorio con los materiales y equipos como se observa en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Material, equipo y reactivo para la medición de sólidos suspendidos.

MATERIALES	EQUIPO
1 cápsula de porcelana	Horno de secado a 103-105°C
Papel Filtro	Equipo generador de vacío
1 Pipeta volumétrica de 25 mL	Balanza Analítica
1 Matraz Kitazato	Desecador
1 Manguera de hule	

Procedimiento experimental.

- a) Pesar el papel filtro con la cápsula de porcelana para el registro del dato obtenido.
- b) Tomar una muestra de agua residual de 25 mL en una probeta.
- c) Montar el equipo generador de vacío colocando el matraz Kitazato con el papel filtro ya pesado, agregar la muestra de agua y aplicar vacío (Véase la Figura 2.5).
- d) Para ajustar el filtro, humedecer con una pequeña cantidad de agua destilada, filtrando la muestra del volumen medido, luego lavando con 3 volúmenes sucesivos de 10 mL de agua destilada.
- e) Continuar el succionado por lo menos 3 minutos después de terminado el proceso del filtrado.
- f) Pasar la muestra filtrada al horno de secado por un espacio de una hora a un rango de temperatura entre 103-105°C.
- g) Proceder a enfriar el filtrado en un desecador para equilibrar la temperatura y pesar.

h) Repetir el procedimiento descrito hasta obtener un peso constante.

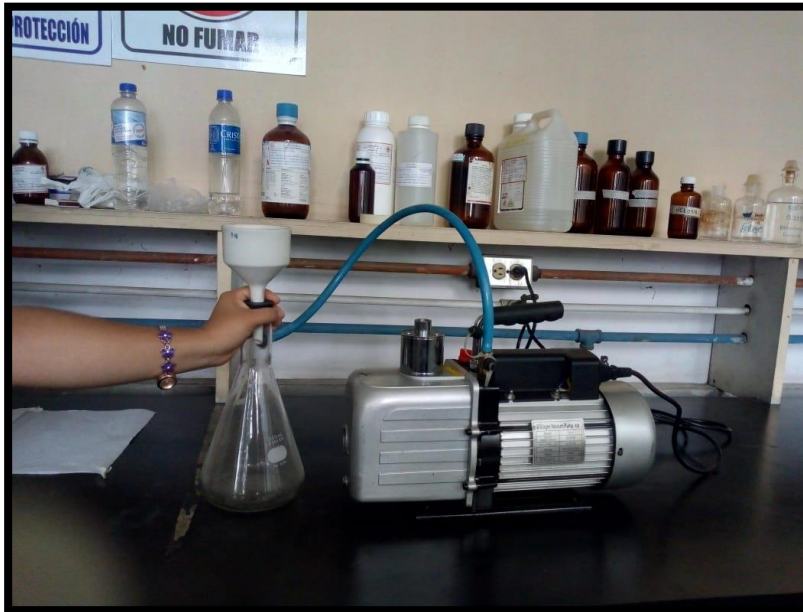


Figura 2.8 Equipo de filtrado al vacío para el análisis de sólidos suspendidos.

APHA (1992) nos presenta el cálculo para la determinación de los sólidos suspendidos expresado en la ecuación 2.3:

$$\text{mg de sólidos totales en suspensión/l} = \frac{(A - B) \times 1,000}{\text{volumen de muestra, ml}}$$

Ecuación 2.3

Dónde:

A: Peso del filtro + residuo seco, mg

B: Peso del filtro, mg

2.9 Tratamiento de aguas residuales por el método físico-químico de Coagulación – Floculación.

El tratamiento físico-químico puede constituir una única etapa dentro del tratamiento del agua residual o bien puede interponerse como proceso de depuración complementario entre el pre-tratamiento y el tratamiento biológico.

La finalidad del tratamiento físico-químico consiste en la eliminación de las materias finas en suspensión no decantables, y de las materias coloidales. Estas partículas coloidales se componen de sílice coloidal, arcilla y/o partículas orgánicas las cuales presentan gran estabilidad en el agua con un tamaño comprendido entre 0.001 y 1 µm. Constituyen una parte importante de la contaminación ya que son la causa principal de la turbidez y color del agua. Debido a la gran estabilidad que presentan, resulta imposible separarlas por decantación o flotación. Tampoco es posible separarlas por filtración porque pasarían a través de cualquier filtro (MASCARÓS, 2013).

Los tratamientos fisicoquímicos cubren una serie de objetivos, de los cuales, para el caso de las aguas residuales, cabría destacar los siguientes (GAIKER, 2017):

- a) Reducción de sólidos en suspensión y materia orgánica (DQO y DBO) como alternativa al tratamiento biológico.
- b) Laminado o estabilización de cargas contaminantes para controlar la entrada a los tratamientos biológicos.
- c) Reducción de contaminantes industriales no biodegradables (sobre todo metales pesados).
- d) Eliminación de fósforo.
- e) Espesamiento de lodos.

2.9.1 Teoría de Coagulación - Floculación

Una alternativa en el tratamiento de aguas residuales, tanto domésticas como industriales, es el proceso fisicoquímico. Consiste en remover con ayuda de coagulantes, principalmente sales metálicas y/o polielectrolitos, los sólidos suspendidos o disueltos. Los productos de este tipo de tratamiento son aguas relativamente libres de materia orgánica, suspendida y disuelta, removida del agua y los coagulantes añadidos. La floculación tiene relación con los fenómenos de transporte dentro del líquido, como consecuencia de las partículas desestabilizadas dentro del agua.

La coagulación – floculación es el procedimiento más eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. Es el método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos. (GÓMEZ, 2005).

Coagulación.

La coagulación puede entenderse como la desestabilización eléctrica de algunas partículas mediante la adición de sustancias químicas que son los coagulantes. Esta operación se efectúa en unidades y tanques de mezcla rápida, en los cuales el agua se somete a agitación muy intensa para formar una solución homogénea de los coagulantes con el agua en el menor tiempo posible (Restrepo, 2009).

Este proceso se usa para:

- a) Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no se puede sedimentar rápidamente.
- b) Remoción de color verdadero y aparente.
- c) Eliminación de bacteria, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.

- d) Destrucción de algas y plancton en general.
- e) Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor, en algunos casos de precipitados químicos suspendidos en otros.

Floculación.

La floculación consiste en la aglomeración, mediante la agitación moderada del agua, de las partículas que se desestabilizaron durante la coagulación, formando otras de mayor tamaño y peso específico –flóculos.

Los objetivos básicos de la floculación son reunir microflóculos para formar partículas con peso específico superior al del agua y compactar el flóculo disminuyendo su grado de hidratación para producir baja concentración volumétrica, lo cual produce una alta eficiencia en los procesos posteriores como sedimentación y filtración (Restrepo, 2009).

Sedimentación.

Operación unitaria en la cual se elimina la materia suspendida de una fase líquida por decantación utilizando el hecho de su mayor densidad con respecto al líquido, es decir, por fuerzas gravitatorias. Es el método de tratamiento más común utilizado en los sistemas de tratamiento de aguas dulces y aguas residuales, y se produce en tanques de sedimentación, los cuales pueden ser rectangulares, circulares o lamelares (MASCARÓS, 2013).

2.9.2 Prueba de Jarras para agua residual.

La turbiedad y el color del agua son principalmente causados por partículas muy pequeñas, llamadas partículas coloidales. Estas partículas permanecen en suspensión en el agua por tiempo prolongado y pueden atravesar un medio filtrante muy fino. Por otro lado, aunque su concentración es muy estable, no presentan la tendencia de aproximarse unas a otras (ANDÍA, 2000).

La Prueba de Jarras es un método de simulación de un proceso de coagulación-floculación para el tratamiento del agua a gran escala, proporcionando a operadores de sistema una idea razonable de la manera en que un producto químico del tratamiento se comportará y operará ante un tipo particular de agua cruda. Debido a que imita el funcionamiento a gran escala, se pueden usar las pruebas de jarras para ayudar a determinar qué tipo de producto químico de tratamiento funcionará mejor con el agua del sistema.

La prueba implica ajustar la cantidad de productos químicos del tratamiento y la secuencia en la cual se agregan a las muestras del agua cruda sostenida en tarros o vasos de precipitados. La muestra se agita entonces de modo que la formación, el desarrollo y el asentamiento del flóculo pueden ser observados tal como sería en la planta de tratamiento a escala completa. Se realizan entonces una serie de pruebas para comparar los efectos de diferentes cantidades de agentes de floculación a diferentes valores de pH para determinar el flóculo de tamaño adecuado para una planta en particular (GUEVARA Y MARTÍNEZ, 2017).

Se plantea por medio de la coagulación desestabilizar las partículas coloides por neutralización de sus cargas y posteriormente por la floculación, formar flóculos como resultado de la colisión y adherencia de las partículas coaguladas aumentando peso y volumen para luego seguir al último proceso de la decantación.

2.9.3 Metodología de Prueba de Jarras.

La “Prueba de Jarras” es un método de simulación de los procesos de coagulación y floculación que se realiza a nivel de laboratorio, que permite obtener agua de buena calidad y fácilmente separable por decantación; los flóculos formados con diferentes dosis del coagulante dan como resultado valores de turbidez diferentes (GUEVARA Y MARTÍNEZ, 2017).

Para óptimos resultados la metodología descrita por la Norma ASTM D2035-08 (véase el Anexo 6) se realiza con un equipo especializado de prueba de jarras, en el caso de escala de laboratorio se pueden utilizar los equipos como se observa en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Material, equipo y reactivo para la prueba de jarras a escala de laboratorio.

MATERIALES	EQUIPO	REACTIVOS
1 Pipeta de 10 mL	Medidor de pH	Ácido Sulfúrico (H ₂ SO ₄)
1 Pera de seguridad	Turbidímetro	Policloruro de Aluminio (PAC)
10 Vasos de precipitado de 500 mL	Agitador magnético (5)	Sulfato de Aluminio (Al ₂ (SO ₄) ₃ 18H ₂ O)
1 Probeta de 100 mL	Hot Plate	
1 Agitador de vidrio	Balanza Analítica	
1 balón 100 mL		
1 espátula		

Procedimiento Experimental.

Elaborar la solución de Sulfato de Aluminio (Al₂(SO₄)₃18H₂O), pesando 0.5 gr de Al₂(SO₄)₃18H₂O en la balanza analítica y mezclar con 100 mL de agua destilada en un balón aforado de este mismo volumen, se agita hasta obtener una mezcla homogénea.

- Medir turbidez y pH inicial al agua residual.
- Para determinar un pH óptimo en el cual se probarán diferentes dosis de coagulante y floculante utilizar 5 vasos de precipitado de 500 mL, colocar 300 mL

de agua residual, adicionar H_2SO_4 para ajustar el pH de las muestras según BARAJAS Y LEON (2015) deben ser en un intervalo de 8.0 – 5.5, es decir, las 5 muestras tendrán un pH de 5.4, 5.8, 6.0, 6.4, 6.6, respectivamente.

- c) Utilizando un pH-metro, ajustar el pH de cada muestra adicionando H_2SO_4 gota a gota.
- d) Adicionar a cada muestra 50 gotas de sulfato de aluminio y 10 gotas de Policloruro de Aluminio.
- e) Colocar sobre hot plate y agitar magnéticamente hasta observar una buena formación de flóculos.
- f) Dejar sedimentar durante 10 minutos y luego medir utilizando un Turbidímetro la turbidez del sobrenadante. Anotar los resultados. Al pH al que se obtenga la menor turbidez se le conocerá como pH óptimo.
- g) Para determinar la dosis de coagulante preparar 5 muestras de 300 mL con el agua residual original y ajustar al pH óptimo obtenido.
- h) Añadir a las 5 muestras el coagulante en las cantidades del 25% al 200% de la dosis original de coagulante.
- i) Mezclar y agitar cada muestra magnéticamente hasta observar buena formación de flóculos.
- j) Dejar sedimentar durante 10 minutos y luego medir la turbidez y pH del sobrenadante de cada una.
- k) Anotar los resultados. La dosis a utilizar para tratar 300 mL de agua residual será aquella donde se obtiene la menor turbidez.

A. Metodología de sedimentación o decantación.

Los ensayos de sedimentación o decantación se llevan a cabo en una probeta graduada de 1000 mL de capacidad a la que se trasvasa la muestra obtenida de la metodología de prueba de jarras. Luego, se procede a la decantación, el cual consiste en dejar decantar la muestra obtenida durante 1 hora para llevar la muestra clarificada para la determinación de los análisis fisicoquímicos (véase el Anexo 9).

2.10 Tratamiento de aguas residuales por adsorción de carbón activado.

Según el boletín técnico de Carbotecnia (2004), en el tratamiento de aguas residuales, el carbón activado suele aplicarse en la última etapa, denominada “tratamiento terciario”. En esta etapa se busca “pulir” el agua. Es decir, se busca llevarla a mayores niveles de pureza de los que se pueden alcanzar con los métodos tradicionales fisicoquímicos y biológicos. Esto se requiere cuando:

- a) Un contaminante específico, como un olor o un color, no está cumpliendo con lo que el usuario requiere.
- b) No sólo se requiere cumplir con la norma de agua residual, sino que se busca reutilizar el agua o utilizarla para servicios o para riego u otros usos en los que es necesario un mayor nivel de pureza respecto al que se pudo obtener con los tratamientos primario y secundario.

El carbón activado es capaz de retener contaminantes poco polares, covalentes y no disociados que suelen ser los de origen orgánico en cualquier concentración, sin embargo, se aplica en el tratamiento terciario ya que, en términos técnico-económicos, es competitivo respecto a otros procesos, para llevar los niveles de contaminantes orgánicos de “relativamente bajos” a “muy bajos”.

La fuerza con la que el átomo superficial de carbono atrapa a la otra, se llama “Fuerza de London”, que es uno de los siete tipos de “fuerzas de Van der Waals”. Se considera una unión fisicoquímica, suficientemente fuerte para retener al adsorbato, pero no tan fuerte como para considerarla una unión química irreversible que forma una nueva estructura molecular. Por ello, la adsorción es reversible y el carbón activado puede reactivarse para utilizarse de nuevo. Las moléculas que adsorbe el carbón tienden a ser covalentes, no iónicas, pues estas últimas tratarían de robar o de donar electrones a los átomos de carbono. Las uniones entre átomos de carbono e hidrógeno son covalentes, y es por ello que el carbón es un buen adsorbente de moléculas orgánicas (CALDERÓN, LÓPEZ, Y SIETE, 2016).

2.10.1 Metodología de tratamiento de agua residual por adsorción de carbón activado.

Para óptimos resultados, se presenta la siguiente metodología para la realización, luego de la etapa de floculación – coagulación del agua residual tratada (véase el Anexo 10) con el equipo a utilizar a escala de laboratorio como se observa en la Tabla 2.5:

Tabla 2.5 Material, equipo y reactivo para el tratamiento por adsorción de carbón activado.

MATERIALES	EQUIPO	REACTIVOS
3 vidrio de reloj	Agitador magnético (3)	Carbón Activado Granular
3 vasos de precipitado de 500 ml	Hot Plate	
1 agitador de vidrio	Balanza Analítica	
1 pipeta de 10 mL	Malla de 100 mesh	
1 espátula		

Procedimiento Experimental.

- a) Tomar una muestra de agua procedente de la etapa de floculación – coagulación y sedimentación.
- b) Colocar en 3 vasos de precipitado, 500 mL del agua tratada.
- c) Agregar 30 gramos de carbón activado respectivamente en los vasos de precipitado que contienen el agua tratada.
- d) Colocar sobre el hot plate y agitar magnéticamente las muestras por 15 minutos a una velocidad de 40 RPM.
- e) Reposar las muestras por 20 minutos luego de la agitación y filtrar la mezcla utilizando la malla de 100 mesh.

CAPÍTULO 3

DIMENSIONAMIENTO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.

En el presente capítulo se desarrolla el dimensionamiento del humedal artificial de tipo sub superficial a escala real y su determinación a escala piloto, para lo cual es necesario el cálculo de las dimensiones primero a escala real y luego modificarlas por escalamiento al sistema piloto, tomando como base los resultados obtenidos siguiendo la metodología descrita en el capítulo 2.

3.1 Caudales de entrada.

Siguiendo la metodología descrita en la sección 2.3.1 nos permite obtener una medición exacta del caudal de entrada en los comedores de la Universidad de El Salvador, se nos accedió el proceso de medición de los caudales de entrada en un comedor representativo de los 5 existentes en el área de estudio, enumerados de izquierda a derecha (véase el Anexo 11) obteniendo una limitante de no poder hacer mediciones de los demás comedores existentes debido a la falta de acceso a una tubería de descarga en cada comedor para la medición, recolección y muestreo de muestreo de las aguas grises.

Se obtuvieron resultados de tiempos de aforo y cálculo de sus respectivos caudales del comedor N°3, (véase el Gráfico 3.1), teniendo determinada la capacidad volumétrica de 1000 mL, utilizando la ecuación 2.1 como se observan en las Tablas 3.1 y 3.2:

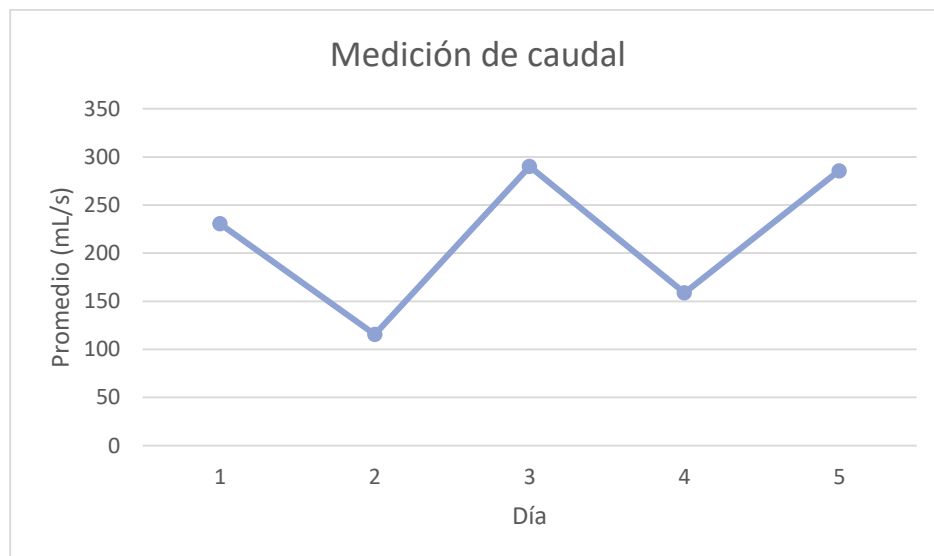
Tabla 3.1 Medición de tiempos de aforo diario en el comedor N°3 de la Universidad de El Salvador.

Día	Hora (am/pm)		Medición de tiempo				Promedio (s)	Promedio diario (s)
	Inicio	Fin	Tiempo (s)					
			t ₁	t ₂	t ₃	t ₄		
1	10:00	10:10	4.51	5.41	3.70	4.07	4.42	5.28
2	11:00	11:10	8.70	8.55	8.53	8.84	8.66	
3	12:00	12:10	3.36	3.07	3.42	4.08	3.48	
4	1:00	1:10	5.99	6.00	6.78	6.50	6.32	
5	2:00	2:10	3.05	3.50	3.89	3.68	3.53	

Tabla 3.2 Medición de caudales diario en el comedor N°3 de la Universidad de El Salvador.

Día	Medición de caudal					Promedio (mL/s)	Promedio diario (mL/s)
	Caudal (mL/s)						
	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄			
1	221.73	184.84	270.27	245.70	230.64	216.15	
2	114.94	116.96	117.23	113.12	115.56		
3	297.62	325.73	292.40	245.10	290.21		
4	166.94	166.67	147.49	153.85	158.74		
5	327.87	285.71	257.07	271.74	285.60		

Grafico 3.1 Variación del caudal diario en el comedor N°3 de la Universidad de El Salvador.



Una vez realizadas las mediciones del caudal durante cinco días consecutivos, se procede a obtener un promedio diario de 216.15 mL/s de descarga de las aguas usadas para el lavado de las diferentes actividades del comedor, obteniendo así un volumen por día de:

$$Q = 216.15 \frac{mL}{s} * \frac{1 \times 10^{-6} m^3}{1 mL} * \frac{3600 s}{1 h} * \frac{12 h}{1 día} = 9.34 \frac{m^3}{día}$$

Conociendo este dato y el consumo diario de cada uno de los 5 comedores, se procedió a realizar una relación para estimar el caudal de cada comedor (véase el Anexo 8) y el promedio de ellos como se observa en la Tabla 3.3:

Tabla 3.3 Determinación del caudal promedio de comedores de la Universidad de El Salvador.

COMEDOR	CONSUMO DE AGUA (m ³)	CAUDAL (m ³ /día)
N° 1	0.18	7.01
N° 2	0.36	14.01
N° 3	0.24	9.34
N° 4	0.48	18.68
N° 5	0.60	23.35
PROMEDIO		14.48

El dato calculado promedio es el que representará el caudal base con que se trabajará, para el dimensionamiento del humedal artificial a escala real.

3.2 Dimensionamiento del humedal artificial.

Con el fin de evaluar la eficiencia en la remoción de contaminantes presente en las aguas de los comedores de la Universidad de El Salvador, se obtendrán las dimensiones necesarias para la construcción del humedal artificial. Según el Instituto Nicaragüense de acueductos y alcantarillados (2008), para determinar el tamaño

del humedal artificial, se debe primero determinar la temperatura mínima del ambiente del sitio propuesto, la cantidad de DBO producido actualmente, y el nivel de DBO deseado para el agua del efluente artificial.

Tomando en cuenta el dato del caudal base determinado en la sección 3.1 y los parámetros evaluados según la metodología del capítulo 2, nos permitirá calcular el tamaño del humedal artificial con los siguientes indicadores que se presentan a continuación.

3.2.1 Constante de Temperatura.

El modelo general de diseño para cualquier tipo de humedal (superficial, subsuperficial y sistema de plantas acuáticas) corresponde a una ecuación cinética de primer orden en la que intervienen las concentraciones de afluente y efluente del contaminante en remoción, la constante de temperatura y el tiempo de retención, indicado en la ecuación 3.1:

$$K_T = K_{20}(\theta^{(T_w-20)})$$

Ecuación 3.1

Dónde:

K_T : Velocidad constante a la temperatura T (d^{-1}).

K_{20} : 1.104.

θ : Coeficiente de temperatura a 20°C.

T_w : Temperatura mínima del mes más frío.

Teniendo los parámetros:

$$K_{20} = 1.104.$$

$$\theta = 1.06.$$

$$T_w = 20^\circ\text{C}.$$

Sustituyendo en la ecuación 3.1:

$$K_T = 1.104(1.06^{(20-20)})$$

$$K_T = 1.104 d^{-1}$$

3.2.2 Tiempo de retención (residencia hidráulica).

El tiempo de residencia hidráulica (t) de un humedal de tratamiento es el tiempo promedio que permanece el agua en el humedal, expresado como el volumen medio dividido por la tasa media de salida. Si se desarrolla un cortocircuito, el tiempo de residencia efectivo puede diferir significativamente del tiempo de residencia calculado.

$$t = -\frac{\ln\left(\frac{DBO}{DBO_o}\right)}{K_T}$$

Ecuación 3.2

Donde:

DBO : Concentración del DBO a la salida.

DBO_o : Concentración del DBO a la entrada.

K_T : Velocidad constante a la temperatura T (d^{-1}).

Teniendo los valores:

$$DBO = 60 \text{ mg/L.}$$

$$DBO_o = 695.8 \text{ mg/L.}$$

$$K_T = 1.104 d^{-1}.$$

Sustituyendo en la ecuación 3.2:

$$t = -\frac{\ln\left(\frac{60 \text{ mg/L}}{695.8 \text{ mg/L}}\right)}{1.104 \text{ d}^{-1}}$$

$$t = 2.22 \text{ días} \cong 3 \text{ días}$$

3.2.3 Tasa de carga orgánica.

Según el Instituto Nicaragüense de acueductos y alcantarillados (2008), la ecuación 3.3 determinará la masa de DBO por área por día que el sistema recibirá (g DBO/ m²-día). En general la tasa no debe de exceder 11.2 g DBO/ m²-día.

$$L_{org} = \frac{C \times y \times n}{t}$$

Ecuación 3.3

Donde:

C: es el nivel de DBO (mg/ L= g/ m³) del agua del efluente.

y: es la profundidad del humedal artificial, que puede ser típicamente de 0.4 m a 0.85 m.

n: la porosidad efectiva del sustrato, puede ser determinado en la Tabla 1.4 según el tamaño de grava escogido.

t: tiempo de retención hidráulica.

Teniendo los valores:

$$C = 60 \text{ mg/L}$$

$$y = 0.80 \text{ m}$$

n = 0.35 (determinado de la Tabla 1.4, para tipo de material grava fina del lecho filtrante)

$$t = 3 \text{ días}$$

Sustituyendo en la ecuación 3.3, obtenemos:

$$L_{org} = \frac{60 \text{ g}/\text{m}^3 \times 0.80 \text{ m} \times 0.35}{3 \text{ día}}$$

$$L_{org} = 5.6 \text{ g DBO}/\text{m}^2 - \text{día}$$

3.2.4 Área superficial del terreno.

Tras la obtención del caudal, se debe determinar el área superficial del terreno que delimita la extensión necesaria que ocupará el humedal artificial mediante la ecuación 1.2:

$$A_s = \frac{Q(\ln(DBO_5)_e - \ln(DBO_5)_s)}{K_T(y)(n)}$$

Ecuación 1.2

Dónde:

A_s : Área Superficial.

Q : Caudal.

$\ln(DBO_5)_e$: Concentración del contaminante al ingreso.

$\ln(DBO_5)_s$: Concentración del contaminante al Salida.

K_T : Constante de temperatura en el humedal.

y : Profundidad del Humedal.

n : Porosidad promedio de las capas filtrantes del humedal.

Teniendo los valores:

$$Q = 28.95 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$(DBO_5)_e = 695.8 \text{ mg/l.}$$

$$(DBO_5)_s = 60 \text{ mg/l.}$$

$$K_T = 1.104 \text{ d}^{-1}.$$

$$y = 0.80 \text{ m.}$$

$n = 0.35$ (Material grava fina).

Sustituyendo en la ecuación 1.2, obtenemos:

$$A_s = \frac{14.48 \frac{m^3}{día} (\ln(695.8 \text{ mg/l}) - \ln(60 \frac{mg}{l}))}{(1.104d^{-1})(0.80m)(0.35)}$$
$$A_s = 74.05 \text{ m}^2$$

3.2.5 Ancho del humedal artificial.

Con base al área calculada en la sección 3.2.4, se determinan la dimensión del ancho del humedal artificial a escala real, estableciendo una relación largo/ancho de 3:1, mediante la ecuación 1.4:

$$W = \sqrt{\frac{A_s}{R_A}}$$

Ecuación 1.4

Dónde:

W : Ancho del Humedal

A_s : Área Superficial

R_A : Es la proporción, como longitud/ancho.

Teniendo los valores:

$$A_s = 229.79 \text{ m}^2.$$

$$R_A = 1/3.$$

Sustituyendo en la ecuación 1.4, obtenemos:

$$W = \sqrt{\frac{74.05 \text{ m}^2}{3}}$$
$$W = 4.97 \text{ m}$$

3.2.6 Longitud del humedal artificial.

La longitud (L) del humedal artificial, se calcula con base al área superficial obtenida (A_s). Estableciendo una relación longitud/ancho establecida en el apartado 3.2.5, y usando la ecuación 1.5:

$$L = \frac{A_s}{W}$$

Ecuación 1.5

Dónde:

L : Longitud del humedal artificial.

W : Ancho del Humedal

A_s : Área Superficial

Teniendo los valores:

$$W = 8.75 \text{ m.}$$

$$A_s = 229.79 \text{ m}^2.$$

Sustituyendo en la ecuación 1.5, obtenemos:

$$L = \frac{74.05 \text{ m}^2}{4.97 \text{ m}}$$

$$L = 14.91 \text{ m}$$

3.2.7 Pendiente Hidráulica.

Este parámetro es necesario para establecer la diferencia en elevación de la superficie libre por unidad de longitud necesaria para que el flujo del agua pase a través del humedal artificial, según el Ministerio de Salud de El Salvador (2014), el valor para la pendiente hidráulica suele ser del 1% (0.01 m/m) para el dimensionamiento del humedal artificial.

Con los datos obtenidos, se puede observar un cuadro resumen (véase la Tabla 3.4) con los parámetros a utilizar para el dimensionamiento del humedal artificial a escala real:

Tabla 3.4 Parámetros de dimensionamiento del humedal artificial a escala real.

PARÁMETRO	VALOR
Caudal	14.48 m ³ / día
Área superficial	74.05 m ²
Relación (Longitud:Ancho)	3:1
Longitud	14.91 m
Ancho	4.97 m
Profundidad	0.80 m
Pendiente	1%

Teniendo los parámetros a utilizar para el dimensionamiento del humedal artificial de tipo subsuperficial de flujo vertical a escala real se procede a determinar la ubicación de todo el sistema de tratamiento como se observan en las Figura 3.1 y la Figura 3.2:

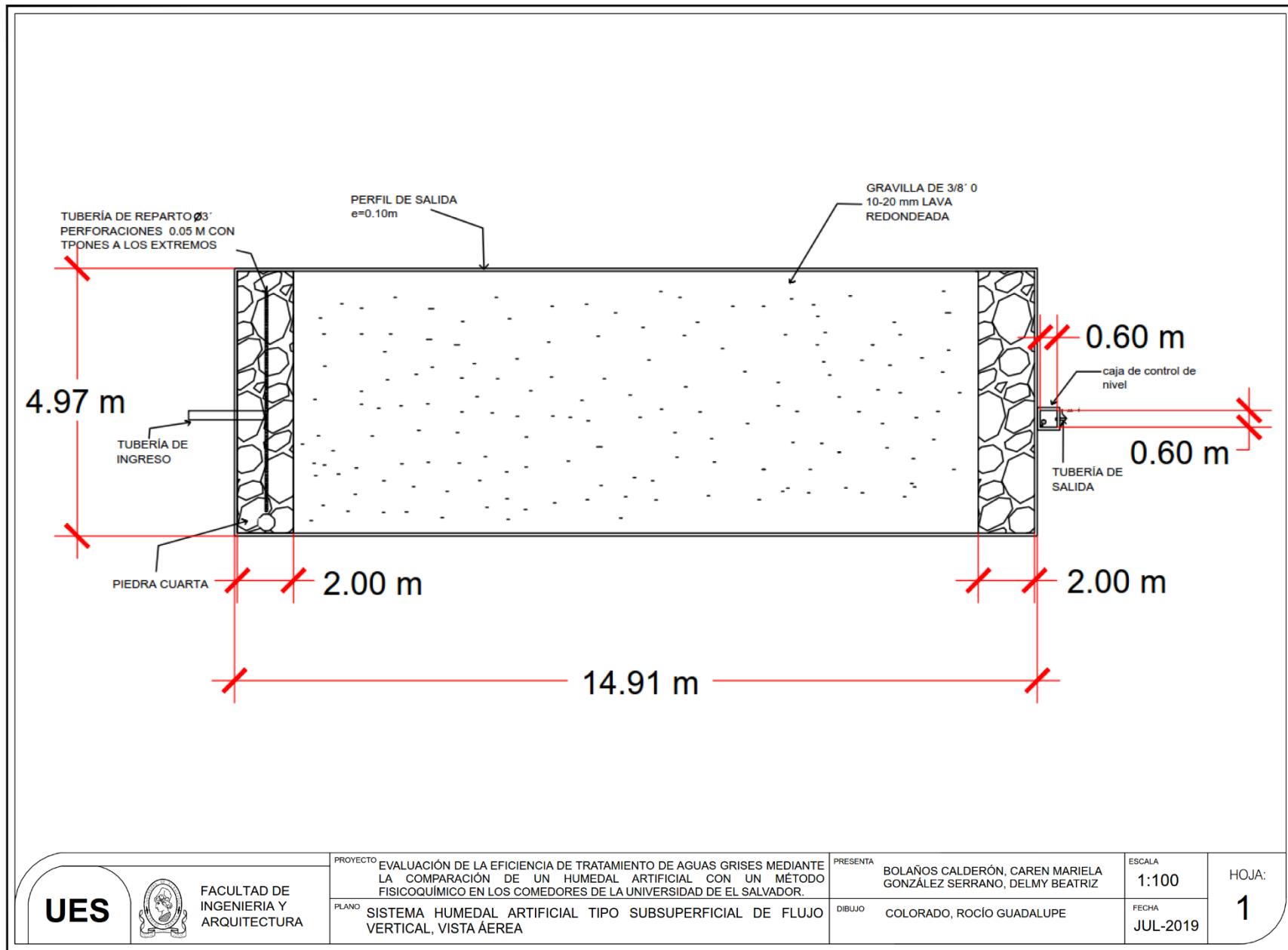


Figura 3.1: Plano del Humedal Artificial de tipo Subsuperficial de flujo vertical (Vista Aérea).

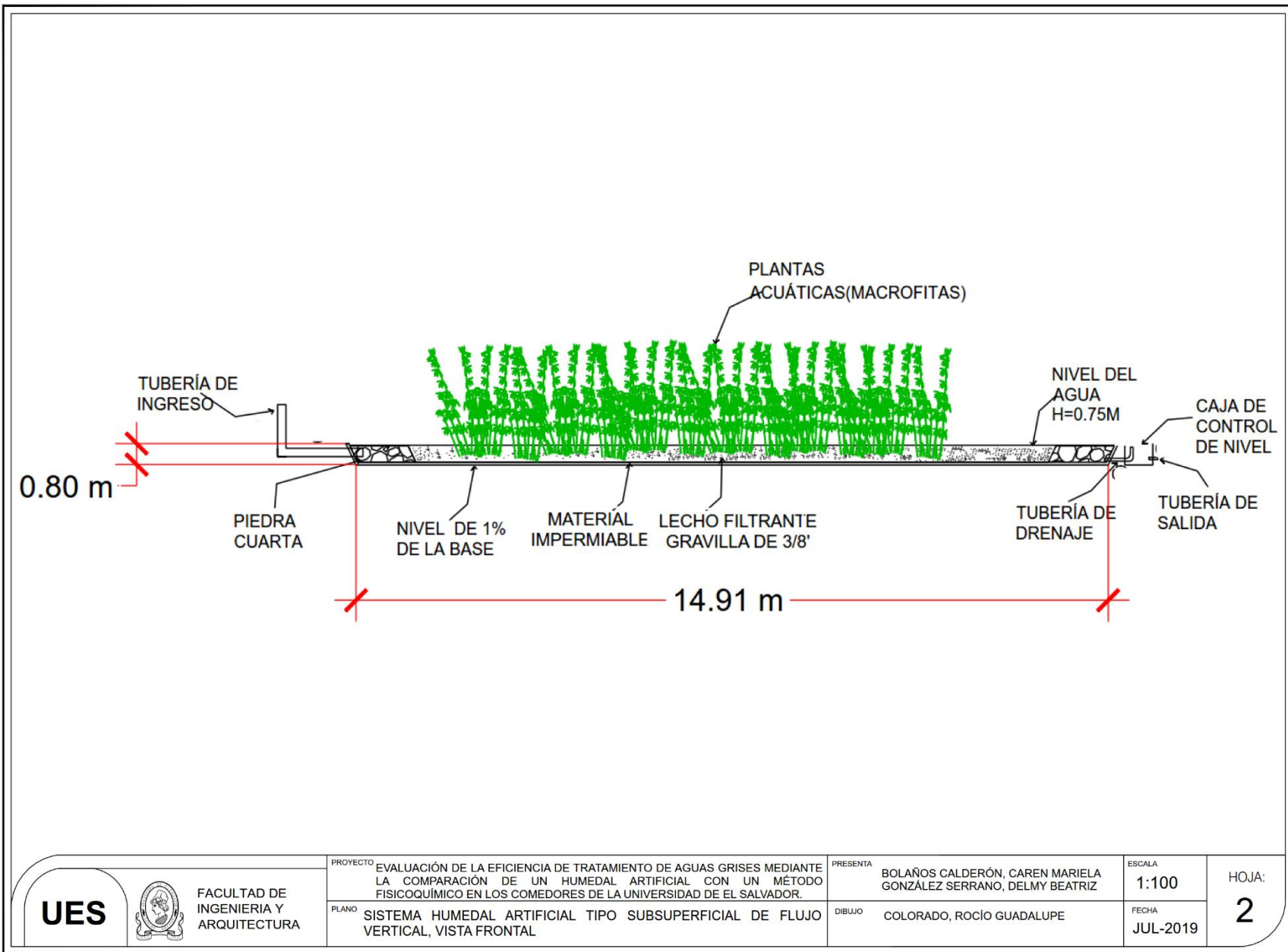


Figura 3.2: Plano del Humedal Artificial de tipo Subsuperficial de flujo vertical (Vista Frontal).

3.3 Diseño del humedal artificial a escala piloto.

Con las dimensiones establecidas en el apartado 3.2, se estableció un factor de escalonamiento, con el objetivo de conservar la relación de las medidas entre el humedal artificial a escala real y piloto. Es importante aclarar que la profundidad del humedal permanece constante, debido a que las raíces de las plantas acuáticas permanecen constantes, por lo tanto, el valor no es modificable.

El factor de escalonamiento asumido, con el fin de obtener un tamaño razonable a nivel piloto para facilitar su manejo en traslado y construcción del humedal artificial fue del:

$$\text{Factor de escalonamiento} = 93 \% = 0.93$$

GARCÍA Y LEAL (2006), definen que las dimensiones del humedal artificial a escala real se multiplican por el factor de escalonamiento y así se obtienen las dimensiones del humedal artificial a escala piloto definidas por la ecuación 3.4:

$$D_{PILOTO} = D_{REAL} - (D_{REAL} \times \text{Factor de escalonamiento})$$

Ecuación 3.4

Dónde:

D_{PILOTO} : dimensiones a escala piloto.

D_{REAL} : dimensiones a escala real.

A. Caudal.

Para la determinación del caudal piloto, reemplazando la ecuación 3.4 se obtiene:

$$Q_{PILOTO} = 14.48 \text{ m}^3/\text{día} - (14.48 \text{ m}^3/\text{día} \times 0.93)$$

$$Q_{PILOTO} = 1.01 \text{ m}^3/\text{día}$$

B. Longitud.

De la misma manera que el caudal, se reemplazan los datos de la ecuación 3.4, obteniendo:

$$L_{PILOTO} = 14.91 \text{ m} - (14.91 \text{ m} \times 0.93)$$

$$L_{PILOTO} = 1.04 \text{ m}$$

C. Ancho.

Por último, se obtiene el ancho del humedal a escala piloto de la siguiente manera:

$$W_{PILOTO} = 4.97 \text{ m} - (4.97 \text{ m} \times 0.93)$$

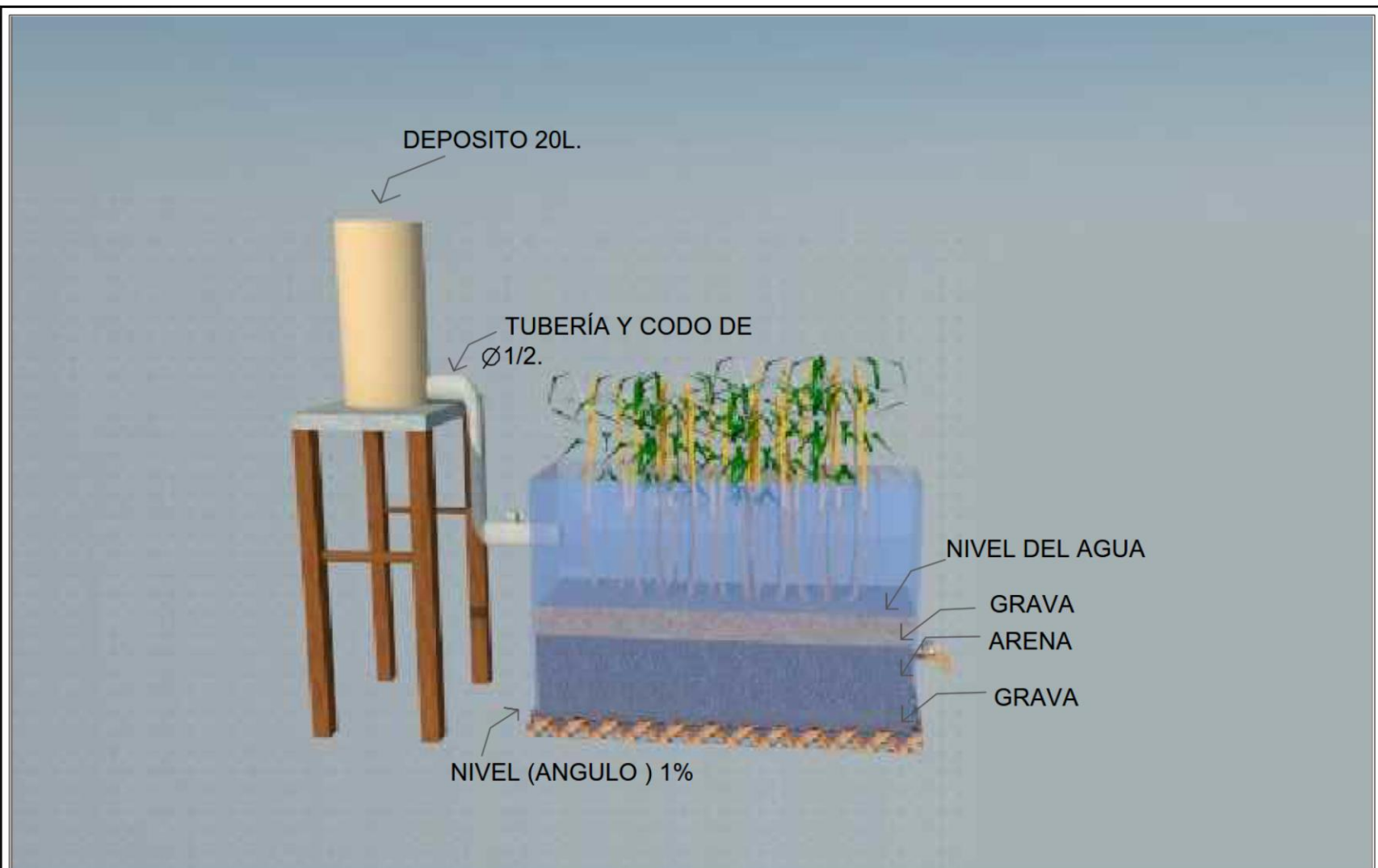
$$W_{PILOTO} = 0.35 \text{ m} = 35 \text{ cm}$$

Con los datos obtenidos, se puede evidenciar un cuadro resumen, (véase la Tabla 3.5) con los parámetros a utilizar para el dimensionamiento del humedal artificial a escala piloto:

Tabla 3.5 Parámetros de dimensionamiento del humedal artificial a escala piloto.

PARÁMETRO	VALOR
Caudal	1.01 m ³ / día
Área superficial	5.18 m ²
Relación (Longitud:Ancho)	3:1
Longitud	1.04 m
Ancho	0.35 m
Profundidad	0.80 m
Pendiente	1%

Teniendo los parámetros a utilizar para el dimensionamiento del humedal artificial de tipo subsuperficial de flujo vertical a escala piloto para su fase experimental se procede a determinar la ubicación de todo el sistema de tratamiento como se observan en las Figura 3.3



  FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA	PROYECTO EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL CON UN MÉTODO FÍSICOQUÍMICO EN LOS COMEDORES DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.	PRESENTA BOLAÑOS CALDERÓN, CAREN MARIELA GONZÁLEZ SERRANO, DELMY BEATRIZ	ESCALA	HOJA: 3
	PLANO SISTEMA HUMEDAL ARTIFICIAL TIPO SUBSUPERFICIAL DE FLUJO VERTICAL A ESCALA PILOTO	DIBUJO COLORADO, ROCÍO GUADALUPE	FECHA JUL-2019	

Figura 3.3: Plano del Humedal Artificial de tipo Subsuperficial de flujo vertical a escala piloto.

3.4 Selección de la especie macrófita.

En la selección de la especie macrófita a utilizar, se toman principalmente en cuenta los factores mencionados en la Tabla 1.5, se busca que las condiciones del área en la cual se coloca el humedal artificial sean las adecuadas para que la planta tenga la luz solar, la temperatura y el espacio de desarrollo adecuados. Otro factor influyente es la disponibilidad de la planta en el área, por lo que se decide utilizar *Phragmites Australis* (Carrizo), la cual se encuentra en abundancia en la Laguna El Jocotal, Departamento de San Miguel con coordenadas 13°19'57.02"N y 88°14'54.79"O (véase la Figura 3.4).

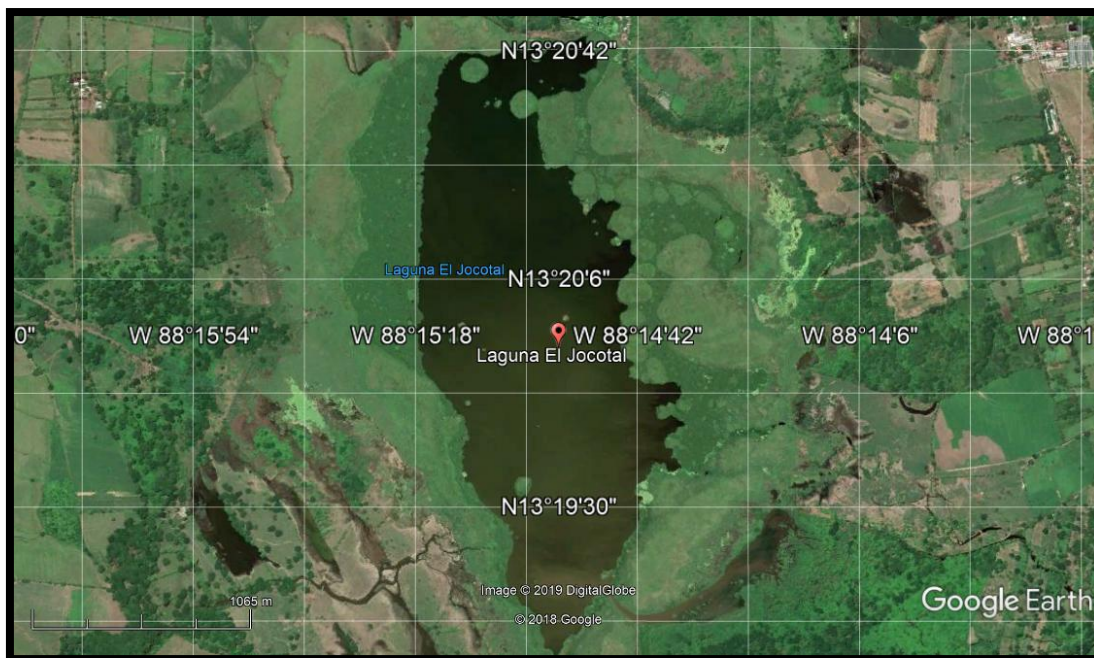


Figura 3.4 Vista espacial de la Laguna El jocotal, San Miguel (Google Earth).

La recolección de la especie se realizó con la colaboración de personas de la comunidad. Se ingresó a la Laguna El Jocotal y se realizó la extracción de la planta desde la raíz hasta el tallo con altura de aproximadamente 1 metro, se tomaron 4 unidades las cuales se colocaron en cubetas, y se agregó agua del área para su transporte y ambientación hasta llegar al humedal artificial a escala piloto.



Figura 3.5 Obtención de la planta *Phragmites Australis* (Carrizo).

3.5 Proceso de construcción del humedal artificial a escala de planta piloto.

Después de establecer las dimensiones del humedal artificial a escala piloto, descritos en la Tabla 3.5, se realizaron diversas cotizaciones y selección de materiales necesarios con los cuales se podrían construir el humedal artificial. El material principal para la construcción del sistema del humedal artificial fue vidrio con 6 mm de espesor, siendo el material más cómodo y transportable en costos (véase el Anexo 11).

El equipo fue montado en el área de la estación meteorológica de la Universidad de El Salvador, ubicado a 129 m de los comedores universitarios con coordenadas 13°43'6.52"N y 89°12'9.69"O (véase la Figura 3.6), debido a que es una zona cercana al área de recolección de las aguas residuales para su experimentación con el equipo a escala piloto.

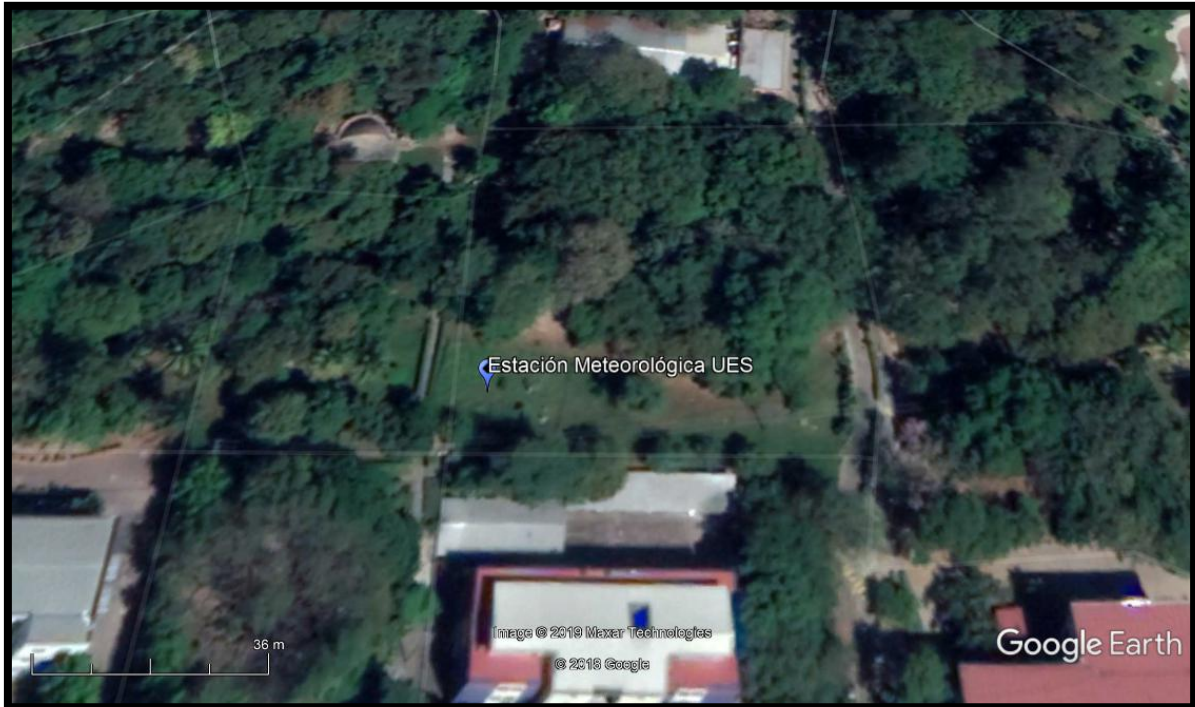


Figura 3.6 Vista espacial de la Estación Meteorológica de la Universidad de El Salvador (Google Earth).

3.5.1 Montaje del sistema.

Una vez ubicados el lugar y el material seleccionado para su construcción, se procedió a realizar el montaje; el cual se incluyó un depósito para almacenamiento de las aguas residuales con capacidad de 20 L (véase la Figura 3.7) para facilitar el flujo del sistema por gravedad, además se utilizaron sistema de tuberías para el flujo del agua a la entrada ubicado a 50 cm de altura de la base y salida ubicado a 20 cm de altura de la base del humedal artificial (véase el Anexo 11).



Figura 3.7 Depósito para almacenamiento de las aguas residuales.

Se utilizaron soportes para ubicar el humedal artificial el cual proporcionará la pendiente del 1% establecida en el diseño del mismo, colocando además soportes metálicos alrededor del humedal para brindarle mayor tensión al agregarle peso. En el interior del humedal, se colocó un medio filtrante constituido de 0.10 m de arena, 0.20 m de grava de $\frac{3}{4}$ y 0.10 m de arena, trasplantando en este lecho filtrante las plantas carrizo recolectadas (véase la Figura 3.8).

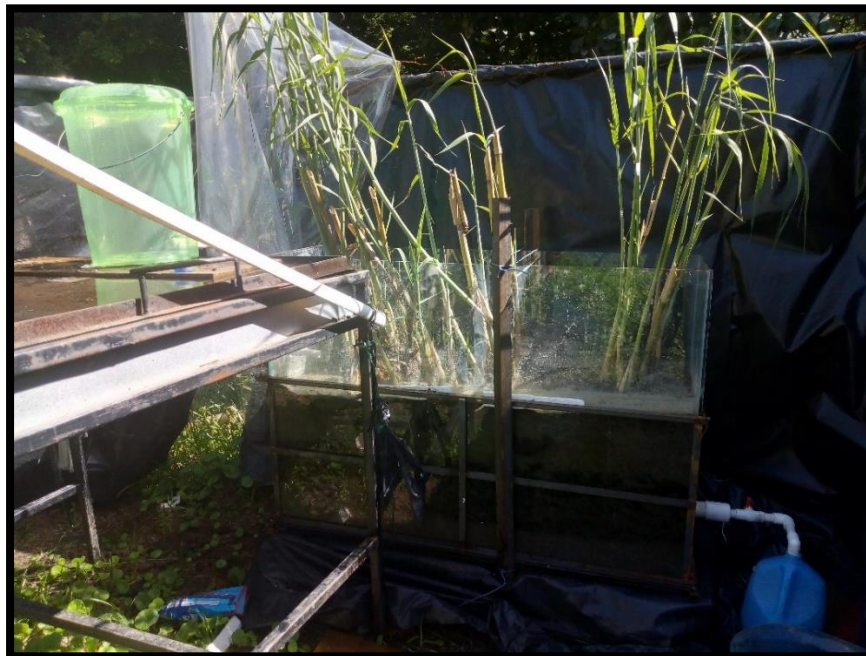


Figura 3.8 Montaje del humedal artificial a escala piloto.

3.5.2 Puesta en marcha.

Una vez realizado el montaje del sistema, se procedió a la puesta en marcha, la cual consistió en la adaptación de la planta al humedal artificial durante 7 días con agua recolectada en la Laguna El Jocotal y luego durante 7 adicionales agregando gradualmente las aguas residuales para llevar a cabo la ambientación de la planta carrizo al medio de estudio. Después de adaptadas las plantas a las aguas residuales, se inició el primer transporte de las aguas residuales desde el comedor n°3 hasta el depósito de almacenamiento de 20 L, utilizando galones para facilidad de transporte. Posteriormente cada día durante 4 horas se realiza la recirculación del agua de manera manual, para generar oxigenación dentro del humedal durante el tiempo de retención determinado en el apartado 3.2.2.

Se realizó una revisión a cada uno de los accesorios de entrada y de salida (tubería PVC, codos, válvulas, entre otros) revisando que todos los agujeros permitieran el flujo sin obstrucciones o escapes de agua, y evitar de esta forma en la puesta en marcha y funcionamiento normal, fallas de fugas de agua dentro del sistema de tratamiento.

Además, se colocó un recipiente en la parte inferior de la salida del humedal artificial para recolectar el agua proveniente de la tubería de ésta y enviarla nuevamente a la cabeza del proceso realizando así la recirculación manual de las aguas.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se desarrolla un análisis detallado de los resultados del comportamiento del agua residual mediante el sistema del humedal artificial y el sistema convencional fisicoquímico, por lo tanto, se presenta una comparación de eficiencias de remoción de contaminantes de dichos sistemas por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 “AGUA. AGUAS RESIDUALES. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES PARA DESCARGA Y MANEJO DE LODOS RESIDUALES” para la selección de la mejor alternativa, además la factibilidad económica del humedal artificial en escala real durante el proceso de experimentación. Por último, se determinará alternativas del agua ya tratada para su reúso y el mantenimiento realizado para el funcionamiento del humedal artificial.

4.1 Determinación del cumplimiento de parámetros del Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.05.01:18 “AGUA. AGUAS RESIDUALES. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES PARA DESCARGA Y MANEJO DE LODOS RESIDUALES”.

En este apartado se presentan y analizan los resultados de los parámetros evaluados en el comedor n°3, al agua del afluente y efluente, mediante el tratamiento fisicoquímico convencional y el sistema del humedal artificial, teniendo en cuenta que el agua extraída del lugar de estudio recibe un pre-tratamiento mediante una trampa de grasas para remover principalmente partículas gruesas y grasosas que puede tener el agua a la salida del comedor, es de esperar que el agua del afluente se encuentre con concentraciones menores que si se tratará de un agua residual cruda.

4.1.1 Resultados de la caracterización de las aguas grises proveniente de comedores.

Para la determinación de análisis de los parámetros fisicoquímicos que se realizaron en un laboratorio de control de calidad especializado (DBO₅, DQO, Aceite y Grasas, Detergentes), se tomaron muestras según lo descrito en la sección 2.4.2 y fueron llevadas al laboratorio (Véase el Anexo 2), obteniendo los resultados siguientes como se observa en la Tabla 4.1:

Tabla 4.1 Determinación de análisis de parámetros químicos del agua de los comedores de la Universidad de El Salvador.

DETERMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN RTS 13.05.01:18	RESULTADO	DICTAMEN
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	150 mg/L	1097.7 mg/L	RECHAZADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	60 mg/L	695.8 mg/L	RECHAZADO
Aceites y grasas	20 mg/L	178.0 mg/L	RECHAZADO
Detergentes	10 mg/L	16.1 mg/L	RECHAZADO

Fuente: LECC, 2019

Para la determinación de análisis de los parámetros que se realizaron dentro del Laboratorio de la Escuela de Ingeniería e Ingeniería de Alimentos (EIQA) (temperatura, pH, sólidos sedimentables y sólidos en suspensión), utilizando la metodología descrita en el capítulo 2, se obtuvieron los siguientes resultados:

A. *Temperatura.*

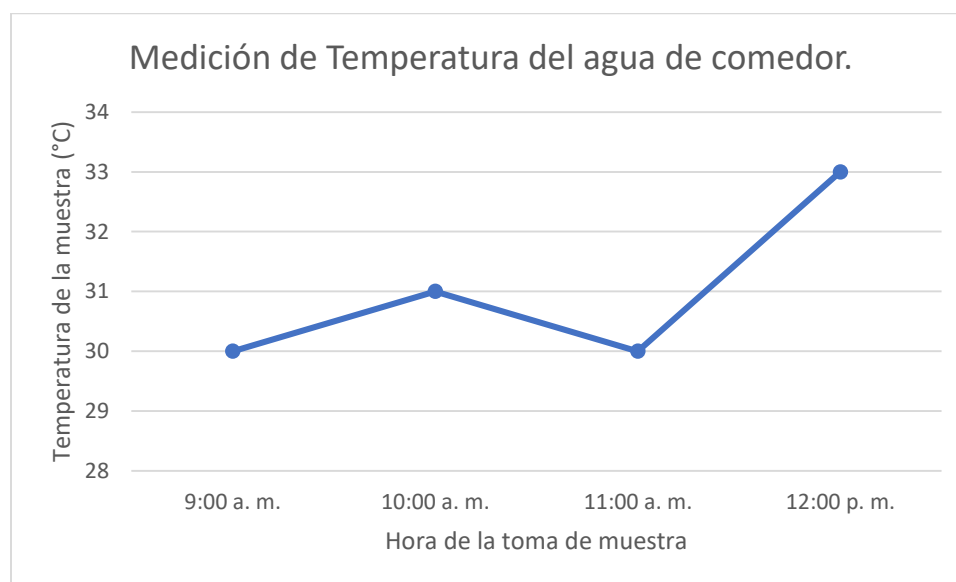
Con el procedimiento descrito en la sección 2.5, se obtuvieron los resultados con muestras tomadas durante 4 horas del agua proveniente de los comedores, como se observa en la Tabla 4.2:

Tabla 4.2 Medición de Temperatura del agua residual de los comedores de la Universidad de El Salvador.

Hora	Medición de Temperatura	
	Temperatura de la muestra (°C)	Promedio diario
9:00 am	30.0	31°C
10:00 am	31.0	
11:00 am	30.0	
12:00 pm	33.0	

Presentando una variación mayor de temperatura a las 12:00 pm como se observa en el Gráfico 4.1, en donde ocurre la mayor descarga de agua proveniente de las actividades de lavado y preparación de alimentos.

Gráfico 4.1 Variación de Temperatura de agua del afluente.



B. pH.

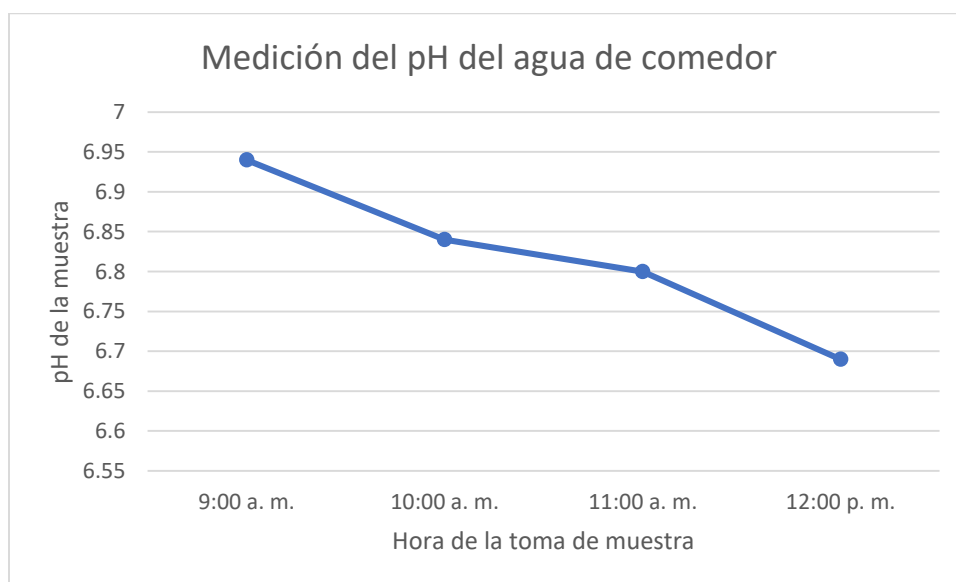
Con el procedimiento y equipo utilizado descrito en la sección 2.6, se obtuvieron los resultados de la medición como se observa en la Tabla 4.3:

Tabla 4.3 Medición del pH del agua residual de los comedores de la Universidad de El Salvador.

Hora	Medición de pH	
	pH de la muestra	pH de la muestra Homogeneizada
9:00 am	6.94	6.88
10:00 am	6.84	
11:00 am	6.80	
12:00 pm	6.69	

Presentando una variación en el pH en el punto en que se produce un decrecimiento en acidez del agua conforme avanza el tiempo de descarga del agua gris (véase el Gráfico 4.2).

Gráfico 4.2 Variación del pH de agua del afluyente.



En resumen, se presenta en la Tabla 4.4, el resultado promedio y resultados obtenidos en sólidos sedimentables y suspendidos tomando la metodología descrita en la sección 2.7 y 2.8 (véase el Anexo 8):

Tabla 4.4 Resultados de determinación de análisis de parámetros fisicoquímicos del agua de los comedores de la Universidad de El Salvador.

DETERMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN RTS 13.05.01:18	RESULTADO	DICTAMEN
pH	5.0 – 9.0	6.88	ACEPTADO
Temperatura	20°C – 35 °C	31 °C	ACEPTADO
Sólidos suspendidos totales	60 mg/L	220 mg/L	RECHAZADO
Sólidos sedimentables	1 ml/L	1.75 ml/L	RECHAZADO

4.1.2 Determinación del cumplimiento de parámetros del humedal artificial.

Para la determinación de los análisis de parámetros fisicoquímicos que se realizaron en un laboratorio de control de calidad especializado (DBO₅, DQO, Aceite y Grasas, Detergentes), se tomaron muestras compuestas provenientes de la tubería de salida del humedal artificial y fueron llevadas al laboratorio (véase el Anexo 2), obteniendo los resultados siguientes presentados en la Tabla 4.5:

Tabla 4.5 Resultados de análisis parámetros químicos del agua a la salida del humedal artificial.

DETERMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN RTS 13.05.01:18	RESULTADO	DICTAMEN
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	150 mg/L	107.4 mg/L	ACEPTADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	60 mg/L	34.8 mg/L	ACEPTADO
Aceites y grasas	20 mg/L	Menor a 3.3 mg/L	ACEPTADO
Detergentes	10 mg/L	2.3 mg/L	ACEPTADO

Fuente: LECC, 2019.

Para la determinación de los análisis de parámetros que se realizaron dentro del Laboratorio de la Escuela de Ingeniería e Ingeniería de Alimentos (EIQA) (temperatura, pH, sólidos sedimentables y sólidos en suspensión), usando la metodología descrita en el capítulo 2, tomando muestras del agua a la salida del humedal artificial en un intervalo de una hora obteniendo los siguientes resultados:

A. Temperatura.

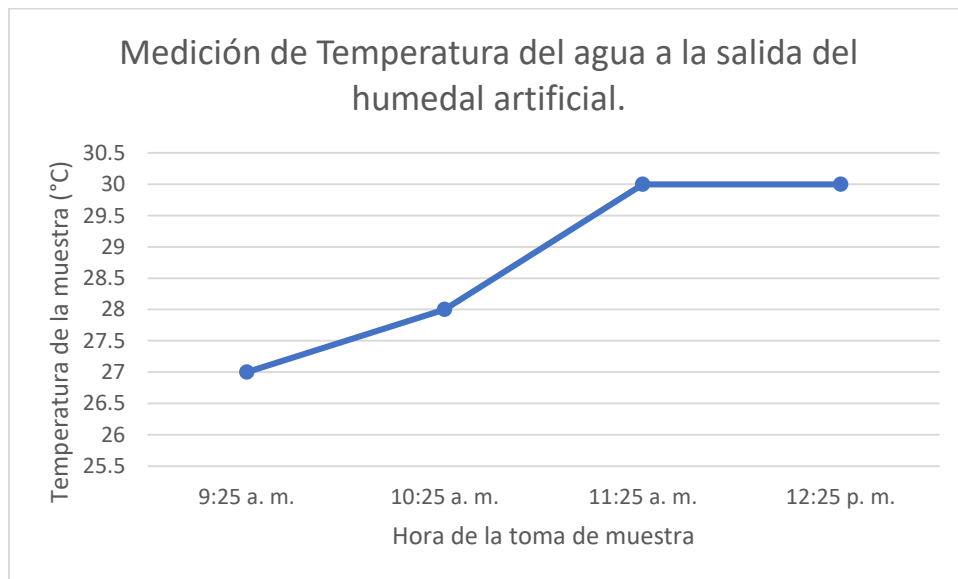
Con el procedimiento descrito en la sección 2.5, se obtuvieron los resultados de muestras tomadas durante 4 horas, presentados en la Tabla 4.6:

Tabla 4.6 Medición de Temperatura del agua a la salida del humedal artificial.

Hora	Medición de Temperatura	
	Temperatura de la muestra (°C)	Promedio diario
9:25 am	27	29°C
10:25 am	28	
11:25 am	30	
12:25 pm	30	

Presentando un aumento de temperatura con el tiempo, hasta hacerse constante en las horas comprendidas entre las 11:25 am y 12:25 pm como se observa en el Gráfico 4.3, en donde ocurre una mayor temperatura del área donde se encuentra instalado el humedal artificial.

Gráfico 4.3 Variación de Temperatura del agua del efluente del humedal artificial.



B. pH.

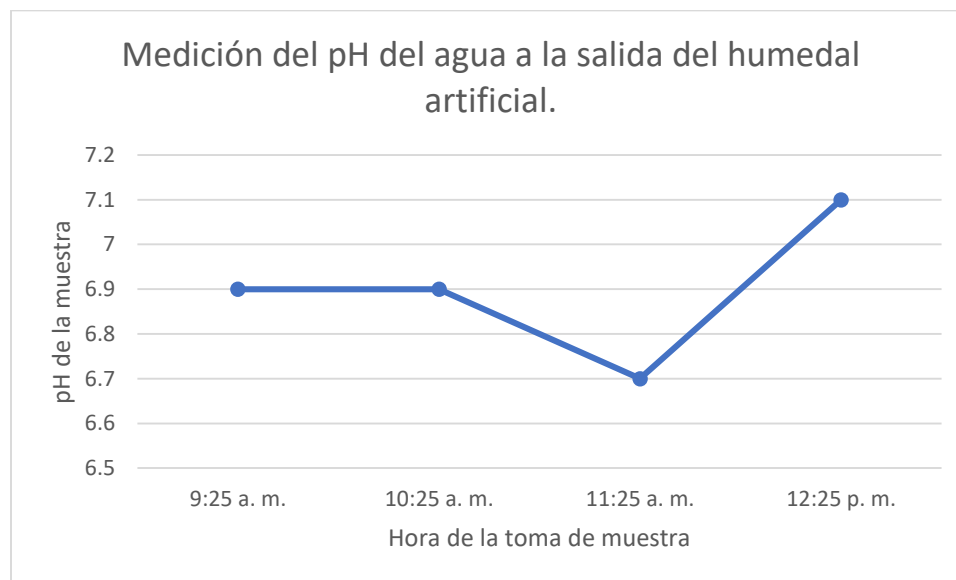
Con la metodología y equipo utilizado descrito en la sección 2.6, se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 4.7:

Tabla 4.7 Medición del pH del agua a la salida del humedal artificial.

Hora	Medición de pH	
	pH de la muestra	pH de la muestra Homogeneizada
9:25 am	6.9	6.7
10:25 am	6.9	
11:25 am	6.7	
12:25 pm	7.1	

Presentando una variación en el pH en aumento de basicidad durante la hora de las 12:25 pm como se observa en el Gráfico 4.4:

Gráfico 4.4 Variación del pH del agua del efluente del humedal artificial.



En resumen, se presenta en la Tabla 4.8, el resultado promedio y resultado obtenidos en sólidos sedimentables y suspendidos tomando la metodología descrita en la sección 2.7 y 2.8 (véase el Anexo 8):

Tabla 4.8 Determinación de análisis de parámetros fisicoquímicos a la salida del humedal artificial.

DETERMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN RTS 13.05.01:18	RESULTADO	DICTAMEN
pH	5.0 – 9.0	6.7	ACEPTADO
Temperatura	20°C – 35 °C	29°C	ACEPTADO
Sólidos suspendidos totales	60 mg/L	16 mg/L	ACEPTADO
Sólidos sedimentables	1 ml/L	0 ml/L	ACEPTADO

4.1.3 Determinación del cumplimiento de parámetros del método físico químico.

Para el tratamiento fisicoquímico de las aguas proveniente del comedor, se realizó un ensayo de Prueba de Jarras, descrito en la sección 2.9.1, con el propósito de determinar el pH, dosis óptima de floculante y coagulante y luego se realizó el proceso de decantación o sedimentación a nivel de planta Piloto.

Al obtener el pH optimo descrito en la metodología 2.9.1, los resultados obtenidos se pueden observar en la Tabla 4.9:

Tabla 4.9 Determinación del pH óptimo.

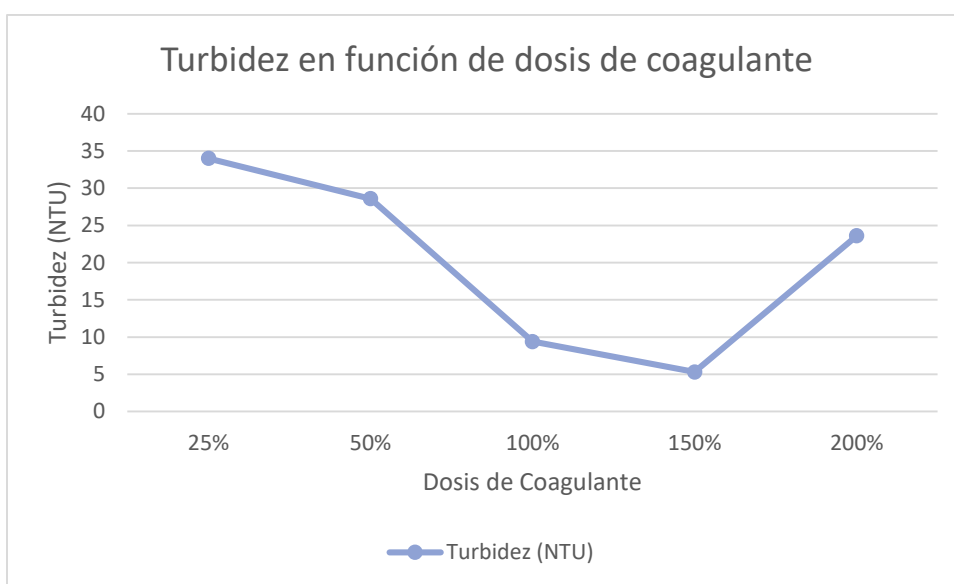
pH	Turbidez (NTU)	Dosis Coagulante	Dosis Floculante
6.4	12.0	50 gotas Alumbre	10 gotas PAC
6.0	6.5		
6.6	4.8		
5.8	6.1		
5.4	13.9		

Los valores obtenidos en la determinación de la dosis de coagulante óptima se presentan en la Tabla 4.10:

Tabla 4.10 Determinación de la dosis óptima.

pH óptimo	Turbidez (NTU)	Dosis Coagulante (gotas)		Dosis Floculante (gotas)	
6.6	34.0	25%	12.5	25%	2.5
	28.6	50%	25	50%	5
	9.4	100%	50	100%	10
	5.3	150%	75	150%	15
	23.6	200%	100	200%	20

Gráfico 4.5 Variación de la turbidez en función de la dosis de coagulante.



A. Resultados de la caracterización del análisis en laboratorios al finalizar el tratamiento fisicoquímico.

Para la determinación de los análisis fisicoquímicos que se realizaron en un laboratorio de control de calidad especializado (DBO₅, DQO, Aceite y Grasas, Detergentes), se tomó la muestra homogénea procedente de muestras compuestas, realizando la metodología descrita en la sección 2.9.1 y el agua tratada fue llevado al laboratorio (véase el Anexo 2), obteniendo los resultados siguientes como se observa en la Tabla 4.11:

Tabla 4.11 Resultados de análisis de parámetros químicos del agua en el tratamiento coagulación – floculación.

DETERMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN RTS 13.05.01:18	RESULTADO	DICTAMEN
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	150 mg/L	456.9 mg/L	RECHAZADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	60 mg/L	145 mg/L	RECHAZADO
Aceites y grasas	20 mg/L	Menor a 10.0 mg/L	ACEPTADO
Detergentes	10 mg/L	3.7 mg/L	ACEPTADO

Fuente: LECC, 2019.

Según los resultados mostrados en la Tabla 4.11, se puede evidenciar que en el caso de DQO y DBO₅ del agua tratada no cumple con los límites permisibles del reglamento técnico salvadoreño, por lo tanto, se tomó una alternativa por medio del tratamiento terciario por adsorción por carbón activado que permitió una reducción en la eliminación de la materia orgánica que no pudo ser eliminada en el tratamiento fisicoquímico por medio de la floculación – coagulación y sedimentación, luego el agua tratada obtenida fue llevado al laboratorio, obteniendo los resultados siguientes como se observa en la Tabla 4.12:

Tabla 4.12 Resultados de análisis de parámetros químicos del agua en el tratamiento por adsorción de carbón activado.

DETERMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN RTS 13.05.01:18	RESULTADO	DICTAMEN
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	150 mg/L	127.3 mg/L	ACEPTADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	60 mg/L	48.7 mg/L	ACEPTADO

Fuente: LECC, 2019.

Para la determinación de los análisis de parámetros que se realizaron dentro del Laboratorio de la Escuela de Ingeniería e Ingeniería de Alimentos (EIQA) (tempe-

ratura, pH, sólidos sedimentables y sólidos en suspensión), utilizando la metodología descrita en el capítulo 2, tomando mediciones del agua tratada luego del ensayo de jarras y el proceso de decantación tomando la metodología descrita de la sección 2.9.1, obteniendo los resultados siguientes como se observa en la Tabla 4.13:

Tabla 4.13 Resultados de análisis de parámetros fisicoquímicos del agua en el tratamiento coagulación – floculación.

DETERMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN RTS 13.05.01:18	RESULTADO	DICTAMEN
pH	5.0 – 9.0	5.0	ACEPTADO
Temperatura	20°C – 35 °C	26°C	ACEPTADO
Sólidos suspendidos totales	60 mg/L	20 mg/L	ACEPTADO
Sólidos sedimentables	1 ml/L	0 ml/L	ACEPTADO

4.2 Comparación y selección de eficiencias del humedal artificial y el sistema de tratamiento físico químico.

Para calcular las eficiencias de remoción tanto en el humedal artificial, como en el método fisicoquímico evaluados, según LONDOÑO Y MARÍN (2009), se utiliza la ecuación 4.1:

$$\%R = \frac{[[a]A - [a]E]}{[a]A} \times 100$$

Ecuación 4.1

Es decir la masa del analito en el afluente ($[a]A$) menos la masa del analito en el efluente ($[a]E$) dividido entre la masa del analito en el afluente ($[a]A$), por cien es igual al porcentaje de remoción.

Teniendo los resultados de análisis de los parámetros en las diferentes etapas del proceso de tratamiento, se procede a calcular el porcentaje de remoción (véase el Anexo 8), como se observa en la Tabla 4.14:

Tabla 4.14 Comparación de resultados de análisis de parámetros fisicoquímicos en las diferentes etapas del proceso.

PARAMETRO	ESPECIFICACIÓN RTS 13.05.01:18	RESULTADO DEL AGUA DE LOS COMEDORES	RESULTADO DEL AGUA CON TRATAMIENTO DE HUMEDAL ARTIFICIAL	REMOCIÓN DEL AGUA CON TRATAMIENTO HUMEDAL ARTIFICIAL (%)	RESULTADO DEL AGUA CON TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO	REMOCIÓN DEL AGUA CON TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO (%)	RESULTADO DEL AGUA CON TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO Y ADSORCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO	REMOCIÓN DEL AGUA CON TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO Y ADSORCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO (%)
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	150 mg/L	1097.7 mg/L	107.4 mg/L	90.22	456.9 mg/L	58.38	127.3 mg/L	88.40
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	60 mg/L	695.8 mg/L	34.8 mg/L	95.00	145 mg/L	79.16	48.7 mg/L	93.00
Aceites y grasas	20 mg/L	178.0 mg/L	Menor a 3.3 mg/L	98.15	Menor a 10.0 mg/L	94.38		
Detergentes	10 mg/L	16.1 mg/L	2.3 mg/L	85.71	3.7 mg/L	77.02		
pH	5.0 – 9.0	6.88	6.7	2.62	5.0	27.33		
Temperatura	20°C – 35 °C	31 °C	29°C	6.45	26°C	16.13		
Sólidos suspendidos totales	60 mg/L	220 mg/L	16 mg/L	92.73	20 mg/L	90.91		
Sólidos sedimentables	1 ml/L	1.75 ml/L	0 ml/L	100.00	0 ml/L	100.00		

4.2.1 Comparación de procesos a nivel de planta piloto.

Para comparar técnicamente las dos alternativas (tratamiento fisicoquímico vs humedal artificial) se procedió a la verificación de los parámetros de eficiencia de remoción mostrada en la Tabla 4.14, además se consideran ventajas en el beneficio proceso y caracterización de las dos alternativas (véase la Tabla 4.15).

Tabla 4.15 Comparación de procesos del tratamiento de aguas grises a nivel de laboratorio.

TRATAMIENTO CON HUMEDAL ARTIFICIAL	TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO
Método biológico de tratamiento	Uso de químicos en el tratamiento
Funciona como proceso primario, secundario y/o terciario.	Requiere de procesos primarios, secundarios y/o terciarios.
Belleza paisajística debido al uso de plantas ornamentales.	No posee belleza paisajística.
No requiere equipo especializado.	Requiere equipo especializado.
Mayor porcentaje de remoción de DBO, DQO, detergentes, aceites y grasas.	Requiere de tratamientos secundarios para mayor remoción de contaminantes orgánicos.
Operación menos peligrosa ya que no maneja químicos.	Cuidados de manejo de químicos.
No requiere consumo energético.	Requiere de energía para su funcionamiento-
Mantenimiento sencillo.	Mayor mantenimiento.
Requiere de una desinfección posterior para remoción de bacterias y virus patógenos.	Capacidad de erradicar bacterias y virus patógenos.
Requiere de un tiempo de residencia mayor para su funcionamiento óptimo.	El tiempo de residencia en el sistema es corto.
Requiere de mayor superficie para el sistema.	La superficie requerida es menor.
Fijación de carbono al medio ambiente.	No existe fijación de carbono.

Por todas estas razones anteriormente expuestas y con base a los resultados de porcentaje de remoción de contaminantes en las dos alternativas planteadas, se propone como alternativa efectiva el humedal artificial pues presenta una alta eficiencia de remoción de materia orgánica, además de ofrecer beneficios ambientales y menor gasto energético en su operación.

4.3 Estudio de factibilidad económica del humedal artificial.

En este apartado, se utilizará el método que más se ajuste a los requerimientos de costos del humedal artificial a escala real, ya que no se generarían ingresos por parte del sistema a evaluar. Los costos a determinar son:

- A. Costo de inversión.
- B. Costo de operación.
- C. Costo de mantenimiento.
- D. Costo de mano de obra.
- E. Valor de salvamento.

4.3.1 Costos de inversión del humedal artificial.

Estos costos incluyen un presupuesto de materiales necesarios a utilizar y la mano de obra para el proceso de construcción del humedal artificial, como se observa en la Tabla 4.16:

Tabla 4.16 Presupuesto de costos de materiales para construcción del humedal artificial.

No	Descripción	Unidad de medida	Costo (\$)	Cantidad	Cantidad Aproximada	Sub Total (\$)
Almacenes Vidrí						
1	Piedra tipo gavión, entre 4 y 5 pulgadas	m ³	17.00	11.55	12	\$204.00
2	Grava, entre 3/4 y 1 pulgada	m ³	43.90	46.2	47	\$2,063.30
3	Plástico de 0,7 mm de espesor, 3 m ancho útil	m	1.50	16.6	17	\$25.50
4	Tubería PVC, sanitaria de 38 mm(1 1/2")	m	6.00	11.7	12	\$72.00
5	Tapones PVC, sanitarios de 38 mm(1 1/2")	uni.	0.80	6	6	\$4.80
6	T's PVC sanitarias de 38 mm(1 1/2")	uni.	3.00	4	4	\$12.00
7	Bote "pegamento" PVC	uni.	8.00	2	2	\$16.00
8	Tubo silicón	uni.	5.00	2	2	\$10.00
9	Cemento	Bolsas	8.50	52	53	\$450.50
10	Arena colada	m ³	17.00	44	44	\$748.00
11	Ladrillos de obra	uni.	0.20	1733	1800	\$360.00
12	Poliducto 3"	rollo	29.95	1	1	\$16.00
13	Llave paso libre de evacuación	uni.	12.00	1	1	\$12.00
14	Sacos de mescal	uni.	1.00	295	295	\$295.00
15	Transporte de vegetación	m ³	3.00	11.55	12	\$180.00
Subtotal (\$)						\$4,469.10
16	Mano de Obra	persona	854.33	6	6	5,125.98
Total						\$9,595.08

Fuente: Ingeniería Sin Fronteras de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2019.

4.3.2 Costos de operación.

Esta opción no tiene costo de operación, ya que el humedal artificial trabaja por sí mismo, con la ayuda de la energía térmica de la radiación solar. Por lo tanto, el costo de operación para esta opción será cero.

4.3.3 Costos de mantenimiento.

El mantenimiento que se requiere, es la remoción de los posibles sólidos que pudieran llegar a precipitar en el humedal artificial. Además, se requiere la limpieza del humedal cada 6 meses para evitar la formación de musgos y el crecimiento acelerado de la vegetación acuática. Dentro de los costos de mantenimiento se encuentra la limpieza general a la trampa de grasa, que es realizada por el personal que labora en los comedores todos los días viernes de cada semana, estos costos como se observa en la tabla 4.17.

Tabla 4.17 Costos de limpieza de la trampa de grasas.

COSTOS DE MANTENIMIENTO	Sub total (\$)	ANUAL (\$)
Salario del empleado del día que realiza la limpieza	15	720
Costo de detergentes semanal	10	480
Costo de uso de 2m³ de agua para limpieza semanal	2.29	109.92
TOTAL		\$1,309.92

Consideraremos además un costo de mantenimiento cada tres meses que deberá realizarse un análisis de los parámetros fisicoquímicos que se requieran para asegurar la calidad del tratamiento de las aguas. Por lo que los costos que implica el mantenimiento anual como se observa en la tabla 4.18.

Tabla 4.18 Costos de mantenimiento del humedal artificial.

COSTOS DE MANTENIMIENTO	Sub total (\$)	ANUAL (\$)
Salario del operador mensual	400	4,800
Mantenimiento semestral	500	1,000
Mantenimiento de trampa de grasa mensual	109.16	1,309.92
Análisis fisicoquímicos trimestrales	120	360
TOTAL		\$7,469.92

4.3.4 Valor de salvamento.

El humedal artificial a escala real no tiene valor de salvamento porque no puede venderse; en todo caso, podrá vaciarse y rellenarse para reutilizar el terreno. Por lo tanto, consideraremos como valor de salvamento cero.

En resumen, los costos que servirán de base para realizar la evaluación económica del humedal artificial como se observa en la Tabla 4.19:

Tabla 4.19 Resumen de costos del primer año para el humedal artificial.

RESUMEN DE COSTOS	
COSTOS	(\$/ANUAL PRIMER AÑO)
Inversión	9,595.08
Operación	0.00
Mantenimiento	7,469.92
Valor de salvamento	0.00
TOTAL	\$17,065.00

4.3.5 Comparación de impactos económicos

La evaluación económica el caso del humedal artificial tiene un enfoque público realizado en función del bienestar social. Por lo tanto, se realiza una comparación de los impactos económicos positivos y negativos como se observa en la Tabla 4.20, que son considerados en primer lugar, una situación que no se considere el proyecto y como segundo lugar, considerando la implementación del proyecto del humedal artificial y por último considerando la implementación de un sistema de tratamiento fisicoquímico por medio de la coagulación – floculación.

Tabla 4.20 Impactos económicos.

Situación.	Impactos económicos.	
	Positivos	Negativos
Sin Proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • No se realiza inversión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desaprovechamiento del agua para usos secundarios. • Aumento del consumo del recurso hídrico potable.
Construcción del Humedal Artificial	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución en costo en descontaminación del recurso hídrico. • Disminución en costo del recurso hídrico potable. • Buena calidad del agua para el aprovechamiento de reutilización de usos secundarios (sistema de riego, servicios sanitarios, etc.) • Belleza paisajística. • Disminución en la contaminación de los suelos en la zona de construcción. • Costos de operación y mantenimiento bajos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de construcción.
Tratamiento fisicoquímico	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución en el área superficial para la instalación del sistema. • Disminución en el tiempo de residencia hidráulica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costos de materia prima y personal operación elevados. • Costos en mantenimiento del sistema. • Requiere más etapas de tratamiento (secundario y terciario). • Costos de energía eléctrica para su funcionamiento.

4.4 Alternativas de reutilización del agua tratada.

Según FRANCO (2007) es evidente que el principal beneficio de reutilizar el agua, en este caso las aguas grises, es la disminución de la demanda de agua de las fuentes tradicionales, vale decir, agua potable, pozos, ríos, etc. En lugares donde el agua es muy escasa y costosa, permite que esta sea una forma económica de riego, pudiendo tener así cultivos, frutales, etc., los cuales se traducen en fuente de alimento y/o ingreso. Por otro lado, una posibilidad de ahorro importante de agua potable, es en los inodoros, una de las grandes demandas de agua al interior de casas, la cual, si bien debe cumplir cierto grado de calidad, en especial referente a microorganismos, no tiene por qué tener calidad de agua de consumo humano.

Otro efecto positivo del reúso de las aguas grises, incluso si estas han recibido tratamiento, es el actuar como fertilizante en riego, aportando fósforo, nitrógeno y potasio al suelo, y algunos micronutrientes como boro.

En el caso de reúso en riego es necesario considerar el tipo de riego empleado ya que es un factor importante para saber qué nivel de tratamiento utilizar, así, por ejemplo, la aspersión es el tipo que requiere mejor calidad de agua, ya que deja gotas suspendidas en el aire, las cuales pueden ser inhaladas, entrar en contacto con ojos, boca o piel, y también caer sobre hojas, que, según el tipo de planta, puede llevar a reacciones indeseables. El caso contrario es el sub-superficial, el cual requiere de menor tratamiento dado su aislamiento bajo una capa de suelo.

4.5 Mantenimiento del humedal artificial.

Para el asegurar el buen funcionamiento del humedal artificial de tipo subsuperficial de flujo vertical, es necesario que se le dé un buen mantenimiento tanto a las unidades de pre-tratamiento como al humedal artificial como se describe a continuación:

4.5.1 Unidad de Pre-tratamiento.

La importancia de la correcta limpieza de la trampa de grasa brindara beneficios al sistema de tratamiento como la reducción de malos olores, dará mayor vida útil a la trampa de grasa, y evitara atascamientos manteniendo limpias las cañerías y evitando retrocesos debido a las líneas atascadas. Por lo que se debe hacer:

- a) Revisión semanal de las unidades y remoción de grasas flotantes y sólidos depositados en el fondo.
- b) Tratamiento a los materiales que se recojan de las unidades; ya sea juntarlos con los otros desechos del área y que reciban el mismo tratamiento que estos tienen o hacer una excavación en el patio, colocar los desechos y taparlos con tierra. Es importante agregarles cal con el fin de evitar olores y además para que los sólidos se deshidraten. Use como guía para la remoción de grasas y sólidos y para su disposición lo siguiente:
 1. Colóquese guantes para evitar contaminación, y usando un colador saque las grasas que se encuentran flotando en la unidad de pre tratamiento y colóquelas en una bolsa.
 2. Seguidamente, usando el colador saque los sólidos del fondo y colóquelos en una bolsa.
 3. Dele un sitio adecuado a los desechos recogidos.
 4. Lave el colador y los guantes. Lávese las manos con agua y jabón.
 5. Llene un formato de control de limpieza de trampa de grasa.

- c) Verificar el estado de la línea de ventilación, la cual siempre debe tener su salida en partes altas, superior al nivel de la nariz de las personas.

4.5.2 Humedal Artificial.

- a) Revisar periódicamente el canal o tubería de entrada y hacer la remoción de los flóculos sedimentados en ese canal de distribución. Esto se hace al menos una vez por mes.
- b) Cortar o deshijar las plantas que se siembren, la primera vez un año después de su siembra, y luego, al menos, cada seis meses.
- c) Llevar a cabo una limpieza periódica de la superficie de los lechos filtrantes, en forma especial después del corte o recorte de plantas, para evitar que la descomposición de esa materia orgánica en el sitio sature el lecho.
- d) Si se notan “charcos” o estancamientos de agua en la superficie, principalmente a la entrada del humedal artificial, se recomienda remover el material grueso y una sección (no menor a 50 cm) del material de menor tamaño del lecho filtrante, a todo el ancho. Es posible sacar el material y limpiarlo (lavarlo) o sustituirlo con material nuevo de las mismas características, para mantener durante varios años la alta eficiencia de remoción que posee el sistema.
- e) Mantener un buen control del espejo o nivel sumergido del agua. Ese nivel se debe mantener siempre a una profundidad muy cercana a los 10 cm por debajo de la superficie del material filtrante.
- f) Mantener un cronograma para el monitoreo del sistema de pre-tratamiento y el sistema del humedal artificial como se observa en la Tabla 4.21:

Tabla 4.21 Cronograma de mantenimiento del Pretratamiento y Humedal Atifical.

ETAPA	ACTIVIDAD	MES																								
		m	j	v	s	d	l	m	m	j	v	s	d	l	m	m	j	v	s	d	l	m	m	j	v	
Pretratamiento	Revisión visual de la unidad	■	■	■			■	■	■	■	■			■	■	■	■	■			■	■	■	■	■	
Pretratamiento	Remoción de grasas flotantes y sólidos en el fondo			■						■							■							■		
Pretratamiento	Verificar la línea de ventilación		■				■			■			■			■					■		■		■	
Humedal Artificial	Revisión de canal de tubería de entrada y salida y remoción de sedimentos	■						■						■									■		■	
Humedal Artificial	Limpieza de la vegetación																							■		
Humedal Artificial	Limpieza del lecho filtrante																						■			
Humedal Artificial	Control del nivel del agua	■	■	■			■	■	■	■	■			■	■	■	■	■			■	■	■	■	■	
Humedal Artificial	Análisis fisicoquímico del agua a la entrada																						■			
Humedal Artificial	Análisis fisicoquímico del agua a la salida																							■		
Humedal Artificial	Monitoreo de caudales	■	■	■			■	■	■	■	■			■	■	■	■	■			■	■	■	■	■	

CONCLUSIONES

1. Como resultado de la investigación realizada a las aguas grises proveniente de los comedores de la Universidad de El Salvador, se concluye que el sistema de purativo del humedal artificial subsuperficial de flujo vertical, tiene altos beneficios técnicos y económicos en el tratamiento de aguas grises catalogándose como óptimo, con una remoción en promedio de 71.76% en los ocho parámetros analizados (DBO₅, DQO, Aceites y Grasas, Detergentes, Sólidos Suspendidos, Sólidos Se-dimentables, pH, Temperatura) en comparación con el tratamiento fisicoquímico con una remoción en promedio de 67.91% por lo tanto el sistema de humedal artificial es realmente eficiente en el tratamiento de aguas grises.
2. Se realizó un diagnóstico previo al diseño y construcción del humedal artificial a escala piloto, caracterizando las entradas y salidas del flujo de agua tomando en cuenta el sistema de pre-tratamiento actual en el lugar de la recolección de muestra, además del estudio del área a realizar el montaje del sistema a escala piloto y la evaluación de materiales utilizados para la puesta en marcha del humedal artificial como sistema de tratamiento.
3. La vegetación acuática *Phragmites Australis* (Carrizo) es una especie que se adapta fácilmente al tipo de ambiente y sistema en estudio, proporcionando así, una eficiencia del 94.46% en la remoción de contaminantes como Aceites y Grasas DBO₅, y DQO presentes en las aguas grises de los comedores.
4. El humedal artificial de tipo subsuperficial es una buena alternativa para el tratamiento de aguas grises a nivel económico presentando un costo al año de \$17,065.00 obteniendo impactos positivos en beneficio social, ya que se lleva a cabo con procesos naturales propios de nuestro ecosistema.

RECOMENDACIONES

1. Durante el funcionamiento humedal artificial es necesario llevar un control de parámetros fisicoquímico cada 3 meses para la medición y determinación del cumplimiento de los parámetros de eficiencia de remoción y evaluar su integridad biológica, esto permite identificar y prevenir cualquier problema a futuro.
2. Para futuras investigaciones del sistema de humedal artificial se recomienda la realización de análisis microbiológico, y la influencia que hacen los microorganismos en la depuración de bacterias y otros componentes patógenos, logrando así un tratamiento de aguas más eficaz.
3. Se recomienda en la construcción y durante funcionamiento del humedal artificial un mantenimiento adecuado siguiendo los lineamientos y programación establecidos en esta investigación, haciendo un énfasis en el lavado general del lecho filtrante para evitar formación de musgos y crecimiento acelerado de la vegetación acuática.
4. Se recomienda hacer un mantenimiento y limpieza de la vegetación acuática haciendo un corte de las plantas secas de forma manual y su retirada en período vegetativo para evitar que partes de la planta lleguen al lecho filtrante liberando los nutrientes retenidos. Además, se recomienda la reproducción local de la vegetación para generar un ahorro económico evitando costos de transporte de la misma.
5. Se debe utilizar un material impermeable en la construcción del humedal artificial a escala real, el cual no permitirá la infiltración del agua a tratar en los suelos y prevenir la contaminación del agua y el mismo suelo.
6. Se recomienda hacer proyecciones a futuro de las condiciones climáticas de la zona, teniendo en cuenta cambios de temperatura en las diferentes épocas del

año, aumentos en precipitaciones y cambios en la posición de luz solar, para determinar nuevas alternativas a futuro o verificar si la propuesta mantiene su validez.

7. Se recomienda hacer una investigación sobre la reutilización de los desechos recolectados proveniente de la limpieza de la vegetación acuática, puede encontrarse la utilización de biomasa como alternativa para la generación de energía.

BIBLIOGRAFÍA.

1. ALASINO, NOELIA. (2009). *SÍNTESIS Y DISEÑO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES* (Tesis Doctoral, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL). Recuperado de <http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar>
2. American Society for Testing and Materials International [ASTM]. (2008). *Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water. Standard ASTM D2035- 08*. ASTM International. West Conshohocken, USA.
3. Andreo Martínez, Pedro. (2014). *EVALUACIÓN Y DISEÑO DE UN HUMEDAL CONSTRUIDO PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS* (Tesis Doctoral, UNIVERSIDAD DE MURCIA). Recuperado de <https://www.tdx.cat>
4. APHA, AWWA, Y WPCF. (1992). *MÉTODOS NORMALIZADOS Para el análisis de aguas potables y residuales* (Díaz de Santos). Madrid.
5. Asturnatura. (2019). *Thypa dominguensis* pers. Recuperado 3 de abril de 2019, de <http://www.asturnatura.com/especie/thypa-domingensis.html>
6. Burgos Huevo, H. E. (2015). *Uso de humedales artificiales como tratamiento terciario para la depuración de aguas residuales ordinarias en la Planta de Tratamiento del municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, El Salvador* (Tesis de Maestría, Universidad de El Salvador). Recuperado de <http://ri.ues.edu.sv>
7. CALDERÓN BENAVIDES, A. M., LÓPEZ JUÁREZ, V. E., Y SIETE GUARDADO, C. E. (2016). *ESTUDIO COMPARATIVO DE LA APLICACIÓN DE ZEOLITA ACTIVADA Y CARBÓN ACTIVADO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA FABRICACIÓN DE PINTURAS BASE AGUA*. (Trabajo de grado para optar al título de: Ingeniero Químico, Universidad de El Salvador). Recuperado de <http://ri.ues.edu.sv>
8. Carbotecnia. (2004, septiembre). EL CARBÓN ACTIVADO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. *Boletín técnico AR-001*. Recuperado de <https://www.carbotecnia.info/PDF/boletines/AR-001.pdf>
9. Crites, R. W., Middlebrooks, J., y Reed, S. C. (2006). *Natural Wastewater Treatment Systems*. Florida: CRC Press.
10. Cronk, J. K., y Fennessy, M. S. (2001). *Wetland Plants. Biology and Ecology*. New York: LEWIS PUBLISHERS.

11. CUEVA TORRES, E. Y., Y RIVADENEIRA BRAVO, F. A. (2013). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL CON VEGETACIÓN HERBÁCEA* (Informe Técnico del Proyecto de Investigación, ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO). Recuperado de <https://repositorio.espe.edu.ec>
12. Cyclus. (2019). Tipologías Aguas Residuales. Recuperado 1 de abril de 2019, de <http://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tipologias/>
13. EL ARBOL.org. (2019a). Cala o zantedeschia aethiopica. Recuperado 3 de abril de 2019, de <https://elarbol.org/cala-o-zantedeschia-aethiopica/>
14. EL ARBOL.org. (2019b). Phragmites Australis o Carrizo. Recuperado 3 de abril de 2019, de <https://elarbol.org/phragmites-australis-o-carrizo/>
15. FRANCO ALVARADO, M. V. (2007). *TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES CON APLICACIÓN A CASO EN CHILE* (Trabajo de grado para optar al título de: Ingeniero Civil, UNIVERSIDAD DE CHILE). Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl>
16. GAIKER. (2019, mayo 5). Coagulación—Floculación (JAR-TEST). Recuperado de http://www.gaiker.es/cas/coagulacion_floculacion_jar_test.aspx
17. GARCÍA RUBIO, D. A., Y LEAL CORREA, D. C. (2006). *DESARROLLO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL PILOTO CON ESPECIES NO CONVENCIONALES PARA MITIGAR LA CONTAMINACIÓN GENERADA POR EL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CENTRO DE VISITANTES DEL PARQUE NACIONAL NATURAL AMACAYACU – AMAZONAS*. (Trabajo de grado para optar al título de: Ingeniero Ambiental y Sanitario, UNIVERSIDAD DE LA SALLE). Recuperado de <http://repository.lasalle.edu.co>
18. GLOBAL INVASIVE SPECIES DATABASE. (2019). Eichhornia crassipes. Recuperado 3 de abril de 2019, de <http://www.iucngisd.org/gisd/speciesname/Eichhornia+crassipes>
19. Google Earth. (2019). Recuperado de <https://earth.google.com>
20. GÓMEZ PUENTES, N. A. (2005). *REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA POR COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN* (Trabajo de grado Monográfico para optar al título de: Ingeniero Químico, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA). Recuperado de <https://core.ac.uk>

21. GUEVARA LOZANO, R. C., Y MARTÍNEZ ORELLANA, T. M. (2017). *PROPUESTA PARA UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL ESTABLO DE GANADO BOVINO PERTENECIENTE A LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR* (Trabajo de grado para optar al título de: Ingeniera Química, Universidad de El Salvador). Recuperado de <http://ri.ues.edu.sv>

22. Ingeniería Sin Fronteras, FIA, UES. (2019, agosto 30). *Información de presupuesto en la construcción de una biojardinería* (Información proporcionada por medio Digital).

23. LAPA INGA, R. (2014). *PROPUESTA DE DISEÑO DE HUMEDAL ARTIFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON FINES DE RIEGO EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA- UNSCH- 2014* (Trabajo de grado para optar al título de: Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga). Recuperado de <http://repositorio.unsch.edu.pe>

24. LECC. (2019). *Resultados de parámetros químicos por distintos tipos de tratamiento de aguas residuales* (Información Proporcionada por medio Digital).

25. LONDOÑO CARDONA, L. A., Y MARÍN VANEGAS, C. (2009). *EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL ALIMENTADOS CON AGUA RESIDUAL SINTÉTICA*. (Trabajo de grado para optar al título de: Tecnólogo Químico, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA). Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co>

26. MARN. (2019). Perfiles Climatológicos. Recuperado 5 de mayo de 2019, de <https://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/clima/perfiles+climatologicos/>

27. MASCARÓS VICEDO, J. (2012). *ESTUDIO DE LA ELIMINACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA TURBIDEZ EN UN AGUA RESIDUAL DE UNA INDUSTRIA CÁRNICA* (Tesis de Maestría, UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA). Recuperado de <https://riunet.upv.es>

28. Ministerio de Salud, V. de P. de S. D. de S. A. (2014). *Reglamento Técnico Salvadoreño para la instalación y funcionamiento de Sistemas de Tratamiento Individual de Aguas Negras y Grises*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/370057660/Reglamento-Tecnico-Salvadoreno-Para-La-Instalacion-y-Funcionamiento-de-Sistemas-de-Tratamiento-Individual-de-Aguas-Negras-y-Grises>

29. Moncada Corrales, S. (2011). *EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE UNA BIOJARDINERA DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISAS EN ZAPOTE, SAN JOSÉ* (Trabajo de grado para optar al título de: Licenciatura en Ingeniería Ambiental, INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA). Recuperado de <https://core.ac.uk>
30. Mufarrege, M. de las M. (2012). *Tolerancia y eficiencia de Typha domingensis Pers. En la retención de metales y nutrientes de efluentes industriales*. (Tesis Doctoral, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL). Recuperado de <http://web10.unl.edu.ar>
31. Neira, S. D. (2008, septiembre). *MANUAL DE BIOJARDINERAS*. Recuperado de <http://aula.aguapedia.org>
32. ONU-HABITAT. (2008). *MANUAL DE HUMEDALES ARTIFICIALES*. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/67745515/Manual-Humedales-2>
33. OSARTEC. (2019). *RTS 13.05.01:18 AGUA. AGUAS RESIDUALES. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES PARA DESCARGA Y MANEJO DE LODOS RESIDUALES*. Recuperado de <http://osartec.gob.sv>
34. Restrepo Osorno, H. A. (2009). *EVALUACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, Medellín.
35. RODRÍGUEZ LATORRE, A. (2017). *DISEÑO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL PARA EL MUNICIPIO ARCOS DE LAS SALINAS (TERUEL)* (Tesis de Maestría, UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA). Recuperado de <https://riunet.upv.es>
36. SENASBA. (2015). *Guía para la toma de muestras de agua residual*. Recuperado de <https://periagua.webmo.info>
37. SERRANO MARTINEZ, A. R. (2013). *PROPUESTA DE NORMATIVA PARA AGUAS RECREATIVAS DE EL SALVADOR* (Trabajo de grado para optar al título de: Licenciatura en Química y Farmacia, Universidad de El Salvador). Recuperado de <http://ri.ues.edu.sv>
38. Smith, P. G., y Scott, J. G. (2005). *Dictionary of Water and Waste Management* (2°). IWA.
39. SORTO MEZA, R. B., Y ROMERO PINEDA, Y. M. (2013). *PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA AVICOLA* (Trabajo de grado para optar al título de: Licenciatura en Química y Farmacia, Universidad de El Salvador). Recuperado de <http://ri.ues.edu.sv>

40. Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2010). *MANUAL OPERATIVO DE LA NORMA DE MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES*. Recuperado de http://www.siss.gob.cl/586/articles-8519_Manual_opNMAR.pdf

ANEXOS

Anexo 1: Proceso de muestreo de las aguas residuales en comedores de la Universidad de El Salvador.



Figura 1.1 Tubería de descarga de las aguas grises del comedor n°3 de la Universidad de El Salvador.



Figura 1.2 Sistema de trampa de grasas del comedor n°3 de la Universidad de El Salvador.



Figura 1.3 Recolección de la muestra.



Figura 1.4 Preparación de muestra compuesta.



Figura 1.5 Muestras para determinación de parámetros fisicoquímicos.

Anexo 2: Resultados de parámetros químicos del proceso.

A. Resultados de muestras en las aguas residuales en los comedores de la Universidad de El Salvador.



Laboratorio Especializado en Control de Calidad

ESEBESA, S.A. DE C.V.

No. de Inscripción 357

Calle San Antonio Abad, No. 1965. San Salvador, El Salvador, C.A.
PBX: (503) 2525-0200 FAX: 2525-0222 • www.lecc.com.sv • E-mail: info@lecc.com.sv

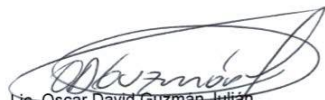
INFORME DE ANÁLISIS

PROCEDENCIA:	DELMY GONZÁLEZ	CONTROL:	AG-905-787
MUESTRA:	AGUA RESIDUAL DE COMEDORES	LOTE:	NO APLICA
	ORIGEN: USOS DOMÉSTICOS	VENCIMIENTO:	NO DISPONIBLE
	FECHA: 02/05/19, HORA: 3:15 PM	INGRESO:	02-MAY-2019
		MUESTREÓ:	CLIENTE
		EMISIÓN:	13-MAY-2019

DETERMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN	RESULTADOS
Demanda Química de Oxígeno * Referencia: SMEWW. Método: 5220 D. 23rd Edition, 2017. Fecha final de análisis: 06-may-2019	LMP: 150 mg/L	1,097.7 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno * Referencia: SMEWW. Método: 5210 B. 22nd Edition, 2012. Fecha final de análisis: 08-may-2019	LMP: 60 mg/L	695.8 mg/L
Aceites y Grasas * Referencia: SMEWW. Método: 5520 B. 23rd Edition, 2017. Fecha final de análisis: 09-may-2019	LMP: 20 mg/L	178.0 mg/L
Detergentes (Sustancias Activas al Azul de Metileno SAAM) * Referencia: SMEWW. Método: 5540-C, 22nd Edition, 2012. Fecha final de análisis: 03-may-2019	LMP: 10 mg/L	16.1 mg/L

ESPECIFICACIÓN SEGÚN: NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA NSO 13.49.01:09, AGUA RESIDUAL TIPO ORDINARIO
SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
LMP: Límite Máximo Permisible

El informe corresponde a la muestra recibida y ensayada


Lic. Oscar David Guzman Julian
Dir. Integración Técnica-Administrativa

Lic. OSCAR DAVID GUZMAN JULIAN
QUIMICO FARMACEUTICO
Insc. J.V.P.Q.F. No. 1810

* PRUEBAS ACREDITADAS BAJO NORMA ISO 17025 VIGENTE



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA POR LA DIRECCIÓN DE LECC
EL INFORME NO ES VALIDO SIN EL SELLO SECO DE LECC

Pag: 1 de 1

B. Resultado de muestras del agua en el tratamiento fisicoquímico.



Laboratorio Especializado en Control de Calidad

ESEBESA, S.A. DE C.V.
No. de Inscripción 357

Calle San Antonio Abad, No. 1965. San Salvador, El Salvador, C.A.
PBX: (503) 2525-0200 FAX: 2525-0222 • www.lecc.com.sv • E-mail: info@lecc.com.sv

INFORME DE ANÁLISIS

PROCEDENCIA: DELMY GONZÁLEZ	CONTROL: AG-908-760
MUESTRA: AGUA RESIDUAL DE COMEDORES	LOTE: NO APLICA
ANÁLISIS FISICO-QUÍMICO, DÓMESTICO	VENCIMIENTO: NO DISPONIBLE
FECHA: 13/08/2019, HORA: 4:30 PM	INGRESO: 13-AGO.-2019
	MUESTREÓ: CLIENTE
	EMISIÓN: 21-AGO.-2019

DETERMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN	RESULTADOS
Demanda Química de Oxígeno * Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 5220 D. Fecha final de análisis: 19-ago.-2019	LMP: 150 mg/L	456.9 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno * Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 5210 B. Fecha final de análisis: 20-ago.-2019	LMP: 60 mg/L	145.8 mg/L
Aceites y Grasas * Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 5520 B. Fecha final de análisis: 20-ago.-2019	LMP: 20 mg/L	Menor a 10.0 mg/L
Detergentes (Sustancias Activas al Azul de Metileno SAAM) * Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 5540-C Fecha final de análisis: 15-ago.-2019	LMP: 10 mg/L	3.7 mg/L

ESPECIFICACIÓN SEGÚN: NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA NSO 13.49.01:09, AGUA RESIDUAL TIPO ORDINARIO
SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
LMP: Limite Máximo Permisible

El informe corresponde a la muestra recibida y ensayada


Lic. Oscar David Guzmán Julian
Dir. Integración Técnica-Administrativa

Lic. OSCAR DAVID GUZMAN JULIAN
QUIMICO FARMACEUTICO
Insc. J.V.P.Q.F. No. 1810

* PRUEBAS ACREDITADAS BAJO NORMA ISO 17025 VIGENTE



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA POR LA DIRECCIÓN DE LECC
EL INFORME NO ES VALIDO SIN EL SELLO SECO DE LECC

Pag: 1 de 1

C. Resultado de muestras del agua del efluente en el humedal artificial.



Laboratorio Especializado en Control de Calidad

ESEBESA, S.A. DE C.V.
No. de Inscripción 357

Calle San Antonio Abad, No. 1965. San Salvador, El Salvador, C.A.
PBX: (503) 2525-0200 FAX: 2525-0222 • www.lecc.com.sv • E-mail: info@lecc.com.sv

INFORME DE ANÁLISIS

PROCEDENCIA: DELMY GONZÁLEZ	CONTROL: AG-908-837
MUESTRA: AGUA RESIDUAL DE COMEDORES, HUMEDAL ARTIFICIAL	LOTE: NO APLICA
ORIGEN: COMEDOR DE UES	VENCIMIENTO: NO DISPONIBLE
FECHA: 16/08/2019; HORA: 12:45 PM	INGRESO: 16-AGO.-2019
	MUESTREÓ: CLIENTE
	EMISIÓN: 26-AGO.-2019

DETERMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN	RESULTADOS
Demanda Química de Oxígeno * Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 5220 D. Fecha final de análisis: 21-ago.-2019	LMP: 150 mg/L	107.4 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno * Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 5210 B. Fecha final de análisis: 22-ago.-2019	LMP: 60 mg/L	34.8 mg/L
Aceites y Grasas * Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 5520 B. Fecha final de análisis: 23-ago.-2019	LMP: 20 mg/L	Menor a 3.3 mg/L
Detergentes (Sustancias Activas al Azul de Metileno SAAM) * Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 5540-C Fecha final de análisis: 19-ago.-2019	LMP: 10 mg/L	2.3 mg/L

ESPECIFICACIÓN SEGÚN: NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA NSO 13.49.01:09, AGUA RESIDUAL TIPO ORDINARIO
SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
LMP: Límite Máximo Permisible

El informe corresponde a la muestra recibida y ensayada


Lic. Ligia Salazar Banegas
Responsable Sanitario

Lic. LIGIA ELIZABETH SALAZAR BANEGAS
QUIMICO FARMACEUTICO
Insc. J.V.P.Q.F. No. 1809

* PRUEBAS ACREDITADAS BAJO NORMA ISO 17025 VIGENTE



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA POR LA DIRECCIÓN DE LECC
EL INFORME NO ES VALIDO SIN EL SELLO SECO DE LECC

Pag: 1 de 1

D. Resultados de muestras de agua en el tratamiento fisicoquímico y adsorción con carbón activado.



Laboratorio Especializado en Control de Calidad

ESEBESA, S.A. DE C.V.

No. de Inscripción 357

Calle San Antonio Abad, No. 1965. San Salvador, El Salvador, C.A.
PBX: (503) 2525-0200 FAX: 2525-0222 • www.lecc.com.sv • E-mail: info@lecc.com.sv

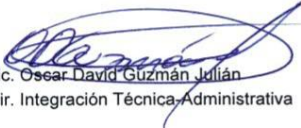
INFORME DE ANÁLISIS

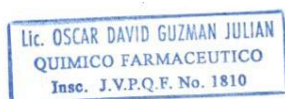
PROCEDENCIA: DELMY GONZÁLEZ	CONTROL: AG-909-364
MUESTRA: AGUA RESIDUAL DE COMEDORES, ADSORCIÓN CARTÓN ACTIVADO	LOTE: NO APLICA
ORIGEN: PROCESO INTERNO	VENCIMIENTO: NO DISPONIBLE
FECHA: 11/09/2019, HORA: 4:30 PM	INGRESO: 11-SEP-2019
	MUESTREÓ: CLIENTE
	EMISIÓN: 20-SEP-2019

DETERMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN	RESULTADOS
Demanda Química de Oxígeno * Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 5220 D. Fecha final de análisis: 17-sep-2019	LMP: 150 mg/L	127.3 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno * Referencia: SMEWW. 23rd Edition, 2017. Método: 5210 B. Fecha final de análisis: 18-sep-2019	LMP: 60 mg/L	48.7 mg/L

ESPECIFICACIÓN SEGÚN: NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA NSO 13.49.01:09, AGUA RESIDUAL TIPO ORDINARIO
SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
LMP: Límite Máximo Permissible

El informe corresponde a la muestra remitida y ensayada


Lic. Oscar David Guzmán Julián
Dir. Integración Técnica/Administrativa



* PRUEBAS ACREDITADAS BAJO NORMA ISO 17025 VIGENTE



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA POR LA DIRECCIÓN DE LECC
EL INFORME NO ES VALIDO SIN EL SELLO SECO DE LECC

Pag: 1 de 1

Anexo 3: Procedimiento de Medición de pH en aguas residuales.

Procedimiento (APHA; AWWA; WPCF;, 1992).

b) Análisis de la muestra: Establézcase el equilibrio entre electrodos y muestra agitando ésta para asegurar su homogeneidad; la agitación será suave para reducir al mínimo el arrastre de dióxido de carbono. Para muestras tamponadas o con gran fuerza iónica, acondiciónense los electrodos después de limpiarlos, introduciéndolos en la muestra durante 1 minuto. séquense y sumérjanse en otra porción nueva de la misma muestra, y léase el pH.

Con soluciones diluidas, mal tamponadas, equilíbrense los electrodos por inmersión en tres o cuatro porciones sucesivas de la muestra. Tómese una muestra nueva para medir el pH.

Anexo 4: Procedimiento de Medición de Sólidos Sedimentables en aguas residuales.

Discusión general (APHA; AWWA; WPCF, 1992).

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).

Instrumental

La prueba volumétrica requiere solamente un cono de Imhoff.

Procedimiento

- a) *Volumétrico*: Llénese un cono de Imhoff hasta la marca 1-1 con una muestra bien mezclada. Déjese sedimentar durante 45 minutos, removiendo a continuación suavemente las paredes del cono con una varilla o mediante rotación; manténgase en reposo 15 minutos más y regístrese el volumen de sólidos sedimentables del cono como milímetros por litro. Si la materia sedimentada contiene bolsas de líquido entre partículas gruesas, evalúese el volumen de aquellas y réstese del volumen de sólidos sedimentados. El límite inferior práctico de la medición depende de la composición de la muestra y, en general, es del orden de 0,1 a 1,0 ml/l. En caso de producirse una separación de materiales sedimentables y notables, no deben valorarse estos últimos como material sedimentable.

Anexo 5: Procedimiento de Medición de Sólidos Suspensos en aguas residuales.

Discusión general (APHA; AWWA; WPCF, 1992).

- a) *Principio:* Se filtra una muestra bien mezclada por un filtro estándar de fibra de vidrio, y el residuo retenido en el mismo se seca a un peso constante a 103- 105 °C. El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión. Si este material obtura el filtro y prolonga la operación de filtrado, la diferencia entre el total de sólidos y el total de sólidos disueltos puede proporcionar un cálculo aproximado de los sólidos totales en suspensión.
- b) *Interferencias:* Elimínense de la muestra las partículas gruesas flotables o los aglomerados sumergidos de materiales no homogéneos, si se decide que su inclusión no es deseable en el resultado final. Puesto que un residuo excesivo sobre el filtro puede formar una costra hidrófila, límitese el tamaño de la muestra para que proporcione un residuo no mayor de 200 mg. Para las muestras ricas en sólidos disueltos, lávese meticulosamente el filtro para asegurar la eliminación del material disuelto. Los tiempos de filtración prolongados, consecuencia de la obturación del filtro, pueden originar resultados altos debido a una cantidad excesiva de sólidos capturados en el filtro obturado.

Instrumental

Además de los aparatos enumerados en las secciones 2540B.2 y 2540C.2, con excepción de las placas de evaporación, el baño de vapor y el horno de 180 °C, se requiere una: Plancheta*, acero inoxidable o aluminio, 65 mm de diámetro.

Procedimiento

- a) *Preparación del disco de filtrado de fibra de vidrio:* Insértese el disco con la cara rugosa hacia arriba en el aparato de filtrado. Hágase el vacío y lávese el disco con tres volúmenes sucesivos de 20 ml de agua destilada. Continúese succio-

nando hasta1 eliminar todo vestigio de agua, y retírese el agua de lavado. Quítese el filtro del aparato de filtrado y trasládese a una plancheta de aluminio o acero inoxidable. Alternativamente, procédase a separar el crisol y la combinación de filtro si se está utilizando un crisol de Gooch.

Séquese en horno a 103-105 °C durante una hora. Si se van a medir sólidos volátiles, incinérese a 550 ± 50 °C en horno de mufla, enfríese en desecador para equilibrar la temperatura y procédase a pesar. Repítase el ciclo de secado o incineración, enfriamiento, desecación y pesado hasta obtener un peso constante o hasta que la pérdida de peso sea menor de 0,5 mg entre pesadas sucesivas. Consérvese en desecador hasta que se necesite. Pesar inmediatamente antes de usar.

- b) *Selección del filtro y tamaños de la muestra:* Véase sección 2540C.3c. Para muestras no homogéneas como agua residual no tratada, utilícese un filtro ancho para permitir el filtrado de una muestra representativa.
- c) *Análisis de la muestra:* Móntese el aparato de filtrado y el filtro e iníciase la succión. Para ajustar el filtro, humidézcase éste con una pequeña cantidad de agua destilada. Filtrese un volumen medido de muestra bien mezclada por el filtro de fibra de vidrio. Lávese con tres volúmenes sucesivos de 10 ml de agua destilada, permitiendo el drenaje completo del filtro entre los lavados, y continúese succionando durante unos tres minutos después de terminar el filtrado. Sepárese cuidadosamente el filtro del aparato y trasládese a una plancheta de aluminio o acero inoxidable. Alternativamente, procédase a separar el crisol y la combinación de filtro del adaptador del crisol, si se está utilizando un crisol de Gooch. Séquese en horno a 103-105 °C durante una hora al menos, enfríese en un desecador para equilibrar la temperatura y pésese. Repetir el ciclo de secado, enfriamiento, desecación y pesado hasta obtener un peso constante o hasta que la pérdida de peso sea menor del 4 por 100 del peso previo o menor de 0,5 mg (escoger la menor de ambas).

Anexo 6: Procedimiento del método físico – químico de tratamiento de aguas residuales.

Según la Norma ASTM D2035-08 (2003), plantea el siguiente procedimiento a seguir para la realización de la Prueba de Jarras:

1. Mida volúmenes iguales (1000 ml) de muestra en cada uno de los frascos o vasos de precipitado de 1500 ml. Se pueden usar tantas porciones de muestra como haya posiciones en el agitador múltiple. Ubique los vasos de manera que las paletas queden descentradas, pero limpie la pared del vaso unos 6,4 mm (1/4 in.). Registre la temperatura de la muestra al inicio de la prueba.
2. Cargue los productos químicos de prueba en los racks de reactivos. Utilice un bastidor para cada serie de adiciones químicas. Componga cada tubo en el estante hasta un volumen final de 10 ml, con agua, antes de usar. Puede haber una situación en la que se requerirá un mayor volumen de reactivo. Si esta condición prevalece, llene todos los tubos con agua hasta un volumen igual al mayor volumen de reactivo en la gradilla de reactivos. Cuando agregue lodos, puede ser necesario agitar el bastidor para producir un movimiento giratorio justo antes de la transferencia.
3. Arranque el agitador múltiple a la velocidad de "mezcla instantánea" de aproximadamente 120 rpm. Agregue la solución de prueba o suspensiones, a niveles de dosificación y secuencia predeterminados. Mezcla instantánea durante aproximadamente 1 minuto después de las adiciones de productos químicos. Grabe el tiempo de mezcla de flash y la velocidad (rpm).
4. Reduzca la velocidad según sea necesario al mínimo requerido para mantener las partículas de flóculo uniformemente suspendidas durante el período de "mezcla lenta". Mezcla lenta durante 20 min. Registre el tiempo para la primera formación de flóculo visible. Cada 5 minutos (durante el período de mezcla lenta), registre el tamaño relativo del flujo y la velocidad del mezclador (rpm). Si se usan coagulantes, la velocidad de mezcla es crítica porque la agitación excesiva tiende a romper la formación temprana de flóculos y puede redispersar la ayuda.

5. Después del lento período de mezcla, retire las paletas y observe la sedimentación de las partículas de flóculo. Registre el tiempo requerido para que la mayor parte de las partículas se asienten. En la mayoría de los casos, este tiempo será el requerido para que las partículas se asienten en el fondo del vaso de precipitados; sin embargo, en algunos casos puede haber corrientes de convección interferentes. Si es así, el tiempo de asentamiento registrado debe ser aquel en el que las partículas no resueltas o residuales parecen estar moviéndose igualmente hacia arriba y hacia abajo.
6. Después de 15 minutos de asentamiento, registre la apariencia del flóculo en el fondo del vaso de precipitados. Registre la temperatura de la muestra. Por medio de una pipeta o sifón, extraiga un volumen de muestra adecuado de líquido sobrenadante de la jarra en un punto la mitad de la profundidad de la muestra, para realizar el color, la turbidez, el pH y otros análisis requeridos.
7. Repita los pasos 1 – 6 hasta que todas las variables pertinentes hayan sido evaluadas.
8. Los tiempos indicados en 3, 4 y 6 son solo sugerencias.

Anexo 7: Encuesta de consumo de agua de los comedores.



Universidad de El Salvador
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos

Encuesta de Consumo de Agua en comedores de la Universidad de El Salvador

Llenar la siguiente encuesta que tiene como objetivo la recolección de información para la investigación sobre el consumo de aguas dentro de los comedores, esta información será utilizada con discreción y fines investigativos para la elaboración del diseño de un humedal artificial como solución al tratamiento de las aguas grises generadas en el sector.

1. Marque con una X las actividades que involucran uso de agua potable proveniente del chorro dentro de su establecimiento:

Actividad		Actividad	
a) Lavado de manos		f) Limpieza de mesas	
b) Lavado de utensilios de cocina		g) Limpieza de pisos	
c) Lavado de alimentos		h) Limpieza de electrodomésticos	
d) Uso para cocinar alimentos		i) Uso para hielo	
e) Uso para bebidas naturales		j) Otros*	

*Especifique otros usos: _____

2. ¿Qué hora considera usted que hace uso de la mayor cantidad de agua? _____
3. ¿Cuántos platos plásticos lava aproximadamente en el día? _____
4. ¿Cuántos vasos plásticos lava aproximadamente en el día? _____
5. ¿En cuánto tiempo considera usted que realizan las actividades de lavado? _____
6. ¿Cuál es la cantidad aproximada de platos de comida que vende en el día? _____
7. ¿Cuántas personas trabajan en su establecimiento? _____
8. ¿Cuántas veces al día se realiza el lavado de manos? _____
9. Indique qué tipo de detergente utiliza para lavado de utensilios
Polvo _____ Líquido _____ Barra _____
10. ¿Qué marca de detergente utiliza en su establecimiento? _____
11. ¿Cuántos litros de agua aproximadamente, considera usted que utiliza en las actividades del día? _____

Tabla 7.1 Recolección de datos obtenidos en la encuesta.

PREGUNTA	COMEDOR N°1	COMEDOR N°2	COMEDOR N°3	COMEDOR N°4	COMEDOR N°5	TOTAL
2. ¿Qué hora considera usted que utiliza la mayor cantidad de agua?	04:00 p.m.	9:00 - 11:00 am	7:00 am - 4:00 pm	7:00 am - 5:00 pm	11:00 am - 1:00 pm	
3. ¿Cuántos platos lava aproximadamente en el día?	0	50	84	200	250	584 platos
4. ¿Cuántos vasos lava aproximadamente en el día?	0	0	0	25	50	75 vasos
5. ¿En cuánto tiempo considera usted que realizan las actividades de lavado? (horas)	1.00	1.50	2.00	1.00	2.00	7.50 horas
6. ¿Cuál es la cantidad promedio de platos de comida que vende en el día?	75	150	150	700	1500	2575 platos
7. ¿Cuántas personas laboran en su establecimiento?	4	6	7	10	13	40 personas
8. ¿Cuántas veces al día se realiza el lavado de manos?	10	15	20	14	18	77 veces
9. Indique qué tipo de detergente o jabón utiliza para lavado de utensilios	Barra y polvo	Líquido y barra	Polvo y barra	Líquido	Líquido	
10. ¿Qué marca de detergente o jabón utiliza en su establecimiento?	Rinso	Bidex	Xedex y Acción	Bidex	Bidex	
11. ¿Cuántos litros de agua aproximadamente, considera usted que utiliza en las actividades del día?	180	360	240	480	600	1860 Litros

Anexo 8: Memoria de Cálculos.

A. Estimación de Caudal Promedio de Comedores de la Universidad de El Salvador.

Teniendo datos conocidos del comedor n° 3:

$$\text{Caudal Comedor n° 3} = 9.34 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Consumo Total Comedor n°3} = 0.24 \text{ m}^3$$

Se procede a determinar los caudales de los comedores n°1, n°2, n°4 y n°5, utilizando relación de consumo total y consumo de cada comedor:

$$\text{Caudal Comedor n° 1} = \frac{0.18 \text{ m}^3 \times 9.34 \text{ m}^3/\text{día}}{0.24 \text{ m}^3} = 7.01 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Caudal Comedor n° 2} = \frac{0.36 \text{ m}^3 \times 9.34 \text{ m}^3/\text{día}}{0.24 \text{ m}^3} = 14.01 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Caudal Comedor n° 4} = \frac{0.48 \text{ m}^3 \times 9.34 \text{ m}^3/\text{día}}{0.24 \text{ m}^3} = 18.68 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Caudal Comedor n° 5} = \frac{0.60 \text{ m}^3 \times 9.34 \text{ m}^3/\text{día}}{0.24 \text{ m}^3} = 23.35 \text{ m}^3/\text{día}$$

B. Determinación de sólidos suspendidos del agua proveniente de comedores.

De la metodología para la determinación de sólidos suspendidos descrita en la sección 2.8, se obtiene los siguientes datos:

Tabla 8.1 Determinación de pesos de sólidos suspendidos totales del agua proveniente de comedores de la Universidad de El Salvador.

Material	Peso (g)	Peso (mg)
Cápsula de porcelana	57.6604	57660.4
Papel filtro	1.0778	1077.8
Cápsula +papel	58.7382	58738.2
Cápsula +papel + sólidos	58.7437	58743.7

Sustituyendo de la ecuación 2.2, los datos mostrados en la Tabla H.1, se obtiene el resultado de los sólidos totales en suspensión:

$$\text{mg de sólidos totales en suspensión/l} = \frac{(58743.7 - 58738.2) \text{ mg} \times 1,000}{25 \text{ ml}}$$
$$\text{sólidos totales en suspensión} = \mathbf{220 \text{ mg/L}}$$

C. Determinación de sólidos suspendidos del agua al finalizar el tratamiento fisicoquímico.

De la metodología para la determinación de sólidos suspendidos descrita en la sección 2.8, se obtiene los siguientes datos:

Tabla 8.2 Determinación de pesos de sólidos suspendidos totales del agua al finalizar el tratamiento fisicoquímico.

Material	Peso (g)	Peso (mg)
Cápsula de porcelana	57.2286	57228.6
Papel filtro	1.0232	1023.2
Cápsula +papel	58.2518	58251.8
Cápsula +papel + sólidos	58.2523	58252.3

Sustituyendo de la ecuación 2.2, los datos mostrados en la Tabla H.2, se obtiene el resultado de los sólidos totales en suspensión:

$$mg \text{ de sólidos totales en suspensión/l} = \frac{(58252.3 - 58251.8) \text{ mg} \times 1,000}{25 \text{ ml}}$$

$$\text{sólidos totales en suspensión} = \mathbf{20 \text{ mg/L}}$$

D. Determinación de sólidos suspendidos del agua al finalizar el tratamiento del humedal artificial.

De la metodología para la determinación de sólidos suspendidos descrita en la sección 2.8, se obtiene los siguientes datos:

Tabla 8.3 Determinación de pesos de sólidos suspendidos totales del agua al finalizar el tratamiento del humedal artificial.

Material	Peso (g)	Peso (mg)
Cápsula de porcelana	70.0846	70084.6
Papel filtro	1.0562	1056.2
Cápsula +papel	71.1408	71140.8
Cápsula +papel + sólidos	71.1412	71141.2

Sustituyendo de la ecuación 2.2, los datos mostrados en la Tabla H.3, se obtiene el resultado de los sólidos totales en suspensión:

$$\text{mg de sólidos totales en suspensión/l} = \frac{(71141.2 - 71140.8) \text{ mg} \times 1,000}{25 \text{ ml}}$$

$$\text{sólidos totales en suspensión} = \mathbf{16 \text{ mg/L}}$$

E. Determinación de porcentaje de remoción en parámetros del agua de efluente del humedal artificial.

De la ecuación 4.1 y sustituyendo datos, se determina el porcentaje de remoción para los parámetros siguientes:

DQO:

$$\%R = \frac{[[DQO]A - [DQO]E]}{[DQO]A} \times 100$$

$$\% R = \frac{1097.7 \text{ mg/L} - 107.4 \text{ mg/L}}{1097.7 \text{ mg/L}} * 100 = 90.22\%$$

pH:

$$\%R = \frac{[[pH]A - [pH]E]}{[pH]A} \times 100$$

$$\% R = \frac{6.88 - 6.7}{6.88} * 100 = 2.62\%$$

DBO₅:

$$\%R = \frac{[[DBO_5]A - [DBO_5]E]}{[DBO_5]A} \times 100$$

$$\% R = \frac{695.8 \text{ mg/L} - 34.8 \text{ mg/L}}{695.8 \text{ mg/L}} * 100 = 95.00\%$$

Temperatura:

$$\%R = \frac{[[T]A - [T]E]}{[T]A} \times 100$$

$$\% R = \frac{31 \text{ °C} - 29 \text{ °C}}{31 \text{ °C}} * 100 = 6.45\%$$

Aceites y Grasas:

$$\%R = \frac{[[AYG]A - [AYG]E]}{[AYG]A} \times 100$$

$$\% R = \frac{178 \text{ mg/L} - 3.3 \text{ mg/L}}{178 \text{ mg/L}} * 100 = 98.15\%$$

Sólidos Suspendedos totales:

$$\%R = \frac{[[SST]A - [SST]E]}{[SST]A} \times 100$$

$$\% R = \frac{220 \text{ mg/L} - 16 \text{ mg/L}}{220 \text{ mg/L}} * 100 = 92.73\%$$

Detergentes:

$$\%R = \frac{[[Det.]A - [Det.]E]}{[Det.]A} \times 100$$

$$\% R = \frac{16.1 \text{ mg/L} - 2.3 \text{ mg/L}}{16.1 \text{ mg/L}} * 100 = 85.71\%$$

Sólidos Sedimentables:

$$\%R = \frac{[[SD]A - [SD]E]}{[SD]A} \times 100$$

$$\% R = \frac{1.75 \text{ ml/L} - 0 \text{ ml/L}}{1.75 \text{ ml/L}} * 100 = 100.00\%$$

F. Determinación de porcentaje de remoción en parámetros del agua de efluente al finalizar el tratamiento fisicoquímico.

De la ecuación 4.1 y sustituyendo datos, se determina el porcentaje de remoción para los parámetros siguientes:

DQO:

$$\%R = \frac{[[DQO]A - [DQO]E]}{[DQO]A} \times 100$$
$$\%R = \frac{1097.7 \text{ mg/L} - 456.9 \text{ mg/L}}{1097.7 \text{ mg/L}} * 100 = 58.38\%$$

pH:

$$\%R = \frac{[[pH]A - [pH]E]}{[pH]A} \times 100$$
$$\%R = \frac{6.88 - 5.0}{6.88} * 100 = 27.33\%$$

DBO₅:

$$\%R = \frac{[[DBO_5]A - [DBO_5]E]}{[DBO_5]A} \times 100$$
$$\%R = \frac{695.8 \text{ mg/L} - 145 \text{ mg/L}}{695.8 \text{ mg/L}} * 100 = 79.16\%$$

Temperatura:

$$\%R = \frac{[[T]A - [T]E]}{[T]A} \times 100$$
$$\%R = \frac{31 \text{ °C} - 26 \text{ °C}}{31 \text{ °C}} * 100 = 16.13\%$$

Aceites y Grasas:

$$\%R = \frac{[[AYG]A - [AYG]E]}{[AYG]A} \times 100$$
$$\%R = \frac{178 \text{ mg/L} - 10 \text{ mg/L}}{178 \text{ mg/L}} * 100 = 94.38\%$$

Sólidos Suspendidos totales:

$$\%R = \frac{[[SST]A - [SST]E]}{[SST]A} \times 100$$
$$\%R = \frac{220 \text{ mg/L} - 20 \text{ mg/L}}{220 \text{ mg/L}} * 100 = 90.91\%$$

Detergentes:

$$\%R = \frac{[[Det.]A - [Det.]E]}{[Det.]A} \times 100$$
$$\%R = \frac{16.1 \text{ mg/L} - 3.7 \text{ mg/L}}{16.1 \text{ mg/L}} * 100 = 77.02\%$$

Sólidos Sedimentables:

$$\%R = \frac{[[SD]A - [SD]E]}{[SD]A} \times 100$$
$$\%R = \frac{1.75 \text{ ml/L} - 0 \text{ ml/L}}{1.75 \text{ ml/L}} * 100 = 100.00\%$$

Anexo 9: Proceso de ensayo de Prueba de Jarras.



Figura 9.1 Montaje de sistema de agitación.

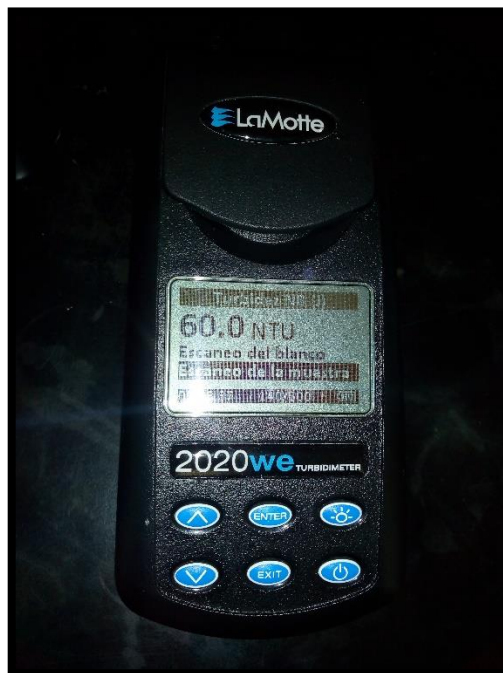


Figura 9.2 Medición de la turbidez inicial del agua residual.



Figura 9.3 Ajuste y medición del pH.



Figura 9.4 Aplicación de la dosis óptima del agua residual a analizar.

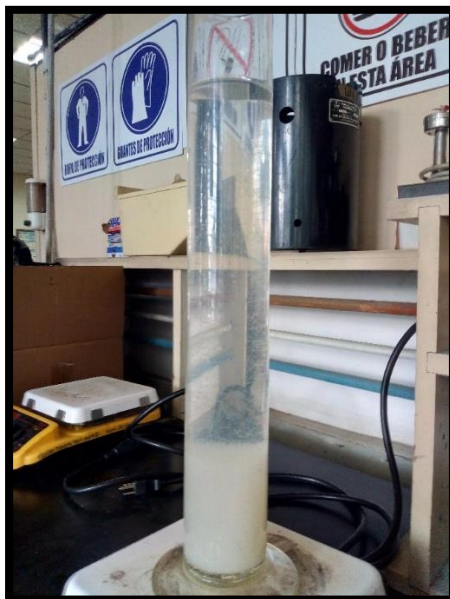


Figura 9.5 Proceso de sedimentación luego del ensayo de Prueba de Jarras.



Figura 9.6 Comparación del agua tratada por el tratamiento fisicoquímico (derecha) con el sistema del humedal artificial (izquierda).

Anexo 10: Proceso de Tratamiento por Adsorción de Carbón Activado.



Figura 10.1 Aplicación de dosis óptima para tratamiento fisicoquímico.



Figura 10.2 Proceso de sedimentación del tratamiento fisicoquímico.



Figura 10.3 Aplicación y agitación del carbón activado al agua tratada.

Anexo 11: Proceso de Construcción del Humedal Artificial a escala Piloto.



Figura 11.1 Selección del área para montaje del sistema en la Universidad de El Salvador.



Figura 11.2 Construcción de material para el humedal artificial a escala piloto.



Figura 11.3 Vista Panorámica de la Laguna El Jocotal, San Miguel.



Figura 11.4 Localización del nacimiento del agua para ambientación de la planta acuática.



Figura 11.5 Planta *Phragmites australis* (Carrizo).



Figura 11.6 Colocación del material filtrante (arena y gravilla).



Figura 11.7 Trasplantedo de la vegetación *Phragmites Australis* (Carrizo).

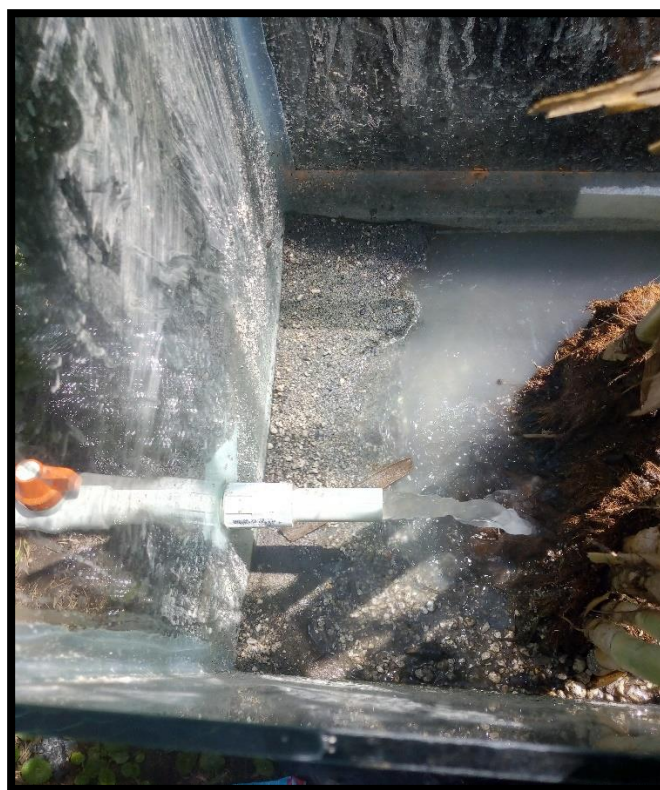


Figura 11.8 Caudal de entrada de las aguas grises al humedal artificial.



Figura 11.9 Caudal de salida del agua tratada del humedal artificial.

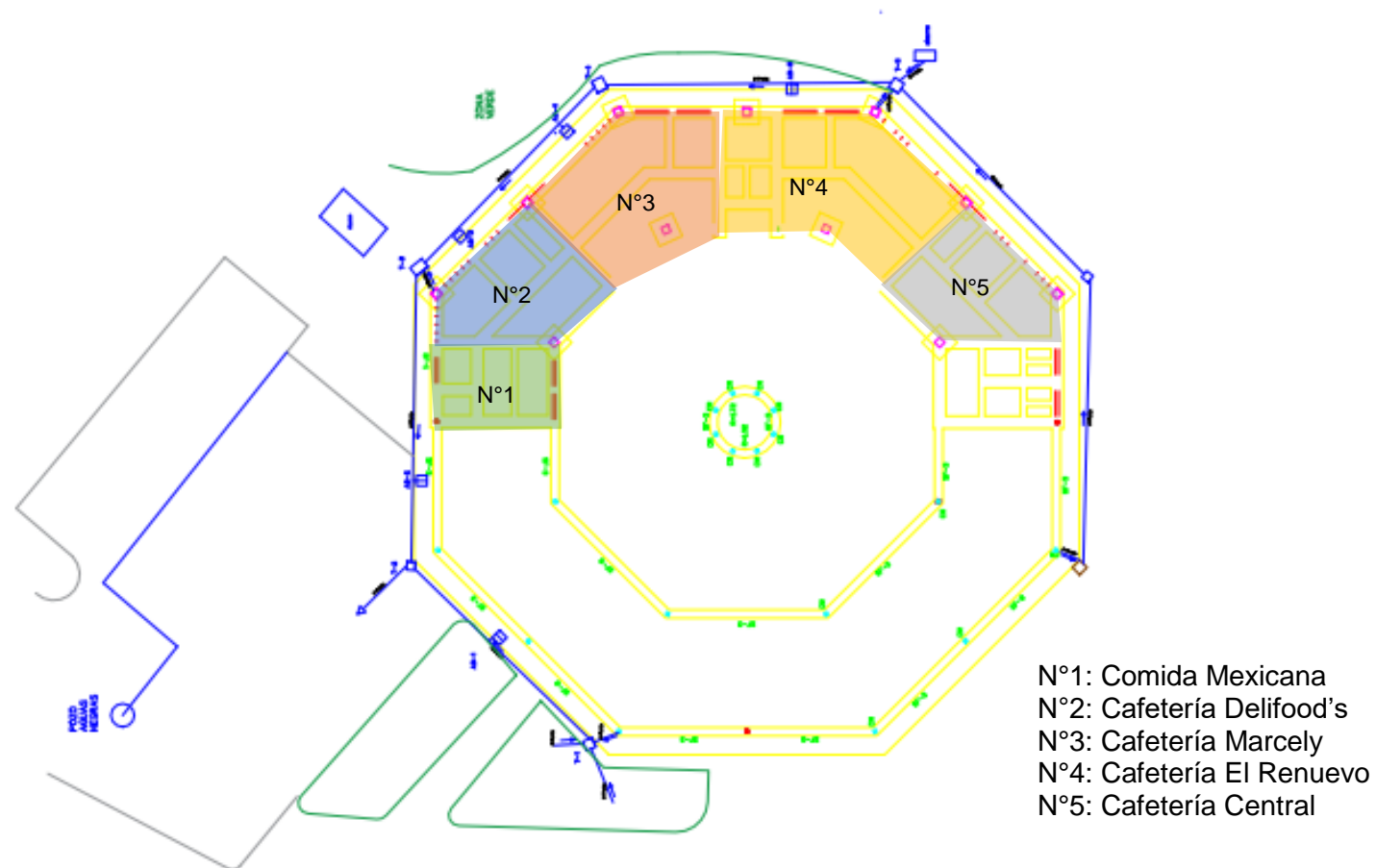


Figura 11.2 Distribución de Plano de los Comedores de la Universidad de El Salvador (Ingeniería Sin Fronteras, 2019).