



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
División Académica de Ciencias Biológicas
“Estudio en la duda. Acción en la fe”



**“ALTERNATIVA DE APROVECHAMIENTO PARA EL AGUA
DE RECHAZO DEL PROCESO ÓSMOSIS INVERSA EN
PURIFICADORAS DE AGUA HUIMANGUILLO,
TABASCO”**

Trabajo recepcional, en la modalidad de:

Tesis de Maestría

Para obtener el grado en:

Maestría en Ingeniería, Tecnología y
Gestión Ambiental

Presenta:

Ing. Luis Omar Pérez Ramos

Director:

M. en C. Carlos Alberto Torres Balcázar

Villahermosa, Tabasco, México

Febrero, 2024



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



2024
AÑO DE
**Felipe Carrillo
PUERTO**
GOBIERNO DEL PUEBLO TABASCO,
DESARROLLO Y JUSTICIA
SOCIAL
GOBIERNO DE
MÉXICO

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**

Villahermosa, Tab., a 23 de Enero de 2024

ASUNTO: Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
P R E S E N T E**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza al **C. LUIS OMAR PÉREZ RAMOS** egresado de la Maestría en **INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **“ALTERNATIVA DE APROVECHAMIENTO PARA EL AGUA DE RECHAZO DEL PROCESO ÓSMOSIS INVERSA EN PURIFICADORAS DE AGUA HUIMANGUILLO, TABASCO”**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E


**DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**U.J.A.T.
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



DIRECCIÓN

C.c.p. - Expediente Alumno de la División Académica
C.c.p.- Interesado



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



2024
AÑO DE
**Felipe Carrillo
PUERTO**
GOBIERNO DEL ESTADO DE TABASCO
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN, CULTURA Y DEPORTE
GOBIERNO DE MÉXICO

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**

ENERO 23 DE 2024

**C. LUIS OMAR PÉREZ RAMOS
PAS. DE LA MAESTRIA EN INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y
GESTIÓN AMBIENTAL
PRESENTE**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Maestría en Ingeniería, Tecnología y Gestión Ambiental titulado: **"ALTERNATIVA DE APROVECHAMIENTO PARA EL AGUA DE RECHAZO DEL PROCESO ÓSMOSIS INVERSA EN PURIFICADORAS DE AGUA HUIMANGUILLO, TABASCO"**, asesorado por M. en C. Carlos Alberto Torres Balcázar, sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado integrado por el Dr. Gaspar López Ocaña, Dr. Rudy Solís Silvan, M. en C. Carlos Alberto Torres Balcázar, Dr. Mario José Romellón Cerino y Dr. Raúl German Bautista Margulis.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE

**DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR**

C.c.p.- Expediente del Alumno.
C.c.p.- Archivo

U.I.A.T.
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCIÓN

CARTA AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **“ALTERNATIVA DE APROVECHAMIENTO PARA EL AGUA DE RECHAZO DEL PROCESO ÓSMOSIS INVERSA EN PURIFICADORAS DE AGUA HUIMANGUILLO, TABASCO”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el día 23 de enero del dos mil veinticuatro.

AUTORIZO



LUIS OMAR PÉREZ RAMOS



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División Académica
de Ciencias Biológicas.

Jefatura de Posgrado.



Villahermosa, Tabasco a 04 de octubre de 2023

C. LUIS OMAR PÉREZ RAMOS

EGRESADO DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA,
TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL
PRESENTE

En cumplimiento de los lineamientos de la Universidad, y por instrucciones de la Dirección de Posgrado, se implementó la revisión de los documentos recepcionales (tesis), a través de la plataforma Turnitin iThenticate para evitar el plagio e incrementar la calidad en los procesos académicos y de investigación en esta División Académica. Esta revisión se realizó en correspondencia con el Código de Ética de la Universidad, el Reglamento General de Estudios de Posgrado, el Código Institucional de Ética para la Investigación y con los requerimientos para los posgrados registrados en el SNP-CONAHCyT.

Por este conducto, hago de su conocimiento las observaciones y el reporte de originalidad de su documento de tesis. Con el objetivo de fortalecer y enriquecer el programa de posgrado, el responsable del programa realizó la revisión del documento en la plataforma iThenticate, obteniendo el reporte de originalidad, el índice de similitud y emitió las siguientes sugerencias y recomendaciones para dar seguimiento en el documento de tesis del proyecto de investigación: **"Alternativa de aprovechamiento para el agua de rechazo del proceso ósmosis inversa en purificadoras de agua, Huimanguillo, Tabasco"**.

OBSERVACIONES:

1. **El índice de similitud obtenido fue de 18%**, el cual no excede el máximo de 20% establecido en los Lineamientos para el Uso y Manejo del Software Antiplagio de la UJAT (2022).
2. Le expongo los hallazgos de dicha revisión para cada sección del documento:
 - a. Resumen: Ninguna coincidencia/similitud.
 - b. Capítulo I: Citar la fuente de la información del municipio en apartado 1.6.1. Hay similitud en listado de referencias, lo cual no se considera plagio. Las similitudes en texto son apropiadamente citadas.

C.c.p. ARCHIVO :

KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6407. Correo e: posgrado.dacbiol@ujat.mx



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División Académica
de Ciencias Biológicas.

Jefatura de Posgrado.



- c. Capítulo II: Citar las fuentes de información del apartado 2.2. Hay Similitud en algunas referencias, lo cual no se considera plagio. En el resto del capítulo, las similitudes en texto son apropiadamente citadas.
 - d. Capítulo III: Hay similitud en listado de referencias, lo cual no se considera plagio. En el resto del capítulo, las similitudes en texto son apropiadamente citadas.
 - e. Capítulo IV: Ninguna coincidencia/similitud. Las similitudes en texto son apropiadamente citadas.
 - f. Conclusiones: Ninguna coincidencia/similitud. Las similitudes en texto son apropiadamente citadas.
3. Se adjunta el informe de originalidad de la tesis obtenido a través de la herramienta Turnitin iThenticate.
 4. Finalmente, se le solicita al C. LUIS OMAR PÉREZ RAMOS, atender las observaciones, sugerencias y recomendaciones en su documento de tesis. Posteriormente, integrar en la versión final del documento de tesis, este oficio y el informe de originalidad con el porcentaje de similitud de Turnitin iThenticate.

Sin otro particular al cual referirme, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR DACBIOL

U.J.A.T.
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCIÓN

C.C.P. Mtro. Carlos Alberto Torres Balcázar. Director de Tesis.

C.c.p. ARCHIVO

KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6407. Correo e: posgrado.dacbiol@ujat.mx

Alternativa de aprovechamiento para el agua de rechazo del proceso ósmosis inversa en purificadoras de agua

Huimanguillo, Tabasco

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	revistas.javeriana.edu.co Internet	137 palabras — 1%
2	repositorio.unicach.mx Internet	124 palabras — 1%
3	ri.ues.edu.sv Internet	98 palabras — 1%
4	ciencia.lasalle.edu.co Internet	97 palabras — 1%
5	www.revistatyca.org.mx Internet	95 palabras — 1%
6	growmaxwater.com Internet	79 palabras — 1%
7	hdl.handle.net Internet	73 palabras — 1%
8	www.scielo.org.mx Internet	72 palabras — 1%
9	www.scribd.com Internet	66 palabras — 1%



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL



DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Dedico este trabajo a las tres mujeres de mi vida; Soledad✝, Guadalupe y Kelly.

Le agradezco por su compañía en estos dos años a la Generación MITyGA 2021-2023: Mariela, Ana, Gisel, Néstor y Ricardo.

A los docentes por compartir sus conocimientos, que me ayudaron a fortalecer mis habilidades y conocer las debilidades; M. en C. Carlos Torres, Dr. Gaspar López, Dr. Rudy Silvan, Dr. German Bautista y Dr. José Romellón.

Por sus valiosos aportes a la investigación; Dr. Rodimiro Ramos, Ing. Ángel Tejeda, José León, Dra. Nancy Estrada.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL



INDICE GENERAL

RESUMEN	12
CAPÍTULO I	13
1. Generalidades del proyecto.....	14
1.1. Introducción.....	14
1.2. Justificación.....	15
1.3. Antecedentes.....	16
1.4. Hipótesis.....	18
1.4.1. Hipótesis 1.....	18
1.4.2. Hipótesis 0.....	18
1.5. Objetivos.....	18
1.5.1. Objetivo general.....	18
1.5.2. Objetivo específico.....	18
1.6. Área de estudio.....	18
1.6.1 Descripción y ubicación del área de estudio.....	18
1.7. Metodología general.....	19
1.8. Referencias.....	19
CAPÍTULO II	21
2. Investigación descriptiva con propietarios de las PPyVA de la ciudad de Huimanguillo.....	22
2.1. Resumen.....	22
2.2. Introducción.....	22
2.3. Materiales y métodos.....	22
2.3.1. Población de encuestas conforme al modelo de negocio.....	22
2.3.2. Encuesta a propietarios.....	23
2.4. Resultados.....	24
2.5. Conclusiones.....	26
2.6. Referencias.....	26
CAPÍTULO III	27
3. Caracterización fisicoquímica por etapas del proceso para purificación de agua.....	28
3.1. Resumen.....	28
3.2. Introducción.....	28
3.3. Materiales y métodos.....	28
3.3.1. Muestreo y análisis del agua.....	28
3.4. Resultados.....	31
3.4.1. Calidad del agua en los procesos de purificación.....	31
3.4.2. Eficiencia de remoción por etapa.....	32
3.4.3. Análisis estadístico por etapa.....	32
3.5. Conclusiones.....	36
3.6. Recomendaciones.....	36
3.7. Referencias.....	37
CAPÍTULO IV	38
4. Humedal Artificial escala laboratorio con vegetación <i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Pistia stratiotes</i> , <i>Schoenoplectus acutus</i> y <i>Cyperus odoratus</i> . Flujo Libre y subsuperficial.....	39
4.1. Resumen.....	39
4.2. Introducción.....	39
4.3. Materiales y métodos.....	40
4.3.1. Diseño del sistema.....	40



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL



4.3.2. Instalación del humedal.....	42
4.3.3. Monitoreo y caracterización.....	43
4.4. Resultados.....	43
4.4.1. Caracterización del agua.....	43
4.4.2. Tiempo de retención hidráulico.....	43
4.4.3. Evaluación.....	44
4.4.4. Análisis de resultados.....	44
4.5. Conclusiones.....	47
4.6. Recomendaciones.....	47
4.6. Referencias.....	48
CAPÍTULO V	49
5. Conclusiones finales.....	50
ANEXOS	51
7. Memoria fotográfica.....	52

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio general.....	18
Figura 2. Diagrama de actividades.....	19
Figura 3. Plano georreferenciado de los modelos de negocio.....	23
Figura 4. Esquema de aplicación metodológica para la caracterización del Agua de Rechazo.....	28
Figura 5. Diagrama del proceso y ubicación de los puntos de muestreo.....	29
Figura 6. Valores promedio \pm desviación estándar (UPC) del sistema. En todos los casos N=10, letras diferentes indican valores estadísticamente.....	32
Figura 7. Valores promedio \pm desviación estándar (mS/cm) del sistema. En todos los casos N=10, letras diferentes indican valores estadísticamente significativos.....	33
Figura 8. Valores promedio \pm desviación estándar (mg/L) del sistema. En todos los casos N=10, letras diferentes indican valores estadísticamente significativos.....	33
Figura 9. Valores promedio \pm desviación estándar (NTU) del sistema. En todos los casos N=10, letras diferentes indican valores estadísticamente significativos.....	34
Figura 10. Valores de medianas \pm Q1, 3 de la variable OD del sistema. En todos los casos N=10. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas.....	34
Figura 11. Valores promedio \pm desviación estándar (unidades) del sistema. En todos los casos N=10, letras diferentes indican valores estadísticamente significativos.....	35
Figura 12. Valores promedio \pm desviación estándar ($^{\circ}$ C) del sistema. En todos los casos N=10, letras diferentes indican valores estadísticamente significativos.....	35
Figura 13. Valores promedio \pm desviación estándar (mV) del sistema. En todos los casos N=10, letras diferentes indican valores estadísticamente significativos.....	36
Figura 14. Etapas para del desarrollo de la investigación.....	40
Figura 15. Medidas de reactores utilizados en el Sistema.....	40
Figura 16. Distribución del medio de soporte.....	40
Figura 17. Diseño del Sistema.....	41
Figura 18. Distribución de la vegetación en el Sistema.....	41
Figura 19. Valores de medianas \pm Q1, 3 de la variable pH del sistema. En todos los casos N=38. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas.....	45
Figura 20. Valores promedio \pm desviación estándar ($^{\circ}$ C) del sistema. En todos los casos N=38. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas.....	45



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL



Figura 21. Valores de medianas $\pm Q1$, 3 de la variable STD del sistema. En todos los casos N=38. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente	46
Figura 22. Valores de medianas $\pm Q1$, 3 de la variable C. eléctrica del sistema. En todos los casos N=38. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas	46
Figura 23. Sistema de Ósmosis Inversa de una Ventana de Autoservicio.....	52
Figura 24. Sistema de Ósmosis Básico.....	52
Figura 25. Almacenamiento de muestras.....	52
Figura 26. Toma de muestras para el Tren de Filtros.....	52
Figura 27. Toma de muestras para Agua Cruda.....	52
Figura 28. Toma de muestras para Agua Osmotizada.....	52
Figura 29. Toma de muestras para el Agua de Rechazo.....	52
Figura 30. Muestras en el Laboratorio de Tecnología del Agua.....	52
Figura 31. Medición de Oxígeno Disuelto.....	52
Figura 32. Fotómetro Multiparámetro Hanna HI 83099.....	53
Figura 33. Análisis de Metales Pesados (Pb y Mn).....	53
Figura 34. Experiencia en COLPOS 1er Foro: Avance de Investigación.....	53
Figura 35. Experiencia en el EJITA 10ma edición.....	53
Figura 36. Instalación de los HA Escala Laboratorio.....	53
Figura 37. Adecuación del sitio.....	53
Figura 38. Instalación de HUMARTFL y HAFS.....	53
Figura 39. Recolección de <i>Schoenoplectus acutus</i>	53

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modelo de negocio y coordenadas de las Pequeñas Plantas de la ciudad de Huimanguillo.....	22
Tabla 2. Modelo de negocio y coordenadas de las Ventanas de Autoservicio de la ciudad de Huimanguillo.....	23
Tabla 3. Resultados de la Encuesta realizada a propietarios de Pequeñas Plantas.....	24
Tabla 4. Resultados de la Encuesta realizada a propietarios de Ventanas de Autoservicio.....	25
Tabla 5. Comparación de las principales marcas membranas el área de estudio.....	25
Tabla 6. Puntos de muestreo en diferentes etapas del proceso.....	29
Tabla 7. Parámetros de campo.....	30
Tabla 8. Parámetros de laboratorio.....	30
Tabla 9. Promedio de resultados obtenidos en la caracterización.....	31
Tabla 10. Porcentaje de eficiencia por etapas de muestreo.....	32
Tabla 11. Presupuesto de construcción del sistema experimental.....	42
Tabla 12. Datos estadísticos (media y desviación estándar) obtenidos del monitoreo.....	43
Tabla 13. Resultados de los Tiempos de Retención por etapa y final.....	44
Tabla 14. Porcentaje de Remoción por etapas y final.....	44



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL



RESUMEN.

En un contexto global, la escasez del agua como antagonista ha permitido el desarrollo de tecnologías sustentables para el ahorro del vital líquido; sin embargo, la tecnología Ósmosis Inversa utilizada en una línea de negocio como las Purificadoras de Agua no ha respondido ante las metas de los Objetivos del Desarrollo Sustentable.

En el último lustro, la Ciudad de Huimanguillo ha visto un crecimiento vertiginoso de Pequeñas Plantas y Ventanas de Autoservicio que han aportado un producto económico, de rápido acceso y fácil de ejecutar, este repentino cambio ha generado agua residual cuyas características pueden ser inteligibles.

El presente estudio tuvo como objetivos 1) un enlace con los propietarios de estas pymes a través de una encuesta, 2) caracterización del Agua de Rechazo, 3) evaluación de alternativa de aprovechamiento. Para tener una idea, el volumen de Agua de Rechazo de esta tecnología al año es de aproximadamente 1,152,000.00 litros, sólo lo que vierte un comercio lograría satisfacer las necesidades de agua según la OMS de 32 personas por día durante el año.

La teoría normativa indica que las membranas retienen más de 20 parámetros, disminuyendo las concentraciones hasta un 99 % de ciertos contaminantes, durante la caracterización se obtuvieron resultados razonables con la literatura obteniendo datos de 484 mg/L (STD) y 839 mS/cm (C. Eléctrica), incluso el Agua de Rechazo cumple con criterios de descarga de la NOM-001-SEMARNAT-2021 (Ph, temperatura) y límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA1-2021 (Cloro Libre, Color, STD, Turbiedad, Hierro y Manganeseo), además de niveles bajos de Oxígeno Disuelto y Potencial RedOx.

Esta investigación se compone de cinco capítulos; en el capítulo I se presentan las generalidades del estudio donde los antecedentes sobre el aprovechamiento del agua y las eficiencias de los humedales como alternativa, en el capítulo II se maneja una investigación descriptiva a través de una encuesta, en el capítulo III se ejecutan análisis fisicoquímicos que reflejan el comportamiento del sistema, muestra las eficiencias del proceso y determina la relación entre el comportamiento de los parámetros y el pH.

En el capítulo IV se evalúa la alternativa de HumArt en escala laboratorio se realizaron experimentos evaluando la remoción de contaminantes, adaptación de la vegetación, técnicas de siembra y vulnerabilidad de la vegetación; utilizando *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Schoenoplectus acutus* y *Cyperus odoratus*.

En el capítulo V se discute y compara los resultados en concordancia con las normas aplicadas al vertimiento de aguas residuales, se concluye con la ejecución de un Humedal Artificial escala laboratorio como una solución preventiva para la protección y cuidado en el manejo del Agua de Rechazo. Por último se visualiza las evidencias fotográficas y experiencias obtenidas a lo largo de esta investigación.



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México

CAPITULO I



1. Generalidades del proyecto

1.1. Introducción.

Abordar un tema tan importante para el mundo es complicado, principalmente porque los escenarios son distintos en cada país, estado o región; somos conscientes de la importancia del agua como elemento de vida y necesidad común para el desarrollo de los seres vivos, “es de importancia crítica invertir en programas que protejan el medio ambiente natural, conserven los recursos hídricos y los utilicen de manera eficiente (UNESCO, 2021)”.

Recomienda WWAP (2021), “reconocer, cuantificar y expresar el valor del agua e incorporarlo a la toma de decisiones es fundamental para alcanzar una gestión sostenible y equitativa de los recursos hídricos y los ODS” por lo tanto, el desarrollo de tecnologías sustentables funciona como valor agregado para el cuidado del vital líquido.

Entre los desafíos globales, “la escasez de agua afecta a más del 40 por ciento de la población, una cifra alarmante que probablemente crecerá con el aumento de las temperaturas globales producto del cambio climático” (UN, 2022). Cada vez más países están experimentando un estrés hídrico producto del desabasto del agua; resultado de sequías, desaprovechamiento, explotación de industrias, mala calidad del agua entre otros.

En el contexto nacional conocemos situaciones alarmantes que sufren regiones importantes del país, un caso común es en el Norte de México; producto de la escasez de lluvias ha generado un desabasto a la población produciendo un desequilibrio hidrológico producto de la poca lluvia registrada desde el 2020. Informa CONAGUA (2019) “que el mayor incremento de precipitaciones respecto a lo normal se presentó en la región de Acapulco-Chetumal, Oaxaca, Veracruz, Tabasco, en el occidente de la Península de Yucatán, Campeche y Chiapas”. En nuestro estado, la situación de la cantidad del agua no es problema, pero su calidad es la situación emergente de las últimas décadas al contar con dos ríos principales del país; Usumacinta y Grijalva que producto de la actividad antropogénica, industrias, agricultura intensiva, desarrollo urbano, ha afectado la calidad del agua. De igual manera, “Tabasco pertenece a los estados que reciben más de la mitad de agua renovable al año (67.2%) con 31,941 hm³/año y 12,897 m³/hab/año” (INEGI, 2019).

Para el ahorro de agua, el aprovechamiento es un factor importante en busca de la sustentabilidad. La tecnología de Ósmosis Inversa tiene como subproducto el Agua de Rechazo (recobro o conversión) “es una relación que puede variarse a voluntad pero dentro de unos límites muy concretos” (Medina San Juan J. A., 1999).



1.2. Justificación.

La producción de agua purificada es el producto de la conversión del 50% de agua cruda que requiere de un sistema Ósmosis Inversa, tecnología que trabaja con membranas semipermeables logrando reducir las sales y minerales del agua. Esto es lo desconcertante del tema; la cantidad de agua que requieren estos comercios en su proceso de purificación convencional y el destino final del Agua Residual.

La problemática surge al calcular los $m^3/año$ que puede generar las Purificadoras Pequeñas y Ventanas de Autoservicio (PPyVA). Cuentan con un límite de producción por sus diseños, espacios y especificaciones técnicas de 350 garrafones por día: estimando un promedio de 200 garrafones por día y una conversión del 50% se contabilizan aproximadamente $4 m^3$ de ARP por día de producción son generados en las PPyVA. A pesar de cumplir con diversos trámites para estar al margen de las recomendaciones del gobierno, hay un detalle que se ha omitido desde que comenzó la expansión de este negocio: ¿Cómo aprovechar el Agua Residual del Proceso Ósmosis Inversa?

En aproximaciones generales, sin cuantificar los meses de mayor y menor producción, con seis días laborables a la semana, se estima un desperdicio de $1,152 m^3/año$ para un PPyVA, en el la cabecera municipal de Huimanguillo se han detectado más de 20 PPyVA (marzo, 2021).

Hoy en día el negocio del agua va en aumento; por el crecimiento exponencial de la población y necesidad de abastecer el vital líquido, con pequeñas plantas que su único propósito es vender, dejando a lo último el cuidado del agua.

Por lo general las PPyVA están conectadas a un drenaje donde depositan esta agua con altos valores de Sólidos Totales Disueltos y C. Eléctrica, el cual se le agregan diversos contaminantes al contacto con el agua sanitaria. Bajo factores convenientes para los propietarios y en el marco de las normas en el país este subproducto se puede aprovechar de diferentes maneras o darle un tratamiento que permita bajar las cargas y cumplir con los límites establecidos.

Esta investigación aportará resultados que permitan generar un antecedente de caracterización del agua del proceso y una alternativa de aprovechamiento (fitorremediación) con vegetación de la región de la Ciudad de Huimanguillo, Tabasco.

La utilidad de esta investigación es proponer una alternativa eficiente y rentable, que permita disminuir las concentraciones de contaminantes, conocer las características fisicoquímicas del agua será útil para el desarrollo de la investigación. Actualmente el Agua de Rechazo es vertido directamente al drenaje con cargas de contaminantes altos a lo que indican la NOM-001-SEMARNAT-2021.



1.3. Antecedentes.

En julio del 2020 se publicó en la página web de GrowMax Water™ el blog *El Agua de Rechazo De Los Sistemas De Ósmosis Inversa* donde menciona que el agua osmotizada (agua del producto del proceso Ósmosis Inversa) representa un desafío al necesitar como mínimo el doble de agua y tener que desechar más de la mitad. En la página electrónica GrowMax (2020) menciona que en todos los sistemas de ósmosis inversa, el Agua de Rechazo o agua residual, es el agua que sale por el tubo que se conecta y envía al desagüe, es un agua limpia y sin cloro, pero con una alta conductividad. Sugieren utilizar el Agua de Rechazo para lavar máquinas, herramientas entre otros que no les afecte la concentración de sales.

Peñaloza y Morales (2019) menciona que la mayor parte del agua es vertida a cuerpos hídricos, lo que aumenta significativamente la carga contaminante y el incremento del caudal, el cual cumpliendo con los parámetros fisicoquímicos y disposiciones reglamentarias vigentes. Asimismo como propuesta agregan que se aplicaría a riego de zonas comunes, lavados de vehículos y equipos de mantenimiento, cultivos y conservación de zonas verdes del hospital, lavado de tapetes entre otras aplicaciones importantes.

Las aguas de consumo del hotel Breezes Jibacoa para los autores del trabajo de investigación la finalidad fue estudiar mediante una caracterización física, química y microbiológica a la alimentación y permeado de la planta de ósmosis inversa, los parámetros analizados olor, color, pH, conductividad eléctrica, cloruros, dureza total, sólidos disueltos totales, nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico, grasas y aceites y coliformes totales. Romero et al. (2015) obtuvieron las conclusiones de que esta planta funciona satisfactoriamente y que el hotel requiere de fuentes alternativas para suplir la necesidad de agua potable.

En 2018 Nazer et al. desarrollaron esta investigación con el propósito de disminuir la presión sobre el recurso hídrico, utilizando el Agua de Rechazo proveniente de los procesos de purificación de agua salobre, se presenta como una buena alternativa al agua potable en la fabricación de morteros y hormigones. Este estudio evalúa el comportamiento mecánico del hormigón conteniendo Agua de Rechazo generada en los procesos de depuración por Ósmosis Inversa e intercambio iónico.

El objetivo principal para Dévora et al. (2016) en su investigación fue buscar aprovechar el recurso de manera óptima tanto en agua producto como en el rechazo debido a la necesidad hídrica en Sonora, México. Agregaron que es posible, para las condiciones de la planta de 100 m³/día, recircular total o parcialmente la corriente de salmuera pero entre mayor sea el porcentaje de salmuera recirculada, menos iteraciones podrán realizarse, pero serán reducidas en mayor medida las descargas a los ecosistemas.

Como valor agregado de lo que significa un ecobarrio, García (2012) presenta una propuesta de diseño para la captación y una metodología de análisis para la evaluación hecha al tratamiento basados en un estudio de calidad del agua de la zona. Además presenta una propuesta de diseño, dimensionamiento e implementación de un sistema de captación y aprovechamiento pluvial para beneficio de la comunidad bajo estudio, pero replicable en otros sitios con características similares.

Los autores construyen un sistema piloto integrado por dos humedales de flujo subsuperficial, plantados con *Eleocharis macrostachya* y *Shoenoplectus americanus*. Los humedales de



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL



tratamiento se operaron durante 7 meses con el concentrado generado por un sistema de Ósmosis Inversa. Olmos et al. (2020) contabilizaron un flujo promedio de 962 l/día y una concentración de arsénico promedio de 0.241 mg/L.

Durante todo el tiempo de experimentación se obtuvieron eficiencias de remoción de arsénico entre 43 % y 86 % para el humedal 1 y entre 35 % y 79 % para el humedal 2.

En este estudio elaborado en 2012 se analizó el potencial de absorción de metales pesados para *Eichhornia crassipes*, especie común de la región, los análisis estadísticos determinaron que esta planta acumula las concentraciones de metales pesados a excepción de Sr. De manera general Carrión, Cristóbal et al concluyeron que esta planta se puede usar como remediadora de metales, sugiriendo retirar periódicamente el lirio de los cuerpos de agua.

Guevara et al. (2015) definen como ornamental y perenne a *Eichhornia crassipes*, además estudian su potencial como herramienta en fitorremediación con cuerpos de agua contaminados por metales pesados, plaguicidas y colorantes vertidos por industrias.

Guido-Zarate, A., Durán-de-Bazúa, C. definen como Humedal Construido (HC) o Humedal Artificial (HA), en 2008 construyeron dos reactores plásticos de 25 litros como medio de soporte escoria volcánica. Utilizaron iluminación artificial, con agua residual sintética preparada con un Tiempo de Retención Hidráulica de 1.8 días obteniendo una remoción de $DBO_{soluble}$ y la CE de 54 y 9.3 % respectivamente.

Este estudio se realizó en 2009 con módulos experimentales utilizando *Phragmites australis*, *Typha dominguensis* y combinado determinando DQO, iones de nitrógeno y fósforo total demostrando que es una opción para la remoción de carga orgánica y nutrientes, además de bajo costo, fácil operación y mantenimiento.



1.4. Hipótesis.

1.4.1. Hipótesis 1.

El uso de alternativa de tratamiento de agua de rechazo logrará la disminución de las cargas de contaminante a un nivel que cumplan con la normatividad o criterios que apliquen.

1.4.2. Hipótesis 0.

El uso de alternativa de tratamiento de agua de rechazo no logrará la disminución de las cargas de contaminante a un nivel que cumplan con la normatividad o criterios que apliquen.

1.5. Objetivos.

1.5.1. Objetivo General.

Proponer una alternativa de tratamiento para el Agua de Rechazo para su posterior aprovechamiento en las Purificadoras Pequeñas y Ventanas de Autoservicio.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Realizar una investigación descriptiva con propietarios/encargados de PPyVA.
- Estimar y caracterizar el Agua de Rechazo.
- Proponer una alternativa eficiente para la disminución de los contaminantes.

1.6. Área de estudio.

1.6.1. Descripción y ubicación.

El municipio de Huimanguillo se localiza en la región de la Chontalpa y tiene como cabecera municipal a la ciudad de Huimanguillo, la que se ubica al este del estado, entre los paralelos 17°49'01 de Latitud Norte y 93°22'21 de Longitud Oeste. Esta ciudad cuenta con un perímetro delimitado de 13.25 km y un área de 5.77 km².



Figura 1. Ubicación del área de estudio general.
Fuente: Google Earth, 2023.



1.7. Metodología general.

De acuerdo a los antecedentes y fuentes de información los materiales y métodos generales de esta investigación son los siguientes.

1. Revisión del estado del arte a través las plataformas SciELO, Redalyc, Google Académico y Biblioteca Institucional.
2. Investigación descriptiva a través de encuestas con propietarios que permitan tener un panorama racional sobre el aprovechamiento del agua y las limitantes.
3. Caracterización fisicoquímica y gastos de corrientes de los procesos anterior y posterior al sistema de Ósmosis Inversa; las variables son pH, Cloro Libre, Temperatura, Color, Conductividad, Solidos Totales Disueltos, Potencial Oxido-Reducción, Turbidez, Oxígeno Disuelto, Hierro y Manganeseo.
4. Humedal Artificial escala laboratorio para evaluar las eficiencias de remoción de los parámetros.
5. Conclusiones y recomendaciones.

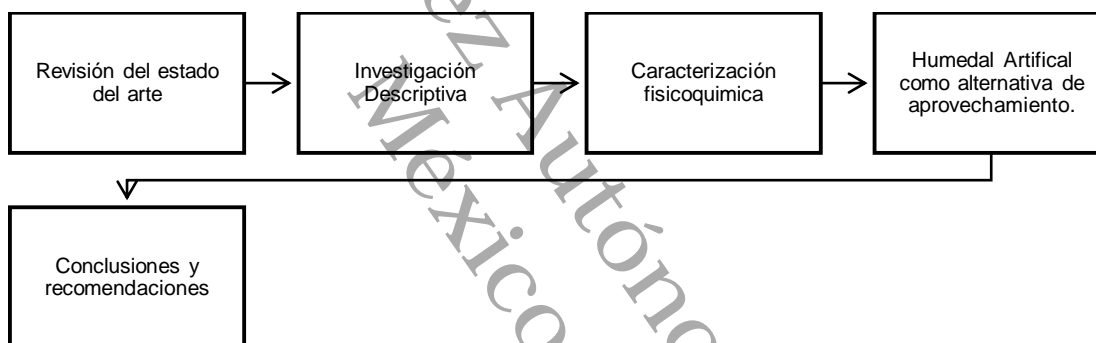


Figura 2. Diagrama de actividades.

1.8. Referencias.

- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) 2019. Estadísticas del agua en México: Edición 2019. Situación de los recursos hídricos. P23
- CONAGUA (octubre 2019). Estadísticas del agua en México: Reporte anual 2019. SEMARNAT. https://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2019.pdf
- Dévora Isiordia, G. E. & López Mercado, M.E. & Fimbres Weihs, G. A. & Alvarez Sánchez, J. & Astorga Trejo, S. (2016). Desalación por Ósmosis Inversa y su aprovechamiento en agricultura en el Valle del Yaqui, Sonora, México. Tecnología y Ciencia del Agua, 7(3).
- García Velázquez, J. H. (2012). Sistema de captación y aprovechamiento pluvial para un ecobarrio de la Ciudad de México. Universidad Nacional Autónoma de México. https://repositorio.unam.mx/contenidos/sistema-de-captacion-y-aprovechamiento-pluvial-para-un-ecobarrio-de-la-cd-de-mexico-243086?c=pgOdMO&d=false&q=*&i=1&v=1&t=search_0&as=0
- GrowMax Water. (2020, 17 de julio). El Agua de Rechazo de los sistemas Ósmosis Inversa. <http://growmaxwater.com/blog/es/el-agua-de-rechazo-de-los-sistemas-de-osmosis-inversa/>



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL



- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) 2019. Agua potable y drenaje. <https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/dispon.aspx?tema=T>
- Medina San Juan, J.J. Ósmosis Inversa. Desalinización de aguas salobres y de mar (pp. 97). Mundi-Prensa.
- Nazer, A. & Guzmán, A. & Bolados, L. & González, L. & Pávez, O. (2018). Uso de Agua de Rechazo de plantas depuradoras en la fabricación de hormigones. Obras y proyectos, 24 (1).
- Olmos Márquez, M.A. & Ochoa Rivero, J.M. & Alarcón Herrera, M.T. & Santellano Estrada, E. & Vega Mares, J. H. & Valles Aragón, M. C. (2020). Desempeño de un sistema piloto de humedales de tratamiento de flujo subsuperficial, utilizado para la remoción de arsénico del concentrado de ósmosis inversa, en el municipio de Julimes, Chihuahua, México. Ingeniería y Universidad, 24(0).
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2021). Abordar la escasez y la calidad del agua. <https://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia/escasez-calidad>.
- Peñaloza Márquez, N., & Morales Cuervo, S.F. (2019). Propuesta para la reutilización de Agua de Rechazo del proceso de ósmosis inversa del tratamiento de hemodiálisis en un hospital de tercer nivel, Universidad de LaSalle. <https://n9.cl/81po5>
- Romero López, T.J. & Lafargue Verdecia D. & González Díaz, O. A. & Medina Correa, E. (2015). Uso de Ósmosis Inversa en el hotel Breezes Jicoboa para la desalación de agua de consumo. RIHA, 36 (3).
- UN (Naciones Unidas) 2022. Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO) 2019. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás. París, UNESCO. ISBN 978-92-3-300108-4
- Carrión, C., Ponce-de León, C., (2012). Aprovechamiento potencial del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en Xochimilco para fitorremediación de metales. *Agrociencia*, 46(6), 609-620. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000600007&lng=es&tlng=es.
- Guevara, M. F., Ramírez, L. J. (2015) *Eichhornia crassipes*, SU INVASIVIDAD Y POTENCIAL FITORREMIADOR. La Granja. Revista de Ciencias de la Vida [en línea]. 22(2), 5-11. ISSN: 1390-3799. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476047267001>
- Guido-Zárate, A., Durán-de-Bazúa C. (2008). Remoción de contaminantes en un sistema modelo de HumArt a escala de laboratorio. Tecnología, Ciencia, Educación [en línea]. 23(1), 15-22. ISSN: 0186-6036. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48223103>
- Romero-Aguilar, M., Colín-Cruz, A., Sánchez-Salinas, M. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de HumArt: evaluación de la remoción de la carga orgánica. Revista Internacional de Contaminación Ambiental 25 (3) pp 157-167. ISSN 0188-4999. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992009000300004&script=sci_abstract



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México

CAPÍTULO II



2. Investigación descriptiva con propietarios de las PPyVA de la ciudad de Huimanguillo.

2.1. Resumen.

El diálogo con empresarios permitió ampliar el panorama determinado por el estudio del arte, los propietarios están de acuerdo con aportar acciones sugeridas como alternativas para disminuir el Agua de Rechazo sin embargo, la racionalidad debe ser el comienzo para el estudio. Determinamos los diseños y marcas más comunes de los sistemas de Ósmosis Inversa, obtuvimos alternativas de aprovechamiento mediante la fabricación de hielo y agua de sabor, para lavar garrafones o uso general en el lavado de la planta donde utilizan agua de la red pública.

Palabras clave

Encuestas, Modelo de negocio, Producción de hielo, Sistemas de Ósmosis Inversa y Vertimiento al drenaje.

2.2. Introducción.

Esta ciudad cuenta con un crecimiento exponencial en el desarrollo urbano, debido a este factor han incrementado los negocios locales siendo el giro comercial de agua purificada la que ha ido creciendo; las Ventanas de Autoservicio han sido una opción económica y factible para la población y las Pequeñas Plantas Purificadoras sustituyen el servicio que no logra abastecer marcas reconocidas, siendo una opción económica. De acuerdo a los datos del sitio web del Ayuntamiento de Huimanguillo 2021-2024 la Ciudad de Huimanguillo registra una población de 23,057.

Datos escritos en el Compendio de información geográfica refiere el INEGI (2010) que en las zonas urbanas están creciendo sobre suelos del Cuaternario (53.12%) y roca sedimentaria con mayor porcentaje de Arenisca, sobre suelos dominantes. Por lo que se encuentra en zonas bajas o áreas deprimidas, con mantos freáticos someros.

El sistema de agua potable principal es obtenido del Río Mezcalapa; nacido desde la Central Hidroeléctrica Ángel Albino Corzo, presa ubicada en el cauce bajo del Río Grijalva. La planta de Huimanguillo con coordenadas 17°48'23 de Latitud Norte y 93°23'41 de Longitud Oeste es la que abastece a la ciudad.

2.3. Materiales y métodos.

2.3.1. Población de encuestas conforme al modelo de negocio.

Se identificaron veinte negocios que en el primer acercamiento con los propietarios 14 aceptaron aportar información para la investigación, logrando identificar las coordenadas geográficas como sistema de referencia, el modelo de negocio y el abastecimiento de la materia prima.

Con respecto a las Plantas Purificadoras, en la Tabla 1 y 2 se evidencia los datos necesarios en el levantamiento.

Tabla 1. Modelos de negocio y coordenadas de las Pequeñas Plantas en la ciudad de Huimanguillo.

No°	Abastecimiento de agua	Modelo de negocio		Coordenadas.	
		Franquicia	Independiente	Latitud	Longitud
PP1	Pozo Subterráneo.		x	17°50'54"	93°50'24"
PP2	Pozo Subterráneo.		X	17°50'58"	93°23'23"
PP3	Red pública de agua potable.		X	17°50'09"	93°23'30"
PP4	Red pública de agua potable.	X		17°50'30"	93°23'34"
PP5	Red pública de agua potable.		X	17°49'08"	93°23'51"

Tabla 2. Modelos de negocio y coordenadas de las Ventanas de Autoservicio en la ciudad de Huimanguillo.

No°	Abastecimiento de agua	Modelo de negocio		Coordenadas.	
		Franquicia	Independiente	Latitud	Longitud
VA1	Red pública de agua potable.		X	17°49'47"	93°23'40"
VA2	Red pública de agua potable.		X	17°50'16"	93°23'49"
VA3	Red pública de agua potable.		X	17°50'05"	93°22'53"
VA4	Red pública de agua potable.		X	17°50'05"	93°22'56"
VA5	Red pública de agua potable.		X	17°50'25"	93°23'42"
VA6	Red pública de agua potable.		X	17°49'35"	93°23'28"
VA7	Red pública de agua potable.	X		17°49'37"	93°23'17"
VA8	Red pública de agua potable.	X		17°50'13"	93°23'36"
VA9	Red pública de agua potable.	X		17°50'21"	93°23'33"

Nota. Todas las Ventanas de Autoservicio se abastecen de la red pública de agua potable cuentan con un modelo de negocios independiente.

A través Google Earth se generó un archivo KML para agregar las coordenadas y delimitar el área, ejecutándose a través del Software Arc Gis visualizado en la Figura 3.

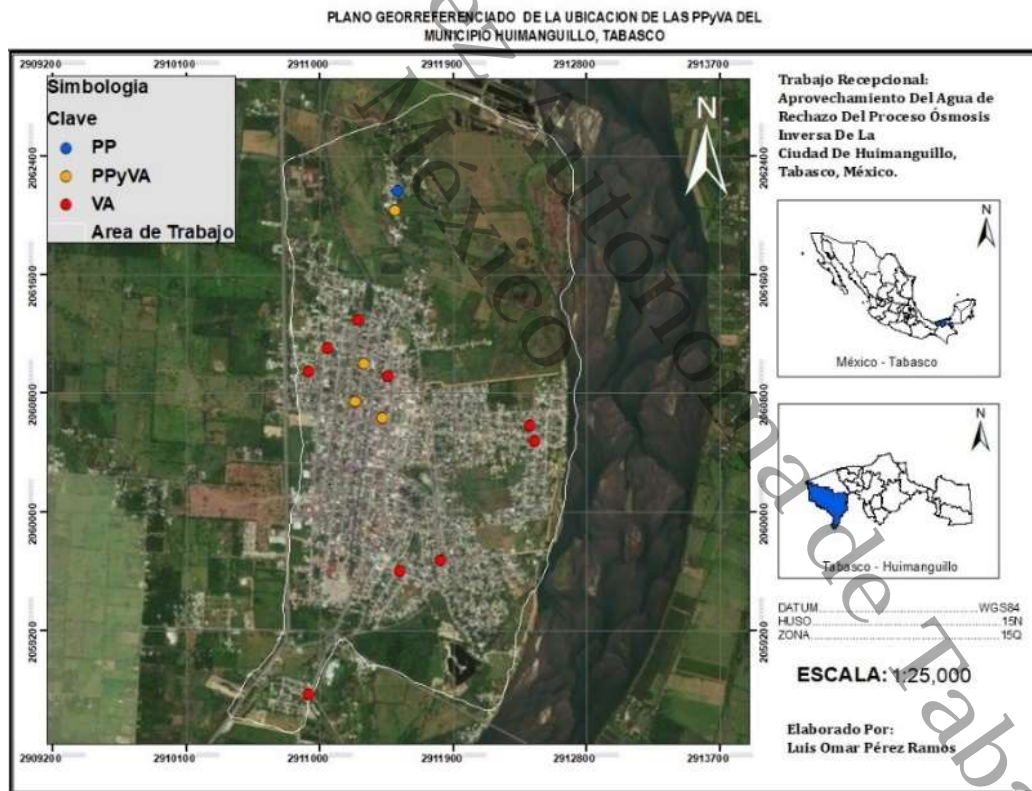


Figura 3. Plano georreferenciado de los modelos de negocio.
 Fuente: Google Earth & Arc Gis, 2023.

2.3.2. Encuesta a propietarios.

Mediante la técnica de encuestas, las preguntas fueron elaboradas con el propósito de obtener información sobre la alimentación de la planta, conocer las etapas antes del sistema Ósmosis Inversa y saber el interés de los propietarios para el aprovechamiento del Agua de Rechazo. Las



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL



respuestas de los propietarios podrán aportar información para la reutilización del Agua de Rechazo y determinar que perspectivas tienen acerca del aprovechamiento.

Está elaborado a partir de una estructura de preguntas abiertas.

Descripción de la encuesta.

- 1.- ¿Cómo surgió la idea de vender agua purificada? Pregunta de introducción al diálogo el propietario.
- 2.- ¿Qué otros servicios/productos ofrecen? Pregunta de interés hacia los servicios que ofrecen.
- 3.- ¿Conoce las características generales de su Ósmosis Inversa? Pregunta puntual que utilizaremos para la investigación; se pretende encontrar información técnica.
- 4.- ¿Qué hace con el Agua de Rechazo de su Ósmosis Inversa? Acercamiento con la problemática crucial de la investigación, conocer la parte ecológica del propietario.
- 5.- ¿Considera alguna alternativa para utilizar el Agua de Rechazo? Sugerencias importantes para agregar en la discusión del proyecto.

2.4. Resultados.

Después de un recorrido por las calles y colonias que abarcan el área de estudio, se localizaron 20 PPyVA de los cuales 14 aceptaron la invitación para ser encuestados. Se contabilizaron 5 Pequeñas Plantas y 9 Ventanas de Autoservicio (36% PP y 64% VA).

De las Pequeñas Plantas el 80% es un modelo de negocio independiente el cual surte sus insumos, asistencia técnica y mantenimiento de manera privada sin requerir de una empresa que respalde las decisiones técnicas-comerciales, en la Tabla 3 se observan los resultados obtenidos de la encuesta.

Tabla 3. Resultados de la Encuesta realizada a propietarios de Pequeñas Plantas.

Respuestas a las preguntas de la Encuesta					
No° PP	1	2	3	4	5
1	Un negocio familiar	Hielo y agua purificada	Si conozco	Producción de hielo	Ninguna
2	Dependencia	Agua purificada	Si conozco	Se vierte al subsuelo	Para producir hielo
3	Invertir ahorros	Agua purificada y de sabor	No conozco	Directo al drenaje	Ninguna
4	Dependencia	Hielo y agua purificada	Si conozco	Directo al drenaje	Ninguna
5	Probar nuevos retos	Agua purificada	Si conozco	Se lavan los garrafones	Ninguna

De las Ventanas de Autoservicio 1 de cada 3 pertenece a una franquicia; ventaja que representa apoyo legal, técnico y administrativo para el manejo general de este negocio. En la Tabla 4 se observan las respuestas de los propietarios.



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL



Tabla 4. Resultados de la Encuesta realizada a propietarios de Ventanas de Autoservicio.

Respuestas a las preguntas de la Encuesta a Ventanas de Autoservicio					
No° VA	1	2	3	4	5
1	Dependencia económica	Agua fría	Si conozco.	Directo al drenaje	Ninguna.
2	Dependencia económica	Agua purificada y bolis	No conozco.	Directo al drenaje	Fabricar bolis
3	Invertir ahorros.	Agua purificada.	No cuentan con Ósmosis Inversa	---	---
4	Invertir ahorros.	Agua fría	No cuentan con Ósmosis Inversa	---	---
5	Dependencia económica	Agua purificada.	Si conozco.	Directo al drenaje	Ninguna.
6	Invertir ahorros.	Agua purificada.	Si conozco.	Directo al drenaje	Ninguna.
7	Invertir ahorros.	Agua purificada.	Si conozco.	Directo al drenaje	Ninguna.
8	Invertir ahorros.	Agua purificada y de sabor	Si conozco.	Directo al drenaje	Ninguna.
9	Dependencia económica	Agua fría	Si conozco.	Directo al drenaje	Lavar la calle y coches

En la plática con los entrevistados se obtuvo información técnica sobre cada tecnología de Ósmosis Inversa, las membranas de espiral son las comunes para las purificadoras de agua, siendo HydraNautics, KeenSen, Hydron y Purikor las que identifican en el mercado previstas en la Tabla 5.

Tabla 5. Comparación de las principales marcas de membranas del área de estudio.

Especificación	Marcas			
	HydraNautics	KeenSen	Purikor	Hydron
Modelo	ESPA1-4040	ULP-4040HF	PKM-4040ULP	HLE-4040
Precio	\$5,770.00	\$3,099.00	\$4,290.00	\$3,349.00
Flujo de permeación (gal/día)	2,600.00	2,700.00	2,600.00	2,600.00
Temperatura (°C)	25.00	25.00	25.00	25.00
Presión operacional (psi)	100.00	150.00	225.00	100.00
Presión máxima (psi)	600.00	600.00	600.00	600.00
Tolerancia al cloro (mg/L)	0.10	.10	0.10	0.10
Rango de pH	2-10	3-10	3-10	3-10
Rechazo de sales %	99.30	99.50	99.20	98.00



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL



Área superficial (Ft ²)	85.00	100.00	86.00	90.00
Concentración máxima de STD (mg/L)	1,500.00	1,500.00	1,500.00	500.00
Material	Poliamida compuesta	Poliamida	Poliamida	Poliamida

Fuente: Elaborado a partir de referencias bibliográficas.

2.5. Conclusiones.

De las 14 PPyVA; diez son independientes y cuatro son franquicias.

Como se observa en los resultados 6 de cada 14 propietarios decidieron por dependencia económica o invertir ahorros formar un negocio de este giro comercial, además, la gran mayoría desconoce el impacto positivo del ahorro de agua, de las 14 PPyVA solo dos no cuentan con Ósmosis Inversa; y 2 de cada 3 PPyVA vierten el Agua de Rechazo de forma directa al sistema de drenaje municipal.

Gran parte de los propietarios tienen conocimientos técnicos de instalación y mantenimiento de su tecnología, consideran necesario para ahorrarse costos por el cuidado de sus membranas.

De las conversaciones se consideran que un aprovechamiento es el utilizar el Agua de Rechazo para hacer hielo de uso industrial (uso exclusivo de enfriamiento, no consumible), además del lavado de garrafones, áreas del establecimiento y sanitarios.

Los propietarios desconocen las características del Agua de Rechazo, pero se mostraron interesados en su aprovechamiento dejando en claro la importancia de considerar el espacio de instalación y los gastos extras que tendrían para su ejecución.

KeenSeen y Hydron son las marcas más utilizadas por su precio además, son las ofrecidas por los negocios que se encargan de insumos en las purificadoras, podemos concluir que la gran mayoría utiliza sistemas de una membrana.

2.6. Referencias.

- Ayuntamiento Constitucional de Huimanguillo. (2022). Población: Principales localidades. <https://www.huimanguillo.gob.mx/poblacion.php>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) 2010. Compendio de información geográfica municipal Huimanguillo, Tabasco. Edición 2010. P01.
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021. (2022). Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos que debe someterse el agua para su potabilización.
- Norma Oficial Mexicana NOM-201-SSA1-2015. (2022). Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias.
- Pure Aqua, Inc. (2023). Membranas de Hydranautics. Consulta: <https://es.pureaqua.com/membranas-hydranautics/>
- Hunan Keensen Technology. (2023). RO & NF Membrane Products Manufacturer. Consulta: <http://www.keensen.com/>
- Todo de agua. (2023). Membranas Purikor para Ósmosis Inversa. Consultado: <https://purificadoragua.tododeagua.mx/filtro/osmosis-inversa-comercial-e-industrial-membranas-purikor-osmosis-inversa-pkm-pkm-purikor>
- Deltech. (2023). Hydron. Consultado: <https://deltech.com.mx/marca/41/hydron>



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México

CAPÍTULO III



3. Caracterización fisicoquímica por etapas del proceso para purificación de agua.

3.1. Resumen.

La caracterización del proceso permite conocer las eficiencias de remoción por etapas y el comportamiento de las variables, la percepción negativa del Agua de Rechazo ha carecido de sustento normativo al tener valores que son permisibles con el reglamento sin embargo, los volúmenes que manejan las Purificadoras de Agua y Ventana de Autoservicio permiten justificar la investigación.

En este capítulo los análisis se realizaron en el Laboratorio de Tecnología del Agua, bajo las indicaciones de muestreo y análisis por cada parámetro analizado. El fundamento normativo indica un límite permisible en tolerancia, sin embargo los resultados de la caracterización indican que el Agua de Rechazo representa medias de STD (484mg/L) y C. Eléctrica (839mhos/cm).

En Tabasco y ciertas partes del territorio mexicano el paladar de una persona tolera hasta 200 mg/L de STD presentes en el agua purificada, la NOM-127-SSA1-2021 menciona como valor máximo 1000 mg/L. Prácticamente las limitaciones van a depender de los tipos y concentraciones de las sales presentes.

Palabras clave

Agua de Rechazo, Instrumentos, Límites máximos permisibles, Normatividad, Procesos y Variables.

3.2. Introducción.

Medina San Juan (1999) considera que el diseño dependerá de la calidad de agua que se desea tratar con respecto a la que se desee conseguir, además menciona que no existe membrana perfecta que elimine el 100 % de las sales contenidas en el agua. Agrega que es un método típico en la purificación de aguas y, por otra parte, el más elemental en cuanto al principio de operación

Un pretratamiento puede ampliar la vida útil de las membranas, las empresas comerciales que se dedican a la venta de los equipos sugieren que antes de la Ósmosis Inversa dos etapas (desinfección y tren de filtros).

El hipoclorito hace la labor de eliminar los microorganismos patógenos y así garantizar la eliminación de virus o bacterias, es un producto barato y disponible. Además es uno de los métodos más comunes para cumplir con la NOM-127-SSA1-2021.

La normatividad indica que para eliminar hasta 90 parámetros se debe contar con los procesos de filtración, absorción por carbón activado, intercambio catiónico, ozonificación, Ósmosis Inversa, filtración de arena y cloración.

3.3. Materiales y métodos.

3.3.1. Muestreo y análisis del agua.

El Agua de Rechazo de los Sistemas Ósmosis Inversa no cuenta con criterios normativos a pesar de estar en el rubro comercial, por su descarga al Sistema de Red de Alcantarillado Municipal.

El esquema metodológico fue elaborado a partir de la elección del sitio, la caracterización del Agua de Rechazo permitirá tener un panorama de confianza con lo que menciona la teoría. En la Figura 4 se observa el planteamiento.



Figura 4. Esquema de la aplicación metodología para la caracterización del Agua de Rechazo.



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL



Elección del Sitio: La empresa “Ahinco Agua Purificada” tiene como actividad principal la distribución y venta de agua purificada en presentación de 20 litros, en su sistema de tratamiento es el convencional manejado por franquicias que le permite alcanzar un límite de 350 garrafones por día.

Al ser una empresa joven, cuentan con una producción de 700 garrafones semanales (seis días laborales), producción que genera 1,800 litros de Agua de Rechazo por día. El agua osmotizada es generada en su sistema de Ósmosis Inversa en 140 minutos (2 horas 20 min aproximadamente de producción).

Ubicación de los Puntos de Muestreo: En la Tabla 6 se describen los puntos de muestreo en lo que implica todo el proceso, abarcando las cuatro etapas de un sistema convencional (utilizado en franquicias o independientes).

Tabla 6. Puntos de Muestreo en Diferentes Etapas del Proceso.

ETAPAS	SUB-ETAPA
Desinfección	Muestra 1: Agua Cruda
	Muestra 2: Agua Desinfectada
Tren de filtros	Muestra 3: Arena Sílica
	Muestra 4: Carbón Activado
	Muestra 5: Resina Catiónica
Sistema Ósmosis Inversa	Muestra 6: Entrada
	Muestra 7: Rechazo
	Muestra 8: Agua Osmotizada
Agua purificada	Muestra 9: Producto final

En el Figura 5 se observa el proceso desde el Tanque de Almacenamiento de Agua Cruda hasta obtener el Agua Purificada (producto terminado).

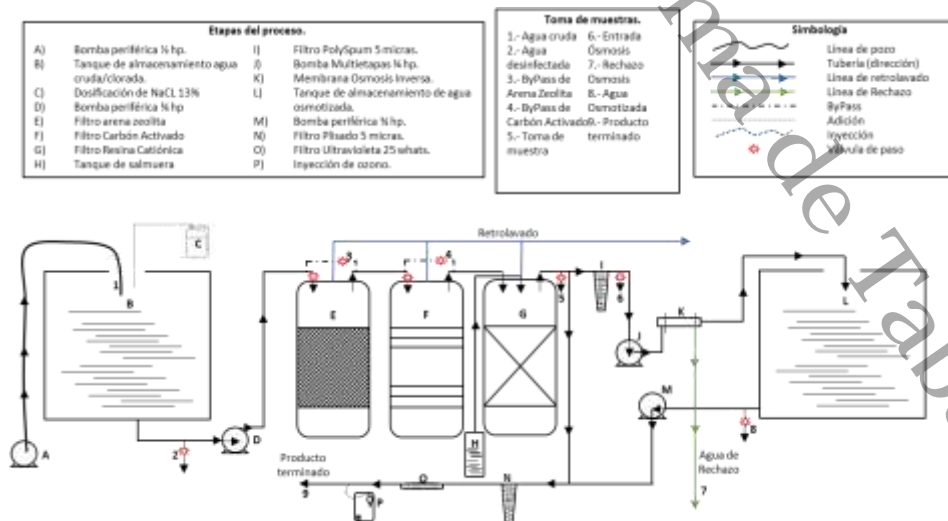


Figura 5. Diagrama del proceso y ubicación de los puntos de muestreo de la purificadora de agua elegida para el análisis.



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL



Toma de Muestras: Para la toma de muestra se utilizará la metodología de muestra simple el cual consiste después de la preparación de los envases de muestra recoger el volumen (un litro) de Agua de Rechazo. Para una mejor interpretación y promedio de los resultados, se realizaron un total de 10 días de muestreos y análisis del 27 de julio al 09 de agosto de 2022.

Medición de Parámetros: En la medición de los parámetros en campo tuvieron en cuenta la Temperatura y el Cloro Libre, representados en la Tabla 7.

Tabla 7. Parámetros de Campo.

Variable	Definición	Unidad	Instrumento
Temperatura	Potencial o grado calorífico referido a un cierto cuerpo. (NMX-AA-007-SCFI-2010).	°C	Termómetro de líquido en vidrio con escala de -20 a 110 °C, graduado cada 1°C
Cloro libre	Es el cloro presente en forma de ácido hipocloroso (HOCl), ion hipoclorito (OCI-) y cloro molecular disuelto. (NMX-AA-108-SCFI-2001)	Mg/L	Colorímetro para cloro libre Checker® de Hanna Instruments

Fuente: Elaborado con base a las referencias bibliográficas.

Almacenamiento y transporte: Con referencia en la NMX-AA-003-1980 las muestras se envasarán, sellarán herméticamente y almacenarán en una nevera de la planta al Laboratorio de Tecnología de Agua UJAT-DACBiol verificando que el recipiente mantuviera una adecuada temperatura, no se requiere de conservadores pues el tiempo de traslado es de 1 hora.

Análisis en laboratorio de Tecnología del Agua D.A.C.Biol. UJAT: Las técnicas de análisis utilizadas por el laboratorio de Tecnología del Agua, a partir del documento "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23d Edition 2017" con el objeto de evaluar la calidad del agua. Los parámetros analizados son los mencionados en la Tabla 8.

Tabla 8. Parámetros en Laboratorio.

Variable	Definición	Dimensiones	Instrumento
Potencial Hidrógeno (Ph)	El pH se define en términos de la actividad relativa de los iones de hidrógeno en la disolución. (NMX-AA-08-SCFI-2016)	Unidades	HANNA Waterproof Tester modelo HI 98129
Color	El término color tal como se aplica en aguas, se refiere al valor numérico expresado en por ciento de luminancia y pureza, longitud de onda dominante y tono. (NMX-AA-017-1980)	UC	Fotómetro LaMotte SMART3
C. Eléctrica	Es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. (NMX-AA-093-SCFI-2000)	mS/cm	HANNA Waterproof Tester modelo HI 98129
Solidos Totales Disueltos	Es el material soluble constituido por materia inorgánica y orgánica que permanece como residuo después de evaporar y secar una muestra previamente filtrada a través de un filtro de fibra de vidrio con poro de 1,5 µm a una temperatura de 105 °C ± 2 °C. (NMX-AA-034-SCFI-2015)	mg/L	HANNA Waterproof Tester modelo HI 98129
Potencial Oxido-Reducción	El potencial Redox (ORP) es una medida efectiva para el control de la eficiencia de desinfección. World Health Organization (1971).	mV	Medidor de Bolsillo de pH/ORP Hanna HI98121



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL



Turbiedad	Es una expresión de la propiedad óptica de una muestra, que origina que al pasar un haz de luz a través de ella, la luz se disperse y se absorba en vez de transmitirse en línea recta. (NMX-AA-038-SCFI-2001)	UTN	Fotómetro LaMotte SMART3
Oxígeno Disuelto	Es la concentración de oxígeno libre que se encuentra presente en el agua, dependiendo dicha concentración de la temperatura, presión, salinidad y otros parámetros. (NOM-AA-12-1980)	mg/L	HANNA Dissolved Oxigen modelo HI 98193
Metales Pesados	Metales que se encuentran en las aguas naturales, potables y residuales sobre la salud humana y causan problemas tóxicos, dependiendo de su concentración, por lo que su cuantificación en cuerpos de agua es importante. (NMX-AA-051-SCFI-2001)	mg/L	Hanna HI 83099 Fotómetro Multiparámetro es

Fuente: Elaborado con base a las referencias bibliográficas.

3.4. Resultados.

3.4.1. Calidad de agua en los procesos de purificación.

En la Tabla 9 podemos observar el promedio de 10 análisis fisicoquímico y los incrementos y decrementos al pasar por las etapas del proceso en general. Obtenemos un agua cruda con variables de C. Eléctrica y Solidos Totales Disueltos de 586 mS/cm y 340 mg/L respectivamente y que incrementa en el rechazo del sistema Ósmosis Inversa.

Tabla 9. Promedio de resultados obtenidos en la caracterización.

Parámetro	Unidad	Desinfección		Tren de filtros			Sistema Ósmosis Inversa			Agua P.
		M 1	M 2	M3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9
pH	Unidades	6.89	7.45	7.53	7.62	7.79	7.92	7.97	8.8	8.23
Cloro Libre	mg/L	0	2	2	0	0	0	0	0	0
Temperatura	°C	23.1	22.9	23.3	23.2	23	23.1	23.9	22.9	23.2
Color	UC	229	183	50	33	25	18	22	15	19
Conductividad	mS/cm	586	579	508	506	513	512	839	56	154
Solidos Totales Disueltos	mg/L	340	334	277	277	280	278	484	15	36
Potencial Redox	mV	36	439	349	531	273	242	240	264	221
Turbiedad	UTN	6.57	0.6	0.87	0.32	0.15	0.13	0.18	0.11	0.11
Oxígeno Disuelto	mg/L	5.77	7.28	9.22	8.05	7.96	8.42	8.46	8.37	9.65
Hierro RA	mg/L	2.21	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	0.003	0	N.A.
Manganeso RA	mg/L	1.57	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	0.03	0	N.A.



3.4.2. Eficiencia de remoción por etapa.

Los valores porcentuales positivos indican la eficiencia por etapas con respecto a la M 1 (Agua Cruda) por ejemplo: el valor de Turbiedad disminuye desde la M 2 observando una variación mínima en las etapas posteriores, el Oxígeno Disuelto incrementa desde la etapa temprana y no logra disminuir en todo el trayecto. Además, la C. Eléctrica y los Solidos Disueltos Totales atraviesan disminuciones mínimas hasta el Sistema Ósmosis Inversa donde en M7 (Agua de Rechazo) obtienen un incremento entre el 43% y una eficiencia superior al 90% en la M 8 (Agua Osmotizada). En la Tabla 10 se observan las representaciones.

Tabla 10. Porcentaje de eficiencia por etapas de muestreo.

Parámetro	Desinfección		Tren de filtros			Sistema Ósmosis Inversa			Agua Purificada
	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9
Color	N.A.	20.1	78.2	85.6	89.1	92.1	90.4	93.4	91.7
Conductividad	N.A.	1.2	13.3	13.7	12.5	12.6	-43.2	90.4	73.7
STD	N.A.	1.8	18.5	18.5	17.6	18.2	-42.4	95.6	89.4
Turbiedad	N.A.	90.9	86.8	95.1	97.7	98.0	97.3	98.3	98.3
O. Disuelto	N.A.	-26.2	-59.8	-39.5	-38.0	-45.9	-46.6	-45.1	-67.2

Nota. Se refiere a eficiencia como valores positivos, los valores negativos indican un incremento del parámetro.

3.4.3. Análisis estadísticos por etapa.

El Análisis de la Varianza (prueba ANOVA) permite comparar los valores obtenidos de los análisis realizados en el Laboratorio de Tecnología del Agua, en cada grupo se compararon las medias para observar mediante graficas si existe alguna diferencia entre los grupos. Durante los análisis se presentan el valor promedio \pm desviación estándar y el valor de la mediana ($\pm Q1, 3$) que indican valores estadísticamente significativos entre tratamiento ($p < 0.05$), al 95 % nivel de confianza.

Color. Durante este análisis el valor promedio \pm desviación estándar que indicó una mejor eficiencia del color se presentó en la etapa M3 (Filtro de Arena Sílica) con 37.8 ± 24.69 UPC, posterior a la M3 los grupos homogéneos mantuvieron un rango similar obteniendo el valor más bajo en la M9 (agua osmotizada) con un valor de 15 ± 7.49 UPC, en la Figura 6 se observa el comportamiento por etapas.

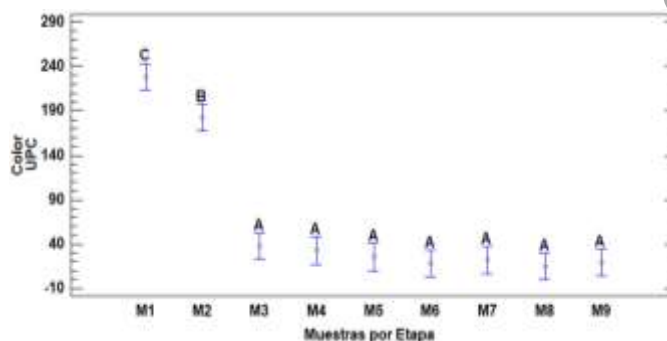


Figura 6. Valores promedio \pm desviación estándar (UPC) del sistema. En todos los casos N=10, letras diferentes indican valores estadísticamente significativos.



Conductividad eléctrica. Durante este análisis el valor promedio \pm desviación estándar que indicó una mejor eficiencia del parámetro se presentó en la etapa M8 (Agua Osmotizada) con 56.3 ± 57.60 mS/cm, en la Figura 7 se observa el caso contrario al M7 con un incremento que permite identificar un valor de 839.2 ± 192.01 mS/cm, los grupos homogéneos mantuvieron un rango similar de la M1 hasta la M6.

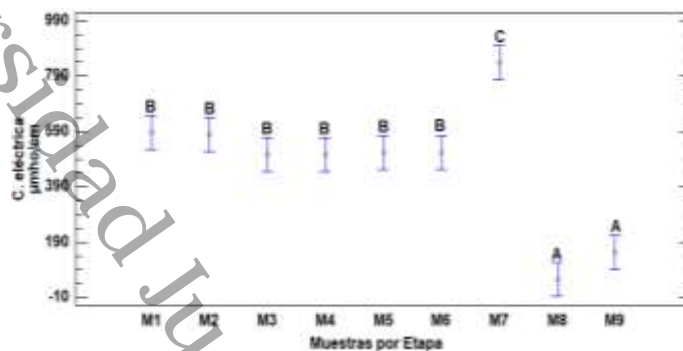


Figura 7. Valores promedio \pm desviación estándar (mS/cm) del sistema. En todos los casos N=10, letras diferentes indican valores estadísticamente significativos.

Sólidos Totales Disueltos. Durante este análisis el valor promedio \pm desviación estándar que indicó una mejor eficiencia del parámetro se presentó en la etapa M8 (Agua Osmotizada) con 15.2 ± 8.67 mg/L, caso contrario al M7 con un incremento que permite identificar un valor de 484.1 ± 168.60 mg/L, los grupos homogéneos mantuvieron un rango similar de la M1 hasta la M6, se observan en la Figura 8.

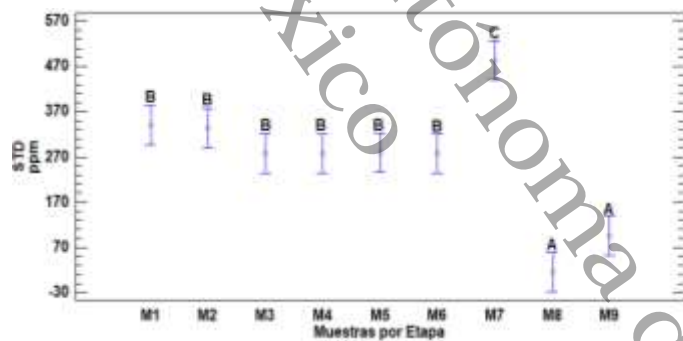


Figura 8. Valores promedio \pm desviación estándar (mg/L) del sistema. En todos los casos N=10, letras diferentes indican valores estadísticamente significativos.



Turbiedad. Durante este análisis el valor promedio \pm desviación estándar que indicó una mejor eficiencia del parámetro se presentó en la etapa M2 (Agua Desinfectada) con 0.603 ± 0.36 NTU, los grupos homogéneos permanecen con ligeras variaciones después de la M1 lo que permite observar rangos de 0-2.04 que se identifican en la Figura 9.

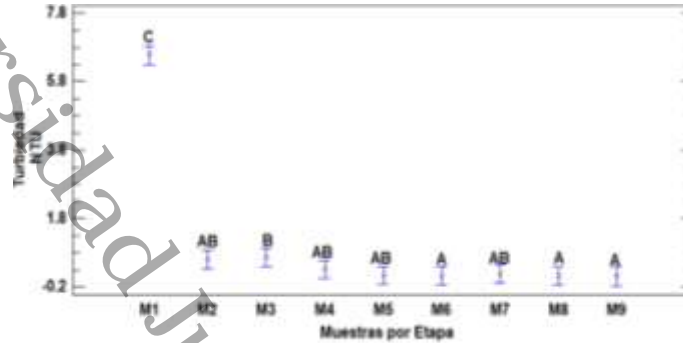


Figura 9. Valores promedio \pm desviación estándar (NTU) del sistema. En todos los casos N=10, letras diferentes indican valores estadísticamente significativos.

Oxígeno Disuelto. No existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas \pm ($\pm Q1$, 3) con un nivel del 95,0% de confianza. El valor de la mediana ($\pm Q1$, 3) más bajo, se presentó al inicio del proceso (Agua Cruda) $5.76 \pm (2.97, 11.9)$ y la mediana más alta en la etapa final M9 (Agua Purificada) con un valor de $9.65 \pm (5.84, 13.02)$ detallados en la Figura 10.

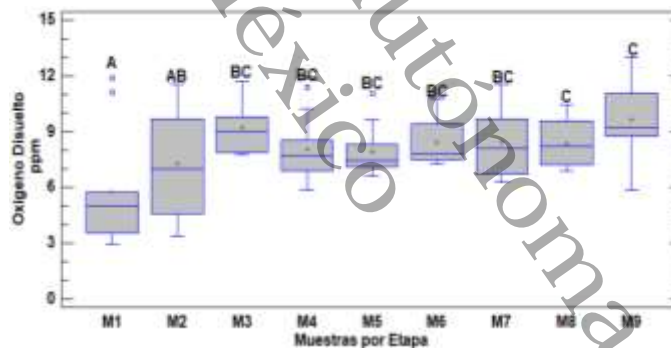


Figura 10. Valores de medianas $\pm Q1$, 3 de la variable OD del sistema. En todos los casos N=10. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas.



Potencial Hidrógeno. Durante este análisis el valor promedio \pm desviación estándar que indicó un incremento del parámetro se presentó en la etapa M8 (Agua Osmotizada) con 8.79 ± 0.45 unidades. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan un mismo valor, por lo que para 9 muestras hay 7 grupos homogéneos. En la figura 11 se observa la distribución y el comportamiento de este parámetro.

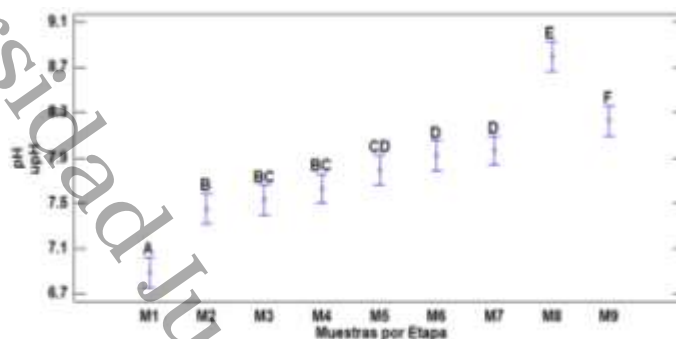


Figura 11. Valores promedio \pm desviación estándar (unidades) del sistema. En todos los casos N=10, letras diferentes indican valores estadísticamente significativos.

Temperatura. Durante este análisis el valor promedio \pm desviación estándar que indicó un incremento del parámetro se presentó en la etapa M7 (Agua de Rechazo) con 23.9 ± 0.71 °C. Los niveles que compartan un mismo valor en la prueba de rangos múltiples mantienen un rango similar desde la M1 hasta la M9. En la figura 12 se observa la distribución y el comportamiento de este parámetro.

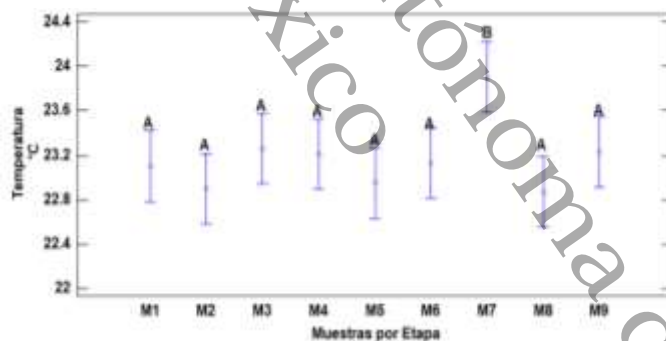


Figura 12. Valores promedio \pm desviación estándar (°C) del sistema. En todos los casos N=10, letras diferentes indican valores estadísticamente significativos.



Potencial RedOx. Durante este análisis el valor promedio \pm desviación estándar que indicó un incremento del parámetro se presentó en la etapa M2 (Agua Desinfectada) con 439.2 ± 144.83 mV. Los niveles que compartan un mismo valor en la prueba de rangos múltiples mantienen un rango inestable en la Figura 13 se observa la distribución y el comportamiento de este parámetro, se forman 5 grupos homogéneos.

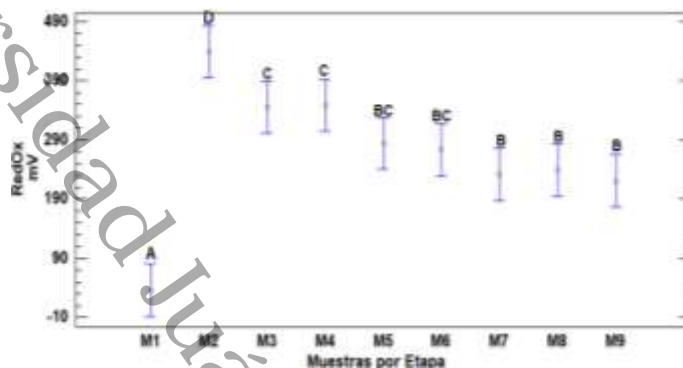


Figura 13. Valores promedio \pm desviación estándar (mV) del sistema. En todos los casos N=10, letras diferentes indican valores estadísticamente significativos entre tratamiento.

3.5. Conclusiones.

Los análisis del agua dan sentido al comportamiento por cada etapa, es decir la eficiencia y deficiencia son en función a los sistemas que en un funcionamiento pleno garantizan la efectividad del proceso y aumentan la vida útil de los equipos.

El comportamiento del Color por etapas es disminuido en el Filtro de Arena Zeolita y posterior a la etapa, mantiene rangos similares. La C. eléctrica y los STD tienen un comportamiento similar en las primeras seis etapas, el proceso de Osmosis Inversa permite separar las sales del agua aumentando la concentración a 839.2 mS/cm (546.0, 1140.0) y 484.1 mg/L (262.0, 688.0) respectivamente, generando una disminución del 90.4 y 95.6 %.

El comportamiento de la Turbiedad disminuye a partir de la etapa de Desinfección (90.9%), es decir de una media de 6.5 a 0.60 debido a la oxidación que produce el Hipoclorito de Sodio; obteniendo valores de 0 mínimo y 2.04 como máximo.

El valor del potencial RedOx y pH aumentan en la etapa de desinfección, esta última genera variación poco notable hasta el agua osmotizada (M7) aumentando a 8.23 cumpliendo con las especificaciones normativas para este giro comercial. Durante todo el proceso, no existe un factor que genere una alteración de la temperatura, es por eso su oscilación en 1°C entre $22.9 - 23.9^{\circ}\text{C}$. El Cloro Libre se ve eliminado hasta el carbón activado (M 4) que por absorción lo disminuye a 0 mg/L además de eliminar olor y sabor. El Oxígeno Disuelto durante el proceso mantiene comportamientos inestables que son producto de la turbulencia del agua por las bombas.

3.6. Recomendaciones.

La interpretación de los resultados puede variar dependiendo el origen del agua que utilicen en el proceso (pozo subterráneo o red pública), se recomienda dividirlos por origen.

Las tecnologías entre PPyVA varían según la calidad del agua, los equipos utilizados y los mantenimientos que se realicen al sistema, pueden generar desajustes en los resultados, para datos más precisos en la toma de muestra es conveniente realizar los mantenimientos generales (retrolavados, desinfección, regeneración de resina catiónica).



3.7. Referencias.

- Baird, R. B. & Eaton, A. D. & Rice, E. W. (1917). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (23 rd ed). **American Water Works Association.**
- Norma Mexicana NMX-AA-003-SCFI-1980. Aguas residuales. Muestreo
- Norma Mexicana NMX-AA-007-SCFI-2013. Análisis de agua. Medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.
- Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016. Análisis de agua. Medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.
- Norma Mexicana NMX-AA-012-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba.
- Norma Mexicana NMX-AA-51-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas – método de prueba.
- Norma Mexicana NMX-AA-017-SCFI-1980. Aguas. Determinación de color.
- Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015. Análisis de agua. Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba.
- Norma Mexicana NMX-AA-038-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba.
- Norma Mexicana NMX-AA-093-SCFI-2000. Análisis de agua. Determinación de la conductividad electrolítica – método de prueba.
- Norma Mexicana NMX-AA-108-SCFI-2001. Calidad del agua. Método para la determinación de cloro libre y cloro total en aguas naturales y residuales.
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021. Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos que debe someterse el agua para su potabilización.
- World Health Organization. (1971). International standards for drinking-water, 3rd ed. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/39989>



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México

CAPÍTULO IV



4. Humedal Artificial escala laboratorio con vegetación *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Schoenoplectus acutus* y *Cyperus odoratus*. Flujo libre y subsuperficial.

4.1. Resumen.

Una alternativa eficaz de los últimos años son los Humedales Artificiales (HumArt) o Humedales Construidos (HumCons). Desde el punto de vista tecnológico y económico son soluciones eficaces para resolver problemáticas de calidad de agua por su valor de amortiguar el impacto y carga de los contaminantes de un agua residual.

Los HumArt en escala laboratorio pueden resultar útil en el diseño del sistema, la valoración y estabilización de la vegetación que se utilizará a escala real.

Se realizaron experimentos con sistemas a escala laboratorio para evaluar la remoción de contaminantes, adaptación de la vegetación, técnicas de siembra y vulnerabilidad de la vegetación; utilizando *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Schoenoplectus acutus* y *Cyperus odoratus* con la técnica de siembra tresbolillos y un sistema de tres HumArt de Flujo Libre (HUMARTFL) y dos HumArt de Flujo Subsuperficial (HUMARTFSS) para remover contaminantes como Potencial Hidrógeno (PH), Conductividad Eléctrica (CE), Sólidos Totales Disueltos (STD) y Temperatura (T).

Se diseñó, instaló, monitoreó y evaluó utilizando especies nativas del municipio de Huimanguillo, obteniendo eficiencias de remoción de STD y C. eléctrica del 60.4% - 53.5% respectivamente. De las cuatro vegetaciones: *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* mostraron una mejor adaptabilidad y remoción.

Palabras clave

Análisis, Flujo libre, Flujo subsuperficial, Monitoreo y Remoción de contaminantes.

4.2. Introducción.

El incremento de la generación de aguas residuales ha obligado a la ingeniería a buscar, encontrar y aplicar alternativas de tratamiento de depuración eficientes, autónomas y económicamente viables Arias 2003

Define a las aguas residuales la NOM-001-SEMARNAT-2021 como “aquellas aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, así como la mezcla de ellas”.

Los HumArt son sistemas similares a los naturales capaces de eliminar contaminantes sin necesidad de energía según Maucier et al (2017), por lo tanto cada sistema permite el ahorro de costos por energía eléctrica y su mantenimiento no requiere de equipos ni personal especializado.

Arias en 2003 clasifica a los HumArt (HA) según la dirección del flujo: Flujo Libre (HUMARTFL), Flujo Superficial (HUMARTFS), Flujo Subsuperficial (HUMARTFSS), Flujo Vertical (HUMARTFV) y Sistemas Híbridos (HUMARTSH).

Romero señala en 2005 que las diferentes especies de plantas acuáticas que se utilicen son importantes, debido a que difieren su capacidad de depuración del agua residual, en la remoción de nutrientes específicos, elementos traza y compuestos tóxicos como metales pesados.

Sierra y López (2013) mencionan que los Humedales pueden establecerse de manera diferente por la sitio geográfico, condiciones climáticas y necesidades del usuario.

4.3. Materiales y métodos.

Para el desarrollo de la investigación se dividió en 4 etapas observadas en la Figura 14.



Figura 14. Etapas para el desarrollo de la investigación.

4.3.1 Diseño del sistema.

En este estudio se trabaja con un sistema de un T. de Control (TC), tres HumArt de Flujo Libre (HUMARTFL) y dos HumArt de Flujo Subsuperficial (HUMARTFSS) con dimensiones de 53 cm x 30 cm (base) y 32 cm (altura) con un volumen de 53,000 cm³ lo que equivale a 53 litros de capacidad.

Cada unidad cuenta con conexiones de tubería PVC de 1/2 pulgada, que con ayuda de válvulas se regula el caudal. Se utiliza la gravedad como fuerza de distribución para los flujos. En la Figura 15 se identifican las medidas generales para el TC, HUMARTFL y HAFS.

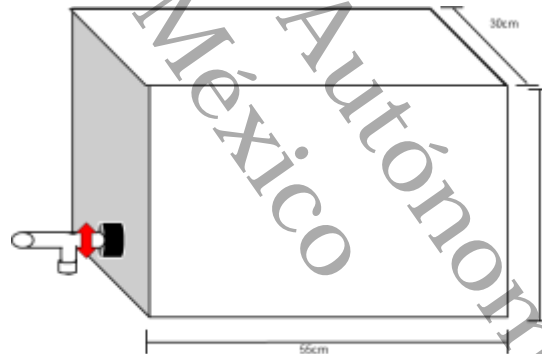


Figura 15. Medidas de reactores utilizados en el Sistema.

El medio soporte fue grava del Rio Mezcalapa, en los HUMARTFL y HUMARTFSS se agregó a una altura de 10 cm y 30 cm respectivamente. Antes de colocar el sustrato (grava) dentro de las unidades, pasó por un proceso de lavado y secado, eliminando impurezas y restos de plantas: la distribución quedó uniforme considerando que se utilizaron grava del mismo tamaño como se muestra en la Figuras 16.



Figura 16. Distribución del medio de soporte. A) Flujo libre y B) Flujo subsuperficial.

El agua residual a tratar proviene de la salida del Agua de Rechazo que será la alimentación del TC a través de la presión ejercida por el sistema de Osmosis Inversa, con ayuda de blocks se alcanzó una altura de 1.5 m, consecutivamente baja por gravedad como se muestra en la Figura 17. Las unidades resisten la grava, el flujo y la vegetación, su material de fabricación es plástico resistente, las columnas de blocks se construyeron en terreno plano con un agarre estratégico en cada fila para una mayor estabilidad sobre el peso de cada HA.

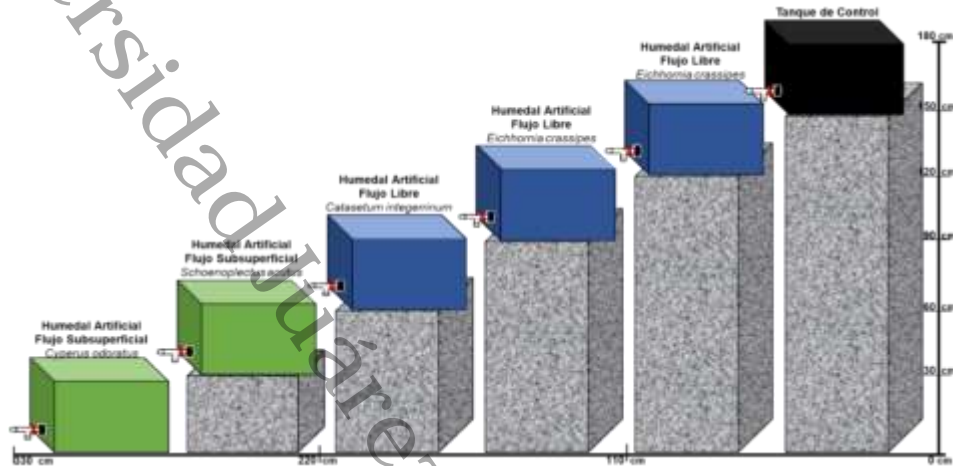


Figura 17. Diseño del Sistema.

Elección de plantas.

Las plantas elegidas para HA en orden son: *Eichhornia crassipes* (2 HUMARTFL), *Pistia stratiotes* (1 HUMARTFL), *Shoenoplectus acutus* (1 HUMARTFSS) y *Cyperus odoratus* (1 HUMARTFSS). Cada HA cuenta con una toma de muestra y llave de paso para el control del Tiempo de Retención (TR).

Técnicas de siembra.

Pazmiño y Jaramillo en 2019 recomendaron un método conocido como la forma de triangulo o tres bolillos, esto permite obtener una forma distribución más uniforme. Para las plantas con mayor área foliar se utilizó el método rectangular, a continuación se representan los resultados con las ecuaciones.

$$n = \frac{\text{Superficie (m}^2\text{)}}{d * d} * \cos 30$$

Donde:

n= número de plantas, d= distancia entre cada planta y superficie es el área (0.55m*0.30m).

Para *Eichhornia crassipes* se considera una distancia de 8 cm, *Shoenoplectus acutus* de 12 cm, *Pistia stratiotes* y *Cyperus Odoratus* con 15 cm y 12.5 cm ambas visualizadas en las siguientes Figuras 18.

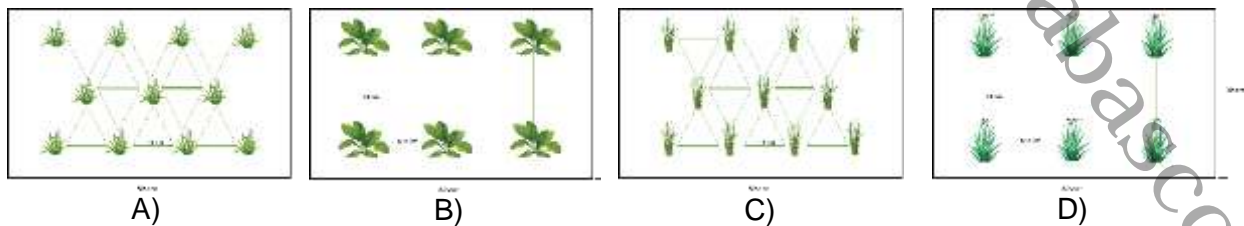


Figura 18. Distribución de la vegetación en el Sistema. A) *Eichhornia crassipes*. B) *Pistia stratiotes*. C) *Shoenoplectus acutus*. D) *Cyperus odoratus*.



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL



4.3.2. *Instalación del humedal.*

Análisis de costos.

Los costos que se incluyen en la Tabla 11 son los necesarios para la instalación del sistema, no se consideran mano de obra y energía eléctrica.

Tabla 11. Presupuesto de construcción del sistema experimental.

Material	Característica	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total
Caja para Tren	Caja Dakota 53 l de plástico	6	\$ 149.25	\$ 895.50
Cámara Wifi	HD 1080 con alarma	1	\$687.91	\$ 687.91
Cinta de Seguridad	75 mm ancho.	30	\$ 3.00	\$ 90.00
Brida plástica	1/2"	6	\$ 74.00	\$ 444.00
Tubería de PVC	PVC Sanitario 1/2" 3 m	1	\$ 309.00	\$ 309.00
Llaves de paso	Tipo esfera 1/2"	7	\$ 68.00	\$ 476.00
Conector tipo Tee	PVC Sanitario 1/2"	8	\$ 9.00	\$ 72.00
Conector Macho	Cuerda Exterior PVC Sanitario	7	\$ 8.00	\$ 56.00
Block macizo	12X20X40	110	\$ 8.00	\$ 880.00
Tapón	Tubería PVC 1/2"	7	\$ 5.00	\$ 35.00
Malla Electrosoldada	1.50 de alambre galvanizado	20	\$ 56.00	\$ 1,120.00
Grava	Medida estándar en latas	8	\$ 30.00	\$ 240.00
Medidor de Bolsillo Hanna	Ph, Conductividad, Temperatura y STD	1	\$ 3,899.00	\$ 3,899.00
TOTAL			\$ 5,156.91	\$ 8,308.91

Recolecta, siembra y estabilización.

La vegetación fue recolectada en distintos puntos de la Ciudad de Huimanguillo, *Eichhornia crassipes* se encontró en orillas del Rio Mezcalapa y en cuerpos de agua en ranchos del Ejido "El Puente", *Pistia stratiotes* se encontró en jagüey ganaderos, *Shoenoplectus acutus* y *Cyperus Odoratus* fue recolectada en la PTAR de la Ciudad de Huimanguillo, utilizada en la disminución de las cargas de contaminantes del agua residual.

Se adaptaron los HA utilizado como medio de soporte grava de río, el cual fue lavada para eliminar impurezas que puedan afectar la adaptación de las macrófitas. Con los cálculos de la fórmula tresbolillos se sembraron las vegetaciones y se adaptaron las válvulas para aforo de caudal entre cada reactor.

En el periodo de 13 de febrero al 13 de abril la estabilización de las plantas resulto un éxito para *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* y *Shoenoplectus acutus*.



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL



Eichhornia crassipes logro la floración a los 32 días, fue abundante el esparcimiento de la vegetación, no toleran agua residual superior a los 2,000 mS/cm.

Para Pistia stratiotes no toleran la densidad de vegetación por el tamaño de sus plantas, son vulnerables a las aves y su adaptación fue en 15 días posterior a su siembra.

Shoenoplectus acutus sufrió con una plaga de una especie de escarabajo que se logró combatir de manera manual eliminándolos de los tallos. Su crecimiento fue a través de hijuelos de la planta madre que por raíz crecían a un costado, su adaptación fue a partir del día 20.

Cyperus Odoratus no logro adaptarse debido a la densidad de vegetación, plaga de fumagina y su cambio de ecosistema: considerando que crecían en una PTAR con agua alta en nutrientes, a los 30 días de intentos se optó por eliminarlo del sistema.

4.3.3. Monitoreo y caracterización.

El monitoreo de agua (entradas y salidas) se hizo con base a la NOM-001-SEMARNAT-2021. Las etapas T. de Control, HUMARTFL1, HUMARTFL2, HUMARTFL3, HUMARTFS1 y HUMARTFS2 ya estabilizadas a partir del 01 de marzo al 09 de abril, un total de 38 días de muestreo, 4 parámetros en 6 etapas teniendo un total de 912 resultados. La colecta se realizó por medio de muestras simples como sugiere la norma, en frascos de 100 ml justificado por el goteo de influente y efluente por cada etapa.

Se consideraron en la interpretación de los resultados, los monitoreos realizados del 01 marzo 2023 al 13 de abril 2023, debido a que en esas fechas ya se habían estabilizados las plantas.

4.4. Resultados.

4.4.1. Caracterización del agua.

Los resultados obtenidos en de *media y desviación estándar* de la caracterización por etapas se encuentran en la Tabla 12.

Tabla 12. Datos estadísticos (media y desviación estándar) obtenidos del monitoreo.

Parámetros	T. de Control		HUMARTFL1		HUMARTFL2		HUMARTFL3		HUMARTFS1	
	<i>X</i>	<i>DE</i>	<i>X</i>	<i>DE</i>	<i>X</i>	<i>DE</i>	<i>X</i>	<i>DE</i>	<i>X</i>	<i>DE</i>
pH	7.9	0.2	7.9	0.2	7.9	0.2	8.0	0.2	8.0	0.1
Temperatura	23	1	23	1	23	1	23	1	24	1
STD	801	236	550	195	435	157	357	134	317	121
C. Eléctrica	1478	386	1147	401	934	368	779	325	688	287

4.4.2. Tiempo de retención hidráulico.

El gasto por etapa fue constante, el T. de Control se mantuvo lleno lo que permitió mantener entradas y salidas con un mismo nivel difiriendo los volúmenes por Flujos Libres y Subsuperficiales, la evaporación, el consumo de las plantas y fauna silvestre generaba un descontrol de caudales que se monitoreaba frecuentemente manteniendo el límite del nivel por etapas.

Una vez obtenidos los gastos de operación y volúmenes se pudo determinar para todo el sistema, el tiempo de retención hidráulico (TRH) fue de 38 horas observados en la Tabla 13.



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL



Tabla 13. Resultados de los Tiempos de Retención por etapa y final.

Etapa del sistema	Volumen (ml)	Q (ml/min)	TRH (min)	TRH (hora)
T. de Control	53000.00	130.00	407.69	6.79
HUMARTFL1 <i>Eichhornia crassipes</i>	47000.00	100.00	470.00	7.83
HUMARTFL2 <i>Eichhornia crassipes</i>	47000.00	100.00	470.00	7.83
HUMARTFL3 <i>Pistia stratiotes</i>	47000.00	90.00	522.22	8.70
HUMARTFS1 <i>Shoenopectus acutus</i>	29000.00	75.00	386.67	6.44
TRH final (Hora)				37.61

4.4.3 Evaluación.

Porcentaje de remoción.

Existe un incremento significativo en las medias de los valores del pH principalmente de la etapa HUMARTFL3 (*Pistia stratiotes*), tanto el pH como la temperatura cumplen con el rango del LMP basado en la NOM-001-SEMARNAT-2021, esta última no genera incremento significativo considerando que el sistema se instaló en un entorno natural que colinda con abundante vegetación.

La eficiencia de remoción para el parámetro de STD logro en su media un 60% teniendo picos altos de 71% y decrementos de 42%, variaciones que tuvieron sentido por la saturación de materia vegetal muerta y altas cargas de contaminantes. Por parte de la Conductividad existe una similitud con una media de 55% y picos del 72% con decrementos del 36%.

En la Tabla 14 se observan los resultados.

Tabla 14. Porcentaje de Remoción por etapas y final.

Potencial Hidrógeno (Unidades)						
Etapa s	T. DE CONTROL	HUMARTFL 1	HUMARTFL 2	HUMARTFL 3	HUMARTFS 1	Total
Media	7.89	7.91	7.94	7.96	8.02	
Variación por etapa		0.2%	0.4%	0.2%	0.7%	1.5%
Temperatura (°C)						
Etapa s	T. DE CONTROL	HUMARTFL 1	HUMARTFL 2	HUMARTFL 3	HUMARTFS 1	Total
Media	23.13	23.13	23.28	23.28	23.97	
Variación por etapa		0.0%	0.7%	0.0%	3.0%	3.6%
Solidos Totales Disueltos (mg/L)						
Etapa s	T. DE CONTROL	HUMARTFL 1	HUMARTFL 2	HUMARTFL 3	HUMARTFS 1	Eficiencia
Media	801.24	550.11	434.66	356.58	317.08	
Eficiencia por etapa		31.3%	21.0%	18.0%	11.1%	60.4%
C. Eléctrica (mS/cm)						
Etapa s	T. DE CONTROL	HUMARTFL 1	HUMARTFL 2	HUMARTFL 3	HUMARTFS 1	Eficiencia
Media	1478.37	1147.11	933.66	778.76	687.95	
Eficiencia por etapa		22.4%	18.6%	16.6%	11.7%	53.5%



4.4.4. Análisis de resultados.

Con ayuda del programa STATGRAPHICS Centurión XVI.I se realizó por cada parámetro la interpretación de los resultados considerando las unidades como variable dependiente y los parámetros como factores, a través de un análisis de varianza. Para los datos normales a través de Fisher y para los datos que indicaban algo de no normalidad se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis.

Potencial Hidrógeno. La prueba de Kruskal-Wallis evalúa las medianas de pH dentro de cada de los 6 niveles de tratamiento ($p < 0.05$). Reportó un valor de ($p < 0.05$) no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas ($\pm Q1, 3$) con un nivel del 95,0% de confianza. El valor de la mediana ($\pm Q1, 3$) más bajo, se presentó en las etapas T. de Control con valor de pH de $7.89 \pm (7.15, 8.4)$, seguido del tratamiento HUMARTFL1, HUMARTFL2 y HUMARTFL3 con un pH de $7.90 \pm (7.15, 8.23)$, $7.94 \pm (7.18, 8.21)$ y $7.95 \pm (7.20, 8.14)$ respectivamente y la mediana más alta en el HUMARTFS1 con un pH $8.01 \pm (7.35, 8.32)$ detallados en la Figura 19.

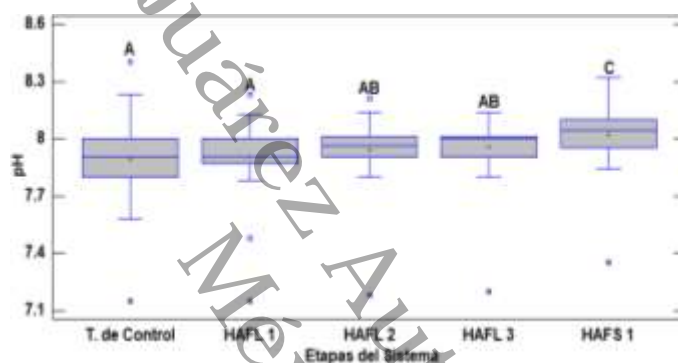


Figura 19. Valores de medianas $\pm Q1, 3$ de la variable pH del sistema. En todos los casos $N=38$. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas.

Temperatura. La prueba ANOVA de un factor al comparar los valores medios de Temperatura ($^{\circ}C$) para los 6 diferentes niveles de tratamiento ($p < 0.05$), reportó que no existen diferencias entre un nivel de tratamientos y otro, con un nivel del 95% de confianza. Durante esta fase el valor promedio \pm desviación estándar más bajo de temperatura se presentó en la etapa HUMARTFL2 22.75 ± 0.91 $^{\circ}C$, seguido los tratamientos HUMARTFL1 23.13 ± 1.10 $^{\circ}C$ y T. de Control 23.13 ± 1.00 $^{\circ}C$ (Figura 20).

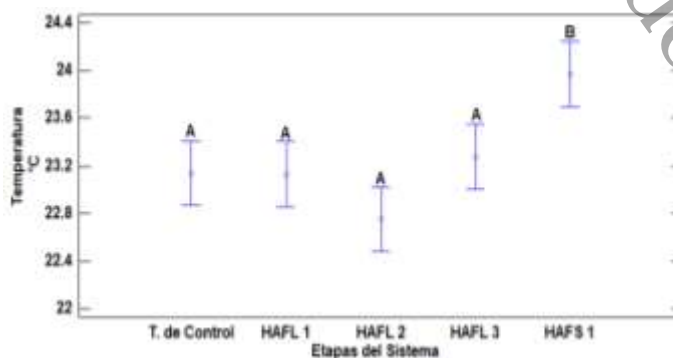


Figura 20. Valores promedio \pm desviación estándar ($^{\circ}C$) del sistema. En todos los casos $N=38$. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas.



Sólidos Totales Disueltos. La prueba de Kruskal-Wallis evalúa las medianas de STD dentro de cada de los 6 niveles de tratamiento ($p < 0.05$). Reportó un valor de ($p < 0.05$) no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas $\pm (\pm Q1, 3)$ con un nivel del 95,0% de confianza. El valor de la mediana ($\pm Q1, 3$) más bajo, se presentó en las etapas HUMARTFS1 con valor en mg/L de $336 \pm (150, 800)$, seguido del tratamiento HUMARTFL3, HUMARTFL2 y HUMARTFL1 con un valor de $356 \pm (170, 800)$, $434 \pm (200, 1000)$ y $550 \pm (285, 1257)$ respectivamente y la mediana más alta en la etapa del T. de Control con un valor de $801 \pm (422, 1734)$ detallados en la Figura 21.

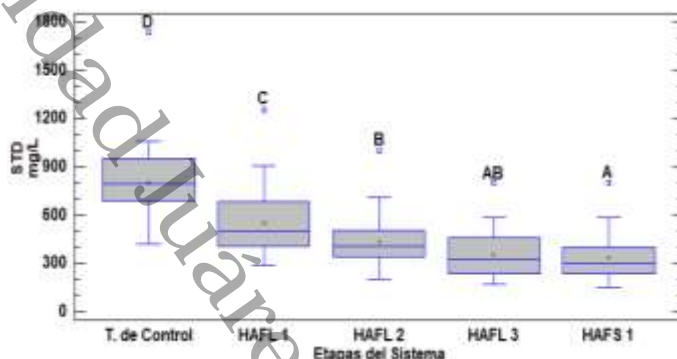


Figura 21. Valores de medianas $\pm Q1, 3$ de la variable STD del sistema. En todos los casos $N =$. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas.

Conductividad Eléctrica. La prueba de Kruskal-Wallis evalúa las medianas de C. eléctrica dentro de cada de los 6 niveles de tratamientos ($p < 0.05$). Reportó un valor de ($p < 0.05$) no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas $\pm (\pm Q1, 3)$ con un nivel del 95,0% de confianza. El valor de la mediana ($\pm Q1, 3$) más bajo, se presentó en las etapas HUMARTFS1 con valor en mg/L de $688 \pm (277, 1408)$, seguido del tratamiento HUMARTFL3, HUMARTFL2 y HUMARTFL1 con un valor de $778 \pm (294, 1600)$, $933 \pm (370, 1850)$ y $1147 \pm (580, 2306)$ respectivamente y la mediana más alta en la etapa del T. de Control con un valor de $1478 \pm (780, 2900)$ detallados en la Figura 22.

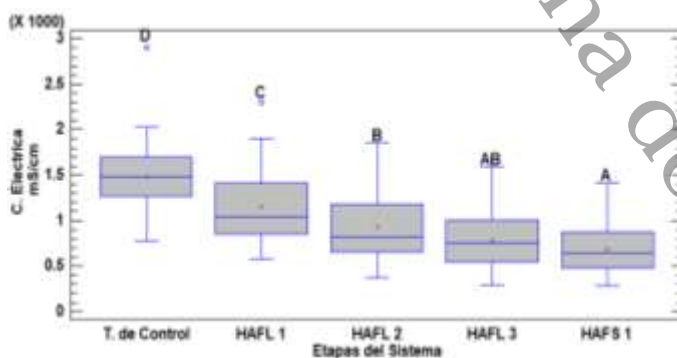


Figura 22. Valores de medianas $\pm Q1, 3$ de la variable C. eléctrica del sistema. En todos los casos $N = 38$. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas.



4.5. Conclusiones

El *Cyperus Odoratus* genera plagas como el pulgón, no tolera altas concentraciones de STD y Conductividad además, el método de *tresbolillos* y *rectangular* no le favorece en espacios como el tren a escala laboratorio. Su adaptación de absorber nutrientes del agua residual domestica al agua residual de rechazo no funciona, la planta murió al aumento de STD y Conductividad.

El espadaño o *Shoenoplectus acutus* tiene una gran adaptabilidad por su morfología, las plantas brotaron y su crecimiento fue en altura lo que genera menor estrés en un sistema estrecho.

En su ecosistema se encuentra con espacios reducidos entre unas y otras, es por eso que *Pistia stratiotes* no le afecta sembrarlas en espacios reducidos. A pesar de su morfología de raíces adventicia, su crecimiento foliar es en el centro, las hojas viejas mueren en concordia con las nuevas.

Para *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* obtuvieron una mejor adaptación, floración y crecimiento, sin embargo la primera no tolera altos valores de C. Eléctrica, los cuales se presentaron en la primera etapa del tratamiento, presentándose mortandad de esta especie.

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten sugerir a *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* tienen una mejor adaptabilidad y junto *Shoenoplectus acutus* manteniendo un tiempo de retención hidráulico (THR) de 37 horas, obtuvo un porcentaje de remoción de STD y C. eléctrica de 60.4 y 53.5 respectivamente. Esto demuestra que las vegetaciones tienen la capacidad de asimilar las cargas de los contaminantes del Agua de Rechazo del sistema Osmosis Inversa y se puede ejecutar a escala humedal.

4.6. Recomendaciones

Para *Cyperus Odoratus* es recomendable utilizar vegetación que se desarrollen en viveros o en sistemas similares para una mejor homeostasis. Para las plagas, el jabón biodegradable le ayuda a frenar la actividad.

El *Shoenoplectus acutus* es necesario al desenterrar la planta, cortar el vástago a 40 cm el cual ayuda a acortar el tiempo de crecimiento y que las raíces puedan crecer generando nuevos tallos. Esta planta atrae escarabajos que se elimina físicamente, estos coleópteros se introducen a los tallos comiéndolos por dentro y matándolos.

La planta *Pistia stratiotes* se desarrolla en cuerpos de agua con profundidades, por eso es necesario mantener con alto nivel el flujo del sistema para evitar que las hojas rosen con las paredes de esta misma y puedan desarrollarse sin ningún problema.

Eichhornia crassipes necesitan mantenerse en niveles medios para que con sus raíces puedan sostenerse de la grava, el incremento del agua desestabiliza la planta. Además en su ecosistema, son plantas higrófitas con poblaciones abundantes que toleran movimientos pero no la disminución de los niveles en cuerpos de agua, por eso es necesario mantener el sistema húmedo.



4.7. Referencias

- Maucieri, C., Barbera, AC, Vymazal, J., y Borin, M. (2017) Una revisión sobre los principales factores que afectan la emisión de gases de efecto invernadero en los HumArt. *Meteorología agrícola y forestal*, 236, 175-193.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2022) Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.
- Arias C., y Brix, Hans. (2003). HumArt para el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogradina*, (13) 18-24. ISSN: 0124-8170. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101302>.
- Romero, M., Colin, A., Sánchez, E., y Hernández, L. (2009) Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de HumArt. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25 (3), 157-167. ISSN: 0188-4999. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000300004



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México

CAPÍTULO V



5. Conclusiones finales.

Los datos porcentuales son notorios para determinar que el negocio de las PPyVA como en su mayoría de los PyMES es buscar un beneficio económico, postergando la cultura ambiental y aportaciones al ahorro del agua. El vertimiento de Agua de Rechazo en la gran mayoría de las PPyVA avala el planteamiento de la investigación. El desconocimiento sobre la Educación Ambiental, Objetivos del Desarrollo Sostenible y Cultura del Cuidado del Agua es utilizado para vindicar estas acciones. CONAGUA tiene como organismo la facultad de dar las herramientas adecuadas para promover el aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos en este contexto económico.

El crecimiento exponencial de estas pequeñas empresas genera una alerta ambiental por los grandes flujos volumétricos que vierten al sistema de la red de alcantarillado municipal, el Agua de Rechazo contiene poco más del doble de parámetros (STD y C. Eléctrica) que el agua cruda procedente de pozos profundos o red pública de agua potable. Al observar las normativas correspondientes se concluye que la mayoría de los parámetros están en concordancia (muestras superiores a la norma en C. eléctrica), una caracterización más concisa permitirá conocer en porcentajes las sales incluidas en los STD.

Los parámetros se comportaron de tal manera como indican las referencias, cada proceso establecido por la normatividad cumple en su eficiencia además, un mantenimiento preventivo constante genera la vida útil de los equipos, garantiza la calidad del producto final y que el Agua de Rechazo no contenga Metales Pesados.

La vegetación utilizada (*Eichhornia crassipes*, *Schoenoplectus acutus* y *Pistia stratiotes*) ayudaron a disminuir los valores, en los análisis se detectó inestabilidad en los parámetros de STD y C. eléctrica, disminuyendo las eficiencias en rangos más altos de la media.

Hasta la fecha de esta investigación no existe regularidad sobre esta situación, en otros estados han optado por la eliminación del Sistema Ósmosis Inversa por los costos excesivos del agua generando un riesgo a la salud humana por presencia de metales pesados y veinte parámetros más que el sistema según la literatura puede retener.



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México

ANEXOS

7. Memoria fotográfica.



Figura 23. Sistema de Ósmosis Inversa de una Ventana de Autoservicio.



Figura 24. Sistema de Ósmosis Básico.



Figura 25. Almacenamiento de muestras.



Figura 26. Toma de muestras para el Tren de Filtrros.



Figura 27. Toma de muestras para Agua Cruda.



Figura 28. Toma de muestras para Agua Osmotizada.



Figura 29. Toma de muestras para el Agua de Rechazo.



Figura 30. Muestras en el Laboratorio de Tecnología del Agua.



Figura 31. Medición de Oxígeno Disuelto.



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL



Figura 32. Fotómetro Multiparámetro Hanna HI 83099



Figura 33. Análisis de Metales Pesados (He y Mn).



Figura 34. Experiencia en COLPOS 1er Foro: Avance de Investigación.



Figura 35. Experiencia en el EJITA 10ma edición.



Figura 36. Instalación de los HA Escala Laboratorio.



Figura 37. Adecuación del sitio.



Figura 38. Instalación de HAFL y HAFS.



Figura 39. Recolección de *Schoenoplectus acutus*.