



**UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO**  
**División Académica de Ciencias Biológicas**



---

---

**“MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE HUMEDALES  
ARTIFICIALES DE LA DACBIOL.”**

**Trabajo recepcional, en la modalidad de:**

Tesis

**Para obtener el título en:**

Licenciatura en Ingeniería Ambiental

**Presenta:**

León Eduardo Solís Rodríguez

**Directores:**

Dr. Gaspar López Ocaña  
M. en C. Carlos Alberto Torres Balcázar

Villahermosa, Tabasco, México

Febrero, 2022

Universidad Veracruzana  
Autónoma de Tabasco.

# Manual De Operación Y Mantenimiento De La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales De Humedales Artificiales De La Dacbiol.

*Por* León Eduardo Solís Rodríguez

---

CANTIDAD DE PALABRAS 24762

HORA DE ENTREGA

27-JUN-2025 11:05A. M

NÚMERO DE  
IDENTIFICACIÓN DEL  
TRABAJO

116953460

# Manual De Operación Y Mantenimiento De La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales De Humedales Artificiales De La Dacbiol.

INFORME DE ORIGINALIDAD

# 16%

ÍNDICE DE SIMILITUD

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Internet	760 palabras — 4%
2	<a href="http://www.scielo.org.mx">www.scielo.org.mx</a> Internet	611 palabras — 3%
3	<a href="http://sinat.semarnat.gob.mx">sinat.semarnat.gob.mx</a> Internet	296 palabras — 1%
4	<a href="http://www.ptolomeo.unam.mx:8080">www.ptolomeo.unam.mx:8080</a> Internet	241 palabras — 1%
5	<a href="http://aldeser.org">aldeser.org</a> Internet	203 palabras — 1%
6	<a href="http://archivos.ujat.mx">archivos.ujat.mx</a> Internet	137 palabras — 1%
7	Gema Eliana Briones Ponce, Gabriel Alfonso Burgos Briones, Ernesto Alonso Rosero Delgado, Carlos Antonio Moreira Mendoza. "APLICACIONES DE SALES INORGÁNICAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES PROCEDENTE DE LA REFINACIÓN DE ACEITES Y GRASAS", Colón Ciencias, Tecnología y Negocios, 2020 Crossref	133 palabras — 1%
8	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Internet	132 palabras — 1%

9	Viviana M. Arteaga-Cortez, Abel Quevedo-Nolasco, David H. del Valle-Paniagua, Martiniano Castro-Popoca et al. "Estado del arte: una revisión actual a los mecanismos que realizan los humedales artificiales para la remoción de nitrógeno y fósforo", Tecnología y ciencias del agua, 2019 Crossref	94 palabras — < 1%
10	pcientificas.ujat.mx Internet	91 palabras — < 1%
11	repositorio.uaaan.mx Internet	91 palabras — < 1%
12	colposdigital.colpos.mx:8080 Internet	77 palabras — < 1%
13	hdl.handle.net Internet	70 palabras — < 1%
14	itzamna.bnct.ipn.mx Internet	66 palabras — < 1%
15	doczz.es Internet	63 palabras — < 1%
16	www.gob.mx Internet	45 palabras — < 1%
17	ribuni.uni.edu.ni Internet	43 palabras — < 1%
18	www.ciba.org.mx Internet	42 palabras — < 1%
19	Aguilar Ccalla, Luis Alberto. "Evaluación de los metales pesados en los relaves de cianuración para determinar el riesgo ambiental de la zona de Antahuila -	38 palabras — < 1%

Rinconada Puno", Universidad Nacional del Altiplano de Puno  
(Peru)

ProQuest

- 
- 20 Alave Chata, Dany Evangelina. "Entornos virtuales para el aprendizaje y desempeño académico en estudiantes de la Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica de la UNA, 2021", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) 34 palabras — < 1%  
ProQuest
- 
- 21 Llana López, Denis Casiano. "Evaluación de la concentración espermática y ganancia de peso en toretes esterilizados por laceración de la cola del epididimo", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) 34 palabras — < 1%  
ProQuest
- 
- 22 [hupanam.com](http://hupanam.com) 32 palabras — < 1%  
Internet
- 
- 23 [virtual.cocef.org](http://virtual.cocef.org) 31 palabras — < 1%  
Internet
- 
- 24 [dSPACE.esPOCH.edu.ec](http://dspace.esPOCH.edu.ec) 27 palabras — < 1%  
Internet
- 
- 25 ECOGESTION CONSULTORES S.A.C.. "DAA del Centro Comercial La Rambla-IGA0011990", R.D. N° 198-2016-PRODUCE/DVMYPE-I/DIGGAM, 2020 22 palabras — < 1%  
Publicaciones
- 
- 26 Quispe Pineda, Percy. "Gerencia inteligente del talento humano en las universidades nacionales de la región Puno.", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) 20 palabras — < 1%  
ProQuest
- 
- 27 Soto Kana, Felipe. "Uso diglósico de las lenguas quechua y castellano en el colegio urbano IES 20 palabras — < 1%

28 Mendoza Paredes, Maribel. "Implementación del sistema de control interno en la gestión administrativa de las Unidades Ejecutoras del Ministerio del Interior en el Sur del Perú", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) 19 palabras — < 1%

ProQuest

29 NINALAYA VILA RAFAEL ERNESTO. "Diagnóstico Preliminar de la Planta de Valorización de Residuos Sólidos de la Construcción y Demolición-IGA0021014", R.D. N° 01077-2021-MINAM/VMGA/DGRS, 2022 18 palabras — < 1%

Publicaciones

EXCLUIR CITAS

ACTIVADO

EXCLUIR FUENTES

DESACTIVADO

EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA

ACTIVADO

EXCLUIR COINCIDENCIAS

< 18 PALABRAS

México. Universidad Autónoma de Tabasco.



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN**

NOVIEMBRE 10 DE 2021

**C. LEON EDUARDO SOLIS RODRIGUEZ  
PAS. DE LA LIC. EN ING. AMBIENTAL  
P R E S E N T E**

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 denominado: **"MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE HUMEDALES ARTIFICIALES DE LA DACBIOL"**, asesorado por el Dr. Gaspar López Ocaña y M. en C. Carlos Alberto Torres Balcázar sobre el cual sustentará su Examen Profesional, cuyo jurado está integrado por el M.I.P.A. Mario José Remellón Cerino, M.I.P.A. María Berzabe Vázquez González, Dr. Gaspar López Ocaña, Dr. Arturo Valdés Manzanilla y Rocío López Vidal.

**ATENTAMENTE  
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE**

  
**DR. ARTURO GARRIDO MORA  
DIRECTOR**

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

**U.J.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 Licenciatura denominado: **“MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE HUMEDALES ARTIFICIALES DE LA DACBIOL”**, 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 10 de Noviembre de Dos Mil Veintiuno.

**AUTORIZO**



---

**LEÓN EDUARDO SOLIS RODRIGUEZ**



---

### **Dedicatorias**

El presente trabajo investigativo lo dedico a mis padres Javier Solís Pool y Guadalupe Jaqueline Rodríguez Cruz, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios esta con migo siempre.

A mis tíos y familiares porque con su apoyo, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis amigos, por apoyarme cuando más los necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, de verdad mil gracias hermanitas y hermanitos siempre los llevo en mi corazón.

### **Agradecimientos**

A mis padres por haberme dado la oportunidad de formarme en esta prestigiosa universidad y haber sido mi apoyo durante todo este tiempo.

De manera especial agradezco a mi asesor de tesis el Dr. Gaspar López Ocaña por haberme guiado en la elaboración de este trabajo de titulación.

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, por haberme brindado tantas oportunidades y enriquecerme en conocimiento.



## INDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	6
2. JUSTIFICACIÓN .....	8
3. ANTECEDENTES .....	9
3.1. Generalidades en el diseño de los humedales artificiales.....	9
3.2. Aplicaciones de humedales a nivel mundial.....	10
3.3. Aplicaciones de humedales a nivel nacional.....	11
3.4. Aplicaciones de humedales a nivel local .....	12
4. HIPÓTESIS .....	14
5. OBJETIVOS.....	14
5.1. Objetivo General.....	14
5.2. Objetivos Específicos .....	14
6. ÁREA DE ESTUDIO .....	14
7. MATERIALES Y MÉTODO .....	15
7.1. Actividades de campo.....	15
7.1.1. Evaluación Física de las unidades de tratamiento .....	16
7.1.2. Selección de los sitios de muestreo y obtención de las muestras. ....	16
7.1.3. Aforo de las aguas residuales .....	17
7.2. Actividades de laboratorio .....	17
7.2.1. Caracterización del medio de soporte .....	17
7.2.2. Análisis de calidad del agua .....	18
7.3. Actividades de gabinete. ....	19
8. RESULTADOS.....	20
8.1. Manual de operación de la PTAR de HA.....	20
8.2. Objetivo y alcances .....	20
8.2.1. Objetivo .....	20
8.2.2. Alcances .....	20
8.3. Descripción del proceso de tratamiento de HA.....	20
8.3.1. Cárcamo-cisterna-sedimentador .....	21
8.3.2. Sistema de grasas y aceites .....	22
8.3.3. Sistema de humedales artificiales en serie .....	23
8.4. Previsiones anteriores a la puesta en marcha.....	24
8.4.1. Verificación de la instalación y funcionamiento .....	24
8.4.2. Análisis de las aguas residuales y gasto de operación. ....	25
8.4.3. Conocimiento de las partes de la planta y entrenamiento .....	25
8.5. Puesta en marcha.....	26
8.5.1. Arranque.....	26
8.5.2. Control del proceso.....	26
8.5.3. Problemas típicos durante la puesta en marcha.....	27
8.6. Control operacional.....	28
8.6.1. Revisión del gasto de alimentación .....	28
8.6.2. Control del proceso .....	28
8.7. Muestreo y análisis de las aguas .....	29



**Universidad Juárez Autónoma de Tabasco**  
*“Estudio en la Duda, Acción en la Fé”*  
División Académica de Ciencias Biológicas  
Ingeniería Ambiental



8.7.1. Programa de muestreo .....	31
8.8. Fallas en la planta y su control .....	31
8.8.1. Programa rutinario de actividades en la PTAR .....	32
8.8.2. Corrección de fallas (hidráulicas, eléctricas, estructurales, etc.).....	33
8.8.3. Problemas típicos de operación .....	33
8.9. Mantenimiento.....	34
8.9.1. Mantenimiento preventivo.....	35
8.9.2. Programa de mantenimiento.....	38
8.9.3. Mantenimiento de equipo electromecánico.....	39
8.10. Personal de operación.....	40
8.10.1. Requerimientos de personal.....	40
8.10.2. Actividades generales del personal.....	41
8.10.3. Perfil de puestos del personal requerido para la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento .....	42
8.11. Seguridad e Higiene.....	43
8.11.1. Seguridad e higiene en el sistema de tratamiento .....	43
8.11.2. Pretratamiento .....	43
8.11.3. Sistema cárcamo-cisterna-sedimentador .....	43
8.11.4. Registros de entrada, humedales artificiales, pozo de absorción ...	44
8.11.5. Edificio de operación .....	44
8.11.6. Subestación eléctrica.....	44
8.11.7. Laboratorio.....	44
8.11.8. Instalaciones generales .....	44
8.11.9. Condiciones de seguridad.....	46
8.12. Tablas de seguridad e higiene .....	51
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	55
10. REFERENCIAS .....	56
Anexo 1. Glosario.....	59
Anexo 2. Formatos de operación.....	61
Anexo 3. Memoria fotográfica.....	68



## 1. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta. Los seres humanos dependemos de su disponibilidad no sólo para el consumo doméstico, sino también para el funcionamiento y la continuidad de las actividades agrícolas e industriales. En las últimas décadas, con la finalidad de producir más alimentos y energía, así como de dotar del servicio de agua potable a una población cada vez más numerosa, la demanda por el líquido ha crecido significativamente. Otro problema importante relacionado con la posibilidad de utilizar el agua es su grado de contaminación, ya que si no tiene la calidad adecuada puede agravar el problema de la escasez. Por esto es de suma importancia identificar de forma clara los principales problemas que se presentan en el agua para sus múltiples usos (SEMARNAT, 2018).

Las aguas residuales, debido a la gran cantidad de sustancias (algunas de ellas tóxicas) y microorganismos que portan, pueden ser causa y vehículo de contaminación, en aquellos lugares donde son evacuadas sin un tratamiento previo. El manejo y tratamiento adecuado de las aguas residuales tomando en cuenta la capacidad de auto depuración de los cuerpos de agua es una posible solución (García & López, 2017).

Las actividades humanas generan un producto inevitable que son las aguas residuales por lo anterior mencionado es de suma importancia su correcta disposición y tratamiento para esto es necesario el conocimiento de las distintas características de dichas aguas como ejemplo de las características que se deben de conocer están las físicas, químicas y biológicas. Las tecnologías sostenibles para el tratamiento del agua se basan en procedimientos naturales de depuración que no requieren de aditivos químicos. Eliminan las sustancias contaminantes usando vegetación acuática, el suelo y microorganismos (Morató & Carneiro, 2017).

Como ejemplo de tecnología sostenible cabe destacar a los humedales artificiales, sistemas de depuración naturales donde los procesos de descontaminación son ejecutados simultáneamente por componentes físicos, químicos y biológicos (Morató & Carneiro, 2017). Los humedales artificiales son concebidos como sistemas de depuración de aguas residuales en los que se incorporan elementos de ingeniería, diseñados, construidos y operados con propósitos específicos para una calidad de agua esperada, en función de un requerimiento de reúso o normativo (CONAGUA, Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, 2016).

El carácter artificial de este tipo de humedales viene definido por: el confinamiento del humedal, el cual se construye mecánicamente y se impermeabiliza para evitar pérdidas de agua al subsuelo, el empleo de sustratos diferentes del terreno original para el enraizamiento de las plantas y la selección de las plantas que van a colonizar el humedal (Remtavares, 2013). La vegetación que se emplea en este tipo de humedales es la misma que coloniza los humedales naturales: plantas acuáticas emergentes (carrizos, juncos, aneas, etc.), helófitos que se desarrollan en aguas poco profundas, arraigadas al



Subsuelo, y cuyos tallos y hojas emergen fuera del agua, pudiendo alcanzar alturas de 2-3 m (Salas, 2021). En pocas palabras los humedales artificiales son zonas construidas por el hombre en las que se reproducen, de manera controlada, los procesos físicos, químicos y biológicos de eliminación de contaminantes que ocurren normalmente en los humedales naturales (Ramsar, 2016)

Dentro de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (DACBIOL-UJAT), existen dos secciones de tratamiento, una es la Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de humedales artificiales en serie y la Planta piloto de humedales artificiales experimentales. La PTAR de HA en serie que inició operaciones en 2018 trata  $60 \text{ m}^3/\text{día}$  y cuenta con un cárcamo-sedimentador, dos trenes de tratamiento en serie, ambos trenes cuentan con las mismas dimensiones: 25 m de largo, 2.5 m de ancho y 1.50 m de altura, estos están divididos en tres secciones de 8.33 m con un margen de 40 cm para el paso del agua entre canaletas, con una unidad de registro de 60 x 50 cm en la entrada (Hernandez et al., 2021). El Sistema de Tratamiento Piloto de Humedales Artificiales, inició operaciones desde 2012, tratando agua de los sanitarios y cafeterías (López et al., 2014a). Esta planta piloto trata un gasto de 2.4 a  $5 \text{ m}^3/\text{día}$ , consta de cuatro tanques receptores de agua residual con capacidad de 200 L cada uno, doce humedales artificiales a escala piloto, seis humedales artificiales de flujo libre (HAFL) y seis humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFS). Las unidades fueron construidas en lámina de acero con dimensiones de 2.5 m de largo x 1.2 m de ancho x 1.0 m de profundidad y 0.5 m de tirante, pues estas son utilizadas para proyectos de investigación donde se evalúan nuevas especies de la región para ver su potencial de fitorremediación (López, et al., 2014b).

La importancia del presente trabajo radica en que algunos de los problemas de cumplimiento a instrumentos operativos y de higiene y seguridad presentados en la PTAR de la DACBIOL-UJAT serán resueltos con ayuda del manual de operación, por lo anterior mencionado, con el presente manual se pretende proporcionar una guía de trabajo que le permita al operador llevar a cabo la puesta en marcha, operación y mantenimiento requeridos de manera oportuna y eficiente.



## 2. JUSTIFICACIÓN

El problema de la presente investigación, consiste en la necesidad de conocer la eficiencia y eficacia en materia de seguridad, higiene y mantenimiento, dentro de los humedales artificiales, en la DACBiol-UJAT, la cual debe de ser atendida, ya que su función esencial dentro de la división, es de vital importancia, en razón, de que las aguas residuales que se producen en dicha división, proveniente de las actividades diarias, dentro de los baños y laboratorios, son tratadas por medio de los humedales artificiales, para después ser descargadas en cuerpos receptores, provocan serios daños al medio ambiente, en especial a los cuerpos de agua, ocasionando que la calidad de agua de estos ecosistemas se alteren y por ende, dañando la biodiversidad biológica, que en ellas habiten.

Las aguas residuales, debido a la gran cantidad de sustancias (algunas de ellas tóxicas) y microorganismos que portan, pueden ser causa y vehículo de contaminación, en aquellos lugares donde son evacuadas sin un tratamiento previo. El manejo y tratamiento adecuado de las aguas residuales tomando en cuenta la capacidad de auto depuración de los cuerpos de agua es una posible solución (García & López, 2015). Las actividades humanas generan un producto inevitable que son las aguas residuales por lo anterior mencionado es de suma importancia su correcta disposición y tratamiento para esto es necesario el conocimiento de las distintas características de dichas aguas como ejemplo de las característica que se deben de conocer están las físicas, químicas y biológicas.

El presente trabajo de investigación, es de vital importancia, en razón de que las aguas residuales que se generan en la DACBiol-UJAT, dentro de los baños y laboratorios, deben de cumplir con ciertos estándares de calidad, ya que estas aguas, poseen diversos contaminantes, los cuales pueden ser biológicos e infecciosos (Aguas domésticas y sanitarias), tóxicos y peligrosos (Agua de los laboratorios), la cual son tratadas dentro de los humedales artificiales, por lo que es necesario verificar el correcto manejo y funcionamiento de estos, para prevenir que se esté descargando agua contaminada, que genere consecuencias negativas al ambiente, que se reflejen a mediano y largo plazo.

La ventaja del correcto manejo de las aguas residuales es la preservación de este valioso recurso, el proceso que recibe el agua contaminada ayuda a que este recurso pueda regresar a ríos, mares o lagos sin ningún contaminante con el tratamiento de dichas aguas se evita la llegada de contaminantes que pueden causar daños irreversibles a ecosistemas naturales dañando la flora y fauna que están alrededor

Así la DACBiol-UJAT puede prevenir alguna responsabilidad legal por incumplimiento a las normas medio ambientales, que la sociedad civil o las propias autoridades se puedan percatar, ante alguna negligencia o mal manejo de las aguas que se desechan en la división, sirviendo dicho conocimiento para la misma institución y pueda tomar las medidas necesarias para subsanar las deficiencias que puedan ser encontradas durante la realización de la presente investigación.



### **3. ANTECEDENTES**

#### **3.1. Generalidades en el diseño de los humedales artificiales**

El ser humano ha creado humedales artificiales que consisten en reproducir los procesos de depuración del agua que se da en las zonas naturales. Estos generalmente se construyen en pequeñas aglomeraciones urbanas para el tratamiento de aguas residuales. Además, se utiliza vegetación similar a la de los naturales para que se genere adecuadamente el proceso de filtración. La importancia de los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales se centra en el proceso de depuración que se da a través de diversas fases físicas, químicas y biológicas. La vegetación de estos es distinta a la encontrada en la superficie terrestre, ya que tanto las plantas como los microorganismos se adaptan a este tipo de ecosistema húmedo (Domos, 2019).

De esta manera, el proceso de las plantas conocidas como hidrófitas consiste en almacenar agua, filtrarla y liberarla. Posteriormente, la materia orgánica se elimina gracias a la capa bacteriana, mientras que los patógenos se descartan con la adsorción sobre partículas del sustrato, sustancias producidas por las raíces y la acción depredadora de microorganismos (Domos, 2019).

Para realizar el diseño adecuado de un HA, es crucial conocer, entre otros aspectos, la problemática asociada, es decir: origen, calidad y volumen del agua a tratar, destino, volumen y calidad de agua que se desea producir; espacio disponible; características del terreno susceptibles de ser empleado (topografía, mecánica de suelos, tipo de suelo, etc.). Asimismo, para la implementación de un sistema de tratamiento a base de humedales artificiales (STHA) en términos generales, se deben considerar las siguientes etapas: Diseño, Construcción, Arranque y Operación (Pabello & Castañeda, 2015).

Durante la etapa de diseño se consideran como criterios principales la concentración y las características de los contaminantes presentes en el agua que se pretenda tratar, así como los requerimientos de descarga que se deseen obtener, de tal manera que estas características permitan la elección del diseño que se adecue a las características intrínsecas de cada lugar (Pabello & Castañeda, 2015).

Para prolongar la vida útil de los HA es necesaria la implementación de un pre tratamiento que facilite la remoción de los sólidos suspendidos de fácil sedimentación, previniendo con esto su rápido azolvamiento. Una vez definido el sitio, así como las dimensiones que tendrá el sistema, se realiza la excavación que albergará el lecho del HA, esta excavación usualmente tiene una profundidad que oscila entre 0.6 y 1.5 m por debajo del nivel del influente que entrará al HA (Pabello & Castañeda, 2015).

Es importante destacar que el lecho que albergará al sistema de HA es impermeabilizado en su totalidad con arcilla-cemento o algún tipo de plástico, con la finalidad de retener el agua e impedir la infiltración al subsuelo y/o a los mantos acuíferos. Una vez impermeabilizado, el lecho es empacado con grava o combinando suelo y grava de diferentes granulometrías, que varían con el tipo de sistema elegido y con la calidad de agua residual a tratar (Pabello & Castañeda, 2015).



En general, los lechos tienen una altura vertical entre 0.4 y 0.6 m para los de flujo horizontal y de mayor profundidad para los de flujo vertical. Se debe evitar compactar el lecho o apisonar la superficie con cualquier tipo de maquinaria pesada, ya que esto alteraría la conductividad hidráulica del mismo. La captación del efluente se realiza mediante una tubería de captación para regular el nivel de inundación medio del sistema. Es recomendable que el sistema se encuentre permanentemente húmedo, para que la vegetación sembrada crezca adecuadamente y cumpla con su función depuradora. La etapa inicial de operación del HA es crucial para lograr alcanzar su estabilización en un menor tiempo (aproximadamente un año) (Pabello & Castañeda, 2015).

Es importante mencionar que, el tiempo de estabilización de los sistemas de HA, también está influenciado por las características estructurales de cada sistema, así como por las condiciones climáticas prevalecientes. Para el caso de Europa, se ha reportado que el tiempo de estabilización puede llegar a ser de hasta tres años, mientras que en México se ha logrado conseguir en un lapso de un año y año y medio (Pabello & Castañeda, 2015).

Lo anterior, debido a que las condiciones climáticas, principalmente incidencia de luz solar y temperatura ambiente, son más favorables para el componente vegetal empleado, como es el caso de los carrizos y juncos, los cuales son comúnmente empleados en ambos sitios. Durante este periodo es posible regar el sistema de HA con agua corriente o parcialmente tratada, pero a medida que las raíces del componente vegetal crecen y maduran, se debe proceder a la irrigación con agua residual hasta que ésta constituya el único aporte (Pabello & Castañeda, 2015).

### **3.2. Aplicaciones de humedales a nivel mundial**

La investigación con métodos científicos de humedales artificiales como posible sistema de tratamiento de aguas contaminadas se inició en Europa durante la década de los 50 gracias a la Dra. Käthe Seidel - cariñosamente apodada "Espadaña Kate"- que trabajando en el Instituto Max Planck en Alemania dirigió numerosos experimentos cuyo objetivo principal era mejorar la calidad de las aguas en los canales navegables mediante el uso adecuado de especies de plantas de humedal (Fernández, 2017).

A medida que acumulaba resultados, ya en los años sesenta, intensificó los ensayos pasando a centrarse en el cultivo de determinadas macrófitas en bancales de ensayo poco profundos y en zanjas. También al tiempo que iba perfeccionando este sistema -al que llamó "Método Hidrobiológico"- mediante el uso de sustratos arenosos de mayor conductividad hidráulica y con las especies de macrófitas más "resultonas", ensayó combinaciones de diferentes módulos con distintos tipos de flujo (Fernández, 2017).

De esta forma llegó al diseño de una configuración que combinaba una primera fase de flujo vertical en un tanque arenoso plantado con carrizos (*Phragmites australis*), con una segunda etapa de flujo horizontal en la que tiene lugar la mayor parte de la eliminación de contaminantes y así consiguió evitar el empleo de tanques sépticos. Este método pasó a denominarse MPIP (Max Plant Institute Process) y es la base de los sistemas



Denominados “Híbridos” cuyo uso se retomó con éxito a finales del siglo pasado (Fernández, 2017).

A mediados de los años 60 la Dra. Seidel establece una colaboración con el Dr Reindhold Kickuth de la Universidad de Göttingen cuyo resultado fue el desarrollo del método denominado RZM (Root Zone Method) ó también FHSS (de Flujo Horizontal Sub-Superficial) (Fernández, 2017).

Ambos métodos, el MPIP defendido por la Dra. Seidel y el RZM por el Dr. Kickuth, rivalizaron durante un tiempo, llegando a crear confusión entre los técnicos y las autoridades regulatorias. Quizás esto, unido a que las macrófitas no eran tomadas en consideración como posibles eliminadoras de sustancias tóxicas, a que no se creía que pudiesen sobrevivir por mucho tiempo en aguas contaminadas y a que durante décadas los ingenieros habían prescindido de las plantas en sus proyectos de depuración; fueran las causas de que hasta 1976 no se reconociesen como métodos válidos en Alemania. No es de extrañar, por lo tanto, que las primeras depuradoras a gran escala fueran construidas en otros países (Fernández, 2017).

### **3.3. Aplicaciones de humedales a nivel nacional**

Al concluir el año 2018 existían registradas en el país, 2 540 plantas municipales de tratamiento en operación, con una capacidad total instalada de 181 152.22 l/s, las que daban tratamiento a 137 698.61 l/s, equivalentes al 64.0% del agua residual generada y colectada en los sistemas municipales de alcantarillado del país (CONAGUA, 2019).

Al cierre de 2019 el registro de plantas en operación aumento a 2 642 instalaciones en relación con el año anterior con una capacidad instalada de 194 715.32 l/s y un caudal tratado de 141 479.04 l/s, que significa incrementos que permitieron alcanzar una cobertura nacional de tratamiento de aguas residuales municipales del 65.7% en el ejercicio y 77 plantas son humedales (CONAGUA, 2019).

México contaba con 6,331 humedales en su inventario, según datos de 2018 de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Estos sistemas naturales, que brindan servicios ecosistémicos como suministro de agua dulce, recarga de aguas subterráneas, purificación del agua mediante la retención de nutrientes, sedimentos y contaminantes, entre otros (CONAGUA, México: Humedales artificiales para sanear el agua, 2019).

Han ido desapareciendo a nivel mundial, y desde 1900 se han perdido el 64% de ellos, pero están siendo emulados ya que representan una opción eficiente y económica para el tratamiento de aguas residuales. En México, donde según datos de CONAGUA en 2017 solo el 63% de las aguas recolectadas a través de los sistemas de alcantarillado fueron tratadas, los humedales artificiales podrían ayudar a elevar esa cifra (CONAGUA, México: Humedales artificiales para sanear el agua, 2019).

La utilización de los humedales artificiales para tratamiento de aguas residuales ha estado ganando cada vez más la atención debido a su capacidad para proporcionar niveles relativamente altos de remoción de diferentes tipos de contaminantes en



Comparación con otras tecnologías (CONAGUA, México: Humedales artificiales para sanear el agua, 2019).

Por si fuera poco, las necesidades técnicas, operativas y económicas para llevar a cabo su operación y mantenimiento son significativamente bajas comparadas con las tecnologías de tratamiento convencionales", señalan Fabiola Bejarano, Jaqueline García y Juan Gabriel García en una investigación del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo de Sonora (CONAGUA, México: Humedales artificiales para sanear el agua, 2019).

Normalmente esos sistemas se operan a gravedad, eso nos permite que el gasto energético sea pequeño, entonces sí es posible. De hecho, en Alemania o en los países nórdicos, estos sistemas son muy comunes y cada vez se ha incrementado su número porque ahí se busca migrar de los sistemas convencionales a sistemas descentralizados y los humedales artificiales son una buena alternativa (CONAGUA, México: Humedales artificiales para sanear el agua, 2019).

### **3.4. Aplicaciones de humedales a nivel local**

La transformación de humedales a potreros y el relleno para la construcción de viviendas, centros comerciales o desarrollos turísticos, aunado a la actividad petrolera, han provocado la pérdida del hábitat natural y los que quedan, además sufren por la contaminación ambiental (Albert, 2019). Por lo que una función importante de los humedales artificiales propuestos e implementados desde la UJAT por el investigador Gaspar López, es detener la contaminación por la descarga de aguas residuales y, después de ser tratadas, pueden ser reutilizadas para el riego de sembradíos (Albert, 2019).

Jiménez-López et al., (2017), evaluaron dos humedales artificiales pilotos de flujo subsuperficial y dos humedales artificiales pilotos de flujo superficial con vegetación *T. geniculata* y *P. paniculatum* en el tratamiento de aguas residuales sanitarias de la DACBIOL, Villahermosa, Tabasco. El caudal de tratamiento promedio fue de 400 L/d y un tiempo de retención de 6.5 a 7.5 días. Su mejor tratamiento fue el humedal artificial de flujo superficial con *T. geniculata* con valores de efluente de 9.74 mg/L de SST, 2.37 mg/L de NT, 0.43 mg/L de PT y 27.76 mg/L de DBO<sub>5</sub>. Seguido de su humedal artificial de flujo superficial con *P. paniculatum* con valores de efluente de 19.97 mg/L de SST, 4.84 mg/L de NT, 0.86 mg/L de PT y 56.93 mg/L de DBO<sub>5</sub>.

García et al., (2019), evaluaron humedales artificiales con aguas residuales sanitarias provenientes de una institución universitaria en Villahermosa, Tabasco. Se utilizó como vegetación la especie *Sagittaria latifolia* y como medio de soporte grava de canto redondo (HACC) y grava de brecha sedimentaria (HABC). El caudal de influente fue de 160 L/d con tiempos de retención de 4,8 y 4,9 días. En su mejor tratamiento (HACC) alcanzaron eficiencias de remoción para SST del 96,5% y 96,78% para DBO<sub>5</sub>; en su tratamiento HABC, obtuvieron eficiencias para SST del 95,52% y 95,02% para DBO<sub>5</sub>.



Los humedales artificiales (HA) de la DACBIOL constan de dos módulos de tratamiento idénticos. El proceso inicia con la captación de un cárcamo cisterna (5 m x 4 m x 1.8 m) a la que llegan las aguas residuales de las áreas sanitarias y cafeterías de la DACBIOL, posteriormente el agua ingresa a uno de flujo subsuperficial, y posteriormente a dos de flujo libre; estos HA con dimensionamiento de 8.3 m de largo, 2.5 m ancho y 0.5 m de tirante para cada reactor. Para ambos trenes el primer HA en serie es de flujo subsuperficial (HAFS) con vegetación *Pontederia cordata* (tule), el segundo HA es flujo libre (HAFL) con vegetación de *Thalia geniculata* (popal) y el último HAFL con *Sagittaria lancifolia* (cola de pato) (Martínez & Ramos, 2021). El caudal del agua residual es extraído del cárcamo colector por gravedad, mediante tubería, válvulas de esfera y adaptadores (uniones tipo rosca, codos, uniones tipo T) de PVC de 3”, hasta los dos registros de distribución de 0.1 m<sup>3</sup> encargados de distribuir el caudal de AR a los HA, ya que estos alimentan otros reactores (Martínez & Ramos, 2021). El mantenimiento de los HA consiste en la recolección de la vegetación muerta y demás materia orgánica en el interior del reactor con el fin de contrarrestar la propagación de plagas y el aumento del color en el efluente, revisión diaria de los reactores, la tubería, las válvulas y las conexiones asegurando un buen estado físico y operación conveniente, es decir, sin obstrucciones al paso del caudal y la verificación del flujo del influente adecuada (flujo laminar) (Martínez & Ramos, 2021). A continuación en la tabla 1 se presentan los parámetros de calidad del agua que deben cumplir en la descarga y que fueron establecidos como condiciones particulares de descarga en el Título de concesión número 11TAB150418/30ERDL13, expediente No. TAB-L-0080-12-03-13 por la CONAGUA.

*Tabla 1.- Parámetros de descarga autorizados por la CONAGUA en la DACBIOL.*

Parámetros	Concentración Promedio Mensual	Concentración Promedio Diario	Carga Kg/día	Unidades
Arsénico Total	0.2	0.4	----	mg/l
Cadmio Total	0.2	0.4	----	mg/l
Cianuros Totales	2.0	3.0	----	mg/l
Cobre Total	4.0	6.0	----	mg/l
Coliformes Fecales	1,000	2,000	----	NMP/100ml
Cromo Total	1	1.5	----	mg/l
DBO <sub>5</sub>	150	200	----	mg/l
Fósforo Total	20	30	----	mg/l
Grasas y Aceites	15	25	0.25	mg/l
Materia Flotante	Ausente	Ausente	----	Malla de 3mm
Mercurio Total	0.01	0.02	----	mg/l
Nitrógeno Total	40	60	----	mg/l
Níquel Total	2.0	4.0	----	mg/l
Plomo Total	0.5	1.0	----	mg/l
Solidos Suspendidos Totales	150	200	2.0	MG/L
Solidos sedimentables	1	2	----	ml/l
Zinc Total	10	20	----	mg/l
pH	5-10	5-10	----	Unidades

Fuente: Título de concesión número 11TAB150418/30ERDL13, expediente No. TAB-L-0080-12-03-13 por la CONAGUA, 2013.



## **4. HIPÓTESIS**

El desarrollo e implementación de este manual de operación y mantenimiento, de la PTAR y planta piloto de humedales artificiales de la DACBIOL permitirá dar cumplimiento a la normatividad aplicable en materia de Operatividad, Calidad del agua, Manejo de Residuos Sólidos de Manejo Especial, Seguridad e Higiene, así como favorecer el proceso de certificación ambiental de la DACBIOL ante la PROFEPA.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. Objetivo General**

Describir en la forma más sencilla posible el proceso de tratamiento y el método para operar la PTAR y planta piloto de HA de la División Académica de Ciencias Biológicas-UJAT.

### **5.2. Objetivos Específicos**

- Describir en un documento técnico y en la forma más sencilla posible el proceso de tratamiento y el método para operar la PTAR de HA y la Planta piloto de HA de la DACBIOL-UJAT,
- Describir la situación actual y la función de los humedales artificiales ubicados en la DACBIOL en materia de seguridad civil, mantenimiento e higiene.
- Preparar el documento técnico sobre la operación y mantenimiento con puntos de cumplimiento, en materia de seguridad, higiene y mantenimiento de los humedales artificiales utilizados para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la DACBIOL.

## **6. ÁREA DE ESTUDIO**

La división tiene su origen en la escuela de biología, fundada en 1982 con la licenciatura en biología. Toma el nombre de División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL-UJAT), en 1989. Se encuentra ubicada en la carretera Villahermosa-cárdenas Km. 0.5 S/N, Entronque a Bosques de Saloya, tiene una superficie de 21 hectáreas en donde se ofrece la Licenciatura en Agua a distancia, Licenciatura en Biología, Licenciatura en Gestión Ambiental y Licenciatura en Ingeniería Ambiental, así como los siguientes posgrados. Doctorado en Ciencias en Ecología y Manejo de sistemas Tropicales (PNPC), Especialidad en Controversias Socio ambientales en Hidrocarburos, Maestría en Ciencias Ambientales (PNPC) y Maestría en Ingeniería, Tecnología y Gestión Ambiental (PNPC)



Figura 1.- Vista aérea de la DAC-Biol.  
Fuente: Google Earth 2021.

## 7. MATERIALES Y MÉTODO

El presente proyecto de investigación, es de naturaleza mixta, ya que se analizarán factores cuantitativos y cualitativos, la primera basándose en determinar el grado de conocimiento del personal en materia de seguridad civil, que labora dentro de los humedales artificiales y la segunda, se basará en determinar las características cualitativas que cumple o no, en relación a las normas oficiales mexicanas que regulan los diversos ámbitos de los humedales artificiales.

El universo de estudio, serán los humedales artificiales ubicados en la División Académica de Ciencias Biológicas, ubicado en la Carretera Villahermosa-Cárdenas, Km. 0.5, S/N, Ranchería Emiliano Zapata, 86150 Villahermosa, Tabasco. Seleccionando únicamente el área de la planta de tratamiento de humedales artificiales.

### 7.1. Actividades de campo

Las actividades de campo fueron realizadas en el área donde está ubicada la planta de tratamiento de aguas residuales. Donde se identificaron las operaciones y los procesos unitarios, lo cual nos permitió conocer tanto las deficiencias y descontroles del proceso de ésta planta. Para conocer el origen de las fuentes de contaminación dentro de la institución, se procedió a la inspección de los sistemas de alcantarillado (drenaje) y descargas que consideramos relevantes. Se ubicaron los sitios más idóneos para llevar a cabo los afloramientos directos del agua residual, siendo este en la entrada a cada uno de los trenes de tratamiento de aguas residuales.



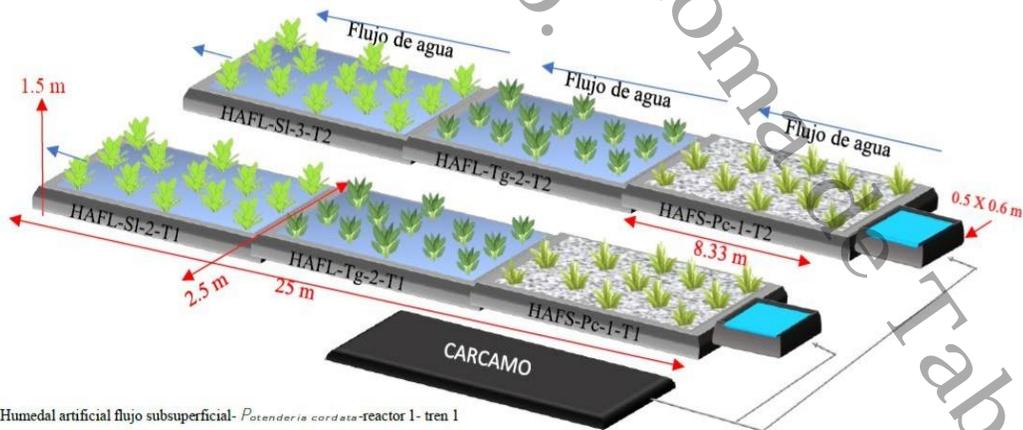
### 7.1.1. Evaluación Física de las unidades de tratamiento

Dentro del levantamiento en campo también se realizó la determinación de la volumetría de las unidades de tratamiento ya que es necesario conocer las dimensiones internas y externas. Para estas actividades fue necesario realizar una medición física de unidades de apoyo de cintas métricas, flexómetros, etc. Los parámetros principales a medir fueron, bordos libres, tirante de agua, longitud y anchura, diámetro de las tuberías, etc.

### 7.1.2. Selección de los sitios de muestreo y obtención de las muestras.

Los muestreos de las aguas residuales se realizaron apegados a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminación en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales y la NOM-004-SEMARNAT-2002, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos. La Norma NOM001- SEMARNAT-1996 indica que si el proceso generado de las descargas opera de 18 a 24 horas, el número de muestras simples que se deben de tomar es de mínimo 6, con un intervalo de tiempo entre las tomas de muestra de 3 a 4 horas, en nuestro muestreo.

La planta lleva un control específico de todas las unidades de tratamiento, las evaluaciones son en la entrada y salida de cada una de las unidades del sistema lo que permite establecer o identificar en que unidad se está presentando un descontrol de procesos. Sin embargo a partir de la revisión de campo del equipo de trabajo se tomaron los siguientes puntos de muestreo para evaluar adecuadamente el sistema: Cárcamo, Registro de alimentación, en el Tren 1 los HAFS-Pc-1-T1, HAFL-Tg-2-T1, HAFL-SI-3-T1, en Tren 2 os HAFS-Pc-1-T2, HAFL-Tg-2-T2, HAFL-SI-3-T2 y Descarga Final.



#### Simbología

- HAFS-Pc-1-T1= Humedal artificial flujo subsuperficial- *Potenderia cordata*-reactor 1- tren 1
- HAFL-Tg-2-T1= Humedal artificial flujo libre - *Thalia geniculata*-reactor 2 - tren 1
- HAFL-SI-2-T1= Humedal artificial flujo libre - *Sagittaria lancifolia* -reactor 3- tren 1
- HAFS-Pc-1-T2= Humedal artificial flujo subsuperficial- *Potenderia cordata*-reactor 1- tren 2
- HAFL-Tg-2-T2= Humedal artificial flujo subsuperficial- *Thalia geniculata* -reactor 2- tren 2
- HAFL-SI-3-T2= Humedal artificial flujo subsuperficial- *Sagittaria lancifolia*-reactor 3- tren 2

Figura 2.- Diagrama de procesos de los humedales artificiales en serie de la PTAR de la DACBIOL-UJAT.

Fuente: Hernandez Almeida et al., 2021.



### 7.1.3. Aforo de las aguas residuales

Para saber la cantidad de agua residual que la población puede generar se realizó el aforo que es la medición del volumen de agua en un tiempo determinado. Este se realiza constantemente teniendo 10 días por semestre. Para la determinación del volumen de agua generada en la planta se llevó a cabo un aforo directo. Este método consiste en tomar el tiempo que demora en llenarse un recipiente de volumen conocido (1 litro). Posteriormente se divide el volumen entre el tiempo promedio en segundos, obteniéndose el caudal en l/s.

$$Q = \text{Vol} / T \quad \text{Ecuación (1)}$$

Dónde: Q= caudal (m<sup>3</sup>/día), Vol.=volumen (m<sup>3</sup>) y T= tiempo (s).

## 7.2. Actividades de laboratorio

### 7.2.1. Caracterización del medio de soporte

Como una actividad importante, se determinaron variables del medio de soporte como densidad aparente ( $\rho_a$ ), densidad real ( $\rho_r$ ), porosidad ( $\eta$ ) del diámetro de partícula y biomasa microbiana. Estos datos se tomaron al finalizar la etapa de estabilización.

#### Densidad aparente ( $\rho_a$ ):

Para determinarla se basó en el método establecido en la NOM-021-REACT-2000, la densidad aparente de una muestra de suelo es calculada a partir del conocimiento de dos parámetros la masa del suelo y el volumen total. Lo calculamos con base en la fórmula:

$$\text{Densidad aparente } \rho_a = \frac{W_{\text{grava}}}{V_{\text{probeta}}} \quad \text{Ecuación (2)}$$

#### Densidad real ( $\rho_r$ ):

Se basó en el método AS-04 de la NOM-021-REACT-2000 que usa el método de picnómetro para la determinación de densidad real de los suelos. La masa es determinada pesando directamente el suelo y el volumen de manera indirecta por el cálculo de la masa y la densidad del agua desplazado por la muestra de suelo. Se utilizó una probeta de litro que se pesará seca, se colocó en su interior la muestra de grava y adicionar agua a la mitad del recipiente

$$\text{Densidad } \rho_{\text{real}} = \frac{p_s}{V_s} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Dónde:  $p_s$ = peso de las partículas de grava;  $V_s$ = volumen de las partículas del suelo

#### Porosidad $\eta$ :

Para determinar la porosidad presente en la muestra lo haremos tomando los datos de densidad real y aparente multiplicándolos por el 100%.

$$\text{Porosidad } \eta (\%) = \frac{\rho_a}{\rho_r} \times 100 \quad \text{Ecuación (4)}$$



**Diámetro de partículas:**

Para sacar estos datos se tomó una muestra compuesta de las 6 celdas de estudio en un envase de plástico de 1 L, se utilizó herramienta de laboratorio como el vernier, para sacar el diámetro de lo largo, ancho y alto.

**Biomasa microbiana:**

Al final de la etapa de estudio se realizó la medición de biomasa microbiana donde se adaptó la NMX-AA-034-SCFI-2015 que establece el método para determinar sólidos totales volátiles (STV). Se colectaron muestras de cada humedal artificial a 3 diferentes distancias (inicio, medio y final) y una profundidad media, al ser unidades experimentales en serie por cada HA obtuvimos 9 muestras simples y en conjunto 18 muestras de donde las distancias 2.8, 5.5, 8.3 pertenecen a *Potenteria cordata*. Y 11.1, 13.9, 16.7 m son de *Thalia geniculata* y finalmente 19.5, 22.2 y 25 m a *Sagittaria lancifolia*. Para realizar el análisis se utilizaron los siguientes equipos: mufla modelo: FE-350 marca FELISA, horno de secado de flujo horizontal marca TERLAB, balanza analítica marca SETRA modelo: SI-200S El equipo requerido para este análisis fue proporcionado por la división académica de ciencias biológicas perteneciente a la UJAT

**7.2.2. Análisis de calidad del agua**

Durante el periodo de monitoreo se tomaron parámetros que establece la normatividad mexicana. Con lo que obtendremos datos con base en la NOM-001-SEMARNAT-1996 para potencial de hidrogeno (pH), color, y temperatura de la muestra. Las muestras se recolectaron en envases de polietileno de boca ancha, con tapa de cierre hermético, se tomará al menos 100 ml de muestra y no será conservada, solo en refrigeración en lo que se realizan las pruebas pertinentes que deberá ser lo antes posible. Todas las muestras fueron analizadas con equipos especializados en análisis de calidad de agua y previamente serán calibrados para asegurar la calidad de los datos obtenidos. Algunos de ellos requieren celdas para la lectura de muestra, estas deben de ser enjuagadas con agua destilada al menos 3 veces y finalmente con la muestra. Después de llenar la celda hasta su nivel, deben ser limpiadas con un paño suave para retirar suciedad de la superficie externa, teniendo el mínimo contacto con la muestra.

*Tabla 2.- Métodos y equipos para realizar parámetros de calidad de aguas*

Parámetro	Método	Equipo
pH	SM 9040 B	Hanna Combo HI98129
Temperatura	SM 2550	Hanna Combo HI98129
Conductividad eléctrica	SM 2510 B	Hanna Combo HI98129
Sólidos disueltos totales	SM 2540 C	Hanna Combo HI98129
Color	SM 2120B	LaMotteMR TC-3000
Turbiedad	EPA 180.1	Turbidímetro Hanna HI98703
Oxígeno disuelto	SM 4500-OG	Hanna HI98193
Demanda Química de Oxígeno	EPA 410.4	

Fuente: Elaboración propia.



### **7.3. Actividades de gabinete.**

Las actividades realizadas fueron las siguientes: Revisión bibliográfica de tratamientos de aguas residuales, recopilación y revisión de información histórica de la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales, recopilación geográfica, demográfica y climatológica, a través de la información disponible del INEGI, CNA y dependencias del Gobierno del estado de Tabasco. Plan de muestreo y aforo, de acuerdo con lo establecido en la NMX-AA003-1900, aguas residuales, municipales e industriales – muestreos. Revisión de criterios de operación y mantenimiento, así como publicaciones, artículos, tesis, manuales de la Comisión Nacional del Agua. Para establecer el manual de la Planta de Tratamientos.

Las técnicas de recolección de información, fue la documental, la observación directa y la encuesta. La recopilación documental es un instrumento o técnica de investigación general cuya finalidad es obtener datos e información a partir de fuentes documentales con el fin de ser utilizados dentro de los límites de una investigación en concreto (Carlos & Yohan, 2015).

El método de observación directa es un método de recolección de datos que consiste básicamente en observar el objeto de estudio dentro de una situación particular. Todo esto se hace sin necesidad de intervenir o alterar el ambiente en el que se desenvuelve el objeto. De lo contrario, los datos que se obtengan no van a ser válidos (Moreno, 2019).

La encuesta es una técnica de recopilación de información donde el investigador interroga a los investigados los datos que desea obtener. Se trata de conseguir información, de manera sistemática y ordenada de una población o muestra, sobre las variables consideradas en una investigación (Bastis Consultores, 2020). Las encuestas se encuentra compuesta por 10 preguntas, las cuales tiene como objetivo recabar la información relacionada al grado de conocimiento en materia de seguridad civil al personal que labora dentro de las instalaciones de los humedales artificiales.

Finalmente se integraron los resultados bajo los criterios de la CONAGUA en la integración de reportes técnicos como se presenta en el siguiente capítulo a continuación



## **8. RESULTADOS**

### **8.1. Manual de operación de la PTAR de HA**

Este manual coadyuvará a resolver los problemas de cumplimiento a instrumentos operativos, de higiene y seguridad presentados en la Planta Piloto y la PTAR de HA en serie de la DACBIOL-UJAT. Este manual es una guía de trabajo que le permita a los operadores llevar a cabo la puesta en marcha, operación y mantenimiento requeridos de manera oportuna y eficiente. La operación eficiente se logrará si el operador conoce perfectamente lo que está haciendo, por qué lo hace y cuando debe de hacerlo; ¿cómo se obtiene esto? proporcionando a los operadores cursos de capacitación y entrenamiento continuo, así como recursos y herramientas indispensables para realizar sus actividades. Debe entenderse que el mantenimiento es una etapa básica que permite conservar las unidades, dispositivos y equipo en condiciones operativas óptimas para evitar desequilibrios en el proceso con el fin de descargar o reutilizar las aguas tratadas.

### **8.2. Objetivo y alcances**

#### **8.2.1. Objetivo**

Elaborar un manual de operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Humedales Artificiales de la División Académica de Ciencias Biológicas perteneciente a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

#### **8.2.2. Alcances**

- Proporcionar una guía para resolver los problemas que se puedan presentar durante la puesta en marcha y operación de la planta, después de que esta haya sido construida.
- Proporcionar rutinas de trabajo en cada una de las unidades, además de describir las actividades de laboratorio que se deben realizar para el control de calidad del agua producida.
- Proporcionar ejemplos de aplicación para establecerlos de forma adecuada a las condiciones reales que se presenten durante la operación.

### **8.3. Descripción del proceso de tratamiento de HA**

El diseño conceptual de la PTAR de HA trata las aguas residuales generadas en la DACBIOL-UJAT, se basa en un proceso de humedales artificiales que consiste en la fijación de los contaminantes y de la materia orgánica en la superficie del suelo, utilizan y transforman los elementos por medio de los microorganismos y logran tratamientos consistentes con un bajo consumo de energía y poco mantenimiento. Los HA están clasificados dentro de los procesos naturales de depuración. La vegetación dentro de los humedales proporciona la superficie para el crecimiento microbiano, permite la filtración y la adsorción de los contaminantes presentes en el agua residual, inhibiendo el crecimiento de algas, y favorece la circulación del oxígeno, el cual es capturado por la vegetación a través de los tallos y las hojas, y llevado a la zona radicular para su aprovechamiento (Arteaga-Cortez, 2017). La presencia de vegetación dentro de los humedales promueve la eliminación de nutrientes, al disminuir la velocidad del flujo y



Aumentar la carga hidráulica, y reducir la resuspensión de los sedimentos (Lattera, 2018). Y para el caso de la DACBIOL se cuenta con los siguientes elementos en su proceso.

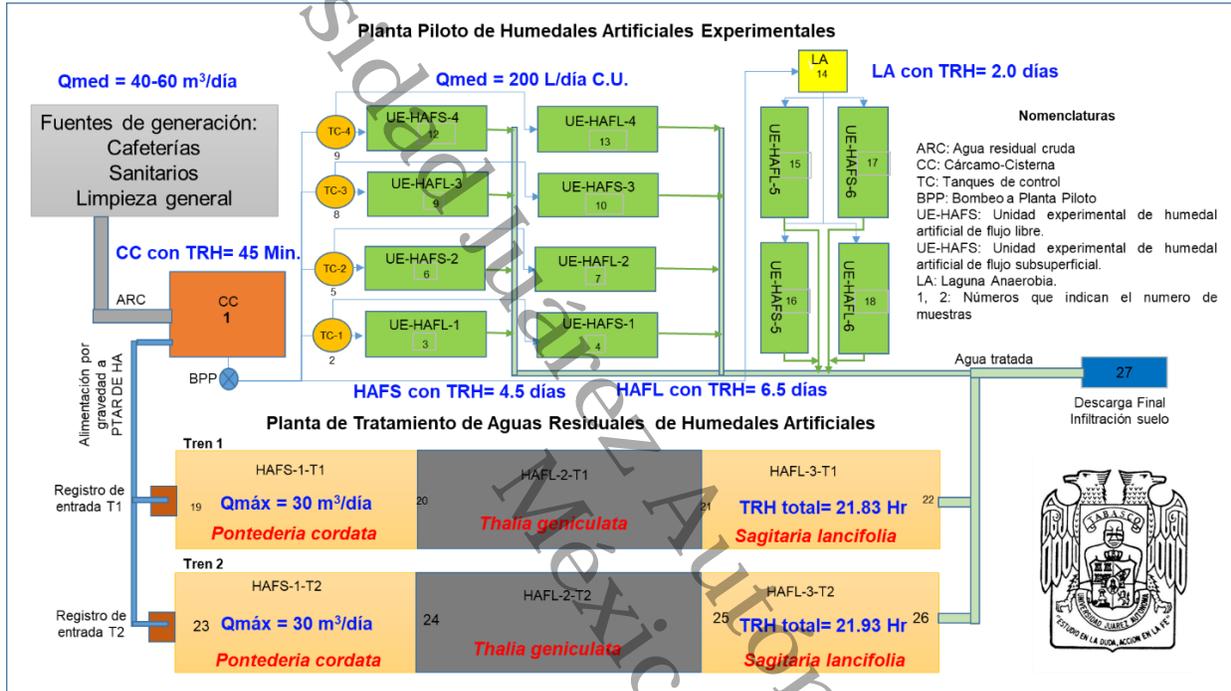


Figura 3.- Distribución de planta piloto y la PTAR de la DACBIOL-UJAT.  
 Fuente: López et al., 2021.

### 8.3.1. Cárcamo-cisterna-sedimentador

El Cárcamo-cisterna-sedimentador cuenta con dimensiones de 2 m x 6 m x 1 m, este funciona como tanque de almacenamiento, sedimentador y bombeo para enviar el agua por gravedad hacia los HA y reteniendo las partículas con mayor densidad contenidas en el agua y por bombeo se manda agua a los humedales experimentales de la Planta Piloto. Los sedimentos acumulados son retirados manualmente y secados en el área de composta de la DACBIOL que se encuentra a un costado de la PTAR. El cárcamo de aguas residuales generalmente se diseña para tiempos de retención de 35 a 45 minutos, pero en nuestro caso los gastos (2019) se estimaba se generaban 60 m<sup>3</sup>/día por lo que el agua podría alcanzar hasta 288 minutos de TRH y al exceder este tiempo por las características de temperatura y microorganismos presentes el agua residual comienza a descomponerse mediante un mecanismo de hidrólisis, ácido génesis y metanogénesis conocido como degradación anaerobia (Crites et al., 2000), por lo anterior se bombea en caso de ser necesario cada 45 min, este es debido a la variación del gasto de operación y se bombeaba el agua hacia la planta piloto y para la PTAR se alimenta por gravedad y con el juego de válvulas se regula la alimentación a cada tren de tratamiento (Tren 1 y Tren 2).

### Cárcamo-cisterna-sedimentador



Figura 4.- Diagrama de procesos y equipos en el Cárcamo-cisterna-sedimentador de la DACBiól-UJAT.  
 Fuente: López et al., 2021.

#### 8.3.2. Sistema de grasas y aceites

Algunos de los contaminantes que más problemas causan en el tratamiento de aguas residuales, son las grasas y aceites, la presencia de grasas y aceites en los efluentes no sólo provocan problemas en el tratamiento de éstas sino que también dan lugar a la contaminación del suelo y los cuerpos de agua donde éstas son descargadas (Vidales et al., 2015). Las grasas y aceites que son altamente estables, inmiscibles con el agua, proceden de desperdicios alimentarios en su mayoría, a excepción de los aceites minerales que proceden de otras actividades. Al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas entorpecen cualquier tipo de tratamiento, biológico o físico-químico, por lo que es recomendable que las grasas y aceites sean eliminados en los primeros pasos del tratamiento de las aguas residuales (Vidales et al., 2015). Nuestra unidad fue diseñada con 15 minutos de TRH.

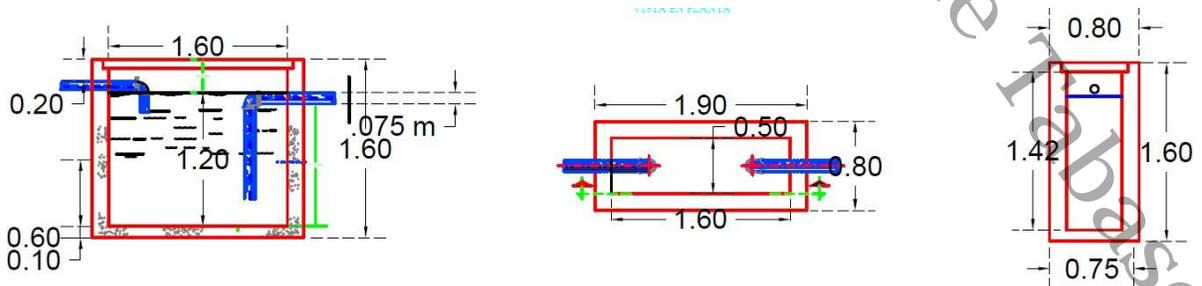


Figura 5.- Corte y vista en planta del separador de grasas de la PTAR de la DACBiól-UJAT.  
 Fuente: López et al., 2021.



### 8.3.3. Sistema de humedales artificiales en serie

El proceso da inicio cuando las aguas residuales provenientes de la División Académica de Ciencias Biológicas son descargadas por medio de una tubería al cárcamo-cisterna de la planta de tratamiento, esto con el fin de dar al agua un tratamiento primario a través de la sedimentación, ya que el cárcamo-cisterna retiene sólidos suspendidos con un tiempo de retención de 18.5 horas para el caso del tren 1 y 21.6 horas para el caso del tren 2.

Seguido de este proceso el agua pasa del cárcamo-cisterna a los humedales artificiales todo este sistema está diseñado para que el agua residual tenga su flujo por medio de gravedad de esta manera se evita la utilización de un sistema de bombas de agua reduciendo los costos de operación y mantenimiento de la planta.

El agua residual atraviesa el sistema de humedales artificiales que tienen estableciendo tres tipos de macrófitas que previamente han sido evaluadas por su capacidad de degradar contaminantes básicos en aguas residuales de origen doméstico, se cuenta con dos trenes de tratamiento (T1 y T2) que trabajan en serie ambos con dimensiones iguales y con el mismo tipo de vegetación.

El primer humedal de flujo subsuperficial cuenta con la especie *P. cordata*, el segundo humedal de flujo libre con *Thalia geniculata* y el tercer humedal de flujo libre con *Sagittaria lancifolia*, para la verificación de compatibilidad entre los equipos y reactores con cada una de sus especies del sistema se realizaron actividades de campo.

Es necesario conocer el gasto actual de operación empleando el método volumétrico que consiste en medir el tiempo que tarda en llenarse un recipiente de volumen conocido donde colecta la descarga. Por último el agua es tratada (filtrada) con ayuda del medio de soporte (grava de canto redondo) y las plantas macrófitas.

El material de soporte utilizado en los trenes de tratamientos de humedales artificiales fue grava de río (canto redondo) con las siguientes características mostradas en la tabla 3.

Tabla 3.- Características del medio de soporte utilizado en los humedales de la PTAR-DACBIOL.

Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad real (kg/m <sup>3</sup> )	Porosidad de Lecho (%)	Ø de partícula (pulgadas)
1460±52.21	2438±37.11	53±0.1	0.76±0.26

La selección de especies se realizó en base a lo establecido por Crites y Tchobanoglous, (2000); Manuales de la EPA, (1993 y 2000) y CONAGUA, (2007). En los meses de junio y julio del 2019 se inició con la búsqueda de la vegetación, por lo que se seleccionaron tres especies de vegetación macrófitas (*Pontederia cordata*, *Thalia geniculata* y *Sagittaria lancifolia*) existentes en el estado de Tabasco y cercanas a la PTAR DACBIOL-UJAT (Martínez & Ramos, 2021).



El arranque de la vegetación fue en diciembre del 2019, la siembra en el HAFL fue con un tallo de 30 cm de longitud, de manera que una parte de éste por encima de la superficie del agua. La vegetación en el HAFS, se colocó la raíz en el medio de soporte de grava seleccionado (CONAGUA, 2016). El tamaño del tallo fue de 10 cm de largo, la raíz deberá colocarse a 25 cm por debajo de la superficie del medio de soporte (grava) (Crites & Tchobanoglous, 2000). La estabilización de la vegetación acuática seleccionada dentro del humedal artificial (HA), como se detalla a continuación: Se alimentó intermitentemente primero con agua limpia al inicio, manteniendo un nivel adecuado para que la vegetación se establezca bien. Posteriormente se agregó el agua residual proveniente de la DACBIOL/UJAT, previa eliminación de sólidos suspendidos en un tanque cárcamo cisterna que funge como sedimentador y se aumentó gradualmente la concentración, hasta que solamente fluyó agua residual por los HA tal y como lo señala el manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (CONAGUA, 2016).

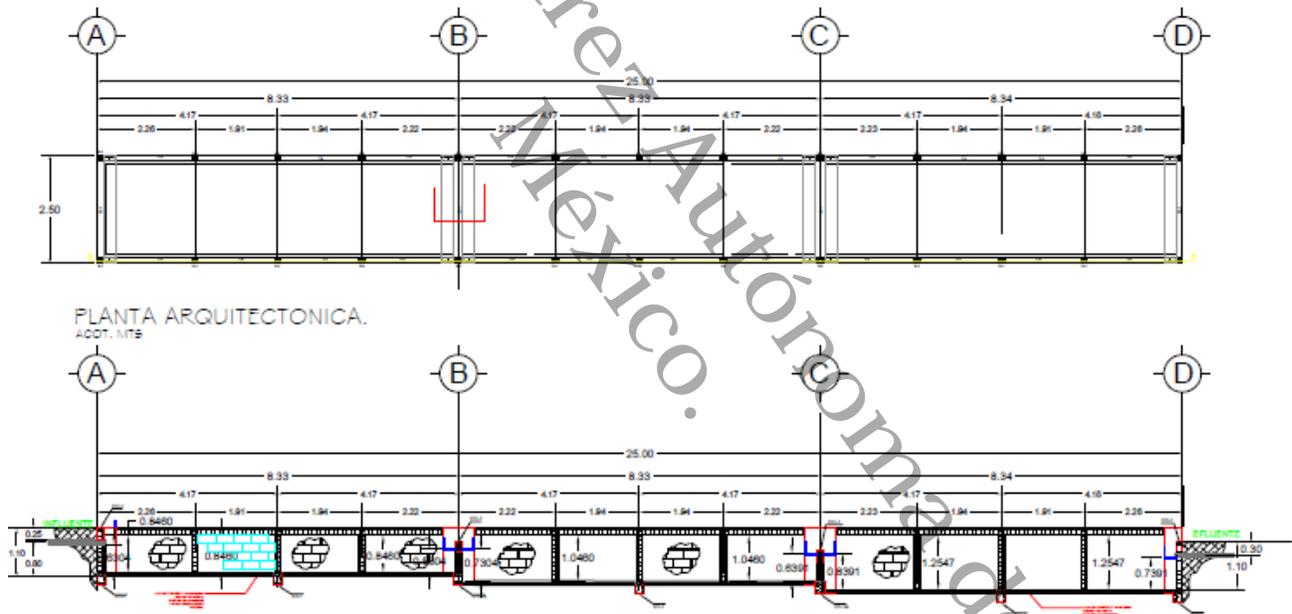


Figura 6.- Corte y vista en planta del humedal en serie de la DACBIOL-UJAT.  
Fuente: López et al., 2021.

#### 8.4. Previsiones anteriores a la puesta en marcha

Antes de iniciar la puesta en marcha del sistema de tratamiento de humedales artificiales, es necesario llevar a cabo un chequeo, tanto de las estructuras, como de los equipos que conforman el sistema. Es recomendable que estén presentes, los operadores y el ingeniero que diseñó la planta, ya que estos deben saber cómo funcionan los equipos, de qué manera se opera y en qué forma darle servicio correctamente.

##### 8.4.1. Verificación de la instalación y funcionamiento

- Todos los materiales y equipos deben de ser completamente revisados, que funcionen correctamente y que estén bien instalados.



- Todas las unidades y tuberías deben de estar limpias de tierras, arenas, maderas y materiales extraños.
- Todos los estanques que se empleen en los procesos deberán haberse probado hidráulicamente y estar listos para recibir el flujo de las aguas residuales.
- Verificar la operación de las tuberías, no debe de haber obstrucciones en el funcionamiento de los tubos de conducción.
- Verificar la nivelación de los vertedores, verificar el funcionamiento correcto de los desvíos de agua de emergencia.

#### **8.4.2. Análisis de las aguas residuales y gasto de operación.**

Para el cumplimiento ante PROFEPA y CONAGUA se debe proporcionar suficiente información analítica para estimar las cargas de inicio de la operación, requerimientos, etc. La información analítica que debe incluirse es: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl, de nitritos y de nitratos, expresadas como mg/litro de nitrógeno), fósforo total, temperatura, análisis de coliformes y pH (NOM-001-SEMARNAT, 1996). Además, se debe medir o estimar el gasto del influente y del efluente final (medidores de flujo) (Sánchez & Casillas, 2014).

Como se señaló previamente, existe un rango permisible para el potencial de hidrogeno (pH) del agua residual por tratar con el proceso de humedales artificiales dicho rango es de 5 a 10 unidades. Si no es así, se deben hacer previsiones para neutralizar el agua residual antes de la puesta en marcha (NOM-001-SEMARNAT, 1996). Los análisis de nitrógeno y de fosfatos proporcionarán un estimado de la concentración de estos nutrientes requeridos por el proceso biológico. Estos nutrientes normalmente están contenidos en las aguas residuales (Paredes, Güereca, Molina, & Noyola, 2015). Para el control de proceso interno de la DACBIOL se determinan los parámetros establecidos en el apartado 7.2.2. Análisis de calidad del agua.

#### **8.4.3. Conocimiento de las partes de la planta y entrenamiento**

El personal de operación de la planta debe estar familiarizado con los parámetros de diseño de las diversas instalaciones y con el equipamiento en particular, antes de la puesta en marcha. Se requiere que el personal ya este contratado en el sitio antes de que la planta esté funcionando. Aunque las actividades operacionales normales no se llevan durante el periodo preparatorio de arranque, este es un tiempo de aprendizaje muy importante y productivo para el personal.

Se requiere una orientación sobre los diversos procesos y equipos en las actividades de laboratorio entre otras. Desde el punto de vista de los procesos el personal debe conocer los parámetros de diseño, que incluyen; gastos, cargas orgánicas (DBO y DQO), volúmenes de tanques, tiempos de retención, capacidades y flexibilidad de las unidades y concentraciones de SST. Esta formación básica será el estándar con la cual la información de operación de los procesos se comparará. Esto se requerirá durante el periodo de puesta en marcha de la planta y deberá continuar posterior mente a lo largo de la operación normal diaria.



Durante este período es necesario que los equipos sean operados por los responsables de las instalaciones. El proceso para familiarizarse con las partes componentes de la planta se completa un entrenamiento formal, en dos etapas, antes de la puesta en marcha. La primera, en un salón de clases (acondicionado dentro de las instalaciones de la planta) que debe dirigir personal especializado diseñado para las características particulares de la planta. La segunda dirigida por los fabricantes o diseñador de la planta para dar a conocer los detalles de las partes principales de la misma.

### **8.5. Puesta en marcha**

Toda operación realizada en la planta debe hacerse con el máximo cuidado posible, ya que cualquier error que se cometa en uno de los procesos, afectara tanto la calidad del agua como los sistemas de tratamiento.

#### **8.5.1. Arranque**

La puesta en marcha de los humedales artificiales se fundamenta en tres principios básicos: la actividad bioquímica de microorganismos, el aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de los vegetales, además de servir como material filtrante (Guerra et al., 2015).

Las principales funciones que tiene una planta de tratamiento son:

1. Aporte de oxígeno proveniente del componente vegeta.
2. Eliminación de materiales disueltos y suspendidos en el agua residual y biodegradación de los materiales orgánicos hasta mineralizarlos.
3. Proporción de condiciones para el desarrollo y la preservación de vida silvestre, ya que proveen de un hábitat para diversos tipos de organismos.

La puesta en marcha se completa cuando las funciones se han establecido y normalizado para entrar a la etapa de operación normal una vez terminada la fase de previa supervisión de la construcción del humedal artificial, se procede a la fase de arranque y revisión del correcto funcionamiento de todas las etapas del sistema (Pabello & Aburto-Castañeda, 2015). A continuación se dan a conocer los pasos principales para la puesta en marcha de la planta de tratamiento.

- Limpieza generar de las estructuras, la plata debe quedar libre de residuos y cualquier otra impureza que signifique peligro de contaminación.
- Verificar las condiciones de seguridad y el correcto funcionamiento de los equipos.
- Revisión detallada de los equipos.
- Medición de parámetros básicos para el control de procesos, tales como pH, color, turbiedad aluminio o hierro residual, alcalinidad y caudal de operación.

#### **8.5.2. Control del proceso**

El control del proceso se basará en la revisión de los datos de operación y de laboratorio que se generen con el fin de seleccionar los parámetros operacionales o de control pero sobre todo en la medición de parámetros rápidos como temperatura, pH, conductividad



Eléctrica, sólidos disueltos totales, potencial oxido reducción. Color, turbiedad y demanda química de oxígeno.

Las determinaciones analíticas son herramientas indispensables para el control del proceso. Cuando el operador relaciona los análisis del laboratorio con la operación de su planta, puede hacer una selección de parámetros operacionales más efectivos, determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento e identificar cuando un problema se está desarrollando antes de que pueda afectar el proceso de tratamiento. Por ello, el laboratorio juega un papel importante en el control de la operación de la planta de tratamiento. Los resultados obtenidos se deberán registrar para definir las condiciones de operación de la planta y hacer las modificaciones correspondientes.

A continuación en la figura 3 se presenta el diagrama de procesos con los puntos de muestreo en las áreas operativas del tratamiento de aguas residuales.

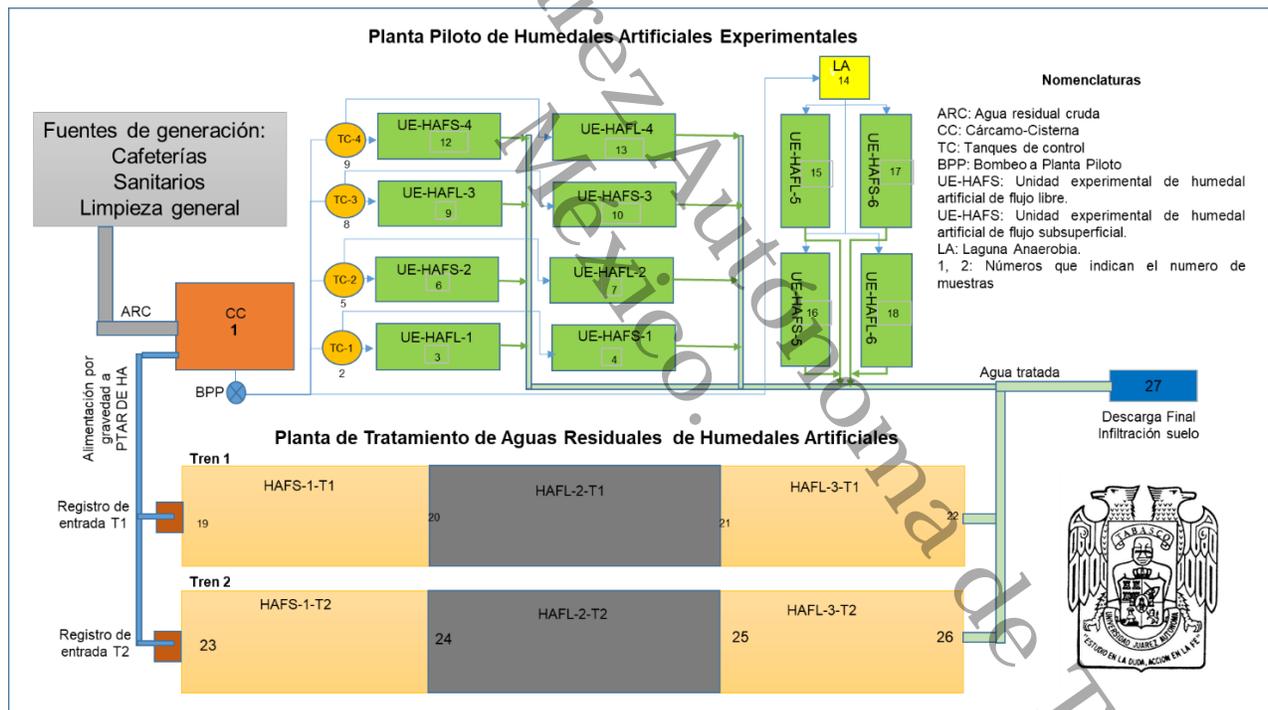


Figura 3. Diagrama de procesos de los sistemas de tratamiento de la DACBIOL-UJAT.  
 Fuente: Elaboración propia

### 8.5.3. Problemas típicos durante la puesta en marcha

Lo primero que debe hacerse cuando se presenta una falla en algunos de los procesos de la planta es identificar la causa del problema. Solo después de identificar su verdadera causa, se puede formular la mejor solución. Los síntomas deben servir de guía para determinar el origen del problema (Rodríguez, 2015). Problemas característicos desde el punto de vista de proceso:



- **Tapamiento de las tuberías.** Ocasionado por sedimentos.
- **Taponamiento de las entradas de distribución.** Por sedimentos y biomasa vegetal.
- **Olores.** Es posible que con la operación de los humedales artificiales persistan problemas de olores. La presencia de olores desagradables indica que se han desarrollado condiciones anaerobias, se puede combatir externamente sembrando una barrera de árboles como Sauce (*Salix chilensis*), zapote de agua (*Paquiria acuática*) entre otros.

## 8.6. Control operacional

Una medida esencial para controlar la calidad de la operación y efectuar cambios en esta es la evaluación del proceso. Los parámetros que se recomiendan revisar en los sistemas de humedales artificiales para su control son: DBO, DQO, SST, NT, PT, Se determina la eficiencia de remoción de estos parámetros de acuerdo con el modo de operación de la planta. Los factores que afectan al proceso de control son los siguientes:

- Características físicas del medio
- Ventilación
- Características del agua residual a tratar
- Temperatura
- pH
- Sustancias tóxicas
- Cargas hidráulicas

### 8.6.1. Revisión del gasto de alimentación

El gasto de alimentación juega un papel importante en las correcciones de problemas y en la evaluación del tratamiento. Con frecuencia el gasto o caudal aplicado puede causar una sobre carga hidráulica u orgánica en el proceso del sistema de humedales artificiales. Algunas observaciones que deben de tomarse en cuenta para el control del proceso son las siguientes:

- Suministrar flujo constante para mantener la carga hidráulica o cuando se presenten los gastos mínimos.
- Controlar la eficiencia del proceso por medio del flujo de alimentación.

### 8.6.2. Control del proceso

El control del proceso de tratamiento con el sistema de humedales artificiales implica seleccionar de forma apropiada los parámetros de operación tales como gastos de alimentación y cargas hidráulicas por manejar, aunados a rendimientos esperados. La alimentación continua del caudal al sistema es de vital importancia ya que es importante mantener constante la carga hidráulica y orgánica. La alimentación continua se utiliza para minimizar problemas operacionales teniendo como ventajas:

- Mantener el crecimiento biológico
- Diluir los desechos tóxicos haciéndolos más fáciles de tratar



- Disminuir las variaciones de cargas hidráulicas y orgánicas.
- Minimizar olores, taponamientos y formación de moscas al aumentar la carga hidráulica.

Las desventajas que se presentan durante una mala alimentación de agua son:

- Reducen la temperatura del agua de desecho, lo cual disminuye la actividad biológica.
- Con gastos mayores aumenta la carga hidráulica pudiendo disminuir la eficiencia de los sólidos sedimentados si se sobre pasan las condiciones de diseño.

### 8.7. Muestreo y análisis de las aguas

Un buen procedimiento de muestreo es la clave para realizar los análisis de laboratorio. Una muestra debe tomarse de tal manera que muestre las condiciones representativas que imperan en ese momento. Existen dos tipos de muestras que deben ser recolectadas dependiendo del propósito a que se designe: el muestreo simple consiste en tomar una porción de agua en determinado momento. El muestreo compuesto consiste en tomar muestras a diferentes intervalos de tiempo y posterior mente combinarlas en volumen proporcional mente al gasto observado en el momento del muestreo. Esta muestra compuesta representa las condiciones medias de calidad del agua durante el periodo de muestreo (NOM-001-SEMARNAT, 1996).

**Muestreo simple:** El muestro simple representa las características instantáneas del agua residual. De ser posible este muestreo debe de realizarse cuando se presentan las condiciones máximas de gasto (Gasto pico). La toma de muestras debe hacerse en diferentes puntos, localizados estratégicamente a lo largo del proceso, de tal manera que sigan la secuencia del recorrido del agua. Los tiempos de muestreos deberán de ser tales, que tomen en cuenta el tiempo de retención del agua cruda en cada estructura o equipo. La idea, a grandes rasgos, consiste en seguir las modificaciones de calidad que sufre una partícula de agua a lo largo de su recorrido en la planta.

**Muestreo compuesto:** El muestreo compuesto general mente representa las características del agua residual durante un periodo de tiempo (lo ideal es que este periodo de tiempo sea de un día). El procedimiento consiste en tomar muestras simples, por ejemplo cada hora durante las veinticuatro horas del día y posterior mente formar una muestra compuesta. El día de muestreo puede tomarse al azar o bien programarse según los días de la semana para un determinado mes. Por lo general se toma el influente a la planta y los efluentes de cada estructura de la línea de agua.

Cabe resaltar que las muestras simples deben ser debidamente refrigeradas y presentadas para que la compuesta sea representativa. Un volumen aproximadamente de 3 l de muestra compuesta es suficiente para realizar los análisis de laboratorio. En la tabla 4 se indica una lista de parámetros, donde se especifica la cantidad de muestra a tomar, el tiempo de almacenamiento y si necesita de conservación. Asimismo, en la tabla 5 se muestra la lista de los parámetros comunes para monitorear el proceso de tratamiento.



**Tabla 4.- Tiempo de almacenamiento, conservación y volumen de muestras para análisis de laboratorio.**

Parámetro	Almacenamiento	Envase	Conservación	Volumen
Temp. agua	---	Polietileno o vidrio	Determinar en el sitio	1 L.
Temp. ambiente	---	---	Determinar en el sitio	
Oxígeno disuelto	8 hr	Botella winkler	Determinar en el sitio o fijar con 2 ml de sulfato manganoso y refrigerar a 4°C.	300 ml
DBO	24 hr	Polietileno o vidrio	Refrigeración a 4°C	1000 ml,
Sólidos sed.	24hrs	Polietileno o vidrio	Refrigeración a 4°C	1,200 ml
Sólidos ST	7 días	Polietileno o vidrio	Refrigeración a 4°C	500 ml
Nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos	7 días	Polietileno o vidrio	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH de 1.5 a 2.0 y Refrigeración a 4 °C.	2,000 ml
DQO	28 días	Polietileno o vidrio	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH menor que 2 y refrigeración a 4°C	1,000 ml
pH	2 hr	Polietileno o vidrio	Determinar en el sitio. Si es necesario Refrigerar a 4 °C.	100 ml
Fosforo total	28 días	Polietileno o vidrio	Refrigerar a 4 °C.	500ml
Cloro residual	Determinar inmediatamente	Determinar inmediatamente	---	500ml
Coliformes	6 hr	Frascos de vidrio esterilizado	Refrigerar a 4 °C. 0.1 ml de tiosulfato de sodio, para inhibir la acción del cloro	500ml

Fuente: CONAGUA-IMTA.

**Tabla 5.- Parámetros comunes a evaluar conforme la norma oficial.**

Parámetro	Muestreo	Frecuencia	Rango
Flujo	Influente	Diario	48.15 – 388L.P.S.
	Efluente final		
Temperatura	Influente	Diario	Variable No mayor de 40°C
	Efluente final		
Grasas y aceites	Influente	Diario	Variable No mayor de 25 mg/L
	Efluente final		
Sólidos sedimentables	Influente	Diario	Variable
	Efluente HA		
Sólidos suspendidos totales	Efluente final	Diario	Variable No mayor de 2 ml/L
	Influente		
Demanda bioquímica de Oxígeno	Efluente final	Diario	Variable No mayor de 125 mg /L
	Influente		
Nitrógeno total	Efluente final	Diario	Variable No mayor de 150 mg /L
	Influente		
Fósforo total	Efluente final	Diario	Variable no mayor de 30 mg /L
	Influente		
Oxígeno disuelto	Efluente final	DAI	Variable 2 – 4 mg /L
	Influente		
pH	Efluente final	Diario	Variable 5 – 10 unidades
	Influente		
Coliformes F y T	Efluente final	Diaria	1000 – 2000 UFC/100 ml



Fuente: CONAGUA-IMTA.

El procedimiento de cálculo para determinar la cantidad de muestras a tomar en cada muestreo simple y formar posteriormente la muestra compuesta se indica a continuación:

Ejemplo:

Datos requeridos

Gasto al momento del muestreo = 200 lps

Volumen de muestra compuesta requerida = 3 lt = 3000 ml

Número de muestras simples que formaran la muestra compuesta = 8 (por ejemplo)

Gato promedio diario = 180 lps

A. De termine la cantidad de muestra a tomar para formar la muestra compuesta

$$= \frac{\text{Gasto al momento del muestreo (mgd)} \times \text{volumen de muestra compuesta (ml)}}{\text{No de muestras simples} \times \text{promedio de gasto diario (mgd)}}$$

$$= \frac{200 \text{ lps} \times 3000 \text{ ml}}{8 \times 180 \text{ lps}} = 4.16.7 \text{ ml}$$

### 8.7.1. Programa de muestreo.

Los muestreos de aguas residuales deben de realizarse de la siguiente manera: 6 simples y una compuesta, esto debido a que la generación de aguas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales de la DACBIOL está dada desde las 7:00 hora hasta las 21:00 horas y se establece en la siguiente tabla 6.

*Tabla 6.- Intervalo de toma de muestras conforme la norma oficial.*

Horas por día que opera el proceso generador de la descarga	Numero de muestras simples	Intervalo entre toma de muestras simples (horas)	
		Mínimo N.E.	Máximo N.E.
Menor que 4	Mínimo 2	-	-
De 4 a 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 hasta 18	6	2	3
Mayor que 18 hasta 24	6	3	4

Fuente: (NOM-001-SEMARNAT, 1996). N.E= No especifico

Nota: La determinación de los parámetros puede llevarse a cabo cuando el proceso se encuentre estable.

### 8.8. Fallas en la planta y su control

El primer punto que debe tomarse en cuenta en las fallas de alguno de los procesos de la planta es la identificación de la causa del problema. Al saber la verdadera causa, nos es posible determinar la mejor solución. Para la identificación del origen de problemas nos son de utilidad los síntomas que se presenten en el proceso. Sin embargo, para un mejor diagnóstico se describen las actividades de un programa rutinario que deben cubrir en las PTAR's de la DACBIOL (tabla 8).



### **8.8.1. Programa rutinario de actividades en la PTAR**

#### **Actividades de operación rutinaria a realizar diariamente:**

1. Chequeo de corriente, limpieza y lubricación a sistemas de bombeo. Involucra la purga correcta de la bomba, hacer el giro manual de manera correcta para evitar el calentamiento y cavitación del sistema.
2. Carga de tanques reguladores y regulación de gastos y niveles dentro de HAFL y HAFS.
3. Limpieza de área interna y externa de HAFL y HAFS, involucra la poda, barrido, recogida de material excedente, lavado de superficies.
4. Revisión de válvulas y sistema de pailería interna y externa. Mantenimiento preventivo y correctivo involucra cambio de piezas, sellado de fugas, impermeabilizar, pintar, aplicación de geomembrana.
5. Mantenimiento a infraestructura de la planta, barrida, lavada, pintada (cemento-cal), limpieza del canal (eliminación de maleza y extracción de sedimento).
6. Siembra de ejemplares nuevos para repoblación de especies dentro de los reactores.
7. Muestreos de campo para colecta de especies.

#### **Actividades de evaluación de procesos a realizar:**

1. Preparación de programa de muestreo (involucra registro de campo, cadena de custodia, preparación de material y control de calidad en el proceso de muestreo).
2. Preparación de materiales y equipos de los parámetros a determinar tanto en laboratorio de docencia como en laboratorio de aguas.
3. Toma de muestra de los reactores para determinación de parámetros de control de procesos y de evaluación de proceso (12 reactores).
4. Determinación de parámetros fisicoquímicos de aguas residuales.
5. Control de resultados y elaboración de reportes.
6. Limpieza y ordenamiento del laboratorio.
7. Elaboración del programa de atención a contingencia del laboratorio.
8. Control de plagas y medición física de las plantas, tallo, hoja, poda y peso.

#### **Actividades de capacitación profesional**

1. Seminario por Tesistas doctorales.
2. Seminario por Tesistas de maestría.
3. Seminario por Tesistas de licenciatura.
4. Seminario por Residente Profesional.
5. Seminario por Servicio social.
6. Ponente invitado (veraneantes).
7. Visita a plantas de tratamiento en el Municipio de Centro.

Nota: Este consiste en la presentación de artículos y avances de investigación de tesis, tutoriales, etc.



*Tabla 7.- Programa de trabajo rutinario en las PTARs de la DACBIOL UJAT..*

Hora	Lunes			Martes			Miércoles			Jueves			Viernes		
	OR	EV	CP	OR	EV	CP	OR	EV	CP	OR	EV	CP	OR	EV	CP
7:00	1,2	3,4,5		1,2	6		1,2	3,4,5		1,2	6		1,2	3,4,5	
8:00	3,4,5	6			6		3,4,5	6			6		3,4,5	6	
9:00	3,4,5						3,4,5						3,4,5		
10:00	1,2	3,4,5		1,2	1,2		1,2	3,4,5		1,2	1,2		1,2	3,4,5	
11:00	3,4,5				1,2		3,4,5				1,2		3,4,5		
12:00	3,4,5				1,2		3,4,5				1,2	4	3,4,5		
1:00	1,2	3,4,5		1,2	1,2		1,2	3,4,5		1,2	1,2	5	1,2	3,4,5	
2:00	3,4,5					1	3,4,5		2			1	3,4,5		
3:00	3,4,5	3,4,5					3,4,5		3				3,4,5		
4:00	1,2			1,2			1,2	3,4,5		1,2			1,2	3,4,5	

**8.8.2. Corrección de fallas (hidráulicas, eléctricas, estructurales, etc.).**

Debe tomarse en cuenta lo siguiente: las causas de los problemas que se presentan súbitamente son usualmente, fáciles de identificar, mientras que las de largo plazo son problemas persistentes que se han desarrollado gradualmente y muchas veces, son difíciles de determinar. Una vez que se ha notado el problema, se debe caracterizar, para lo cual se recaba la mayor cantidad de información posible que esté relacionada con el caso. Una vez hecho esto, la causa se puede identificar basándose en la interpretación de los datos recopilados, experiencias de operación y si son posibles varias causas, a través de un proceso de prueba y eliminación. Una vez definida la causa, se pueden desarrollar e implantar las acciones correctivas para eliminar el problema (Ocaña, Margulis, & Balcazar, 2017).

En resumen los pasos a seguir incluyen:

- Anotar y describir el problema.
- Caracterizar los síntomas del problema y su secuela de ocurrencia.
- Comparar las características del problema con causas probables asociadas.
- Si son varias las causas que pueden contribuir a generar el problema, desarrollar un enfoque que permita probar las causas y eliminar aquellas que no sean aplicables.
- Desarrollar e implantar las medidas correctivas para eliminar la causa o causas del problema.

**8.8.3. Problemas típicos de operación**

**a) Baja remoción de DBO soluble:** Antes de confirmar un problema de baja remoción de DBO soluble, se deben satisfacer dos condiciones, todos los análisis de DBO que se realicen para verificar tal condición deben emplear muestras filtradas de acuerdo a los métodos estándares. La DBO soluble efluente debe ser más alta que las concentraciones de operación normal o de diseño. La baja remoción de DBO soluble puede ser causada por varios factores (Crites y Tchovanoglous, 2000). Considerando que el diseño del sistema es adecuado y que el equipamiento es funcional, los factores incluyen:



**b) Cargas orgánicas:** Las cargas en el influente pueden ser la causa de una baja remoción de DBO soluble en dos casos: La carga orgánica es variable en concentración y carácter. La primera condición es relativamente fácil de confirmar a partir de los análisis del agua y las mediciones de gasto. La segunda condición está relacionada con cargas orgánicas de choque, estas se pueden determinar con un estudio de muestreo, que dé como resultado un panorama representativo de la variabilidad de las características del agua residual que recibe el sistema (Ocaña, Margulis, & BALCAZAR, 2017).

**c) Sustancias tóxicas o inhibitorias:** Cuando se presenta una condición tóxica aguda que se caracteriza por una destrucción masiva de la población biológica del sistema, lo más probable es que se deba a una descarga ilegal al sistema de tratamiento. La acción correctiva consiste en alimentar la masa biológica activa remanente para retornar a las condiciones sanas, estableciendo un medio ambiente óptimo y de ser necesario, suministrando al sistema una siembra biológica de una fuente externa. Los efectos de la toxicidad crónica son típicamente causados por sustancias que gradualmente vienen a estar más concentradas dentro de las células biológicas, debido a la recirculación continua de microorganismos al proceso central de tratamiento. Las principales sustancias que producen tal efecto son los metales pesados.

**d) Bajas temperaturas:** La actividad de los microorganismos presentes en un sistema de filtros biológicos desciende durante los meses muy fríos. Esto puede dar como resultado una reducción en la eficiencia de remoción de la DBO. Sin embargo, este tipo de problemas no es probable que se presente en el proceso de tratamiento, ya que en la región la temperatura promedio es superior a 25°C.

**e) pH fuera del rango óptimo:** La mayoría de los sistemas biológicos tienen un buen funcionamiento cuando operan en un rango entre 6.5 y 8.5. Cualquier operación prolongada fuera de este rango puede causar un efecto tóxico en los microorganismos y una baja en la eficiencia del tratamiento. Por tanto, cuando se note que la eficiencia se reduzca, uno de los primeros parámetros a verificar por el operador es el pH. Si esta fuera del rango, se debe tomar acción inmediata para ajustar el pH mediante la dosificación de un ácido o un álcali. En el caso que el pH del agua residual esté fuera de rango en forma prolongada se debe instalar un sistema permanente para ajustarlo, o implantar una estrategia de control para monitorear y regular la fuente que genera el alto o bajo pH.

## 8.9. Mantenimiento

Estas actividades rutinarias son preventivas y correctivas para preservar en buen estado los equipos e instalaciones que forman parte del proceso de la planta de tratamiento de aguas residuales. Un continuo y correcto rendimiento se mantendrá siempre y cuando se sigan los procedimientos y las precauciones que en este manual se establecen, para poder realizar las actividades de instalación, operación y mantenimiento de forma correcta se deberán revisar todos los manuales de los equipos que están instalados. Para prevenir que a causa de partes de la planta dañadas o gastadas se vuelvan inseguras y mantener el equipo en operación continua y satisfactoria, se debe iniciar un



Procedimiento de inspección para que en caso de ser necesario dichas partes sean remplazadas.

### **8.9.1. Mantenimiento preventivo**

Tiene como objetivo la prevención de fallas y la mitigación de condiciones riesgosas, con la finalidad de que las instalaciones permanezcan en buen estado y funcionen de manera eficiente. Las recomendaciones para llevar a cabo esto son las siguientes:

- Asegurar el buen funcionamiento de la PTAR.
- Mantener los equipos de instalaciones (red eléctrica, módulos de tratamiento, ductos en general, etc.).
- Mantener en buenas condiciones el equipo de emergencia, para hacerle frente a la misma.
- Evitar condiciones y actos inseguros.
- Mitigar el efecto ante un desastre.
- Realizar control de la vegetación en los módulos de tratamiento.

En el caso de:

**Limpeza, resanado e impermeabilizado de los reactores:** Antes de colocar todos los componentes de los humedales artificiales, se debe de optimizar la inversión para obtener un excelente sistema de tratamiento.

- Limpieza y lijado de láminas (de acero al carbón, galvanizada o material de reactores) en parte interna y externa los reactores, con la finalidad de eliminar toda la corrosión posible.
- Colocar en esquinas de parte interna un top tapagoteras, el cual básicamente consiste en una pasta acrílica a base de resinas y cargas minerales de consistencia pastosa, esto nos ayudara a cubrir las zonas donde se muestran los puntos de soldaduras, para evitar filtraciones futuras.
- Aplicar a los reactores un esmalte alquidálico anticorrosivo lo que comúnmente es llamado primario, para proteger la lámina.
- Posteriormente se pinta el exterior con un color básico (Blanco), debido a que los reactores se colocaran en una zona donde se guarda mucha humedad y más que nada por el tipo de clima tropical con lluvias que se presentan en el estado, más que nada para evitar el daño a la infraestructura.
- Finalmente se debe impermeabilizar con elastomérico y este paso se complementara con 5 o 6 capas de fibra textil (con características similares al pellón).

**Instalación de la tubería de PVC hidráulica o pailería:** Prácticamente después de haber dejado de 24 a 48 horas de secado (para el impermeabilizante), se deberá continuar con la instalación de la pailería, la cual básicamente consiste en toda la aplicación de los accesorios que forman parte del reactor. Para lo cual se deberán de seguir los siguientes pasos:



- Con un taladro abrir orificios correspondientes a los reactores, los cuales básicamente servirán para colocar los tubos de PVC, para el correcto funcionamiento y distribución del influente y efluente del agua residual
- El sistema de tuberías, codos, válvulas, Ts, y accesorios de PVC hidráulico deberá ser del diámetro para asegurar una velocidad menor a 0.3 m/s para garantizar el TRH de diseño, del mismo modo se debe calcular el equipo de bombeo para la capacidad de HP requeridas.

**Aplicación del medio de soporte:** Una vez lista la instalación de las unidades se agregaran dentro del reactor de HAFL una capa de 10 cm, de arena, para fijar la siembra de vegetación que se vaya a elegir, al final se llena con a una altura de 40 cm, con agua residual. Y en el caso de HAFS se coloca medio de soporte una altura de 50 cm. con 10 cm de arena en el fondo y 40 cm de grava, para fijar la vegetación que se elegirá para este reactor.

**Humedales:** El afluente es extraído del cárcamo por bombeo, conectadas a tubería hidráulica de PVC, se debe direccionar el flujo a tanques de distribución, que son llenados tres veces al día, para satisfacer la demanda del agua residual las 24 horas de operación. Estos tanques son los encargados de hacer llegar el afluente a los HA mediante tuberías de PVC y válvulas de control con un caudal diseñado por humedal. Los humedales deben ser fumigados una vez por semana con fungicida esto con la finalidad de evitar que hongos aparezcan en la planta y durante el periodo de propagación y estabilización de la planta. Se verifica que las válvulas de control de flujo estén operando adecuadamente y al encontrar que una de ellas no funcione en su totalidad fue remplazada. Se observa que todas las tuberías de alimentación no presenten fuga. Realizar mantenimiento preventivo a la bomba encargada de extraer el agua residual a los tanques de control. Se verifica que los HA no tengan fuga o muestren desprendimiento del impermeabilizante.

**Siembra de las especies:** Para la siembra de la vegetación en los HAFL se debe de considerar un tallo de 20 a 30 cm de longitud, de manera tal que una parte de este salga por encima de la superficie del agua. En caso del HAFS se coloca la raíz en el medio de soporte de grava seleccionado (CONAGUA a, 2007), el tamaño del tallo debe ser de 10 cm de largo, la raíz se colocó a 5 cm por debajo de la superficie del medio de soporte (grava o arena), en el caso particular la vegetación acuáticas flotantes se deberán colocar en la superficie del agua y esta especie tendrá una medida de 50 cm a 1 m desde la punta de sus flores hasta el extremo opuesto de sus raíces tal y como lo describe (Crites y Tchobanoglus, 2000). Para especies como *Thalia geniculata* se propone una densidad de 10 plantas/m<sup>2</sup>, y para plantas como *Phaspalum paniculatum* 50 plantas/m<sup>2</sup>, en esta última se siembran en ramos de 5 plántulas. Para determinar el número de plantas a sembrar se calcula en base a la ecuación siguiente el número de plantas necesarias por metro cuadrado, con un arreglo de "tres bolillos", el tamaño del tallo se recomienda de 10 cm de largo, la raíz se siembra a 15 cm por debajo de la superficie del medio de soporte (grava) (Crites y Tchobanoglus, 2000).



**Cosecha de la vegetación:** Es necesario realizar una poda a los 6 meses en los HA, con la finalidad de retirar la vegetación que se encuentra deteriorada y ya no sintetiza de la misma forma los contaminantes, evitando que la vegetación muerta se deposite en el fondo del HA y libere los contaminantes ya antes procesados lo cual tendría un efecto negativo en la eficiencia de remoción de los contaminantes (Comparán, 2020). La vegetación se corta de manera manual dejando 10 cm de tallo, la biomasa es recolectada y depositada en contenedores de 20 L para después ser pesadas con una pesola de 20 kg, se pesa el contenedor con y sin vegetación y por diferencia de pesos se pudo calcular la cantidad de biomasa. El manejo del nivel de agua es la clave para el éxito para que se establezcan especies de vegetación enraizada, pues existen plantas de humedal que al establecerse pueden tomar cambios temporales en la profundidad del agua, debe tenerse cuidado de no exceder los límites de tolerancia.

**Control de fauna:** Los mosquitos son comunes en los sistemas naturales y son de esperarse en los sistemas de humedales artificiales. La mejor manera de evitarlos es crear condiciones poco atractivas a los mosquitos o que no promuevan el desarrollo de larvas. Los lugares abiertos con agua estancada son un hábitat excelente y los nutrientes son ideales para el desarrollo larval. Cuando el agua está en movimiento se minimiza el riesgo de desarrollo de mosquitos.

**Control de algas:** Este fenómeno se propicia por la presencia de luz solar y nutriente como nitrógeno y fósforo. Debido a la gran incidencia de luz solar en las celdas purificadoras, se puede observar durante el verano un florecimiento vigoroso de algas. Para controlar esta situación se recomienda la remoción.

**Seguridad:** El objetivo de este apartado es establecer lineamientos de salvaguarda tendientes a crear una cultura de seguridad y calidad en el trabajo que asegure la integridad física de las instalaciones así como la del personal que tiene acceso a estas. Esto contempla normas internas destinadas a controlar el acceso a las instalaciones, por lo tanto se sugiere la implementación del uso obligatorio de equipos de seguridad al personal como son: Casco, lentes de seguridad, guantes, caretas, petos, mangas, calzado industrial, ropa de trabajo adecuada, fajas, etc. Se recomienda tener siempre cargados los extintores de incendio en los puntos estratégicos como son: Subestaciones eléctricas y laboratorio.

**Almacenamiento:** Las áreas de almacenamiento de materiales y químicos de proceso, operación y mantenimiento. Así como las de tránsito de operadores y vehículos, salidas, áreas de emergencia y demás áreas del centro de trabajo, deberán estar delimitadas de acuerdo con las normas correspondientes.

Proporcionar a los trabajadores instrucciones para la utilización, control y lugar de almacenamiento de las herramientas



## 8.9.2. Programa de mantenimiento

### Objetivo de un programa de mantenimiento

El objetivo de un programa de mantenimiento es hacer que la planta de tratamiento funcione de manera segura, eficiente y rentable. La falta de la aplicación de un programa de mantenimiento puede causar que la planta de tratamiento no cumpla con las condiciones de descarga.

Un programa integral de mantenimiento debe ser implantado por el personal de alto nivel del organismo operador de la planta. Las metas del programa las podrá identificar el personal para apoyar en todo momento al programa. El programa de mantenimiento debe quedar contemplado en las políticas y procedimientos del organismo operador (López, Margulis, & Balcazar, 2017).

Entre las funciones que deben realizarse en la planta de tratamiento para alcanzar sus objetivos, el departamento de mantenimiento generalmente se responsabiliza de lo siguiente:

- Comunicación con el departamento de operación para asegurar la operación exitosa de la planta de tratamiento y la aplicación adecuada de un programa de mantenimiento.
- Cumplimiento de lineamientos, procedimientos y políticas para lograr una comunicación adecuada con el departamento de administración de la planta de tratamiento.
- Establecer, implantar y operar el programa de mantenimiento preventivo.
- Planear y programar los presupuestos y finanzas del departamento operador.
- Manejo de inventarios, materiales y proveedores.
- Programas de capacitación y seguridad para el personal de la planta de tratamiento.
- Calidad y control en la ejecución de las reparaciones y trabajos.
- Establecer un plan de emergencias y manual de procedimientos para la participación del personal durante una situación de emergencia.

**Control de inventarios:** Se debe tener en almacenamiento partes de repuestos y materiales para que de ser necesario sea posible realizar reparaciones al momento. A continuación se presenta una forma de clasificar los materiales en el almacén:

**Partes de repuesto:** Son piezas especiales de los equipos que el fabricante recomienda o que el operador ya con experiencia en el mantenimiento de equipos puede predecir. Estas partes se destinan a corregir fallas potenciales en los equipos, consisten en partes vulnerables, partes que se desgastan o difíciles de obtener o con tiempos de entrega muy largos. La decisión de almacenar estas partes se basa en la importancia de cada una para el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento.



**Materiales de uso normal:** Consiste en piezas o materiales de uso diario en actividades de mantenimiento. Estas piezas integran el volumen mayor del almacén y son piezas como: Válvulas, piezas especiales de tuberías, sellos, conductores eléctricos, fusibles, etc. Deben ser almacenados para permitir tareas de mantenimiento y minimizar compras de emergencia. Por otra parte se debe establecer un sistema de control de inventarios ya sea manual o computarizado, para tener controlado al almacén. Los componentes del sistema de inventarios incluyen archivo maestro, facturas recibidas, requisiciones al almacén, identificaciones de materiales y partes, catálogo de partes, manejo de materiales y partes, entrega de materiales, actualización de archivos, órdenes de compra, contabilidad, partes regresadas, reportes, etc.

### **Coordinación entre operación y mantenimiento**

Para un funcionamiento efectivo, se debe de tener una comunicación abierta entre los departamentos en este caso con los departamentos de operación y el de mantenimiento. La comunicación juega un papel muy importante, puede darse de manera verbal o por escrito, va desde una simple nota hasta un reporte bien detallado de la acción de mantenimiento a ejecutar, en el caso de la verbal se pueden implementar pláticas informales o juntas periódicas de trabajo de carácter formal. Una correcta comunicación se logra solo cuando las partes involucradas entienden de qué se está hablando y no se debe tener temor de comunicar.

#### **8.9.3. Mantenimiento de equipo electromecánico**

Para la operación continua y eficiente de la planta de tratamiento de humedales artificiales de la DACBIOL, se requiere de un mantenimiento adecuado, el cual se programa de acuerdo con el tipo de equipos y las especificaciones de los fabricantes. En la planta de tratamiento se emplean dos tipos de mantenimiento, el preventivo que como su nombre lo indica es para prevenir problemas mayores o colapsos en los equipos y el correctivo que es para corregir los problemas mayores en los equipos (estos se originan cuando no se realiza un mantenimiento preventivo).

### **Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo es la conservación planeada. Tiene como función permitir el conocimiento sistemático de los mecanismos y equipos para programar la tarea que debe realizarse, en los momentos más oportunos y de menor impacto. El mantenimiento preventivo se refiere a que no se debe esperar a que las mecanismos fallen para hacerles una reparación, sino que se programen los recambios con el tiempo necesario antes de que se presente la falla; esto se puede lograr conociendo las especificaciones técnicas de los equipos a través de los manuales (Flores, y otros, 2016).

Una buena planeación del mantenimiento preventivo debe estar bien pensada, bien organizada y apropiadamente manejada, esto consiste básicamente en tres partes:

1. Programación de inspección periódica, lubricación, ajuste y otros servicios a los equipos y estructuras.
2. Registro de reparaciones, alteraciones y reemplazos.



3. Desarrollo de un método de costos contables para las diferentes partes del programa de mantenimiento preventivo.

Cada uno de estos puntos deben ser sencillos, puntuales y precisos (Ocaña, Margulis, & Balcazar, 2017).

**Mantenimiento correctivo**

Son acciones que se efectúan para reparar daños existentes por deterioro o mal funcionamiento del sistema y que no han sido posible evitar con el mantenimiento preventivo. La frecuencia se da según la necesidad y cuando se requiere solución inmediata (Estrada, O, Gutiérrez, Villanueva, & Caspeta, 2018).

Es de suma importancia observar lo siguiente al momento de fallar un equipo:

- Desconectar el equipo de la corriente eléctrica.
- Registrar el momento en el que se deja fuera de servicio.
- Reemplazar los elementos dañados.
- En caso de falla mayor, cambiar el equipo.
- Checar el sistema antes del reinicio de la operación.
- Restablecer la energía.
- Registrar el momento en que se deja en operación el equipo.

**8.10. Personal de operación**

**8.10.1. Requerimientos de personal**

Para poder asegurar una operación eficiente de la planta de tratamiento, es necesario e importante contar con el siguiente personal y llevar a cabo actividades de forma continua ya que el sistema de tratamiento no puede operar de acuerdo a horarios y requerimientos aleatorios. La planta deberá operar de forma continua, durante las 24 horas del día y durante los 365 días del año. Para cuestión de cumplimiento con lo anterior mencionado es recomendable distribuir al personal de acuerdo con la siguiente tabla 8.

*Tabla 8.-Requerimientos de personal para la operación de la planta de tratamiento*

Personal	Horario Normal	Turnos			Total
		Primero 7- 15	Segundo 15-22	Tercero 22-7	
Supervisor	1	---	---	---	1
Técnico Eléctrico	---	1	1	---	2
Técnico Mecánico	---	1	1	---	2
Operador	---	1	1	1	3
Ayudante de operación	---	1	1	1	3
Laboratorista	---	1	1	---	2
Vigilante	---	1	1	1	3
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>16</b>

Fuente: (Ocaña, Margulis, & Balcazar, 2017)



La cantidad de personal será determinada final mente de acuerdo a la habilidad de los operadores y a las posibilidades del organismo operador.

### **8.10.2. Actividades generales del personal**

**Supervisor de la planta:** Está relacionado con las actividades de administración, en el área de recursos humanos y económicos y se encarga de supervisar el funcionamiento de la planta de tratamiento.

**Supervisor:** Se encarga de mantener vigilados a los operadores cuando estos llevan a cabo las actividades de rutina para la operación del sistema. En este individuo cae la responsabilidad del funcionamiento de toda la planta.

**Operadores:** Comparten la responsabilidad con el supervisor con la finalidad de cubrir a este en caso de ausencia o para la supervisión de actividades específicas de mantenimiento y operación de la planta. Sus actividades consisten en hacer limpieza, remover basura, abrir válvulas, tomar lecturas (influyente-efluente), así como el mantenimiento preventivo o correctivo a los equipos. Los operadores se auxiliarán del personal de apoyo para llevar a cabo las actividades de mantenimiento. Los días de trabajo se deberán ajustar para cubrir el día de descanso de cada uno de ellos.

**Técnico eléctrico:** Esta persona realizará actividades de mantenimiento y reparación del equipo, materiales y accesorios que sean de tipo eléctrico, todo esto bajo cargo del supervisor. El técnico eléctrico se apoyará del personal de operación para la realización de estas actividades.

**Técnico mecánico:** Esta persona realizará actividades de mantenimiento y reparación del equipo, materiales y accesorios que sean del tipo mecánico. Se apoyará con el personal de operación para la realización de estas actividades.

**Técnico laboratorista:** El técnico laboratorista llevará el control del proceso de cada una de las unidades que conforman la planta de tratamiento, así como de monitorear la calidad del agua de entrada como la de salida. El laboratorista proporcionará información y dará instrucciones para que el supervisor realice ajustes para poder obtener una calidad apropiada en el efluente.

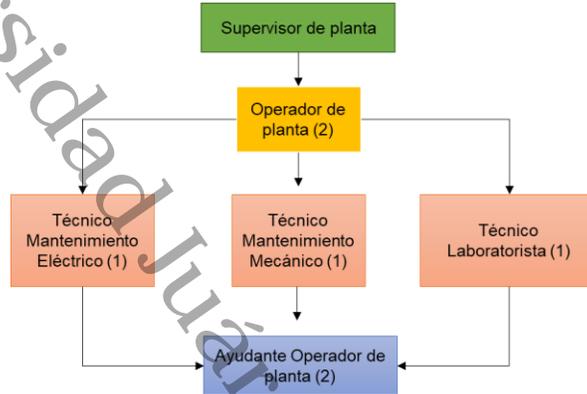
**Ayudante de operación:** Esta persona proporcionará ayuda a los operadores para realizar las actividades encomendadas y cubrirá el turno del operador que tenga día de descanso.

**Vigilante:** Estará a cargo de la vigilancia y seguridad dentro de las instalaciones de la planta de tratamiento, además llevará un control sobre las entradas y salidas del personal y del material dentro de las instalaciones con el fin de evitar la salida injustificada del personal e incluso evitar la pérdida de herramientas o materiales.



**Organigrama.**

El personal debe trabajar de acuerdo a una jerarquía como se propone en el siguiente organigrama:



Fuente: CONAGUA, 2016.

**8.10.3. Perfil de puestos del personal requerido para la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento**

*Tabla 9.-Cargos con características y especificaciones del personal en la PTAR*

<b>Cargo</b>	<b>Características</b>	<b>Especificaciones</b>
<b>Supervisor de planta</b>	Escolaridad:	Profesionista: Ing. Ambiental, Químico o similar.
	Experiencia:	En sistemas de tratamiento de aguas residuales, conocimiento en Técnicas de análisis de aguas residuales e interpretación de resultados.
	Aptitudes:	Don de mando, organizado, con iniciativa para desarrollar mejoras en el área de trabajo, tanto administrativa como operacional.
<b>Operador</b>	Escolaridad:	Estudios mínimos de secundaria.
	Experiencia:	Conocimientos en operación de plantas de tratamiento de aguas residuales
	Aptitudes:	Activo, con iniciativa para proponer cambios y mejoras en su área de trabajo.
<b>Técnico en mantenimiento mecánico:</b>	Escolaridad:	Técnico en mecánica industrial.
	Experiencia:	En mantenimiento industrial, de preferencia en equipo de plantas de tratamiento
	Aptitudes:	Activo, apto para trabajo físico.
<b>Técnico en mantenimiento eléctrico:</b>	Escolaridad:	Técnico en electricidad industrial.
	Experiencia:	En mantenimiento industrial, de preferencia en equipo de plantas de tratamiento.
	Aptitudes:	Activo, apto para trabajo físico.
<b>Laboratorista:</b>	Escolaridad:	Químico o técnico en análisis de aguas residuales.
	Experiencia:	En análisis de aguas residuales.
	Aptitudes:	Activo, con iniciativa, organizado.
<b>Ayudante de operador:</b>	Escolaridad:	Primaria.
	Experiencia:	No se requiere
	Aptitudes:	Activo apto para trabajo físico, con deseos de aprender.

Fuente: CONAGUA, 2016.



## 8.11. Seguridad e Higiene

### 8.11.1. Seguridad e higiene en el sistema de tratamiento

La calidad de las aguas residuales y la liberación de grandes volúmenes de agua de primer uso se mejora a través de este tipo de sistemas, con el sistema de tratamiento de aguas residuales se logra la protección ecológica de los cuerpos receptores y se previenen enfermedades de origen hídrico.

La construcción, operación y mantenimiento de pantas de tratamiento representa grandes beneficios pero también representan cuantiosas inversiones y la necesidad de contar con recursos humanos calificados para asegurar su operación oportuna y eficiente para lograr proteger las inversiones que demandad así como la salud y seguridad del personal que en ellas laboran.

La seguridad de los trabajadores de las instalaciones dependerá de los conocimientos de los mismos trabajadores y de las acciones que realicen para cumplir eficientemente con su trabajo, esto para mantener su integridad y la de los demás en caso de riesgos. El prestador del servicio del tratamiento deberá procurar un ambiente seguro y sano para los operadores y está obligado a ver los aspectos legales en carácter de higiene y seguridad en las instalaciones y deberá adoptar medidas de prevención de accidentes en el uso de equipos, herramientas y materiales de trabajo.

### 8.11.2. Pretratamiento

**Cribado:** El proceso de cribado es empleado para la remoción de materiales gruesos generalmente basuras flotantes o en suspensión, que pudiesen estar contenidas en las aguas residuales crudas y puedan obstruir o causar algún daño a las bombas, tuberías y equipos en general de la planta de tratamiento o interferir con el correcto funcionamiento del sistema. Dentro de la cisterna se colocan cribas cada inicio de semestre por la falta de cultura ambiental de los estudiantes de nuevo ingreso pues depositan diversos residuos que ocasionan problemas operativos con los sistemas de bombeo.

**Desarenado:** El objetivo del desarenado es la eliminación de partículas que son más pesadas que el agua, sobre todo arenas pero también otros sólidos por ejemplo: cáscaras, semillas, etc. Con este proceso se consigue proteger los equipos. En este caso como en los demás las áreas de acceso deberán estar libres de cables, grasas y aceites, partes de repuestos de equipos basuras y otros materiales que pueden causar riesgo de accidentes, como caídas e infecciones. Cabe señalar que este se lleva a cabo dentro de nuestro cárcamo-cisterna-sedimentador y se limpia manualmente cada fin de semana por los tiempos operativos de la escuela.

### 8.11.3. Sistema cárcamo-cisterna-sedimentador

Este sistema es implementado para dar un tratamiento primario a las aguas residuales, tiene como objetivo la eliminación de sólidos suspendidos a través del proceso de sedimentación, el tiempo que se retiene el agua cruda en este sistema permite que las partículas sedimentables se hundan. Muchas tecnologías de tratamiento requieren de un



Cárcamo cisterna sedimentador, como tratamiento previo para lograr una función de manera adecuada.

#### **8.11.4. Registros de entrada, humedales artificiales, pozo de absorción**

El caudal del agua residual es extraído del cárcamo colector por gravedad, por medio de tubería de PVC y hasta los registros de distribución con dimensión de 0.1 m<sup>3</sup>. El objetivo de los registros de entrada es la distribución del caudal de agua residual a los humedales artificiales.

#### **8.11.5. Edificio de operación**

En los edificios de operación el diseño, construcción y operación de dichas instalaciones de la planta de tratamiento, se deberá tener condiciones de higiene y seguridad de acuerdo con las actividades que se realicen. Se deberán incluir dispositivos de seguridad recomendados por las normas que corresponden a esta área. Las instalaciones construidas para el resguardo de químicos, materiales, operación, mantenimiento, tránsito de operadores, vehículos, salidas de emergencia, deberán estar delimitadas de acuerdo con las normas correspondientes. Estas áreas deberán contar con drenajes pluviales y con agua de servicio independiente, en vase a la naturaleza de la descarga. Todas las instalaciones de la planta de tratamiento deberán estar diseñadas y construidas con base en las normas y reglamentos aplicables.

#### **8.11.6. Subestación eléctrica**

La subestación eléctrica deberá ubicarse en un lugar protegido y aislado para evitar la entrada de cualquier operador, para su operación y mantenimiento se deberá nombrar a un responsable para que él sea el único encargado de revisar sus condiciones y tiene la posibilidad de solicitar apoyo técnico en caso de ser necesario.

#### **8.11.7. Laboratorio**

Los laboratorios deberán cumplir con las normas de higiene y seguridad que sean establecidas por el responsable de la planta y se comisionara un comité de higiene y seguridad que será el encargado de vigilar que dichas normas se cumplan. Independientemente cualquier persona que ingrese al laboratorio deberá usar bata y cumplir con las condiciones de seguridad para laboratorios.

#### **8.11.8. Instalaciones generales**

Sin excepciones todo el personal que desempeñe labores en las instalaciones de la planta de tratamiento, deberá cumplir con las normas y los manuales establecidos. El personal deberá portar ropa adecuada (calzado y equipo de seguridad reglamentario) de acuerdo con la función específica que realicen. En el caso del personal de apoyo, como intendentes, jardineros, administrativos y vigilantes, no deberán ingresar a las áreas operativas, solo en casos de emergencia y si están facultados para proporcionar el apoyo requerido para las instalaciones o para el demás personal.

### **Condiciones inseguras frecuentes**

Dentro de las condiciones inseguras frecuentes se encuentran las siguientes:



- La inadecuada protección. Deficiente o en el peor de los casos inexistente protecciones en las instalaciones y en los equipos de la planta.
- La falta de equipo para el personal o el mal estado del mismo.
- La falta de capacitación y adiestramiento del personal que labora en la planta.
- El diseño incorrecto de las instalaciones.
- Mal uso e inadecuado mantenimiento de los equipos.
- Señalamientos de higiene y seguridad insuficientes.
- Falta de limpieza y orden en las instalaciones de la planta.

#### **Jefes o responsables del sistema de tratamiento**

- Llevar a cabo estudios en materia de higiene y seguridad en el trabajo, para poder identificar las posibles causas de sucesos inesperados en el trabajo y adoptar las medidas necesarias para prevenirlos.
- Elaboración de un programa de higiene y seguridad.
- Integración y operación de comisiones de higiene y seguridad.
- Conservar dentro de los niveles permisibles las condiciones ambientales.
- Colocar en lugares estratégicos señalamientos de seguridad.
- Dar cursos de capacitación a los trabajadores.
- Estar al pendiente de las medidas de seguridad por medio de vigilancias internas y externas.
- Realizar simulacros de emergencia.
- Informar a los trabajadores sobre los riesgos a los que están expuestos.
- Evaluar por medio de exámenes a aquellos trabajadores que estén en las áreas de mayor riesgo.
- Mantener los equipos en condiciones óptimas para su funcionamiento.

#### **Trabajadores del sistema de tratamiento**

- Observar las medidas de prevención de higiene y seguridad establecidas en el manual.
- Designar a personas para que participen en la integración y mantenimiento de las condiciones de higiene y seguridad.
- Proporcionar información al responsable de la planta de tratamiento y a la comisión de higiene y seguridad, sobre las condiciones inseguras y de los accidentes que ocurran en el interior de la planta de tratamiento.
- Participar en los cursos de capacitación y adiestramiento.
- Comportarse dentro de las instalaciones de la planta con seriedad y mantener los cuidados necesarios para prevenir cualquier riesgo.
- Realizarse todos los exámenes médicos que determine el responsable de la planta de tratamiento.
- Usar siempre que se esté dentro de las instalaciones de la planta el equipo de protección personal.
- Cumplir con todas las medidas de control establecidas por el responsable de la planta para prevenir riesgos en el trabajo.



### **8.11.9. Condiciones de seguridad**

#### **Edificaciones**

- Todas las edificaciones ubicadas dentro de la planta de tratamiento deberán tener un diseño y construcción de acuerdo con los reglamentos locales y las normas aplicables.
- Las áreas que deberán estar delimitadas según las normas correspondientes son: área de recepción de materiales y químicos, almacenamiento, de procesos, operación, mantenimiento y tránsito de operadores.
- Se deberán observar condiciones de higiene y seguridad en el diseño, construcción, operación y mantenimiento de las instalaciones de la planta.
- Se deberá poner las protecciones y dispositivos de seguridad recomendados por las normas correspondientes.
- Las instalaciones deberán contar con drenajes pluviales y de agua de servicio independientes, de acuerdo con la naturaleza de la descarga.

#### **Prevención, protección y combate de incendios**

En el área de trabajo de la planta de tratamiento se deberá contar con medidas de prevención y protección, también se deberá contar con sistemas y equipos para el combate de incendios de acuerdo al nivel de riesgo que impliquen las actividades que se realizan. Para la prevención, protección y combate contra incendios, se deberá:

- Trabajar en la elaboración de un estudio que determine el grado de riesgo de incendio y explosión, de acuerdo con las materias primas que se usan (productos y subproductos).
- Capacitarse en la naturaleza física y química del fuego.
- Contar con sistemas para la detención y extinción de incendios.
- Conocer la ubicación de los equipos contra incendios.
- Verificar el mantenimiento de las instalaciones eléctricas de la planta.
- Practicar simulacros, una vez al año.
- Organizar brigadas contra incendios, para prevención y combate.
- Contar con señalización visual y audible.

#### **Operación y mantenimiento de maquinaria y equipo**

- La maquinaria y equipo deberá contar con las condiciones de higiene y seguridad de acuerdo con las normas correspondientes.
- Todas las partes móviles de la maquinaria y equipo y su protección, así como las unidades de proceso, deberán revisarse y someterse a mantenimiento preventivo y, en su caso, al correctivo, de acuerdo con las especificaciones de cada maquinaria y equipo.
- Contar con un programa de higiene y seguridad, para la operación y mantenimiento de los equipos y dar a conocer al personal operativo de dicho equipo.
- Elaborar una bitácora con todas las reparaciones, modificaciones, condiciones de operación y mantenimiento de los equipos.



- Contar con el personal, materiales y procedimientos necesarios para la atención de emergencias en maquinaria y equipos.
- Contar con personal especializado para la operación de la maquinaria y equipos, cuya operación pueda ocasionar daños a terceras personas o a ellos mismos.

### **Instalaciones eléctricas**

- Solo el personal capacitado y autorizado podrá realizar el servicio de operación y mantenimiento de las instalaciones eléctricas.
- Las instalaciones eléctricas permanentes o provisionales en la planta de tratamiento deberán diseñarse e instalarse con dispositivos y protecciones de seguridad y se deberá señalar de acuerdo al voltaje y corriente de la carga instalada.
- Los circuitos de los tableros de distribución de energía eléctrica deberán estar señalados de acuerdo con la norma correspondiente.

### **Herramientas**

- El trabajador seleccionara las herramientas de acuerdo a las características técnicas a la actividad que desee desarrollar.
- Se debe hacer una revisión periódica de las herramientas, para verificar su correcto funcionamiento, con el fin de proporcionarles el mantenimiento apropiado.
- Sustituir aquellas herramientas que haya perdido sus características técnicas.
- Se debe proporcionar al trabajador, de acuerdo a las actividades de trabajo a realizar, cinturones porta herramientas.
- Proporcionar al trabajador bolsa o cajas para el transporte de las herramientas.
- Para la utilización de las herramientas se proporcionara a los trabajadores instrucciones por escrito. Con el fin de proporcionar indicaciones para su uso, conservación, mantenimiento, lugar de almacenamiento y transporte seguro.

### **Manejo, transporte y almacenamiento de materiales y sustancias químicas peligrosas**

- El almacenamiento y manejo en general de materiales o sustancias químicas peligrosas, debe de realizarse con condiciones adecuadas de seguridad.
- En el programa de higiene y seguridad deberán estar incluidos los requerimientos requeridos para el manejo, transporte y almacenamiento de materiales o sustancias peligrosas.
- El responsable de la planta deberá establecer las medias preventivas para el manejo, transporte y almacenamiento de materiales y sustancias peligrosas.
- Cuando se realiza de forma automática o semiautomática el manejo transporte y almacenamiento de materiales o sustancias peligrosas, los sistemas deberán cumplir con los requerimientos que indique la normatividad aplicable, (aviso de capacidad máxima de carga).
- El responsable de los materiales y sustancias químicas peligrosas sean, identificadas de acuerdo al tipo y grado de riesgo es el jefe de la planta y está obligado a comunicar a los trabajadores de las medidas de prevención.



- El encargado de elaborar y difundir las hojas con datos de seguridad es el responsable de la planta.
- El responsable de la planta deberá proporcionar a los trabajadores el equipo y vestimenta de protección personal.

### **Ruido y vibraciones**

- El jefe de la planta es el encargado y responsable de instalar los controles necesarios en las fuentes de emisión de ruidos y vibraciones, para no exceder los niveles máximos permisibles, de acuerdo con la norma aplicable.
- Si hay trabajadores expuestos a ruidos y vibraciones es responsabilidad del jefe de la planta aplicarles exámenes médicos específicos.
- Es responsabilidad del jefe de la planta adoptar medidas para la protección de la salud, de acuerdo a las normas correspondientes.

### **Agentes contaminantes biológicos**

- El jefe de la planta de tratamiento es el responsable de difundir entre los trabajadores el programa de higiene y seguridad para el uso, manejo, transporte, almacenamiento y desecho de los materiales contaminados por microorganismos, por ejemplo las aguas residuales crudas.
- El programa de higiene y seguridad deberá contener las medidas de limpieza y desinfección del equipo y de los trabajadores.
- El responsable de la planta deberá proporcionar a los trabajadores equipo de protección personal específico para el manejo de los materiales que les pueden causar infecciones u otros riesgos.

### **Equipo de protección**

- En las instalaciones de la planta donde existan índices de riesgo, que pueda afectar la salud y poner en riesgo la vida de los trabajadores y que por razones técnicas no sea posible la aplicación de medidas de prevención y control, el responsable de la planta deberá proveer a los trabajadores el equipo de protección personal, de acuerdo a la normatividad aplicable.
- En base a los recorridos establecidos se determinaran los puntos o áreas vulnerables a las que está expuesta la instalación (diagnóstico de riesgos).
- Realizar un análisis exhaustivo de las condiciones del inmueble y características de construcción. Y en base a la detección de riesgos se debe seleccionar el equipo idóneo, en las cantidades necesarias.
- El equipo debe mantenerse en condiciones óptimas.

Para la planta de tratamiento de aguas residuales de humedales artificiales se recomiendan los equipos de seguridad siguientes:

### **Sistema de alarmas:**

- Manual (silbato, campana, etc.).
- Eléctrica (sirena, lumínica).



### **Sistema para control y combate a incendios:**

- - Extintores adecuados para cada clase de fuego.

### **Servicios para el personal**

El responsable de la planta de tratamiento está obligado a establecer lo siguiente para uso de los mismos:

- Sistemas higiénicos de agua potable.
- Lavabos.
- Regaderas.
- Vestidores.
- Casilleros.
- Escusados y mingitorios dotados de agua corriente (el número de éstos se determinara de acuerdo con la cantidad de trabajadores por turno en base a la norma correspondiente).

Se deberán establecer por parte del jefe de la planta lugares higiénicos para el consumo de alimentos y la ubicación de las tomas de agua.

### **Orden y limpieza**

- Mantener con orden y limpieza permanentes las áreas de trabajo y los pasillos exteriores a los edificios estacionamientos y otras áreas del centro de trabajo.
- El responsable de la planta deberá establecer un programa para el orden y limpieza de las diferentes áreas de la planta, de los equipos, unidades e instalaciones. La limpieza se realizara por lo menos al término de cada turno de trabajo.
- Los residuos que se generen en la planta de tratamiento, deberán identificarse, clasificarse, manejarse y, en su caso, controlarse de forma que no causen afectaciones a la salud de los trabajadores y a las instalaciones.
- El responsable de la planta está obligado a capacitar al personal encargado del orden y limpieza y deberá hacer del conocimiento de los mismos los posibles riesgos a la salud.

### **Recomendaciones referentes a la seguridad e higiene**

- Capacitar a los operadores y encargados del mantenimiento, para prevenir riesgos.
- Establecer por medio de instructivos y manuales las medidas necesarias para la prevención de riesgo.
- Integrar una comisión de higiene y seguridad en el trabajo, que establezca acciones preventivas para reducir riesgos.
- Cumplir con el reglamento general de higiene y seguridad.
- Cumplir con las normas correspondientes.
- Realizar campañas de inspección y vigilancia por parte de la comisión de higiene y seguridad.



- Identificar y señalar cada una de las unidades de la planta.

La falta de capacitación, adiestramiento, exceso de confianza, incumplimiento a normas y procedimientos establecidos, son los principales factores que pueden poner en riesgo al personal e instalaciones.

Las comisiones de higiene y seguridad deberán vigilar los siguientes aspectos: la selección apropiada de del equipo de protección, que el equipo sea proporcionado siempre que se requiera, que el equipo se mantenga en condiciones óptimas de higiene y funcionamiento, que el equipo sea usado por los trabajadores adecuada y correctamente, que los trabajadores respeten los señalamientos e indicaciones.



## 8.12. Tablas de seguridad e higiene

A continuación se describen en las siguientes tablas las causas, problemas riesgos y acciones preventivas que se deben considerar en cada una de las etapas o componentes de las PTAR.

*Tabla 10.- Higiene y seguridad en la unidad de cribado*

<b>Causa / Problema</b>	<b>Riesgo</b>	<b>Acciones preventivas</b>
Derrames de grasas y aceites	-Accidentes: caídas, fracturas, lesiones -Mal aspecto	-Supervisión continua -Limpieza, orden
Partes de equipos y materiales depositados en la zona de Maniobras	-Accidentes: caídas, fracturas, lesiones -Mal aspecto	-Supervisión continua -Limpieza, orden
Basura / desperdicios / materiales removidos	-Accidentes: caídas, fracturas, lesiones -Mal aspecto -Generación de olores e insectos	-Supervisión continua -Limpieza, orden
Peines o cepillos pesados	-Dolores de espalda, acentismo	-Incorporar equipo ligero y resistente
Inclinación inadecuada de la criba	-Caídas, limpieza inapropiada, asentamiento de arenas, malos olores -Generación de olores e insectos	-Revisión continua de la estructura, supervisión continua
Disposición inadecuada de los sólidos removidos	-Mal aspecto -Posibilidad de enfermedades y accidentes	-Colocar contenedores con tapa -Disposición frecuente de los sólidos removidos
Peines o cepillos de material inapropiado	-Cortaduras, infecciones, corrosión del metal	-Seleccionar materiales apropiados (anti corrosivos y de bajo peso) -Supervisión continua
Taponamiento en las cribas / pérdida de carga	-Generación de olores e insectos -Mal aspecto -Mantenimiento mayor	-Supervisión continua -Limpieza
Desperfectos en los mecanismos (acumulación de sólidos)	-Generación de olores e insectos -Mal aspecto -Mantenimiento mayor	-Supervisión continua -Limpieza

Fuente: Manuales de CONAGUA 2019; Ocaña, Margulis, & Balcazar, 2017.



*Tabla 11.- Higiene y seguridad en la unidad de desarenación*

<b>Causa / problema</b>	<b>Riesgo</b>	<b>Acciones preventivas</b>
Acumulación de arenas en la unidad.	-Generación de olores, posibles enfermedades -Mal aspecto	-Supervisión continua -Limpieza, orden
Sedimentación de materia orgánica (falta de control de velocidad del agua).	-Generación de olores, posibles enfermedades -Mal aspecto	-Revisar procesos -Supervisión continua -Limpieza, orden
Basura, desperdicios, materiales removidos	-Accidentes: caídas, fracturas, lesiones -Mal aspecto -Generación de olores e insectos	-Supervisión continua -Limpieza, orden
Cucharones o draga pesados.	-Dolores de espalda, ausentismo	-Incorporar equipo ligero resistente
Arrastre de arenas por falta de control de la velocidad.	-Exposición a trabajadores a ambientes agresivos -Daño a equipos y unidades subsecuentes -Mayor mano de obra	-Revisar continuamente el proceso -Supervisión continua
Disposición inadecuada de los sólidos removidos.	-Generación de olores e insectos -Mal aspecto -Posibilidad de enfermedades y accidentes	-Colocar contenedores con tapa. -Disposición frecuente de las arenas removidas
Cucharones o dragas de material inapropiado.	-Cortaduras, infecciones, corrosión del metal.	-Seleccionar materiales apropiados (anticorrosivos y de bajo peso) -Supervisión continúa.

Fuente: Manuales de CONAGUA 2019; Ocaña, Margulis, & Balcazar, 2017.



*Tabla 12.- Higiene y seguridad en el cárcar o de agua cruda*

<b>Causa / problema</b>	<b>Riesgo</b>	<b>Acciones preventivas</b>
Acumulación de sólidos y arenas en la unidad.	-Generación de olores, posibles enfermedades -Mal aspecto.	-Revisar operación de unidades antecedentes. -Supervisión continua -Limpieza, orden.
Sedimentación de materia orgánica.	-Generación de olores, posibles enfermedades -Mal aspecto	Revisar operación de las bombas (definir frecuencia). -Supervisión continúa. -Limpieza y orden.
Exposición prolongada a equipo con un nivel alto de ruido.	-Sordera, ausentismo.	-Utilizar equipo de protección, reducir exposición, revisar niveles de ruido.
Conexiones provisionales.	-Electroshock, descargas eléctricas, lesiones, quemaduras y ausentismo.	Verificar que las conexiones estén perfectamente aisladas, incluyendo tapas y accesorios.
Equipo sin protección eléctrica.	-Electroshock descargas eléctricas, lesiones, quemaduras y ausencia	-Asegurar aterrizado del equipo. Desconectar equipo de fuentes de energía, aterrizar terminales de motor.
Contacto con partes giratorias.	-lesiones, fracturas, ausentismo.	Verificar paro total, colocar tarjeta de seguridad, conocimiento de los procedimientos de seguridad, retirar herramientas y partes ajenas al equipo, colocar guardias de equipos.
Partes de equipos, basura, desperdicios, materiales removidos.	-Accidentes: caídas, fracturas. -Mal aspecto. Generación de olores e insectos.	-Supervisión continúa. -Limpieza, orden.
Mantenimiento inapropiado a equipos.	-Paros de los equipos. -Mantenimiento mayor.	-Supervisión continua -Incorporar equipos y herramientas necesarias -Usar equipo de seguridad.
No seguir las normas de seguridad e higiene en el trabajo.	-Posibilidad de enfermedades y accidentes, ausentismo.	-Capacitar al personal de mantenimiento -Supervisión continúa.

Fuente: (Ocaña, Margulis, & BALCAZAR, 2017)



**Tabla 13.- Higiene y seguridad en los sistemas d humedales artificiales**

<b>Causa / problema</b>	<b>Riesgo</b>	<b>Acciones preventivas</b>
Accesos inapropiados a las unidades.	-Accidentes: caídas, fracturas, lesiones. -Ausentismo laboral	-colocar escaleras de fácil acceso y seguras. -Supervisión continúa.
Inexistencia de equipo de seguridad.	-Accidentes: caídas, fracturas, lesiones. -Ausentismo laboral.	-Incorporar equipo de seguridad. -Supervisión continúa en el uso del equipo.
Basura, partes de equipos y materiales.	-Accidentes: caídas, fracturas, lesiones. -Mal aspecto.	-supervisión continua -Limpieza, orden.
Rupturas del zampado	-Generación de olores. -Operación deficiente. -Posibilidad de enfermedades.	-Revisar prácticas de operación. -Supervisión continúa. -Disposición frecuente de los lodos sedimentados.

Fuente: Manuales de CONAGUA 2019;Ocaña, Margulis, & Balcazar, 2017.

**Tabla 14.- Higiene y seguridad en la subestación eléctrica**

<b>Causa / problema</b>	<b>Riesgo</b>	<b>Acciones preventivas</b>
Derrames de grasas y aceites.	-Accidentes: caídas, fracturas, lesiones. -Mal aspecto.	-Supervisión continúa. -Limpieza, orden.
Equipo inadecuado, defectuoso.	-Electroshock, descarga eléctrica.	-Supervisión continúa de equipos y herramientas de seguridad.
Desperfectos en los mecanismos de seguridad.	-Electroshock, descarga eléctrica.	-Supervisión continúa de los dispositivos.
Partes de equipos y materiales colocados en la zona de maniobra.	-Accidentes: caídas, fracturas, lesiones. -Mal aspecto.	-Supervisión continúa. -Limpieza, orden.

Fuente: (Ocaña, Margulis, & BALCAZAR, 2017)

**Tabla 15.- Higiene y seguridad en el laboratorio**

<b>Causa / problema</b>	<b>Riesgo</b>	<b>Acciones preventivas</b>
Derrames de agua, reactivos, grasas y aceites.	-Accidentes: caídas, fracturas, lesiones, quemaduras. -Mal aspecto.	-Supervisión continúa. -Limpieza, orden.
Material y cristalería depositados en la zona de maniobras.	-Accidentes: caídas, fracturas, lesiones. -Mal aspecto.	-Supervisión continúa. -Limpieza, orden.
Basura, desperdicios, materiales.	-Accidentes: caídas, fracturas, lesiones. -Mal aspecto. -Generación de olores e insectos.	-Supervisión continúa. -Limpieza, orden.
Levantamiento de equipos pesados.	-Posibilidad de lesiones, ausentismo.	-Utilizar equipo auxiliar o personal de apoyo.

Fuente: Manuales de CONAGUA 2019;Ocaña, Margulis, & Balcazar, 2017.



## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente manual se concluye con la finalidad de facilitar la operación y mantenimiento preventivo y correctivo, así como los cumplimientos normativos ante los organismos reguladores. La planta piloto y la PTAR de Humedales Artificiales cumplen con criterios de diseño y construcción nacionales e internacionales, está diseñada para tratar efluentes secundarios en relación con los gastos y tiempo de retención hidráulica, por módulo de tratamiento, por tren y en general de todo el proceso.

Las PTAR's han presentado un mantenimiento adecuado y son aptos para el tratamiento de aguas residuales, ya que sus eficiencias cumple con la normatividad ambiental vigente (NOM-001-semarnat-1996), aunque debe verificarse si cambiará o se modificará el proceso debido a la modificación de NOM-001-SEMARNAT-2021 que cambió los parámetros de control de DBO a DQO entre otros.

La vegetación utilizada es nativa de la región lo cual le da un potencial alto y bajos costos de operación, ya que disminuye los costos de traslado y compra de las misma especies pues estas se encuentran en los humedales naturales presentes en la DACBIOL.

Aunque este manual está hecho con recomendaciones generales, será necesario realizar procedimientos y protocolos específicos para: Salidas a campo, manejo de residuos especiales (Biomasa vegetal y lodos), procedimientos de protección civil, programa de prevención de accidentes, plan de contingencias ambientales, entre otros.

Este manual debe ser actualizado anualmente y conforme vayan cambiando los procesos o tipos de vegetación ya que cada especie requiere un manejo específico.



## 10. REFERENCIAS

- Albert, W. (29 de Marzo de 2019). Depurarán aguas negras con humedales artificiales para reutilizarlas. Diario Presente.
- Arteaga-Cortez, V. M. (2017). Una revisión actual a los mecanismos que realizan los humedales artificiales para la remoción de nitrógeno y fósforo. SciELO.
- Bastis Consultores. (2020). Técnicas de recolección de datos para realizar un trabajo de investigación. Online-Tesis.
- Carlos, T., & Yohan, R. (2015). La recopilación documental como técnica de investigación. Blogger.
- CONAGUA. (2016). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. CONAGUA.
- CONAGUA. (2018). Humedales para nuestro futuro. CONAGUA.
- CONAGUA. (2019). Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. CONAGUA.
- CONAGUA. (2019). México: Humedales artificiales para sanear el agua. CONAGUA.
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). Small and Decentralized Wastewater Management Systems. New York: McGraw Hill Co.
- Domos. (18 de enero de 2019). Domos agua. Obtenido de domos agua: <https://www.domosagua.com/blog/humedales-artificiales-tratamiento-aguas-residuales>
- Estrada, I. S., O, E., Gutiérrez, C., Villanueva, S. V., & Caspeta, J. G. (2018). Operación y mantenimiento básico de un humedal. Michoacán.
- Federación, D. O. (1996). NOM-001-SEMARNAT. Diario Oficial De la Federación.
- Flores, C. A., Pinedo, Y. G., Orellana, G. M., Luna, C. M., Ocas, B. P., Gilio, K. P., & Mejía, K. R. (2016). Conceptos generales del mantenimiento preventivo y la disponibilidad. Ingeniería Industrial.
- Fernández, L. F. (2017). Historia de los humedales artificiales para depuración de aguas. iagua. Recuperad de: <https://www.iagua.es/blogs/luis-felipe-fernandez-fernandez/historia-humedales-artificiales-depuracion-aguas-0>
- García, M. E., & López, J. A. (2015). Aguas Residuales. CIDTA.
- García, M. E., & López, J. A. (2017). Aguas Residuales Composición. CIDTA.
- Jocelyn, Guerra, T., S, J., Vargas, M., R, R., Aguirre, P., Huaranga, C. (2015). Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante Humedales Artificiales de flujo libre superficial (FLS) con las especies Cyperus Papyrus y Phragmites Australis, en Carapongo Lurigancho. Universidad Peruana Unión.
- Laterra, P. B. (2018). Indicators of nutrient removal efficiency for riverine wetlands in agricultural landscapes of Argentine Pampas. SciELO.
- López-Ocaña, G., Méndez-Angulo, S., Padrón-López, R. M., Torres-Balcázar, C. A., & Margulis, R. B. (2014a). Evaluación y optimización de un sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas con tecnología fisicoquímica y filtración con zeolitas. Villahermosa, Tabasco, Mexico: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.



- López Ocaña, G., C.A, T. B., Bautista-Margulis, R. G., Hernández Barajas, J. R., Vidal, J. J., & Ferrer-Sánchez, E. d.-L. (2014b). Diseño de sistemas experimentales de humedales artificiales de flujo libre y subsuperficial. Villahermosa, Tabasco, México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Obtenido de <http://www.archivos.ujat.mx/2014/divulgacion%20cientifica/SDDC2013final.pdf>
- López O. G., Margulis, R. G., & Balcazar, C. A. (2017). Manual de diseño, operación y mantenimiento de las lagunas de estabilización. Tecnología del agua.
- López-Ocaña, G., Bautista-Margulis, R. G., Ramos-Herrera, S., Torres-Balcazar, C. A., López-Vidal, R., & Pampillón-González, L. (2019). Modelo de la distribución espacial de los humedales artificiales en serie de la DACBIOL-UJAT. Villahermosa, Tabasco, México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Hernández Almeida, M. F. Lopez Ocaña, G., Estrada Pérez, N., & (2021). Tratamiento de agua residual domestica de una institución educativa vía humedales artificiales. Villahermosa, Tabasco, México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- López-Ocaña, G., Bautista-Margulis, R. G., Ramos-Herrera, S., Torres-Balcazar, C. A., López-Vidal, R., & Pampillón-González, L. (2021). Modelo de la distribución espacial de los humedales artificiales en serie de la DACBIOL-UJAT. Villahermosa, Tabasco, México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Martínez, A. J., & Ramos, A. Z. (2021). Modelo de la distribución espacial de los humedales artificiales en serie de la DACBIOL-UJAT. Villahermosa, Tabasco, México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Morató, J., & Carneiro, A. P. (2017). Manual de tecnologías sostenibles en tratamiento. TECSPAR.
- Moreno, J. L. (2019). Conoce el método de observación directa. Diario.
- Pabello, V. M., & Aburto-Castañeda, S. (2015). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas.
- Paredes, M. G., Güereca, L. P., Molina, L. T., & Noyola, A. (2015). Methane emissions from stabilization ponds for municipal wastewater treatment in Mexico. Taylor y Francis Online.
- Ramsar. (2016). Introducción a la convención sobre los humedales. Ramsar.
- Remtavares. (2013). Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales. Madrid.
- Report, W. W. (2021). Nuevas tecnologías en aguas residuales. Iagua.
- Rodríguez, Y. L. (2015). Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas Físicoquímica de la DACBIOL. Villahermosa Tabasco: UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO.
- Salas, J. J. (2021). Introducción a los Humedales Artificiales como tratamiento de las aguas residuales. Iagua.
- Sánchez, C. L. E. (2020). Cinética de remoción de contaminantes básicos en humedales artificiales de flujo libre y subsuperficial con vegetación Cladium jamaicense. UJAT.
- Sánchez, G. B., & Casillas, I. G. (2014). Aforo del agua en canales y tuberías. San Cristóbal libros.



**Universidad Juárez Autónoma de Tabasco**  
*“Estudio en la Duda, Acción en la Fé”*  
**División Académica de Ciencias Biológicas**  
Ingeniería Ambiental



- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (1996). Nom-001-SEMARNAT-1996. MEXICO: Diario Oficial de la Federación. Obtenido de <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3290/1/nom-001-semarnat-1996.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. SEMARNAT. (2018). Informe de la situación del medio ambiente en México. SEMARNAT.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. SEMARNAT. (2018). Informe de la situación del medio ambiente en México. SEMARNAT.
- Vidales Olivo, A., Leos Magallanes, M. Y., & Campos Sandoval, M. G. (2015). Extracción de Grasas y Aceites en los Efluentes. Conciencia Tecnológica.
- Silván, R. S., Ocaña, G. L., & Margulís, R. G. (2017). Evaluación de humedales artificiales de flujo libre y subsuperficial en la remoción de contaminantes de aguas residuales utilizando diferentes especies de vegetación macrófita. Interciencia.



## Anexo 1. Glosario

**Agua cruda:** Agua residual que no ha recibido ningún tratamiento.

**Aguas residuales:** Agua usada y desechada por la comunidad o por la industria, y que posee materia disuelta y en suspensión.

**Ambiente:** Generalmente se refiere a las condiciones dinámicas de la vida que prevalecen en cierta área de estudio.

**Carga orgánica:** Contenido de DBO, expresado generalmente como kilos de DBO por unidad de tiempo, de las aguas que pasan por un sistema de tratamiento o un cuerpo de agua.

**Cloro residual:** Este término se refiere al cloro presente en el agua cuando ha sido adicionado durante el proceso de cloración.

**Concentración:** Cantidad de una sustancia disuelta en una unidad de volumen, o aplicada a una unidad de peso de sólidos, normalmente expresada en miligramos por litro.

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** Es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días.

**Demanda química de oxígeno (DQO):** La cantidad de materia orgánica e inorgánica en un cuerpo de agua susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte. El método que involucra el uso del dicromato es preferible sobre procedimientos que utilizan otros oxidantes debido a su mayor potencial redox y su aplicabilidad a una gran variedad de muestras.

**Desechos tóxicos:** Desechos que pueden causar una respuesta adversa cuando entran en contacto con entidades biológicas.

**Eficiencia:** Resultados de cualquier operación en relación a la energía y esfuerzo realizado para alcanzar tales resultados. Es la relación con la cantidad total (normalmente de contaminantes) que sale del sistema y la cantidad total que entra, expresada en porcentaje.

**Efluente:** Líquido que fluye fuera de un proceso espacio confinado.

**Exceso de lodos:** Lodos removidos del sistema de lodos activados para evitar el crecimiento excesivo de la masa biológica.

**Microorganismos:** Pequeños organismos normalmente microscópicos, como algas, bacterias, hongos, protozoarios, y virus.



**Nutrientes:** Cualquier sustancia que sea asimilada por los organismos y promueva su crecimiento, generalmente aplicado a fósforo y nitrógeno, aunque también existen otros elementos esenciales y elementos traza.

**pH:** Representa la acidez o alcalinidad de las aguas. La escala de medición por lo general es de 0-14.

**Oxígeno disuelto (OD):** Es el oxígeno disuelto de las aguas naturales, aguas residuales u otro líquido, usualmente se expresa en mg/l.

**Proceso biológico:** Proceso mediante el cual las actividades metabólicas de las bacterias y otros microorganismos desdoblán la materia orgánica compleja en sustancias más simples y estables.

**Sólidos disueltos:** Sustancias orgánicas e inorgánicas solubles en agua.

**Sólidos sedimentables:** Materia en las aguas residuales que no puede permanecer en suspensión durante cierto periodo de tiempo.

**Sólidos suspendidos totales (SST):** Sólidos constituidos por sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos coloidales, cuyo tamaño de partícula no pase el filtro estándar de fibra de vidrio (método estándar).

**Tiempo de retención hidráulico:** Es el tiempo en que el flujo de las aguas es retenido en un tanque para almacenamiento, para llevar a cabo procesos biológicos, físicos o químicos. También se conoce como tiempo de contacto.

**Toxicidad:** Efecto adverso que tiene una sustancia en cierta concentración sobre un organismo vivo.



## Anexo 2. Formatos de operación

### 1. Plan de muestreo

Oficio:	
Acta de Visita No.:	
Responsable:	

#### Plan de Muestreo

##### Objetivos

##### Antecedentes

##### Tipo de muestreo





**Plan de seguridad**



## 2. Lista de Verificación de Materiales, Reactivos y Equipo para el Muestreo

Material, reactivo y equipo	Cantidad	Verificado	Empacado
Frasco de vidrio con EDTA y tiosulfato de sodio estéril			
Bolsas whirl-park esterilés con tiosulfato de sodio			
Frasco de plástico de 8 litros			
Frasco de vidrio de boca ancha de 1.5 litros			
Frasco de plástico de boca ancha de 5 litros			
Frasco de plástico de 3 litros			
Frasco de plástico de 2 litros			
Frasco de plástico de 1 litro			
Vaso de precipitado de plástico de 500 ml			
Probeta calibrada de 1 litro			
Probeta calibrada de 10 ml			
Pizeta con agua destilada o desionizada			
Garrafón con agua destilada o desionizada			
Garrafón con agua de la llave			
Embudos			
Pipetas pasteur de plástico			
Hieleras			
Cubetas			
Frasco con ácido clorhídrico concentrado			
Frasco con ácido nítrico concentrado			
Frasco con ácido sulfúrico concentrado			
Frasco con hidróxido de sodio 12 n			
Solucion buffer pH 4, pH 7 y pH 10 (vigente)			
Papel pH (0 a 10)			
Jabon antibacteriano			
Hielo			
Refrigerantes			
Termómetro calibrado con certificado de -1 a 101°C			
Termómetro calibrado con certificado de -35 a 50°C			
Termómetro calibrado con certificado de -5 a 10°C			
Potenciómetro			
Sonda multiparametros			
Molinete			
Medidor ultrasónico			
Flexómetro			
Vertedores portátiles			
Detector de gases o explosimetro			
Geoposicionador			
Muestreadores			
Botella van dorn			
Cronometro			
Etiquetas adhesivas para muestras			



**Universidad Juárez Autónoma de Tabasco**  
*“Estudio en la Duda, Acción en la Fé”*  
**División Académica de Ciencias Biológicas**  
Ingeniería Ambiental



- Etiquetas adhesivas para sellar los frascos
- Masking tape
- Marcadores indelebles
- Plumas
- Calculadora
- Cuerdas de nylon
- Cordel
- Toallas de papel absorbente
- Overol o bata
- Guantes de latex
- Guantes desechables
- Cubrebocas
- Mascarilla para gases
- Botas de hule
- Arnes
- Polea o malacate
- Manual de muestreo
- Manuales de los equipos
- Formatos de registro de campo
- Formato de cadena de custodia de campo
- Formato de cadena de custodia de entrega y recepción
- Bitacora de campo personal
- Bitacora de equipo
- Tabla de campo
- Credencial de identificación
- Botiquin de primeros auxilios
- Otros:





**Universidad Juárez Autónoma de Tabasco**  
*“Estudio en la Duda, Acción en la Fé”*  
**División Académica de Ciencias Biológicas**  
 Ingeniería Ambiental



Formato de resultados de análisis

Resultados de Laboratorio.				
Datos del Cliente		Datos del reporte		Reporte de Laboratorio
Razón Social:		Fecha y hora de recepción		1
Dirección:		No. de muestras		<b>Muestreado por</b>
Teléfono:		Preservación		
R.F.C.:		Fecha de determinación		<b>Matriz</b>
e-mail:		Laboratorio		
<b>Nombre del Proyecto:</b>				<b>Identificación de la muestra</b>

Parámetro	Método	Fecha matutina			Fecha vespertina			LMP		Referencias
		Cárcamo	Desc. final	E.R.(%)	Cárcamo	Desc. final	E.R.(%)	P. M.	P. D.	
pH	SM 9040 B							5-10	5-10	NOM-001-SEMARNAT-1996
Temperatura (°C)	SM 2550							40 °C	40 °C	NOM-001-SEMARNAT-1996
CE (uS/cm)	SM 2510 B							1011	1011	CE-CCA-001/89
SDT (ppm)	SM 2540							6	6	CE-CCA-001/89
Color aparente (UC)	APHA 2120							10	10	LFDDAMAN, LCA, 2019.
Turbiedad (UNT)	SM 2130 B							15	15	LFDDAMAN, LCA, 2019.
OD (mg/L)	SM 4500-OG							6	6	CE-CCA-001/89
DQO (mg/L)	USEPA 410.4							100	120	PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017
DBO (mg/L)	SM 4500-OG							75	150	NOM-001-SEMARNAT-1996
NT (mg/L)	NMX-AA-026							40	60	NOM-001-SEMARNAT-1996
PT (mg/L)	NMX-AA-029							20	30	NOM-001-SEMARNAT-1996
SST (mg/L)	NMX-AA-034							75	125	NOM-001-SEMARNAT-1996
G y A (mg/L)	NMX-AA-005							15	25	NOM-001-SEMARNAT-1996
SS (ml/L)	NMX-AA-034							1	2	NOM-001-SEMARNAT-1996
Col. T. (NMP/100)	NMX-AA-042									NOM-001-SEMARNAT-1996
Col. F. (NMP/100)	NMX-AA-042							1000	2000	NOM-001-SEMARNAT-1996
Aluminio (mg/L)	SM 3500-Al							0.05	0.05	LFDDAMAN, LCA, 2019.
Bromo (mg/L)	SM 8016							50	-	LFDDAMAN, LCA, 2019.
Cobre (mg/L)	SM 3500-Cu							4	6	NOM-001-SEMARNAT-1996
Cromo VI (µg/L)	ASTM D1687-92							1,000	1,000	NOM-001-SEMARNAT-1996
Hierro (mg/L)	EPA 315B							1.0	1.0	LFDDAMAN, LCA, 2019.
Manganeso (mg/L)	SM 3500-Mn							-	-	LFDDAMAN, LCA, 2019.
Níquel (mg/L)	Fotométrico							2	4	NOM-001-SEMARNAT-1996
Zinc (mg/L)	SM 3500-Zn							10	20	NOM-001-SEMARNAT-1996

Los resultados de las pruebas reportadas fueron realizados por los métodos y procedimientos aquí asentados y sólo afectan a la muestra sometida a prueba.

Observaciones de recepción de la muestra y analíticas: Ninguna

**Dr. Gaspar López Ocaña**  
Responsable del estudio de calidad del agua

**Ing. Nancy Estrada Pérez**  
Analista que realizó las pruebas



### Anexo 3. Memoria fotográfica



Muestreo y colecta de *Pontederia cordata*,  
Municipio de Nacajuca Tabasco.



Muestreo y colecta de *Thalia geniculata*.  
Municipio de Nacajuca Tabasco



Trasporte de vegetación macrófita a la  
PTAR DACBiol-Ujat.



Levantamiento de características  
morfométricas de *Pontederia cordata*.



Pesado de raíces de *Pontederia cordata*



Siembra y acomodo de plantas dentro de los humedales.



Retiro de plantas y material que cumplió su ciclo dentro de los humedales.



Mantenimiento en el medio de soporte para la siembra de especímenes.



Mantenimiento en el medio de soporte para la siembra de especímenes.



Retiro de hojarasca y plantas muestras dentro del humedal.



Retiro de hojarasca y plantas muestras dentro del humedal.



Pesado de hojarasca y plantas muertas dentro de los humedales.



Levantamiento de variables mortométricas en la especie *Sagittaria lancifolia*.



Levantamiento de variables morfométricas en la especie *Sagittaria lancifolia*.



- Limpieza de las canaletas y puntos de muestreo interno.



Levantamiento de variables morfométricas en la especie *Pontederia cordata*.



Levantamiento de variables morfométricas en la especie *Pontederia cordata*.



Levantamiento de variables morfométricas en la especie *Thalia geniculata*.



Levantamiento de variables morfométricas en la especie *Thalia geniculata*.



Toma de muestra proveniente de cárcamo concentrador DACBIOL.



Aforo en el registro de entrada del tren de tratamiento 1.



Aforo en el registro de entrada del tren de tratamiento 2.



Muestreo de aguas residuales en influentes y efluentes.



Muestreo de puntos internos para modelado de distribución espacial.



Determinación de sólidos sedimentables en las muestras de aguas residuales.



Determinación de la demanda química de oxígeno en las muestras de aguas residuales.



Determinación de parámetros fisicoquímicos de calidad del agua residual.



Determinación de Color.



Determinación de turbiedad y oxígeno disuelto en las aguas residuales