

**Uso de sistemas combinados mediante humedales de
tratamiento y lagunas de estabilización, tanto en zonas
rurales, como en ciudades medianas.**

Proyecto TC 1904.1.

Informe FINAL

Diciembre de 2018

PARTICIPANTES:

Dr. Armando Rivas Hernández. Tecnólogo del Agua “A” Titular. Responsable del proyecto. Coordinación de Tratamiento y calidad del Agua.

César Guillermo Calderón Mólgora. Subcoordinador de Tratamiento de Aguas residuales. Coordinación de Tratamiento y calidad del Agua.

Dr. Juan Gabriel García Maldonado. Tecnólogo del Agua “A” Titular. Subcoordinación de Experimentación Física e Innovación Tecnológica. Coordinación de Hidráulica.

Dra. Liliana García Sánchez. Tecnólogo del Agua “A” Titular. Subcoordinación de Experimentación Física e Innovación Tecnológica. Coordinación de Hidráulica.

Objetivo

Implementar sistemas de tratamiento mediante sistemas híbridos conformados por humedales y lagunas de maduración, diseñados para el cumplimiento de la normativa para diferentes tipos de reúso o de descarga a cuerpos receptores, que sean factibles de utilizarse ya sea en zonas rurales o en ciudades pequeñas y medianas.

Justificación del proyecto:

En México, un alto porcentaje de sistemas electromecánicos para el tratamiento del agua residual están fuera de operación básicamente por falta de recursos económicos y de capacitación para su operación. Los humedales de tratamiento, conjuntamente con las lagunas de maduración representan una alternativa viable, con bajos costos de operación, sencillos de operar y que permiten depurar el agua hasta los niveles requeridos en las normas mexicanas para diversos tipos de reúso, lo que permite liberar volúmenes de primer uso y genera beneficios al ambiente y a la salud. Por no requerir energía eléctrica para su operación son factibles de utilizarse en zonas que no cuentan con este servicio. Además, aplican para ser utilizados desde nivel familiar, hasta para medianas ciudades. Son estéticos y se constituyen en áreas para la protección de la vida silvestre.

Los humedales de tratamiento y las lagunas de estabilización, como sistemas únicos de tratamiento, difícilmente logran tratar el agua residual hasta el cumplimiento de la normativa; sin embargo, al combinar ambas tecnologías es factible generar agua tratada hasta los niveles requeridos en las normas mexicanas para diversos tipos de reúso, lo que permite liberar volúmenes de primer uso. con bajos costos de operación.

Estos sistemas son sencillos de operar, por no requerir energía eléctrica para su operación son más económicos de operar y son factibles de utilizarse en zonas que no cuentan con este servicio. Además, aplican para ser utilizados desde nivel familiar, hasta para medianas ciudades, son estéticos y se constituyen en áreas para la protección de la vida silvestre.

Las ecuaciones de diseño existentes generan áreas que varían entre 3 y 10 m²/habitante, por lo que se requiere realizar investigaciones que permitan obtener modelos de dimensionamiento más reales, con los que se optimicen eficiencias de remoción de contaminantes, disminuyan los requerimientos de área, aumenten la disponibilidad de terreno y disminuyan los costos de construcción.

Cabe señalar que el alcance de este proyecto consiste en dimensionar, diseñar e instalar un sistema de tratamiento mediante un tren de tratamiento integrado por un primer humedal de flujo subsuperficial, una laguna de maduración y un segundo humedal de flujo subsuperficial.

Ambos humedales tienen una profundidad de 0.6 m, usan tezontle como medio filtrante (y como sustrato para las especies vegetales), fueron sembrados con papiro (*Cyperus papyrus*). El caudal de diseño es de 3.5 m³/d. Se contempla tratar parte del agua residual proveniente de las instalaciones del

Actividades realizadas.

Se seleccionó el sitio para la implementación del sistema híbrido.

Se caracterizó la descarga de agua residuales provenientes de las instalaciones del CENAPA-INIFAP.

Se generaron los planos (arreglo general en planta y perfil).

Se gestionó el proceso de invitación a cuando menos tres personas.

Se dimensionó y construyó un sistema híbrido mediante humedales y lagunas de maduración.

Se inició la operación del sistema.

Entregables del proyecto:

- Un sistema de tratamiento híbrido, con humedales y lagunas, a escala experimental.
- Informe final.

Resultados

Ubicación del sitio

El sitio seleccionado se ubica junto a la Subcoordinación de Conservación de Cuencas y Servicios Ambientales, Como se muestra en la figura 1 y foto 1.



Figura 1. Ubicación del la PTAR.

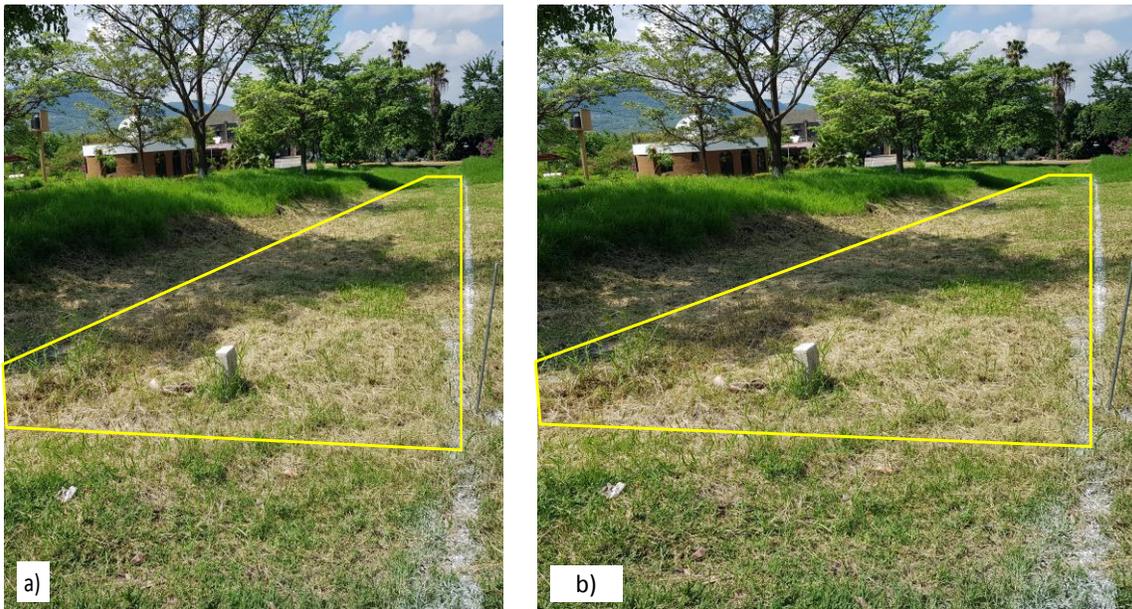


Foto 1. Ubicación del terreno. a) Vista de norte a sur. B) Vista de sur a norte.

Caracterización de la descarga.

Entre el 3 y 4 de septiembre de 2019 se realizó una campaña de muestreo de la descarga del agua residual proveniente de las instalaciones del CENAPA-INIFAP.

Los resultados se muestran en la tabla 1.

No.	Punto de muestreo	DBO ₅ , mg/L	DQO, mg/L	SST, mg/L	NT, mg/L	PT, mg/L	G y A, mg/L	Ssed, mg/L	CF NMP/1 00mL	CT NMP/100 mL	H. H., No. de H/L
1	Agua Residual M1	-	-	-	-	-	9.79	-	70	210,000	-
2	Agua Residual M2	-	-	-	-	-	27.8	-	90	4,300	0
3	Agua Residual M3	-	-	-	-	-	18.5	-	30	4,300	-
4	Agua Residual M4 MC	130	482	97.5	160	16.89	31.1	0.4	430	930	-

Se observa que el valor de DBO corresponde a una baja concentración (130 mg/L) y en contraste la concentración de NT es bastante alta (160 mg/L), la población microbiana presenta valores bajos (430 CF NMP 100/ml y 930 CT). Cabe señalar que se habían presentado lluvias ligeras previas a la campaña de muestreo, lo que pudiera estar afectando los resultados de los parámetros afectados.

Diseño de la PTAR

La PTAR, consistente de la combinación de humedales y una laguna de maduración, se dimensionó con base en el terreno (topografía y morfología) y presupuesto, disponibles, de tal modo que no se realizó una memoria de cálculo.

Con base en estos criterios se elaboraron los planos correspondientes: figura 2 Vista en planta y Figura 3 Vista en perfil).

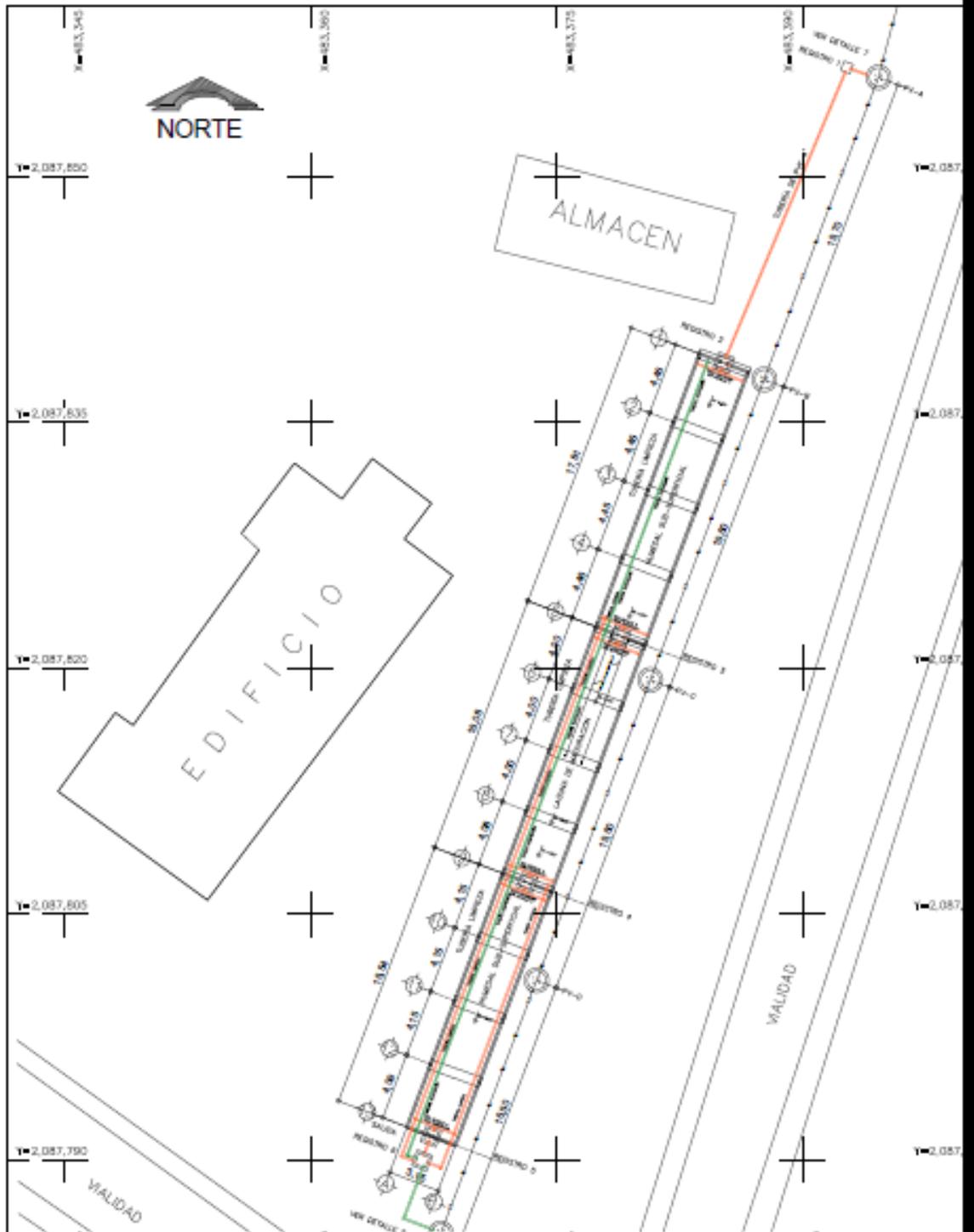
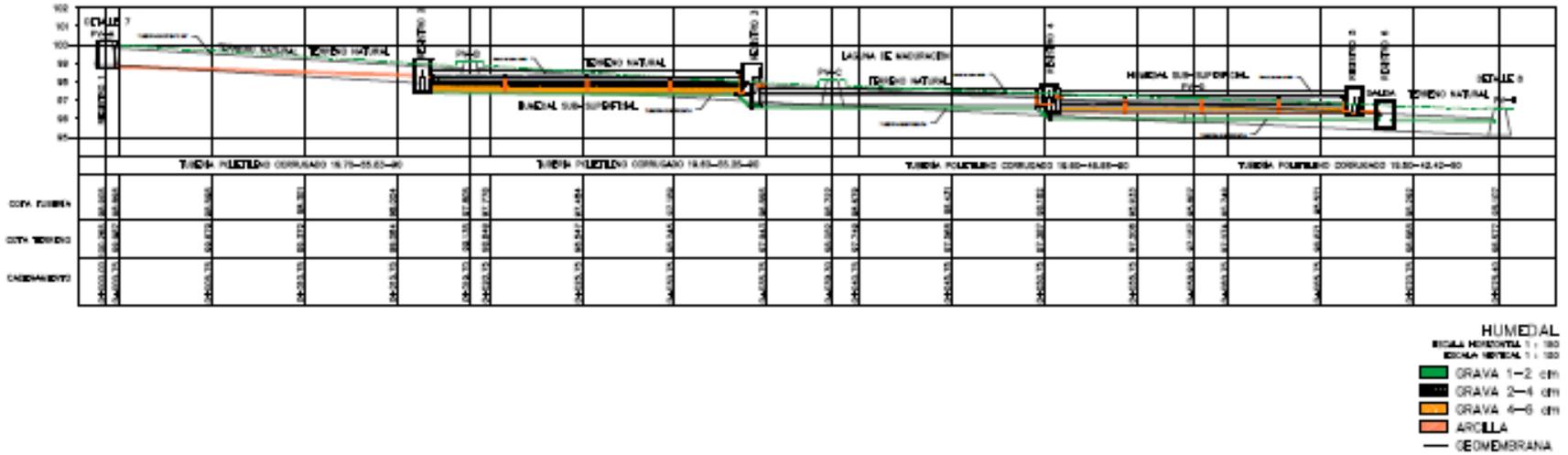


Figura 2. Vista en planta del sistema de tratamiento de aguas residuales.

1
2
3



4
5
6
7

Figura 3 Perfil del sistema de tratamiento de aguas residuales.

Construcción de la PTAR.

El proceso constructivo consiste de las siguientes etapas:

A. Instalación de bordos, conformados por muros, para formar las celdas de los humedales y de la laguna de estabilización.

- Deshierbe y excavaciones.
- Construcción de zapatas, cadenas y trabes
- Afine del fondo

B. Instalación de geomembrana.

C. Instalación hidráulica

D. Instalación de cajas (recolección, paso y vaciado) del humedal

E. Colocación de medio filtrante

F. Siembra de especies.

G Inicio de la operación.

A continuación se describen las etapas mediante el apoyo de imágenes:

A. Instalación de bordos, conformados por muros, para formar las celdas de los humedales y de la laguna de estabilización.

Para la instalación de bordos, muros y celdas de humedales incluyendo la laguna se hicieron los trabajos de trazo y nivelación, poda y desyerbe, excavación en material tipo II y III a diferentes profundidades, así como la carga y acarreo del material producto de la excavación, además de incluir las zapatas, castillos, trabes y fondo celda en humedales y laguna para recibir la impermeabilización.

Excavaciones

En este apartado se incluyen las actividades de poda y desyerbe, trazo y nivelación (clave 301-pre-01-001) y la excavación en materiales tipo II y III, (clave 302-CIM-01-004 y 302-CIM-01-005) en la imagen A2 se muestra el despalme del terreno natural en el cual se hace el desyerbe (clave 301-PRE-02-001) de la capa vegetal y se inicia la excavación de material tipo II como se muestra en la imagen A1 hasta descubrir el suelo tipo III indicado en la imagen A3, realizado el trazo y nivelación se define que el material rocoso impide el desplante de la cimentación por lo que procede a excavar en material tipo III por medios mecánicos.



(A1) Excavación suelo tipo II



(A2) Despalle de capa vegetal



(A3) Excavación suelo tipo III



(A4) Excavación suelo tipo III

Construcción de zapatas

Conceptos atacados en esta sección:

Clave	Concepto	Fotografía
330-APO-02-015	Plantilla de concreto de .08 m de espesor	A7
ZAP	Zapata corrida, .60x.20m de concreto hecho en obra	A6
CA15154	Castillo .20x.15 de concreto hecho en obra	A5
304-ALB-03-056	Cadena de desplante .150.15 de concreto hecho en obra	A8
CADLIGA	Cadena de liga.15x.30	A9-11

Concluidas la excavación en material tipo II y III

 <p>(A5) Castillo de concreto armado de .15x.15</p>	 <p>(A6) Zapata corrida de .60x.20</p>
--	--



(A7) Plantilla de concreto.



(A8) Cadena de desplante y elementos de cimentación.

Construcción de traves



(A9) Armado cadena de liga.



(A10) Colado y cimbrado cadena de liga.



(A11) Descimbrado cadena de liga.

Una actividad omitida en catálogo, pero necesaria para la construcción del humedal es el afine del fondo de cada elemento con material de banco como arenilla. Se conformó el fondo con arenilla en una capa de 20 cm apisonada con pisón manual en capas de 10 cm agregando agua para compactar el material.



(A12) Riego con agua para compactación de material.



(A13) Distribución de material a fondo de estructura.



(A14) Afine de fondo y apisonado.



(A15) Afine de fondo y apisonado.

B) Instalación de la geomembrana

Concluidas las actividades previas con el afine del fondo respetando la pendiente indicada en proyecto se realiza a instalación de la geomembrana se hizo con pistola de calor, soldadora térmica, fijado a las traveses con solera de aluminio.

Clave	Concepto	Fotografía
GEOMEMBRANA	Instalación de geomembrana	B1-4



(B1) Instalación de geomembrana.



(B2) Instalación de la geomembrana en el humedal de pulimento.



(B3) Instalación de geomembrana humedal 1.

C) Instalación hidráulica

La instalación de tuberías se hizo conforme el catálogo de conceptos y lo que indicaba los planos, con tuberías de pvc hidráulico RD26 para las tuberías subterráneas, en el caso de la tubería de supresión de agua con ranuras a los costados para la captación del drenaje subterráneo del humedal, envuelto en malla para evitar el taponamiento con sólidos, cada tubería se colocó con la pendiente necesaria para el flujo del líquido, además se colocaron las tuberías de limpieza para el humedal y para la laguna de maduración, además de las conexiones entre el primer pozo de visita al registro 1 y del registro 5 al pozo de visita.

Clave	Concepto	Fotografía
TUBO1	Colocación de tubería de 4" distribución	C1
TUBO2	Colocación de tubería de 4" captación	C2
TUVER	Colocación de tubo vertical para muestreo	C3
TUB	Tubería de PVC 4" hidráulico para limpieza	C4
TUBSUP	Tubería de supresión 4"	C4



(C1) Colocación tubería de distribución.



(C2) Colocación tubería de captación.



(C3) Colocación de tubo vertical para muestreo.



(C4) Tubería de limpieza humedal.

D) Instalación de cajas de vaciado del humedal

Se definen como cajas de vaciado a los registros que se construyeron entre cada sección del humedal, laguna, humedal. A continuación se muestran fotografías de la construcción de los registros.

Clave	Concepto	Fotografía
304-ALB-07-002	Registro 2 y 3	D2
304-ALB-07-003	Registro 4 y 5	D1
REGISTRO1	Registro 1	D1
REGISTRO2	Registro 6	D3



(D1) Construcción de registros 3,4 y 5.



(D2) Construcción de registros 3 y 4.



(D3) Construcción registro 5 y 6.



(D4) Construcción de registro 1.



(D5) Instalación de válvula en registro 1.



(D6) Registro 2 con cabezal de PVC con ranuras.



(D7) Vertedor triangular con lámina de acero inoxidable instalado en registro 2.



Construcción de registro 3, con cabezal de PVC ranurado.



Vertedor triangular con lámina de acero y manguera flexible para controlar altura del agua residual.



Cabezal de tubería de pvc en registro 4.



Vertedor triangular con lámina de acero inoxidable en registro 4.



Construcción de registro 6, con marco y contramarco metálico.



Vertedor triangular a base de lámina de acero inoxidable.

E) Colocación de medio filtrante

Para la colocación del medio filtrante se siguieron las especificaciones señaladas en proyecto, primeramente se colocó una capa de arcilla con un espesor de 10.0 cm, seguida de una capa de tezontle negro con una granulometría de entre 4 a 6 cm con un espesor de 25.0 cm, inmediatamente después se colocó una capa de 25.0 cm de tezontle con una granulometría de 2 a 4 cm y en la última capa superior se colocó tezontle negro con una granulometría de 1 a 2 cm, a continuación fotografías de los trabajos ejecutados, además se colocaron tubos de muestreo dentro del humedal.

Clave	Concepto	Fotografía
304-ALB-10-122	Relleno con arcilla .10 m	E1, E2
302-CIM-01-522	Relleno con grava controlada .25 m	E3
302-cim-01-523	Relleno con grava controlada .10 m	E4
CONEXION	Conexión a pozo de visita	E6, E7 y E8



(E1) Relleno con arcilla capa 10 cm.



(E2) Relleno con arcilla capa 10 cm.



(E3) Relleno material filtrante primera capa 25 cm.



(E4) Relleno material filtrante inicio segunda capa 25 cm.



(E5) Relleno segunda capa 25 cm.



(E6) Relleno tercer capa 10 cm.



(E7) Conexión registro 6 a pozo de visita.



(E8) Conexión registro 6 a pozo de visita.



(E9) Conexión (influyente) con el pozo de visita al registro humedal.



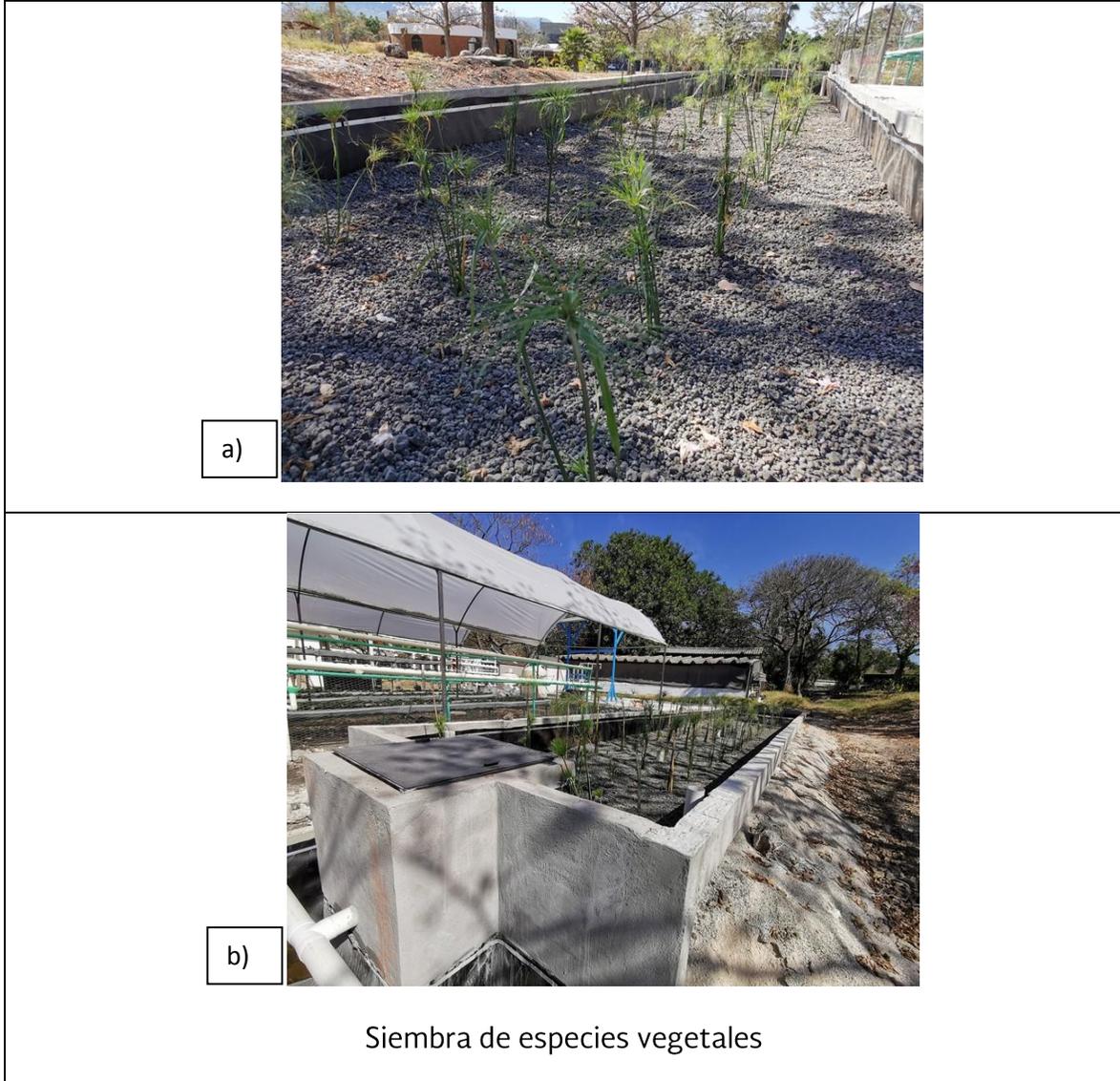
a)



b)

(E10) Aspecto estructural terminado.

F) Siembra de especies.



G) Inicio de la operación.



(G1) Válvula de control del influente.



(G2) Nivel del agua en el efluente del humedal 1.

Conclusiones.

Se concluyó la etapa constructiva del proyecto.

La siguiente etapa consistirá en evaluar su comportamiento hidráulico y en obtener las eficiencias de remoción de contaminantes.