



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

75  
2ej

FACULTAD DE QUÍMICA

“ CONSTRUCCIÓN Y ARRANQUE  
DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS RESIDUALES TIPO  
HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO  
HORIZONTAL ”

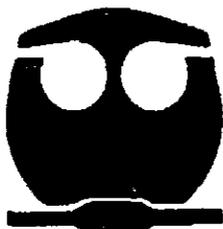
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

I N G E N I E R O Q U Í M I C O

P R E S E N T A

BALAM JESÚS JIMÉNEZ TOVAR



MÉXICO, D.F.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
SECRETARÍA DE CULTURA

1999

279222



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**Jurado asignado:**

Presidente: Prof. Leticia Ma. de los Angeles González Arredondo.

Vocal: Prof. José Agustín Texta Mena.

Secretario: Prof. Víctor Manuel Luna Pabello.

Primer Suplente: Prof. Rodolfo Torres Barrera.

Segundo Suplente: Prof. Humberto Rangel Dávalos.

**Sitio donde se desarrolló el tema:**

Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental.

Conjunto "E" Labs. 301-303.

Facultad de Química. U.N.A.M. y en:

Interior de los viveros forestales de Coyoacán, México D.F.

**Asesor del tema:**



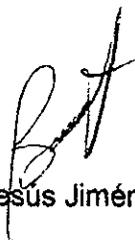
Dr. Víctor Manuel Luna Pabello

**Supervisor Técnico:**



Ing. Héctor Faustino Ramírez Carrillo

**Sustentante:**



Balam Jesús Jiménez Tovar

## PRÓLOGO

Realice el presente trabajo a pesar de que en la vida de todos hay tiempos de dolor e incertidumbre. A veces sentimos que la carga de vivir es muy pesada de llevar. Cuando la vida parece como una jornada sin propósito o fin, recuerda que hay belleza hasta en un desierto.

Cuando cae la noche, un oasis es un lugar de infinita belleza en medio del desierto. Un lugar paratenerse y descansar de este largo y no tan fácil viaje que es la vida. Comienzas a meditar y pensar, recuerdas un proverbio para ayudarte a entender tus problemas. El proverbio es como un oasis en medio de la vida. Es tan útil ahora como lo era hace siglos, para darte una dirección y respuestas a tus preguntas más difíciles, algo que indudablemente logré con el apoyo de todas aquellas personas que han creído en mí, y que de algún modo sus observaciones, recomendaciones, consejos, regaños y felicitaciones, estuvieron reflejados en proverbios que lograron quedarse en mí pensar y que procuro compartir con las personas en los momentos más apropiados. Por tal motivo y muy importante razón, quiero compartir con ustedes el presente trabajo, iniciando cada capítulo con mensajes en forma de proverbios para que puedan aplicarlos en sus vidas en los momentos que más necesiten de reflexión, apoyo y sinceridad, porque como dice el dicho: "si tienes algo que compartir y no lo haces, se pierde" pues "si vale la pena hacerlo, vale la pena hacerlo bien", ya que "un pedazo de pan compartido con un amigo sabe mejor que un banquete que se come a solas", y no olvides que...

"un proverbio siempre es sabio".

# RECONOCIMIENTOS

Debido a la gran colaboración que tuvieron para el inicio, desarrollo y conclusión del presente trabajo, agradezco de forma infinita el apoyo otorgado por las siguientes instituciones:

De manera muy especial al Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental (PIQAYQA) de la Facultad de Química de la UNAM, por la oportunidad otorgada desde el inicio y hasta la culminación del presente trabajo.

A los responsables administrativos del vivero forestal de Coyoacán D.F. por las atenciones y valioso apoyo en todos los momentos importantes para poder realizar este trabajo de manera fructífera y con logros netamente compartidos

A las jefaturas de la Biblioteca y Hemeroteca de la Facultad de Química de la UNAM, por las facilidades otorgadas en la obtención de la información requerida para documentar adecuadamente el presente trabajo.

A la Asociación de Químicos e Ingenieros Químicos generaciones 40, 41 y 42 A.C. por el apoyo otorgado mediante una beca durante los primeros 6 meses de realización del presente trabajo.

Al CONACyT, por el apoyo otorgado mediante la asignación de una beca en el marco del proyecto 3302P-B "Tratamiento de aguas residuales usando un sistema de raíces de humedales"

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el alma mater de mi desarrollo profesional y quien vio por mí desde el bachillerato, a todo el personal docente, gracias por participar en la realización de mi carrera.

Indudablemente, a la Facultad de Química, por brindarme la oportunidad de poder desarrollarme dentro de sus instalaciones y ser, mientras, mi segundo "hogar", MUCHAS GRACIAS.

# AGRADECIMIENTOS

Resulta importante reconocer la participación directa e indirecta de las personas que han creído en mí y, en la elaboración del presente trabajo, su apoyo fue fundamental para lograr su culminación con éxito. Por tal motivo agradezco infinitamente el aporte que tuvieron las siguientes personas:

Al Dr. Víctor Manuel Luna Pabello, por compartir tus conocimientos y brindarme la oportunidad en el desarrollo de un trabajo que indudablemente traerá consigo frutos importantes en nuestra vida profesional y sobretodo, aportes útiles a nuestra sociedad. Gracias por TODO

A la Dra. Ma. Del Carmen Duran Domínguez, por brindarme la oportunidad de desarrollar parte de este trabajo dentro de las instalaciones del PIQAYQA.

Al Ing. Ciro Marques, por el apoyo otorgado en la realización de las pruebas de identificación de metales pesados en las instalaciones del laboratorio de análisis de identificación de metales del edificio "D" de la Facultad de Química.

Al Biol. Fidel Armendaríz, por el apoyo técnico otorgado en las pruebas de identificación de grupos bacterianos dentro de las instalaciones del PIQAYQA.

A los Ingenieros Paul Schaller y Héctor Ramírez, por su valioso apoyo técnico y moral en la realización de este trabajo, además de ser amigos incondicionales

Al Ing. Aarón Mastache, al Ing. Leonel Morales Y la Biol. Sara Cabrera por la oportunidad y apoyo brindados para la exitosa realización de este trabajo dentro de las instalaciones del vivero forestal en Coyoacán, Ciudad de México.

A la familia Anaya Jiménez, especialmente a mis amigas las niñas Miry, Mary, Tere y Pao. Adicionalmente a Alejandra Hernández, Deyanira Miranda, Erika Nava, Gladys Zerquera, Dinora Obregón, Juan Paredes, Juan Adame y Alberto Castro, a todos ustedes gracias por su apoyo y confianza depositados y por su amistad incondicional y llena de valiosos atributos humanos.

A los profesores: Dra. Leticia Ma. De los Angeles González A. e Ing. José Agustín Texta M. por su valiosa colaboración en la revisión adicional del presente trabajo.

A todos los amigos y compañeros del PIQAYQA sin nombrar a ninguno por temor a hacer alguna omisión importante, *gracias por todo el apoyo recibido.*

A todos mis cuates de la facu, Hugo, Daniel, Elena, Chavatore, Alberto, Diana, Taydee, Urincho el "Santanero", Dimas y Alfonso, por su inestimable compañía y apoyo desinteresado. Con reconocimiento especial a Gaby, Salud y Juan, por el apoyo técnico adicional recibido durante el desarrollo del presente trabajo.

A todos mis **amigos** de "El Salto", mi ranchito triste, por esos ratos de borrachera y diversión y esos comentarios de aliento y perseverancia...!salud, salud, salud! ...y recuerden, **"no necesariamente aquel que te limpia, es porque sea tu amigo, ni necesariamente aquel que te ensucia, es porque sea tu enemigo"**.

"Oigan, ¿Cuándo vamos a la casa?"

Particularmente, deseo agradecer a la persona que durante gran parte de mi carrera fue quién me impulsó a crecer como persona antes que todo y quién además me enseñó el verdadero valor de la amistad... Aracelí Cárdenas

Muchas gracias, te pido un favor?... no cambies nunca

No podría faltar el agradecimiento especial a una persona que ha estado conmigo a pesar de todo, gracias por todo el amor, las lágrimas derramadas y el tiempo otorgados, gracias, por impulsarme a crecer y a adquirir una disciplina que sólo una persona como tu podría inculcarme. Aracelí Pelcastre, muchas gracias, y no olvides que... para poder sobrevivir ante cualquier situación negativa, no es necesario olvidar, si no... saber perdonar.

Importante resulta para mí agradecer de todo corazón a todas las familias que me apoyaron desde el inicio de mi carrera hasta la fecha, a la familia Ramírez Enríquez, familia Martínez Ramírez, familia Adame y familia Paredes de la Rosa, por abrirme las puertas de sus hogares incondicional e indudablemente y deseo que tengan por seguro que... a donde el viento quiera llevarme les estaré agradecido.

A todos mis hermanos, que siempre han representado para mí un ejemplo a seguir en la lucha por alcanzar el éxito a base de trabajo y esfuerzo constantes, deseo que tengan en cuenta que jamás existirá una forma de agradecer esa vida de lucha, sacrificio y esfuerzo que en mí han invertido y recuerden que de mí, tendrán siempre el respeto, el apoyo y la admiración que ustedes se merecen. Por que en las buenas y en las malas seguiremos estando juntos... **MUCHAS GRACIAS.**

¿ ¡ Saben ! ?

Es difícil devolver de la misma manera todo cuanto ustedes me han brindado en el curso de mi vida; por tal motivo, deseo que tengan muy en cuenta que estaré agradecido el resto de mi vida, pues, debo a ustedes, a su invaluable cariño apoyo y comprensión, el cumplimiento de una de mis más importantes metas e indudablemente la mejor de la herencias.

¡¡ Gracias Papá (†), Gracias mamá!!

Dios les bendiga...            dondequiera que se encuentren.

*A la memoria de mi padre: Jorge Jiménez Martínez*

*A la salud de mi madre: Lidia Tovar Peña*

*A Brenda Nathalia por lo que has significado y significas para mí y por que el destino te convertirá en una gran mujer. . . primero Dios. ¡Sabes?! se que a pesar de todo lo que he sido, no dejas de ser mi mayor ilusión y sobretodo nunca me he olvidado de ti, mi pequeña NATHALI. ¡perdón, perdón por todo'            ...podrás entenderme algún día?*

*A la Mujer que estará acompañándome el resto de mi vida en las buenas y ..            en las no tan buenas: Mi columna*

*Sabes?    En éstos momentos es emocionante desconocer quién eres pero aún más emocionante es saber que gracias a Dios existes y serás todo, todo para mi. Con todo mi cariño, respeto y reconocimiento, para tí.*

Como olvidar, también, a alguien quien siempre me acompaña a donde quiera que voy. y quien dentro de mí mantiene encendida la luz de la esperanza y de la integridad espiritual, sería injusto dejar de valorar todo cuanto ella y su hijo me han brindado: Gracias **Virgencita de Guadalupe**.



Al eterno

A mis ángeles protectores

A mi columna

A México, país de grandes bellezas naturales y gente buena

A quien sin querer he lastimado

A la grandeza de mi pequeño corazón, que me da para quererles tanto

A la fuerza de mi fe que va in-crescendo

A la salud de todos ustedes...   ...¡Salud!

- 
- *Quien cumple los mandamientos por amor, es superior al que los cumple por temor.*
  - *Lo que no quieras para ti, no lo desees para tu prójimo*
  - *Dios odia al pecado, no al pecador*
  - *Dios te de, el doble de lo que tú me desees*
-

# Contenido

---

*Si has adquirido el conocimiento, ¿qué te falta?, si le falla el conocimiento, ¿qué has adquirido?.*

*Cuando compartas tu comida, nunca estarás hambriento*

*Más vale comer un taco pobre y desnutrido en santa paz, que vivir en abundancia, pero lleno de discordia.*

*No te preguntes si eres feliz, pregúntate si son felices los que viven a tu lado.*

---

# CONTENIDO

Página

Lista de abreviaturas	VIII
RESUMEN	1
<b>CAPÍTULO 1. Introducción</b>	4
1.1. La contaminación del agua y los problemas ambientales en México	5
1.2. Objetivos	
1.2.1. General	10
1.2.2. Particulares	10
1.3 Alcances del proyecto	10
<b>CAPITULO 2. Generalidades sobre humedales artificiales</b>	12
2.1. Principios básicos de los humedales artificiales	13
2.2. Importancia de aplicar HA en pequeñas y medianas poblaciones.	15
2.3. Clasificación de los HA de flujo subterráneo con plantas emergentes	16
2.3.1. Humedal artificial de flujo vertical (HAFV)	17
2.3.2. Humedal artificial de flujo Horizontal (HAFH)	17
2.4. Constituyentes principales de un HAFH	19
2.5. HA como alternativa en el tratamiento de aguas residuales	19
2.6. Aplicación de HA en México. Principales beneficios	20
<b>CAPÍTULO 3. Antecedentes del proyecto “viveros de Coyoacán”</b>	22
3.1. Justificación del proyecto	23
3.1.1 Localización de la planta	24
3.1.2. Estudio de factibilidad	24
3.1.2.1 Evaluación técnica	24
3.1.2.2. Evaluación económica	27
3.1.3. Evaluación del proyecto	29
3.2. Proyecto ejecutivo	31
3.2.1. Desarrollo de la ingeniería básica	31
3.2.1.1. Bases de diseño	32
3.2.1.2. Bases y criterio de diseño para equipos	32
3.2.1.3. Balance global de agua	33
3.2.1.4. Descripción del proceso	33
3.2.1.5. Hojas de datos de equipos	34
3.2 1.6. Diagrama de flujo del proceso	34

3.2 1.7. Arreglo general del sistema	34
3 2.1.8. Filosofías básicas operacionales	35
3 2.2. Desarrollo de la ingeniería de detalle	35
3.2.2 1. Especificación de Límites de batería (L.B.), con estudios de suelo	36
3.2 2.2. Requerimiento de servicios auxiliares	36
3.2 2.3. Cálculo hidráulico de líneas	37
3.2.2 4. Especificaciones de tuberías	37
3.2.2.5. Especificación de instrumentos	37
3.2 2.6. Diagrama de tubería e instrumentación	38
3.2.2.7. Isométrico general del sistema	39
3.2.2 8. Dimensionamiento de equipo	39
3.2.2.9. Revisión de códigos y estándares	39
3.2.3. Especificación de seguridad, higiene y manejo de efluentes	40
3.2.3.1. Aspectos de seguridad del proceso para HAFH	39
3.2.3.2. Aspectos de higiene del proceso	40
3.2.3.3. Muestreo	40
3.2.3.4. Segregación de efluentes	41
3.2.3.5. Impacto ambiental generado por la implantación de un HAFH	41
3.2.4. Procura de equipos y materiales	41
3.2.4.1. Cotizaciones	41
3.2.4.2. Comparación y selección de ofertas	41
3.2.4.3. Ordenes de compra	42
3.2 4.4. Adquisición de equipos materiales y accesorios	42
3.2.4.5. Inspección de las adquisiciones	42
3.2.4.6. Expedición	42
<b>CAPÍTULO 4. Construcción del humedal artificial de flujo horizontal</b>	<b>43</b>
4.1. Descripción de las etapas del proceso de construcción	44
4.1.1. Alimentación y pretratamiento	44
4.1.2. Tratamiento primario	45
4.1.3. Registro primario y alimentación del influente al HAFH	46
4.1.4. Humedal Artificial de Flujo Horizontal	47
4.1.5. Desalojo del efluente y registro secundario	48
4.1.6. Mantenimiento	49
4.2. Lista de actividades	50
4.3. Revisión de información previa y planeación de la construcción	51
4.3.1. Información previa necesaria para la construcción del Humedal Artificial de Flujo Horizontal	51
4.3 2. Planeación de la construcción	51

4.3.2.1. Cronograma de actividades	52
4.3.2.2. Horas- Hombre estimadas	52
4.3.2.3. Diagrama de Gantt	52
4.3.3. Selección del método de construcción del HAFH	53
4.4. Abastecimiento de servicios provisionales y otros requerimientos	55
4.4.1. Agua potable	55
4.4.2. Energía eléctrica	56
4.4.3. Transporte	57
4.4.4. Regaderas	57
4.4.5. Accesos carreteros	57
4.4.6. Almacén	57
4.4.7. Otros requerimientos	58
4.5. Adecuación del terreno y cimentaciones	59
4.5.1. Actividades realizadas	59
4.5.2. Documentación fotográfica	59
4.6. Levantamiento de construcciones requeridas	62
4.6.1. Construcciones realizadas	62
4.6.2. Documentación fotográfica	63
4.7. Impermeabilización de la fosa para el HAFH	64
4.7.1. Actividades realizadas	64
4.7.2. Documentación fotográfica	65
4.8. Montaje e instalación de equipos, instrumentos, tubería, accesorios y otros	66
4.8.1. Actividades realizadas	66
4.8.2. Documentación fotográfica	67
4.9. Preparación y colocación del material de soporte	73
4.9.1. Actividades realizadas	73
4.9.2. Documentación fotográfica	74
4.10. Colocación de plantas vasculares	75
4.10.1. Actividades realizadas	75
4.10.2. Documentación fotográfica	75
4.11. Pruebas de funcionalidad de equipos e instrumentos	77
4.11.1. Actividades realizadas	77
4.11.2. Documentación fotográfica	78
4.12. Curva de avance programado Vs curva de avance real de la construcción	79
4.13. Ruta crítica de la construcción del HAFH	79

<b>CAPITULO 5. Arranque de operaciones</b>	80
5.1. Pruebas de operación iniciales	81
5.1.1. Actividades relacionadas	81
5.1.2. Documentación fotográfica	82
5.2. Detección corrección de problemas operativos	84
5.2.1. Actividades realizadas	84
5.3. Implantación de condiciones de operación	85
5.4. Planeación de las actividades de arranque	86
5.5. Toma, transporte y conservación de muestras	87
5.5.1. Fechas de muestreo	87
5.5.2. Zonas de muestreo	88
5.5.3. Procedimiento de muestreo	89
5.6. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de caracterización	90
5.7. Registros del tratamiento	91
5.8. Síntesis del historial de operación del HAFH en el arranque.	91
<b>Capítulo 6. Futuro operativo del HAFH</b>	93
6.1. Aspectos de seguridad e higiene del proceso	94
6.1.1. Riesgos susceptibles dentro del HAFH en los viveros forestales de Coyoacán.	94
6.1.2. Seguridad e higiene	95
6.1.2.1. Comisión de higiene y seguridad	95
6.1.2.2. Presentación	96
6.1.2.3. Seguridad	96
6.2. Segregación de efluentes generados	97
6.3. Impacto ambiental del proceso	97
6.4. Operación y mantenimiento	98
6.4.1. Personal asignado para la operación y el mantenimiento del sistema	98
6.4.2. Programa de mantenimiento global y parcial	99
6.4.2.1. Mantenimiento parcial	100
6.4.2.2. Mantenimiento global	101
6.4.2.3. Programa de Mantenimiento del HAFH en viveros de Coyoacán	102
6.5. Organización Interna y Externa	103
6.5.1. Organización Interna	103
6.5.1.1. Reportes de operación	103
6.5.1.2. Personal necesario. Sus funciones y responsabilidades	105
6.5.2. Organización externa	107

<b>CAPÍTULO 7. Resultados</b>	110
7.1. Resultados	111
7.1.1 Acerca de la detección-corrección de problemas operativos	111
7.1.1.1. Zona de alimentación del influente	111
7.1.1.2. Zona del tratamiento primario	112
7.1.1.3. Zona del tratamiento secundario (HAFH)	112
7.1.1.4. Zona de desalojo del efluente	113
7.1.2. Pruebas de caracterización físicoquímica y microbiológica	113
7.1.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO <sub>5</sub> )	114
7.1.2.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)	115
7.1.2.3. Sólidos Sedimentables (S Sed)	116
7.1.2.4. Nitrógeno amoniacal (NH <sub>4</sub> )	117
7.1.2.5. Nitratos (NO <sub>3</sub> )	118
7.1.2.6. Fosfatos (PO <sub>4</sub> )	119
7.1.2.7. Fósforo Total (P <sub>t</sub> )	120
7.1.2.8. Oxígeno Disuelto (OD)	120
7.1.2.9. Conductividad Eléctrica (C.E.)	121
7.1.2.10. Sólidos Totales Totales (STT)	122
7.1.2.11. Sólidos Disueltos Totales (SDT)	123
7.1.2.12. Temperatura (T)	123
7.1.2.13. Potencial de Hidrógeno (pH)	124
7.1.2.14. Metales Pesados (MP)	125
7.1.2.15 Grupos Bacterianos	125
<b>CAPÍTULO 8: Análisis y discusión</b>	128
8.1. Análisis	129
8.1.1. Demanda bioquímica de oxígeno en cinco días (DBO <sub>5</sub> )	129
8.1.2. Demanda química de oxígeno (DQO)	130
8.1.3. Sólidos sedimentables (S sed)	131
8.1.4. Nitrógeno amoniacal (NH <sub>4</sub> )	132
8.1.5. Nitratos (NO <sub>3</sub> )	133
8.1.6. Fosfatos (PO <sub>4</sub> )	134
8.1.7 Fósforo total (P <sub>t</sub> )	135
8.1.8 Oxígeno disuelto (OD)	136
8.1.9. Conductividad eléctrica (CE)	137
8.1.10. Sólidos totales totales (STT)	137
8.1.11. Sólidos disueltos totales (SDT)	138

8.1.12. Temperatura y potencial de hidrógeno (T y pH)	139
8.1.13. Grupo mesófilas aerobias	141
8.1.14. Grupo coliformes totales	142
8.1.15. Grupo coliformes fecales	143
8.1.16. Bacterias del género <i>Salmonella</i>	144
8.1.17. Bacterias del género <i>Shigella</i>	145
8.2. Discusión	146
8.2.1. General	146
8.2.2. Acerca de la detección-corrección de problemas operativos	147
8.2.3. Pruebas de caracterización fisicoquímica y microbiológica	147
<b>CAPÍTULO 9: Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>150</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>154</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>162</b>
Anexo I: Diagramas de ubicación y aspectos generales del HAFH	163
Anexo II: Cronograma, estimación de H-H, curvas de avance y ruta crítica seguidos para la construcción del HAFH	170
Anexo III: Formatos sugeridos para el correcto seguimiento operativo del HAFH	174

# Lista de abreviaturas

---

*La felicidad no es perfecta, hasta que no se comparte.*

*Se realmente íntegro y todas las cosas vendrán a ti  
Un hombre que sufre antes de lo debido, sufre más  
de lo debido*

*El que es virtuoso, es sabio; el que es sabio, es  
bueno; y el que es bueno, es feliz.*

*La alegría compartida, es una alegría doble.*

---

## LISTA DE ABREVIATURAS

A B/C	Análisis beneficio/costo
ANA	Ahorro neto anual
CE	Conductividad eléctrica
CNA	Comisión nacional del agua
DBO <sub>5</sub>	Demanda bioquímica de oxígeno en cinco días
D.F.	Distrito Federal (Cd. de México)
DFP	Diagrama de flujo de proceso
DGCOH	Dirección general de construcción y operación hidráulica
DOF	Diario oficial de la federación
DQO	Demanda química de oxígeno
DTI	Diagrama de tubería e instrumentación
Fvm	Flujo de alimentación
FQ	Fisicoquímico(s, a, as)
HA	Humedal(es) artificial(es)
HAFH	Humedal artificial de flujo horizontal
HAFV	Humedal artificial de flujo vertical
H-H	Horas-hombre
INR	Inversión neta requerida
ISR	Impuesto sobre la renta
L.B.	Límites de batería
MB	Microbiológico (s, a, as)
Mg/L	Miligramos por litro (ppm)
MP	Metales pesados
N	Nitrógeno
NH <sub>4</sub>	Nitrógeno amoniacal
NO <sub>3</sub>	Nitratos
NOM	Normas oficiales Mexicanas
OD	Oxígeno disuelto
OMS	Organización mundial de la salud

P	Fósforo
PEAD	Polietileno de alta densidad
pH	Potencial de hidrógeno
PO <sub>4</sub>	Fosfatos
ppm	Partes por millón
PRI	Periodo de recuperación de la inversión
Pt	Fósforo total
S	Azufre
SARH	Secretaría de agricultura y recursos hidráulicos (hoy SAGADR)
SDT	Sólidos disueltos totales
SEMARNAP	Secretaría de medio ambiente, recursos naturales y pesca
SRH	Secretaría de recursos hidráulicos (hoy extinta)
S Sed	Sólidos sedimentables
STT	Sólidos totales totales
T	Temperatura
TIR	Tasa interna de rendimiento
UFC	Unidades formadoras de colonias
VPN	Valor presente neto

# Resumen

---

*Aprender es amargo, aunque su fruto es dulzura.  
El que no ve y no escucha, es como el que no sabe  
Aprende como si nunca pudieras dominarlo,  
reténlo como si tuvieras temor a perderlo.  
Los sabios aburren, pero se divierten. Los tontos  
divierten, pero se aburren.  
No busques culpables, encuentra soluciones  
La pereza viaja tan despacio, que la pobreza no  
tarda en alcanzarle*

---

## RESUMEN

En particular, en este trabajo se presenta una alternativa económicamente viable y técnicamente factible para depurar aguas residuales mediante de un humedal artificial de flujo horizontal (HAFH). Este trabajo forma parte del proyecto "HUMEDALES ARTIFICIALES", inicialmente respaldado por investigaciones y aplicaciones a escala laboratorio en donde se concretó información inicial como lo es, la justificación del proyecto, la planeación de la construcción, el desarrollo de la ingeniería básica, de detalle y las actividades de procura de materiales y equipos para la planta que aquí se presenta.

*Basándose en esa información, el presente trabajo parte de su análisis, continuando con el desarrollo de la construcción de la planta y culminando con las actividades de arranque de operaciones. Para su construcción se tomaron en cuenta los siguientes parámetros de diseño: área superficial, 75 m<sup>2</sup>; área para pretratamiento, control de flujo, captación de influente, pasillos y otros, 55 m<sup>2</sup>; carga hidráulica 5.6 m<sup>2</sup>/día, tiempo de residencia hidráulico, 3.8 días; porosidad del medio de soporte, 48%.*

Una vez construido, los parámetros operativos que se tomaron en cuenta para el arranque fueron: carga hidráulica, 2.8 m<sup>2</sup>/día, tiempo de residencia hidráulico, 7.6 días, con ello se obtuvieron los siguientes datos: entre 40 y 87.6% de remoción, en términos de demanda bioquímica de oxígeno en 5 días; de 67.7 a 80% de remoción como demanda química de oxígeno y de 100%, en términos de sólidos sedimentables como principales parámetros fisicoquímicos aplicados a las muestras tomadas durante el arranque.

Como se puede observar, en los dos primeros parámetros la eficiencia supera el 60% en la fase final del arranque, mientras que en el tercer parámetro, la eficiencia es total, mostrando entonces la capacidad de retención de sólidos suspendidos no removidos por tratamientos previos y la estabilidad de depuración biológica en

conjunto con la rizósfera que ha tenido una participación importante en la no-reducción de la capacidad de conducción hidráulica por parte del lecho filtrante.

Lo anterior permite afirmar que el arranque operativo fue satisfactorio ya que la calidad del efluente es acorde con la esperada para este periodo. En consecuencia puede decirse que un sistema de tratamiento a base de humedales artificiales (HA) empleado para depurar *aguas residuales contaminadas orgánicamente*, puede resultar técnicamente factible y económicamente viable para depurar efluentes de tipo doméstico, de pequeñas y medianas comunidades rurales o semiurbanas, obteniendo efluentes útiles para riego agrícola o de jardines. Si los principios de diseño que exige la aplicación de un HA son desarrollados correctamente, la garantía de funcionalidad y bajo costo de inversión y explotación resultan atractivos. Complementariamente, podrá promoverse como una tecnología “ecológica” o ambientalmente amigable que proporciona un reservorio para la vida silvestre, así como un área estéticamente agradable; factores, también importantes para el presente trabajo.

# Capítulo 1. Introducción

---

*Más vale tarde que nunca.*

*Una jornada de mil millas, comienza con el primer paso.*

*Pregunta lo que no sabes y pasarás por tonto durante cinco minutos, no lo preguntes y serás tonto toda tu vida.*

*Se valora más, lo que con más esfuerzo se ha conseguido*

*Quién tiene un para qué, siempre encontrará el cómo*

---

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. La contaminación del agua y los problemas ambientales en México

La Organización Mundial de la Salud (OMS), ha manifestado que "el goce del grado máximo de salud que se pueda lograr es uno de los derechos fundamentales de todo ser humano sin distinción de raza, religión, ideología política o condición económica y social". Para la OMS la salud es un "estado de completo bienestar físico, mental y social", quedando fijado el nivel de salud por el grado de armonía que exista entre el hombre y el medio que sirve de escenario y recurso a su vida (Hernández, 1990a). La contaminación de las aguas es uno de los factores importantes que rompen esa armonía, precisándose en consecuencia desarrollar los medios para recuperar el equilibrio necesario (Hernández, 1987).

La contaminación, como modificación de la composición o estado de las aguas naturales, originada por la actividad del hombre, consiste en la incorporación de gérmenes patógenos, materia orgánica, materia en suspensión, grasas y aceites, ácidos y bases, sales, elementos tóxicos y elevación de la temperatura como características más representativas. Los efectos originados por ésta inciden sobre la salud física y social, a la vez que sobre la economía de un país que como México, quien últimamente se ha visto seriamente afectado (Hernández, 1990b).

La contaminación del agua en México, genera día con día una disminución en su disponibilidad como recurso natural y sobretodo, una fuerte afectación a los cuerpos receptores. Esto sucede gracias a la utilización de las antiguas cuencas hidrológicas, que como en el Valle de México, han formado parte del drenaje en donde se vierten aguas residuales de todo tipo (Luna-Pabello *et al.*, 1997a ; Luna-Pabello *et al.*, 1998).

Se estima que el volumen de aguas residuales generado en todo el país es de poco menos de 300 m<sup>3</sup>/s, de los cuales una tercera parte es aportado por los centros

urbanos del Distrito Federal, Guadalajara y Monterrey Actualmente se calcula que alrededor del 85% de las aguas residuales son descargados sin recibir tratamiento alguno (CNA, 1997). El 15 % restante es depurado, en cerca de 400 plantas, de las cuales algunas reciben descargas de tipo doméstico y de cuyos efluentes solo la mitad es reutilizada. De esas plantas, el 80% no funciona adecuadamente (especialmente las plantas municipales); el restante 20%, trabaja con una eficiencia menor a la que fue proyectada, debido, entre otros factores, a los altos costos de operación y mantenimiento, así como de personal calificado para su manejo óptimo (Ramírez, 1998).

Con lo anterior resulta necesario analizar los perjuicios más importantes originados por contaminar el agua:

- a) Los recursos de agua de un país no son ilimitados, y como las necesidades van creciendo de acuerdo con el desarrollo, se plantea el problema de su escasez.
- b) El empleo de agua contaminada para riego, puede producir daños que afecten a la salud pública, dando origen a enfermedades.
- c) El empleo de agua tratada exige un control riguroso, representando un costo importante que repercute sensiblemente en la economía del usuario.
- d) Un río o una zona costera contaminados no puede cumplir su misión de zona de recreo y esparcimiento para deportes náuticos o pesca.
- e) Las especies piscícolas, crustáceos y moluscos, muchas desaparecen, algunas son destruidas por tóxicos, otras se desarrollan en zonas de agua contaminada convirtiéndose en vehículos de transmisión de bacterias y virus.

Con respecto a la situación actual de México, es preciso prestar atención e intentar efectuar un balance completo de los gastos creados a la sociedad. Si todo lo que realmente tiene valor fuese posible contabilizar habría que compararlos con la

inversión y el costo de mantenimiento de las instalaciones necesarias para poder recuperar y conservar a los ríos, lagos, costas y mares dentro de su equilibrio ecológico natural, buscando así, sino por otras justificaciones una base económica que respaldaría la necesidad de esta recuperación (Hernández , 1987).

Por otro lado, debe señalarse la falta de información que lleva al desconocimiento del problema, no solo por parte del público, sino también en los niveles de la administración que se encarga de dar solución a estos problemas; así, algunas veces por ignorancia, otras por falta de control. Además, se encuentra la característica general de la escasez de medios económicos, principalmente en los pequeños núcleos, para acometer los gastos primarios de la instalación, operación y mantenimiento de plantas depuradoras o en su defecto, cubrir gastos por servicios de depuración y mucho menos capaces de contar con los técnicos adecuados para dichas actividades (Collado, 1992).

Con todo lo anterior, el presente trabajo ofrece a lo largo de su desarrollo, la aplicación de una alternativa de solución a los problemas que encierran las aguas residuales y que puede implementarse en los pequeños y medianos núcleos de población y, si las necesidades de espacio son cubiertas, puede aplicarse en otros sectores. Esta aplicación es referida tanto a la construcción como a la operación y mantenimiento de una planta de tratamiento del tipo humedal artificial de flujo horizontal (HAFH).

El diseño y la conceptualización de este sistema esta basado en los siguientes puntos:

- Diseño de la planta, basado en las características del agua residual a tratar (caudal, carga y tipo de contaminantes, etc.) y del área de terreno disponible para construcción, maniobras de operación, toma de muestras y mantenimiento.
- La estructura propuesta es compacta y su construcción y operación de tipo modular

- Por principio, no requiere de equipos de control automatizado, reduciendo así costos de construcción, operación y mantenimiento.
- Los equipos a emplearse en el tren de tratamiento propuesto son de aplicación técnicamente factible y económicamente viable.
- El efluente obtenido como producto de este sistema debe ser de calidad tal, que permita emplearse en actividades que no exijan el empleo de agua potable (principalmente riego agrícola y jardinería), fomentando el ahorro del agua potable
- La utilización de materiales propios de la región, reduciendo aún más los costos.

De acuerdo a lo anterior, se tienen soluciones adoptadas tanto para grandes, como para medianas y pequeñas poblaciones. En el primer caso, los costos de construcción y explotación son considerables, y su financiamiento corre a cargo del gobierno de la entidad gubernamental de la que se trate (dependiendo de las necesidades de las ciudades y /o delegaciones correspondientes), en conjunto con la iniciativa privada, además de que se ven apoyados por las instituciones de investigación como universidades e institutos, facilitando las tareas técnicas e incrementando las garantías de funcionamiento de dichos sistemas; mientras que en las pequeñas y aún en las medianas poblaciones, la falta de planificación, legislación adecuada, personal especializado, apoyo técnico, de información pública. pero sobre todo, la falta de recursos económicos, incide en una mala gestión. tanto en la construcción como en la explotación de plantas depuradoras. Todo esto ha de repercutir en efluentes de mala calidad, que en ocasiones pueden causar mayores deterioros al medio receptor que las aguas no tratadas. (Collado, 1992; Brix, 1996; Shutes, 1996 ).

Por tanto, para disponer de un diseño y los recursos de construcción y operación para plantas de depuración en los pequeños núcleos, deben tomarse decisiones eficaces. pero tomando en cuenta los siguientes:

## Criterios de Selección

- a) Prioridad para plantas que en su operación requieran de un tiempo mínimo de horas-hombre.
- b) Que requieran de mantenimiento mínimo.
- c) Que funcionen eficazmente ante variaciones amplias de caudal y/o carga contaminante.
- d) Que empleen un mínimo de energía para operación y mantenimiento.
- e) Que sean flexibles para instalarse en cualquier tipo de terreno.
- f) Que cuenten con instalaciones donde las posibles fallas de equipos o proceso causen el mínimo deterioro de la calidad del efluente.
- g) Que en conjunto tengan la máxima integración con el medio ambiente.

Con esto, los HA cumplen las expectativas señaladas anteriormente, motivo por el cual sé continuo con el proyecto para construcción y operación de un HAFH dentro de las instalaciones de los viveros forestales de Coyoacán en el D.F., que además de contribuir con el saneamiento de parte del caudal del río Magdalena, permitirá realizar estudios a fondo sobre los diversos componentes del sistema, así como los requerimientos operativos y de mantenimiento que éste exija en sus diversas etapas de funcionamiento. Adicionalmente, se busca aprovechar el efluente empleándolo como agua para riego del propio vivero, contribuyendo así con la disminución en la demanda de agua potable empleada hasta ahora en esa actividad.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. General

- Realizar la construcción y el arranque de operaciones de una planta de tratamiento de aguas residuales tipo humedal artificial de flujo horizontal dentro de las instalaciones del vivero forestal de Coyoacán en la Ciudad de México.

### 1.2.2. Particulares

- Aplicar el principio de planeación de la construcción del HAFH, partiendo de los antecedentes del proyecto.
- En el arranque de operaciones, detectar y corregir los problemas operativos que causen contratiempos considerables.
- Evaluar la calidad fisicoquímica y microbiológica de las muestras tomadas durante el arranque de operaciones.
- Identificar las necesidades de mantenimiento que de manera parcial y global, requiera la planta durante la etapa de arranque.
- Proponer el programa de mantenimiento que resulte recomendable según las experiencias adquiridas durante ésta etapa.

## 1.3 Alcances del proyecto

El presente trabajo inicia con el principio de aplicar “tecnologías limpias” en proceso de estudio para ser aplicadas en los sectores de población económicamente más restringidos, continuando con su finalidad primordial, que es la de construir e iniciar la operación de una planta de tratamiento en la escala real, empleando un humedal artificial de flujo horizontal (HAFH) como el proceso de depuración principal; éste sistema podrá tratar una parte del caudal del río Magdalena de la ciudad de México. Inicialmente y por motivos más adelante indicados, éste caudal será de 2.8 m<sup>3</sup>/día (durante las primeras semanas de operación), y hasta de 5.6 m<sup>3</sup>/día que es el caudal de diseño (a partir de alcanzar la estabilidad tanto operativa, como depurativa).

Para llevar a cabo lo anterior, se efectuarán las siguientes actividades conformando así el total de este trabajo.

En el capítulo 2 se continúa con la fundamentación teórica, en donde se describen las generalidades y se enmarcan las características de los HA, además de que se remarcan las ventajas que éstos tienen sobre las tecnologías convencionales. En el capítulo 3, se dan a conocer los antecedentes del proyecto, los cuales consisten en datos previos relativos a este trabajo. En él, sólo se enuncian los puntos más importantes, los cuáles contienen información citada en los trabajos previos a la construcción del HAFH.

En el capítulo 4, se plasman las actividades requeridas para la construcción de la planta, ésta información se ve enriquecida con fotografías que ilustran ampliamente dichas actividades; posteriormente se continúa con el arranque de operaciones, la estabilidad y la aclimatación de las plantas empleadas, lo cual se describe en el capítulo 5.

En su capítulo 6 se encuentra información relacionada con el futuro operativo del sistema, tocando aspectos de seguridad e higiene, de los programas de mantenimiento, de la organización interna – externa que debe crearse para un mejor desarrollo de las actividades demandadas por él mismo. En el capítulo 7 se presentan los resultados obtenidos en el arranque. En el capítulo 8, se encuentra el análisis y discusión de dichos resultados.

Las conclusiones obtenidas y las recomendaciones derivadas de este trabajo susceptibles de aplicarse en proyectos futuros, se indican en el capítulo 9.

## Capítulo 2.

# Generalidades

---

*Dos cosas que indican debilidad: callarse cuando es propio hablar y hablar cuando es propio callar.*

*Si entre los ciudadanos se practicaran los buenos modales, no hubiera necesidad de la Justicia.*

*Si haces lo que has hecho siempre, no llegarás más lejos de donde siempre has llegado.*

*Hay quienes ponen su mente en la riqueza, otros, ponen la riqueza en su mente.*

---

## CAPÍTULO 2. GENERALIDADES SOBRE HUMEDALES ARTIFICIALES

Se denomina a los humedales artificiales también como “pantanos artificiales” ó “filtros con plantas”; en la literatura en idioma inglés es común que aparezca con los nombres de: “wetlands”, “Method rhizome zone”, “constructed wetlands”, “acuatic plant systems”, “reed bed systems” y “lechos de juncos”. De cualquier manera, se tratan de sistemas de tratamiento de aguas residuales contaminadas orgánicamente que se hacen pasar por lechos rellenos de materiales que impiden el paso de sólidos suspendidos y los contaminantes disueltos son removidos vía degradación aerobia, anaerobia y anóxica entre el material del lecho y los rizomas de plantas vasculares que se encuentran ahí sembradas, teniendo así un área de tratamiento biológico de tipo pantanoso (Collado, 1992).

Sobre el terreno asignado y con diseño previo, se excavan lechos de escasa profundidad (de entre 0.6 y 0.8 m), se impermeabilizan para evitar la escorrentía del agua que se aplica, de manera que no se contaminen los mantos freáticos, posibles fuentes de suministro de agua potable; y se rellenan con grava u otros materiales, en donde se plantan y desarrollan, gracias al aporte de nutrimentos por parte del agua en tratamiento, las plantas vaculares emergentes como lo son las pertenecientes al género *Phragmites australis*, que degradan la materia orgánica del agua residual aplicada (Ver fig. 2.1) (Collado, 1991).

### 2.1 Principios básicos de los humedales artificiales

Los humedales artificiales (HA), aplican el principio del tratamiento biológico, el cual se basa en un proceso en el que una población mixta de microorganismos utiliza como nutrimentos sustancias que contaminan el agua. Este es el mecanismo por el cual las corrientes de aguas naturales, como los ríos y lagos empleando el principio de humedales naturales se autopurifican. En los procesos naturales, los solutos se eliminan principalmente por descomposición, por lo general, oxidación por

metabolismo microbiano. De la misma manera es como se realiza la depuración de aguas contaminadas orgánicamente en los HA (Winkler, 1986).

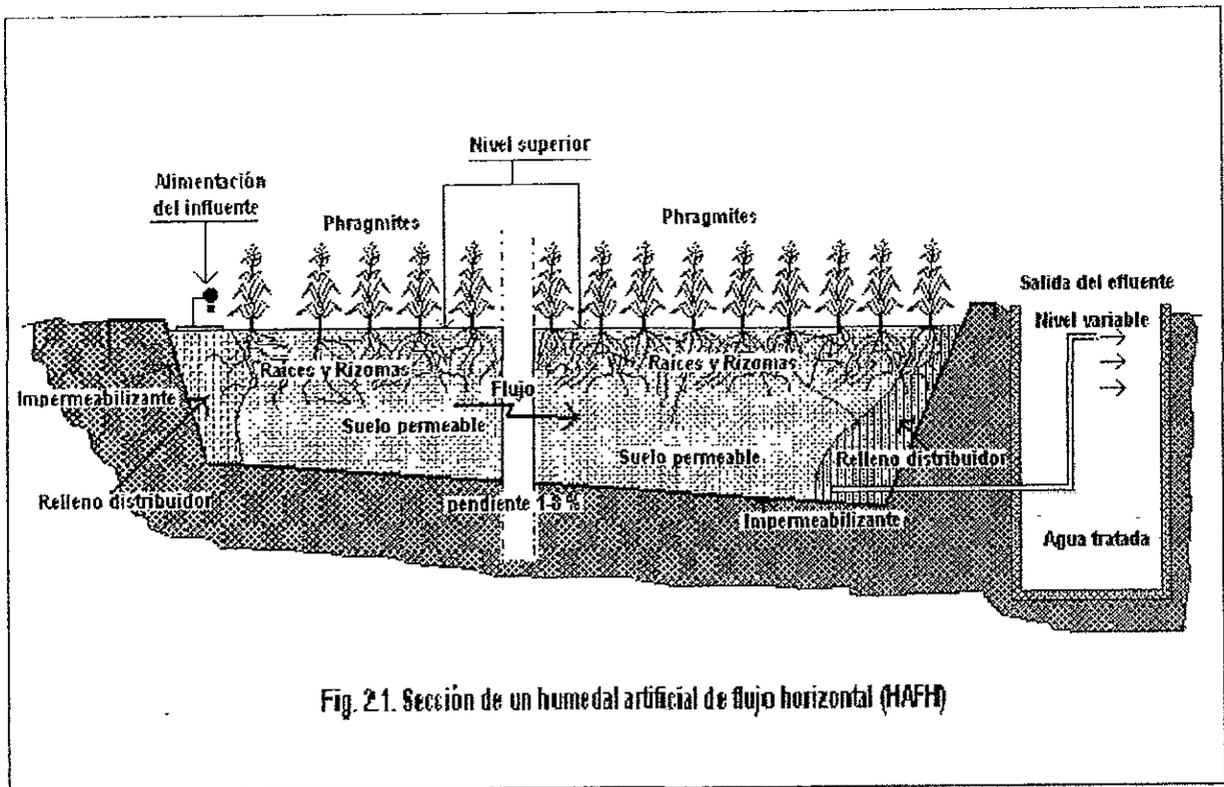


Fig. 21. Sección de un humedal artificial de flujo horizontal (HAFH)

Las bases del sistema de tratamiento tipo Humedal artificial son, de acuerdo con Cooper (1989):

- Degradación aerobia en la parte superior (superficie), debido a la oxigenación por el contacto con el aire y también por oxígeno que toma la parte aérea de la planta vascular y lo transmite a través de los rizomas (tallos y raíces subterráneos). Degradación anaerobia y facultativa entre la parte más profunda y la parte media del lecho, donde crecen los juncos o plantas vasculares emergentes.
- Los rizomas crecen vertical y horizontalmente, abriendo en el suelo espacios que facilitan el paso del agua residual para que tenga un mayor contacto con el suelo, los rizomas y los microorganismos degradadores.

- Los sólidos en suspensión del agua residual sufren un compostaje junto con hojas, tallos muertos y sólidos orgánicos de tamaños considerables que logran introducirse a la parte más profunda del lecho, viéndose ésta invadida de sólidos, principalmente en la parte correspondiente a la alimentación y en menor grado en la zona correspondiente a la salida del efluente tratado.

## **2.2. Importancia de aplicar HA en pequeñas y medianas poblaciones**

Los humedales artificiales son sistemas de tratamiento rentables, tanto en las pequeñas poblaciones, como en las comunidades semiurbanas, ya que sus costos de instalación, operación y mantenimiento son menores en comparación con los sistemas convencionales, además de que la demanda de terreno por éste tipo de sistemas son cubiertas sin mayores problemas (Johansen y Brix, 1996). Otras ventajas son: sencillez en la construcción e instalación de la mayoría de sus componentes, así como en su operación y mantenimiento; buena respuesta a las variaciones de caudal y carga contaminante, excelente integración con el ambiente que le circunde, eficiencia en eliminación de contaminantes mayor o igual que la que un sistema convencional ofrece y sobretodo agua tratada para reúso (riego principalmente), promoviendo el ahorro de agua potable ( Batchelor y Loots, 1996; Luna-Pabello *et al.* , 1997b).

La importancia y trascendencia de este tipo de sistemas reside en que son, comparativamente más económicos que los convencionalmente empleados en México. Debido a su naturaleza, se pueden adaptar con éxito a las condiciones ambientales de México, además de que su aplicación es idónea para lugares de difícil acceso. Adicionalmente resultan ser altamente eficientes para eliminar bacterias no deseables, son visualmente agradables y permiten la propagación de vida silvestre en su interior (Davies y Hart, 1990; Green y Upton, 1995; Ramírez, 1998)

Puede representar un inconveniente el hecho de que en un HA se emplee un solo tipo de planta vascular, ya que corre riesgos de invasión por plagas o por incendios provocados. Aún así, este inconveniente puede reducirse si se emplean plantas variadas que cumplan la misión de depurar y de ser estéticamente agradables (Mackney, 1990; Wood, 1995; Luna-Pabello *et al.* , 1997a ).

### **2.3. Clasificación de los HA de flujo subterráneo con plantas emergentes**

De entre las variedades que existen de humedales, tanto naturales como artificiales se encuentran los siguientes (Brix, 1994; Haberl, 1997; Kadlec, 1996):

- Sistemas de plantas de libre flotación
- Sistemas de plantas subemergentes
- Sistemas de plantas emergentes

En este último se encuentran las subclasificaciones que son:

- De flujo libre superficial, y
- De flujo subterráneo

En este apartado se describirán brevemente los dos tipos de humedales de flujo subterráneo que emplean plantas vasculares emergentes (Krabbenhoft, 1996), los cuáles son. humedal artificial de flujo vertical (HAFV) y humedal artificial de flujo horizontal (HAFH).

### **2.3.1. Humedal Artificial de Flujo Vertical (HAFV)**

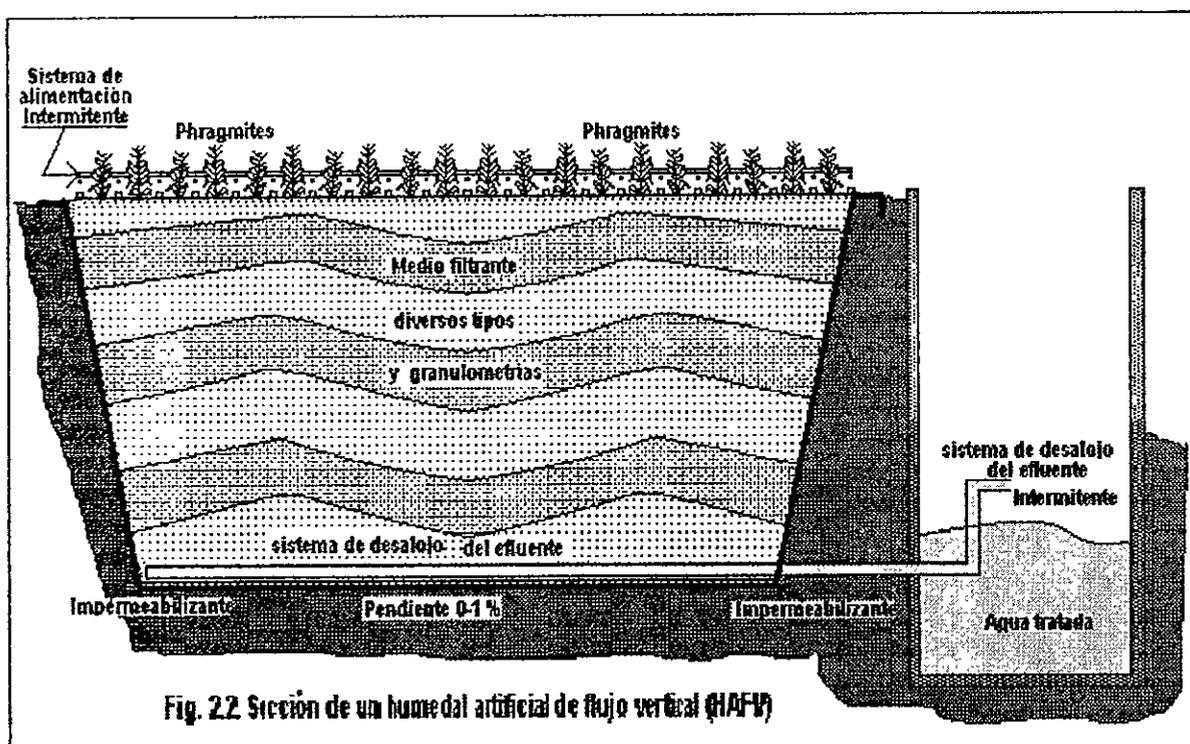
Estos sistemas se caracterizan por disponer de un sistema intermitente de alimentación del influente, que se diferencia en mucho al empleado en un HAFH, este dispositivo está distribuido a todo lo largo y ancho del lecho permitiendo que el agua se infiltre por gravedad a través del medio de soporte, el dispositivo de alimentación se encuentra por encima de la superficie del mismo, permitiendo que el influente alimentado tenga una mayor dilución de oxígeno atmosférico y así se tengan las condiciones aerobias de degradación tales que permitan la biotransformación del nitrógeno amoniacal a nitratos (Bavor, 1995; Denny, 1996; Lakatos, 1996).

Entre otras diferencias respecto a los HAFH están, la captación y desalojo del efluente, la profundidad del lecho, la disminución de los materiales de empaque en el lecho, tipos de materiales de empaque y, sobretodo, que existe una mayor complejidad en la construcción y en la operación, y más cuando se requiere de aprovechar en mayor proporción el área disponible, por unidad de volumen de influente alimentado ( ver fig. 2.2) ( Ramírez, 1998).

### **2.3.2. Humedal Artificial de Flujo Horizontal (HAFH)**

A este tipo de sistemas se les conoce como de "flujo horizontal", debido a la forma en que el influente es alimentado al sistema. Con la ayuda de un dispositivo que permite la distribución por la parte inicial y en todo lo ancho del humedal el cual contempla una inclinación tal que la infiltración del agua alimentada por gravedad y así, sin problemas, el agua tenga contacto con material de empaque, rizomas y microorganismos, llegando al otro extremo del humedal para luego ser desalojado como un producto factible de emplearse en riego agrícola y de jardinería o en otras actividades que no requieran el uso de agua potable, tal y como se mostró en la figura 2.1 ( Collado, 1992; Mander, 1996; Xianfa y Chuncai, 1995).

En cuanto a eficiencia operativa, los HAFH resaltan en la remoción de contaminantes orgánicos representados por lo que se conoce como demanda bioquímica de oxígeno en cinco días (DBO<sub>5</sub>) y demanda química de oxígeno (DQO), y es menor para la biotransformación de compuestos de nitrógeno, fósforo y azufre (N, P, S), respectivamente y disminuye aún más si se trata de componentes tóxicos y metales pesados.



**Fig. 22** Sección de un humedal artificial de flujo vertical (HAFV)

En términos generales, los HA conjuntan propiedades de retención en el medio filtrante, la actividad bioquímica de los microorganismos presentes, el aporte de oxígeno y la capacidad de conducción hidráulica inducida por el crecimiento de las plantas vasculares emergentes (Ramírez, 1998).

Es importante mencionar que la mayoría de los microorganismos involucrados en estos sistemas son de tipo facultativo o anóxico, es decir, que presentan actividad

metabólica tanto en ambientes aerobios como en ambientes anaerobios ( Luna-Pabello *et al.*, 1997a).

## **2.4. Constituyentes principales de un HAFH**

Entre los componentes que conforman a los HAFH, independientemente de la necesidad de posibles equipos de pretratamiento, tratamiento primario y post-tratamiento están los siguientes (Ramírez, 1998):

- Zona de alimentación del influente
- Lecho o medio filtrante
- Plantas vasculares emergentes
- *Microorganismos*
- Zona de captación y desalojo del efluente tratado

## **2.5. HA como alternativa en el tratamiento de aguas residuales**

La aplicación de HA como alternativa tecnológica en la depuración de aguas contaminadas orgánicamente, ha sido relevante en países como Alemania, Austria, Francia, Estados Unidos y Australia, entre otros. Estos países han aprovechado los múltiples beneficios que ha representado emplear HA para tratar aguas residuales domésticas, principalmente para poblaciones pequeñas y semiurbanas (de hasta 10,000 habitantes) (Luna-pabello *et al.*, 1998).

Así como los países mencionados han tenido resultados positivos en lo que al tratamiento de efluentes domésticos se refiere, también se intensifican las investigaciones sobre la viabilidad de aplicar HA como alternativas de tratamiento de efluentes de origen urbano en México. En este sentido, el HAFH que se presenta en este trabajo, es el inicio de aplicación en la escala real que además de contribuir

con agua para riego del vivero, será el centro de investigaciones a profundidad sobre los diferentes factores y requerimientos que un HA involucra en el proceso de tratamiento y de su funcionalidad operativa.

## **2.6 Aplicación de HA en México. Principales beneficios**

Los principales beneficios para países como México al aplicar HA como sistemas de tratamiento de efluentes urbanos son según Collado (1989 y 1992):

Ecológico-ambientales:

- Reducción de hasta un 90 % de los contaminantes orgánicos disueltos en las aguas residuales domésticas.
- Planta de tratamiento estéticamente agradable.
- Permite el desarrollo de fauna y flora silvestre.
- Evita la propagación de biodiversidad nociva.
- Con su aplicación, permite el ahorro de agua potable frecuentemente utilizada para riego agrícola.

Económicos:

- Bajo costo de diseño, construcción, operación y mantenimiento.
- Vigilancia mínima.
- No emplea productos químicos para el proceso.
- No hay gasto excesivo de energía.

Técnicos:

- Diseño sencillo de aplicar .

- Baja complejidad de operación.
- Escaso mantenimiento

Físicos.

- Diseño que se puede adaptar a cualquier tipo de terreno .
- Al aceptar su aplicación, las exigencias de los estudios geohidrológicos del terreno asignado son mínimas (incluso omitidas en ciertas zonas del país).
- Área requerida en función de la calidad deseada y de las características del agua a tratar
- Pueden aprovecharse las pendientes naturales del terreno asignado para dar dirección al flujo del agua en proceso de tratamiento

# Capítulo 3.

## Antecedentes

---

Las mentes grandes discuten las ideas, las medianas discuten los eventos y las pequeñas discuten de la gente.

Los sabios hablan de ideas, los inteligentes de hechos y el vulgar de lo que come.

Los jóvenes hablan de lo que hacen. los viejos de lo que han hecho, los tontos de lo que van a hacer.

El éxito es fácil de obtener, lo difícil es merecerlo.

---

## **CAPÍTULO 3. ANTECEDENTES DEL PROYECTO**

La recopilación y manejo de la información necesaria para llevar a cabo un proyecto que implique construir, arrancar, operar y dar mantenimiento a una planta ya sea de proceso, de tratamiento o de distribución de materiales, debe ser completa, profunda y con las características que se requieran para que en cualquier complicación se revise cuidadosamente en los documentos correspondientes los cuales se encuentran dentro del libro de proyecto (Rase y Barrow, 1973).

En este capítulo, se hará mención solamente de los puntos más importantes de la información que se requirió como base para la continuidad del proyecto, en este caso, llevar a cabo la construcción y el arranque de un HAFH. Esta información podrá ser consultada a detalle en las citas que se anuncian en cada punto descrito.

### **3.1. Justificación del proyecto**

En la etapa de proyecto básico que comprende la situación actual en la generación de aguas residuales domésticas e industriales, la situación del nivel de sus tratamientos en calidad y cantidad, la conceptualización del problema a resolver (incluyendo la ubicación de la planta), la modificación de los procesos empleados en la disminución de los problemas considerando alternativas de solución adecuadas, y por último, todo lo relacionado con el estudio de la alternativa seleccionada y con ello el estudio de factibilidad que es el que aporta la información necesaria para decidir sobre proseguir o no con el proyecto seleccionado.

A continuación se hace una breve mención de dos de los puntos más importantes de la justificación del presente proyecto. Uno de ellos se refiere a la localización de la planta en consideración mientras que el otro se refiere al estudio de factibilidad técnico-económico para la misma.

### **3.1.1 Localización de la planta**

Calle Circunvalación y Calle Olmos. Interior de los Viveros Forestales de Coyoacán  
(SEMARNAP)

Av. Universidad y Av. Progreso

Col. Barrio de Santa catarina

Delegación Coyoacán, México D.F.

Código postal 04100

Tel. 5554-1851

En la Figura A-I.1., del anexo I, se muestra el plano general de ubicación del HAFH dentro de los Viveros Forestales de Coyoacán.

### **3.1.2. Estudio de factibilidad**

#### **3.1.2.1 Evaluación técnica**

Con la finalidad de establecer las bases y criterios para el diseño y construcción de un HA a escala real se deben llevar a cabo, entre otras actividades, la ejecución de pruebas experimentales en equipos que puedan trabajar a diferentes condiciones de operación, tal es el caso de emplear reactores en la escala laboratorio para adecuar en lo posible, los parámetros de operación que se requieran estudiar a profundidad y poderlos aplicar al diseño estipulado; esto, sobre la base de los resultados obtenidos en esas pruebas. De manera particular, dichas pruebas fueron el antecedente necesario para obtener la información siguiente (Ramírez, 1998):

- Eficiencia de remoción de contaminantes en cada una de las etapas del proceso de tratamiento, empleando como base agua residual del río Magdalena.

- Los parámetros útiles para el dimensionamiento del sistema requerido y de los equipos adicionales.
- Evaluación de materiales alternos para una mejor adecuación del sistema en ésta y otras aplicaciones.

Entre los resultados obtenidos en el estudio técnico a nivel laboratorio se encuentra el gráfico de la figura 3.1., en donde se describe el porcentaje de remoción de materia orgánica que se consigue con escoria volcánica, un material de soporte no empleado en ningún otro humedal del que se tenga conocimiento (además que es abundante en México), respecto al material tradicionalmente empleado (gravilla). En los gráficos de las figuras 3.2. y 3.3., se resume la remoción de materia orgánica en términos de la DBO<sub>5</sub> y global (DBO<sub>5</sub> y DQO) obtenidas con el uso del reactor escala laboratorio y empleando el nuevo material de soporte (Ramírez, 1998; Schaller, 1998).

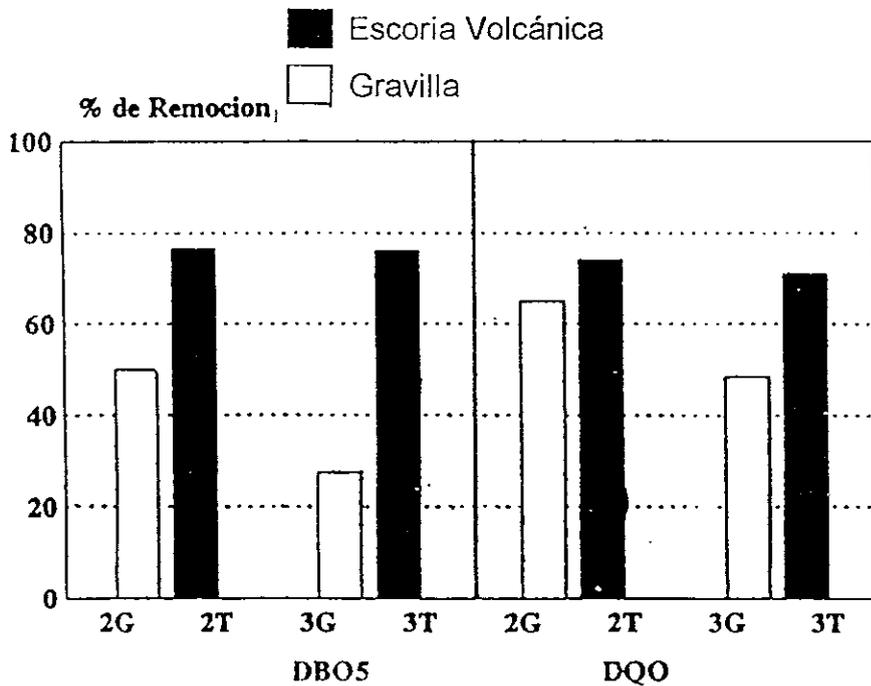


Fig. 3.1. Porcentaje de remoción de materia orgánica con el nuevo material de soporte respecto a la gravilla y que se empleará en el HAFH para este trabajo.

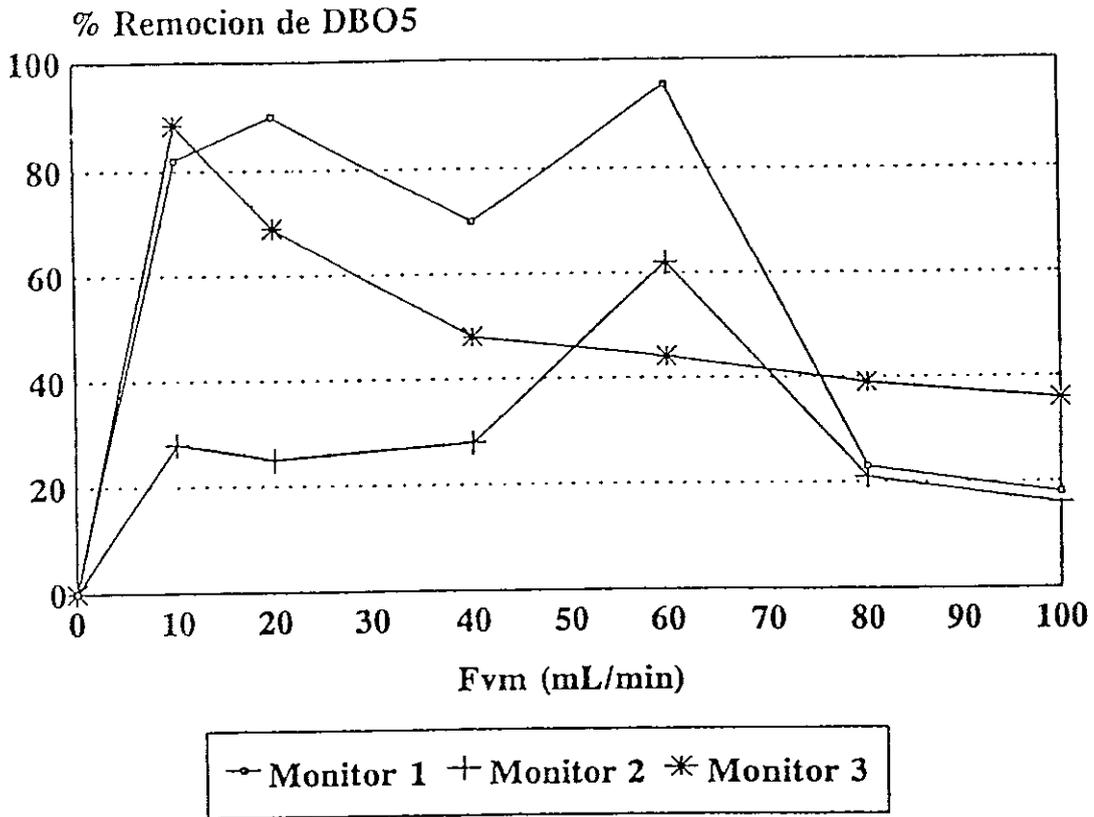


Fig 3.2. Porcentaje de remoción de materia orgánica en términos de DBO<sub>5</sub>.

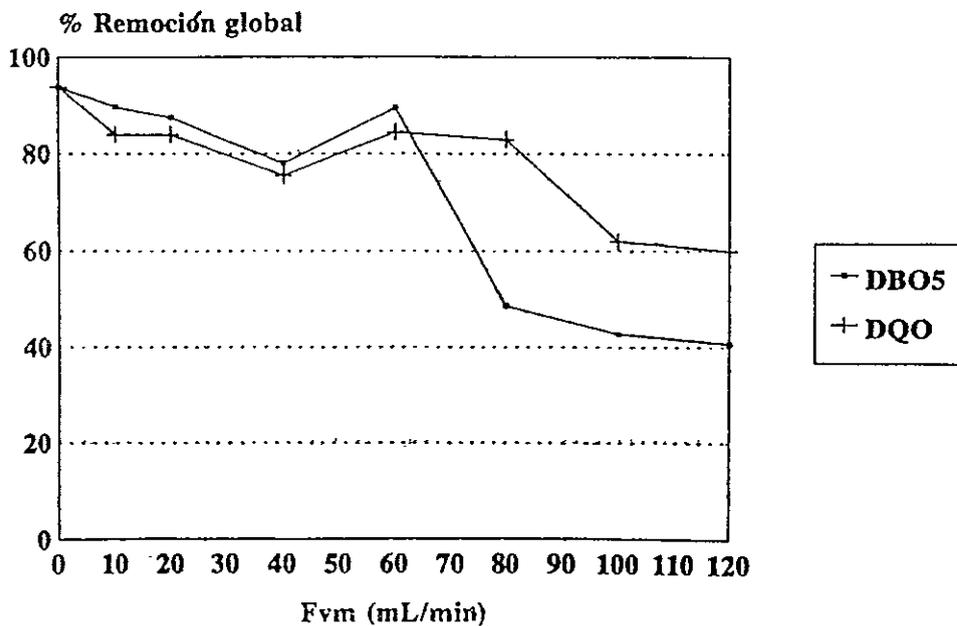


Fig 3.3. Porcentaje de remoción global de materia orgánica (DBO<sub>5</sub> y DQO) por volumen de agua alimentada al sistema

### 3.1.2.2. Evaluación económica

Dentro de los puntos más importantes que se involucran en este documento están el presupuesto de inversión total, incluyendo la inversión total inicial y los costos de tratamiento así como la evaluación del proyecto, en donde se incluye valor presente neto, tasa interna de rendimiento, análisis beneficio/costo y el periodo de recuperación de la inversión (VPN, TIR, A B/C, PRI respectivamente), (Ramírez, 1998; Schaller, 1998). Cabe señalar que éste tipo de evaluación se hizo de manera convencional, no obstante que la legislación nacional vigente en materia ambiental establece la obligatoriedad en el tratamiento de las aguas residuales domésticas generadas por las diferentes comunidades, estableciendo para ello un calendario en donde estipula la fecha de vencimiento en la que deben cumplir con la calidad indicada (NOM-001-ECOL-1996). Es decir, que la disyuntiva no es si se tratan o no las aguas residuales, sino encontrar el sistema más adecuado para ello, desde el punto de vista técnico-económico.

En las tablas 3.1. a 3.4. se encontrarán en resumen, los datos del estudio de factibilidad económica obtenido previamente a la construcción del HAFH (Ramírez, 1998; Schaller, 1998).

Tabla 3.1. Presupuesto global de la inversión fija ( tomada de Ramírez, 1998)

Concepto	Porcentaje (%)	Monto (pesos)
Obra civil	45	28500
Equipo	19	12300
Accesorios principales	24	15300
Imprevistos	12	6900
Total	100	62900

Tabla 3.2. Presupuesto de Inversión diferida (tomada de Ramírez, 1998)

Concepto	Porcentaje (%)	Monto (pesos)
Instalación y montaje	33	9700
Asesoría y supervisión	42	12400
Puesta en marcha	8	2600
Fletes	8	2400
Contingencias	8	2500
Total	100	29600

Tabla 3.3. Costos del tratamiento para el primer año (tomada de Ramírez, 1998)

Concepto	Porcentaje (%)	Monto (pesos)
Operación	39	7300
Mano de obra directa	23	4300
Mantenimiento	26	4400
Otros	12	2200
Total	100	18700

Tabla 3.4. Depreciaciones y amortizaciones (tomada de Ramírez, 1998)

Concepto	Valor original	Tasa (%)	Cargo anual	Valor de rescate
Depreciaciones				
Obra civil	28500	5	1425	14250
Equipo	12200	10	1220	
Accesorios principales	15300	10	1530	
Amortizaciones	29600	10	2960	
		$\Sigma=$	7135	14250

### 3.1.3. Evaluación del proyecto

Para la evaluación del proyecto fue necesaria, en el presente, la comparación de los flujos que se encuentran en diferente momento del tiempo. En la tabla 3.5. se muestra el flujo neto de ahorro el cuál fue la base para evaluar la rentabilidad del proyecto y así calcular los siguientes parámetros (Ramírez, 1998; Schaller, 1998):

$$\text{(Valor presente neto) VPN} = 78937$$

Dado que este valor fue positivo, se aceptó el proyecto, obteniendo con ello la tasa interna de rendimiento (TIR):

$$\text{TIR} = 0.3582$$

Análisis Beneficio/Costo (A B/C):

$$\text{A B/C} = 1.94$$

Periodo de recuperación de la inversión (**PRI**):

A partir de la tabla 3.5, se obtuvo el ahorro neto anual (**ANA**), así como la inversión neta requerida (**INR**), con lo cual se tiene que:

$$\text{ANA} = 306304.00/100 \text{ pesos} * \text{año} \quad \text{e} \quad \text{INR} = 92500.00/100 \text{ pesos}$$

y, si  $\text{PRI} = \text{ANA} / \text{INR}$ , entonces,

$$\text{PRI} = 3.3 \text{ años}$$

Basándose en estos datos, se acepta el proyecto por tener un PRI entre los más recomendables (2 a 5 años).

Tabla 3.5. Flujo neto de efectivo sin financiamiento (tomada de Ramírez, 1998)

Año	Precio por volumen de agua tratada	Costos por operación	I.S.R. Y P.T.U.	Inversión fija y diferida	Valor De rescate	Flujo Neto de ahorro
N	+	-	-	-	-	=
0				92500		-92500
1	70518	18700	20108			31710
2	78980	20994	22883			35103
3	88148	23375	25937			38836
4	95199	25245	28269			41685
5	103661	27489	31067			45105
6	111418	29546	33632			48240
7	119175	31603	36197		14250	65625

La información anterior podrá ser consultada a detalle en las referencias citadas en el presente trabajo.

## **3.2. Proyecto ejecutivo**

Este comprende a la segunda etapa fundamental, la cual precede a la de proyecto básico, y que entre la información que comprende su estructura están todos los documentos que surgen de los siguientes puntos (Morales, 1994):

- Desarrollo de la ingeniería básica
- Desarrollo de la ingeniería de detalle
- Especificaciones de seguridad, higiene y manejo de efluente.
- Procura de equipo y materiales

### **3.2.1. Desarrollo de la ingeniería básica**

La ingeniería básica de un proyecto de este tipo es aquella que tiene que ver con el arreglo general del sistema de tratamiento y las especificaciones generales. En esta etapa, se elaboran una serie de documentos, partiendo de la tecnología propuesta en el diseño de equipo e instalaciones necesarias de la planta (Morales, 1994).

Los documentos comprenden fundamentalmente la ingeniería del proceso de tratamiento, así como la información necesaria para permitir diseñar un sistema operable, seguro y controlable. En los siguientes apartados se encontrarán nombrados los documentos más importantes, en algunos se encontrará información específica y concreta, mientras que en otros no se incluirá información, para ambos casos podrá consultarse y ampliarse en las bibliografías citadas para cada apartado.

### **3.2.1.1. Bases de diseño**

Las bases de diseño se conforman por los siguientes puntos (Breen, 1990; George y Kemp,1996; Hammer, 1994; Hiley, 1990; House y Frederick,1996; Morales, 1994; Rase y Barrow, 1973):

- Objetivos
- Capacidad de la planta
- Ubicación de la planta
- Características promedio del influente y las esperadas en el efluente
- Eliminación de desechos (consultar Capítulo 6 del presente trabajo)
- Instalaciones requeridas
- Características de los servicios auxiliares
- Condiciones climatológicas promedio
- Normas, códigos y especificaciones

### **3.2.1.2. Bases y criterio de diseño para equipos**

Las bases y criterios de diseño para el HAFH en los viveros de Coyoacán se aplicaron para los equipos siguientes (Boon, 1985; Gersberg,1985; Hu,1994; Johansen y Brix, 1996; King, 1996; Knight e Iverson, 1990; Levenspiel, 1993; Marsteiner *et al.*, 1996; Metcalf y Eddy, 1991; Ramírez, 1998; Reed y Brown, 1995; Sereico y Larneo, 1988; Tanner y Sukias, 1995):

- Rejillas de cribado
- Bomba
- Fosa séptica
- Humedal artificial de flujo horizontal(HAFH):

- a) Area de superficie total del humedal
- b) Tiempo de residencia hidráulico
- c) Profundidad del lecho
- d) Relación largo-ancho (L-A)
- e) Perfil hidráulico

### 3.2.1.3. Balance global de agua

El balance global de agua se realizó tomando como base el flujo de alimentación de diseño, considerando una estimación de la precipitación pluvial y de la evapotranspiración, así como de la capacidad de infiltración del terreno en la zona de ubicación del HAFH (Breen, 1990; García, 1998; Phillips, 1989; Poiani, 1995; Ramírez, 1998).

Según los cálculos realizados durante el desarrollo de la ingeniería básica, el volumen anual de agua tratada ( $F_{ve}$ ) será:

$$F_{ve} = 2041.075 \text{ m}^3 / \text{año}$$

En donde ya se ha considerado precipitación pluvial, flujo volumétrico que debería salir como agua alimentada, la evapotranspiración y la infiltración.

### 3.2.1.4. Descripción del proceso

La descripción a detalle del proceso de depuración que ofrece el HAFH consiste de cuatro etapas principales (Ramírez, 1998; Schaller, 1998):

1. Tratamiento preliminar
2. Tratamiento primario

- 3 Tratamiento en el HAFH
- 4 Disposición final (reúso en riego)

### **3.2.1.5. Hojas de datos de equipos**

Las hojas de datos de equipos del proceso del HAFH fueron realizadas para los siguientes equipos y accesorios (Ramírez, 1998):

- Medidor de flujo de alimentación del influente pretratado y de salida del efluente
- Bomba de alimentación del influente y de desalojo del efluente
- Fosa séptica
- Rejilla

### **3.2.1.6. Diagrama de flujo del proceso (DFP)**

En el Anexo I, figura A-I.2. , se muestra el diagrama de flujo de proceso (DFP) del HAFH en viveros de Coyoacán, éste incluye las correcciones realizadas al diagrama de flujo de proceso inicialmente considerado en el diseño previo a la construcción (Ramírez, 1998; Schaller, 1998).

### **3.2.1.7. Arreglo general del sistema**

En el Anexo I, figura A-I.3., se encuentra el plano con el arreglo general del sistema. Plano igualmente corregido del inicial (Ramírez, 1998; Schaller, 1998).

### **3.2.1.8. Filosofías básicas operacionales**

Se realizaron análisis del comportamiento del HAFH, definiendo las bases para una adecuada operación en días normales y especiales, los principales puntos considerados fueron (Ramírez, 1998):

- Generales
- Variables de operación y control del proceso
- Infiltración
- Evapotranspiración
- Precipitación

Hasta aquí se mostraron los documentos de la ingeniería básica más importantes que el presente trabajo toma en cuenta para continuar con el desarrollo del proyecto.

### **3.2.2. Desarrollo de la ingeniería de detalle**

Una vez revisados los documentos pertenecientes a la ingeniería básica, se continua con la especificación de los puntos que conforman a cada uno de los documentos correspondientes a la ingeniería de detalle. En ésta parte de cualquier proyecto, las especificaciones de los elementos que componen al proceso, son más estrictas, ya que indican tanto las dimensiones, orientaciones en la planta, los materiales de construcción, la correcta ubicación, la función dentro del sistema, entre otros puntos relacionados con todos y cada uno de los elementos que componen, en este caso, al HAFH (Fastenau *et al.*, 1989; Morales, 1994; Rase y Barrow, 1973; Rase y Barrow, 1993; Schaller, 1998).

especificaciones breves pero relevantes, de la información que para este trabajo, considerarlas, será de especial importancia (Schaller, 1998).

Entre los principales documentos que componen a la ingeniería de detalle se encuentran los que a continuación se mencionan.

### **3.2.2.1. Especificación de Límites de Batería (L.B.), con estudios del suelo**

- Condiciones del influente y del efluente en L.B.
- Manejo de efluentes líquidos fuera de L.B.
- Manejo de efluentes sólidos fuera de L.B.
- Instalaciones requeridas de almacenamiento dentro de L.B.
- Levantamiento topográfico (Coyoacán específicamente)
- Estudio zonal de mecánica de suelos (Zona Metropolitana de la Ciudad de México, específicamente D.F.)

### **3.2.2.2. Requerimiento de servicios auxiliares**

- Agua para servicios y usos sanitarios
- Agua potable
- Análisis de agua
- Combustibles
- Refrigeración
- Energía eléctrica
- Telefonía
- Vías de acceso carretero

### **3.2.2.3. Cálculo hidráulico de líneas**

- Por reglas heurísticas
- Por métodos matemáticos

### **3.2.2.4. Especificaciones de tuberías**

- Relaciones longitud/diámetro (L/D)
- Materiales recomendables

En el Anexo I, figura A-I.4., se presenta el diagrama de tubería e instrumentación (DTI) en donde se aprecia una vista a detalle de la distribución de tubería así como sus especificaciones en el HAFH.

### **3.2.2.5. Especificación de instrumentos**

- Requerimientos de control:
  - a) De flujo
  - b) De nivel
  - c) De operación
  - d) Combinación de ambos
- Tipo de instrumento de control:
  - a) De nivel
  - b) De flujo
  - c) De operación
  - d) Combinación de ambos
- Disponibilidad económica y/o de mercado
- Garantía de funcionalidad

- Garantía de funcionalidad
- Deficiencias
- Respuesta
- Material de construcción

En la figura A-I.4., del anexo I (DTI), se muestra la distribución de instrumentos de control y sus especificaciones en el HAFH.

### **3.2.2.6. Diagrama de tubería e instrumentación**

- Descripción del DTI
- Tubería (cantidad, tipo, accesorios)
- Acerca de la instrumentación:
  - a) Control de flujo
  - b) Control de nivel
  - c) Control de operación
  - d) Combinación de ambos
  - e) Instrumentos de medición de flujo de influente y efluente
- Válvulas de control de flujo
- Selección de material de la tubería, instrumentación, accesorios, muestreadores

En la figura A-I.4., del anexo I se muestra el DTI del HAFH en los Viveros Forestales de Coyoacán, especificando tanto tuberías y accesorios, como instrumentos de control y medición, equipos críticos y los puntos de muestreo determinados.

### **3.2.2.7. Isométrico general del sistema**

- Lista de tuberías
- Lista de accesorios
- Lista de instrumentos
- Conexiones

En el anexo I (fig. A-I.5.), se muestra el plano isométrico del HAFH.

### **3.2.2.8. Dimensionamiento de equipo**

- Rejillas en bomba de alimentación de influente
- Fosa séptica
- Medidor de influente pretratado
- HAFH con y sin material de empaque
- Cisterna de captación del efluente tratado
- Bomba de desalojo del efluente tratado
- Medidor de flujo del efluente tratado

### **3.2.2.9. Revisión de códigos y estándares**

- De construcción
- De materiales de equipos, tuberías, accesorios, etc.
- De proceso operativo

### **3.2.3. Especificación de seguridad, higiene y manejo de efluentes**

Punto importante que debe considerarse en todo proyecto que implique construir, arrancar y operar una planta de tratamiento de aguas residuales. Los aspectos más importantes se enuncian en los siguientes apartados:

#### **3.2.3.1. Aspectos de seguridad del proceso para un HAFH**

- Riesgos por incendios
- Riesgos por problemas higiénicos
- Riesgos por problemas eléctricos-mecánicos
- Disponibilidad de sistemas de seguridad

#### **3.2.3.2. Aspectos de higiene del proceso**

- Comisión de higiene y seguridad
- Disponibilidad de infraestructura para higiene

#### **3.2.3.3. Muestreo**

- Toma de muestras
- Conservación de muestras
- Transporte de muestras

En la figura A-I.6. del anexo I, se muestra el plano de ubicación de los puntos de muestreo.

#### **3.2.3.4. Segregación de efluentes**

- Manejo y disposición final de residuos generados
- Aprovechamiento de los residuos

#### **3.2.3.5. Impacto ambiental generado por la implantación de un HAFH**

En términos generales, se puede apreciar que las bondades que ofrece un HA como sistema de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico son bastante aceptables, ya que ofrecen reducción a problemas de contaminación de los cuerpos receptores y permite el incremento de biodiversidad, tanto dentro del HAFH como en los alrededores del mismo. Por lo anterior, los factores más relevantes que permitirían crear un impacto ambiental nocivo serían los que a continuación se enlistan:

- Incendios provocados o accidentales
- Invasión por plagas si se trata de monocultivo
- Suelos contaminados debido a la alimentación de residuos tóxicos mezclados con el agua en tratamiento con un HA
- Generación de foco de infección por mal manejo y disposición final de los efluentes generados

#### **3.2.4. Procura de equipos y materiales**

##### **3.2.4.1. Cotizaciones**

- Búsqueda de proveedores alternos y ubicación
- Realización de solicitudes de cotización
- *Ordenamiento de cotizaciones adquiridas según equipos, materiales, accesorios, tipo de empresa o ubicación geográfica*

##### **3.2.4.2. Comparación y selección de ofertas**

- Por costo-tiempo de entrega

- Por volumen-costo
- Por volumen-tiempo-entrega
- Por condiciones de pago
- Por costo-tiempo de vida
- Por condiciones de entrega útil
- Selección de los proveedores según condiciones compraventa

#### **3.2.4.3. Ordenes de compra**

- Preparación de órdenes de compra
- Acuerdos de tiempo y condiciones de entrega (en función de la planeación de la construcción)
- Acuerdos de condiciones de pago
- Envío de órdenes de compra una vez aceptadas por las fuentes de financiamiento

#### **3.2.4.4. Adquisición de equipos materiales y accesorios**

- Según la planeación de la construcción
- Según la solvencia económica de los interesados en un sistema de este tipo

#### **3.2.4.5. Inspección de las adquisiciones**

- Garantías
- Tiempo de vida útil
- Materiales de construcción
- Manuales de operación
- Requerimientos de mantenimiento general

#### **3.2.4.6. Expeditación**

Prácticas generales vendedor-comprador

# Capítulo 4.

## Construcción

---

*Si le doy un pescado, comes hoy, si te enseño a pescar. comerás siempre.*

*El padre que no le da trabajo a sus hijos, los enseña a rogar.*

*La fortuna que vino despacio, no se va deprisa*

*El éxito consiste en obtener lo que se desea, la felicidad en disfrutar lo que se obtiene.*

---

## **CAPÍTULO 4. CONSTRUCCIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL (HAFH)**

Una vez culminada la etapa de proyecto ejecutivo, prosigue la fase proyecto de construcción de la planta de tratamiento, la cual comprende tanto la construcción e instalación, como las pruebas de funcionalidad de los equipos empleados en el proceso, éstas pruebas son previas al arranque de operaciones de la planta (Morales, 1994; Rase y Barrow, 1993; Schaller; 1998).

A lo largo de este capítulo se desarrolla la descripción de la construcción del HAFH, iniciando con la descripción del proceso y culminando con las pruebas de funcionalidad de equipos e instrumentos. En cuanto a la planeación de la construcción, ésta se llevó a cabo en función de la información obtenida por los trabajos previos a la construcción y la definida en el presente trabajo, concretándose en los subcapítulos siguientes.

### **4.1. Descripción de las etapas del proceso de construcción**

#### **4.1.1. Alimentación y pretratamiento**

El agua residual a tratar se capta del río Magdalena y se alimenta al tratamiento primario (fig. 4.1.), para ésta operación se cuenta con dos alternativas:

- Con medios electromecánicos (con ayuda de una bomba y tubería)
- Con medios físicos disponibles (canal con la pendiente y longitud requerida)

Cabe señalar que en general se busca que un humedal artificial sea alimentado con aguas residuales que fluyan por gravedad, a efecto de evitar los costos asociados con sistemas de bombeo. Para el presente caso se requirió de considerar éste último como el más usual, debido a la necesidad de garantizar el suministro continuo y controlado (para fines experimentales) del agua a tratar. Para el HAFH,

ambos casos de alimentación cuentan con cribas adecuadas para eliminar basura, piedras y otros sólidos de gran tamaño que pudiesen ocasionar problemas, así también, evita atascamientos con lodo teniendo flexibilidad de darles mantenimiento de manera manual y sin contratiempo alguno.

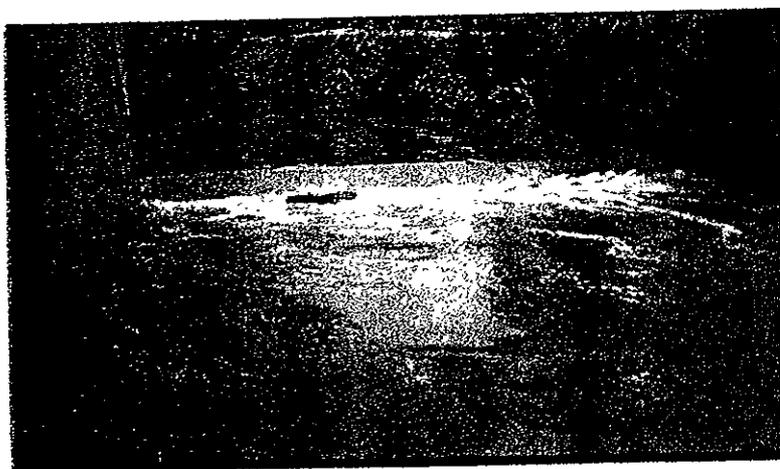


Fig. 4.1. Vista parcial del río Magdalena, lugar de alimentación del influente a tratar

#### **4.1.2. Tratamiento primario**

El tratamiento primario estará compuesto por un sistema de sedimentación (por gravedad) de los sólidos suspendidos (sedimentables). Una fosa séptica de  $1.8 \text{ m}^3$  de volumen (ver fig. 4.2.). Al respecto, debe indicarse que para que la fosa se alimentará por gravedad y con ello el HAFH, através de los canales existentes; se tuvieron que colocar a la profundidad adecuada, de modo que además, permita suministrar agua con menor cantidad de sólidos sedimentables a la fosa y con ello al HAFH. La fosa dispondrá de una entrada por la cual se introducirá el influente (por cualquiera de las alternativas consideradas); una salida, la cual está dirigida a la entrada del HAFH; contará con dos instrumentos de control de nivel, uno de ellos para controlar el nivel máximo-mínimo de la fosa séptica y otro para detectar los niveles del río antes de que accione la bomba de alimentación, ambos controles evitarán que la bomba cavite.

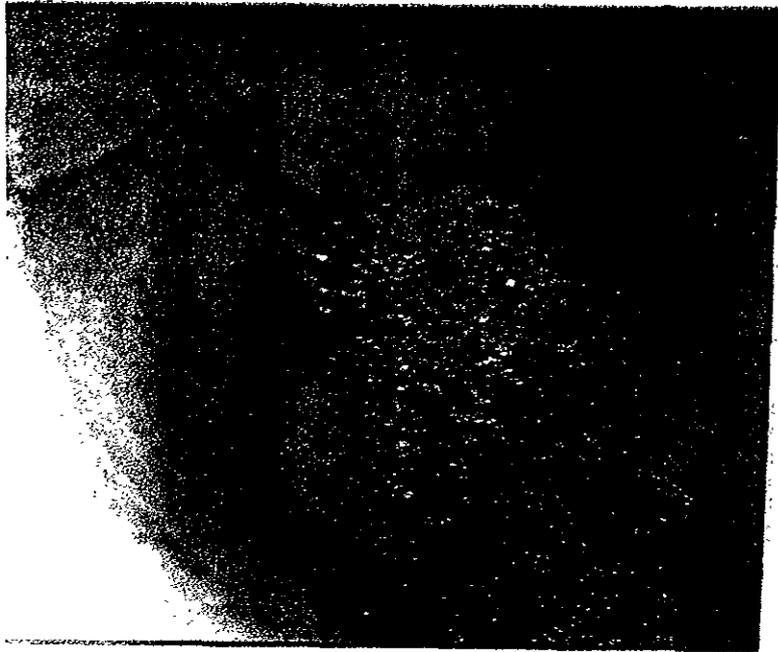


Fig. 4.2. Vista parcial de la fosa séptica, aquí se aprecia que es alimentada con influente proveniente del río Magdalena, ya sea por bombeo o por el canal.

#### **4.1.3. Registro primario y alimentación del influente al HAFH**

Como se trata de un sistema en la escala real y con fines principalmente de estudio, se contará con un sistema de medición del caudal del agua pretratada que es alimentada al HAFH, además éste sistema contará con una válvula de control de flujo y un sistema que permitirá darle mantenimiento, incluyendo al medidor de flujo de manera independiente.

El sistema de alimentación al HAFH, se encuentra compuesto por una tubería seccionada en cuatro distribuidores separados a distancias equivalentes a lo ancho del mismo. Estos distribuidores se encuentran sobre la superficie del material de

empaques a una altura aproximada de 20 cm, permitiendo que la descarga del influente pretratado sea sobre placas plásticas que permiten una mayor distribución y oxigenación previa, justo antes de ingresar al HAFH.



Fig. 4.3. Vista parcial del “registro 2”, también denotado como registro primario, éste se encuentra localizado de manera posterior a la fosa séptica y previo al HAFH y es en donde se realiza la medición del influente alimentado y además contempla un sistema de mantenimiento a la línea de alimentación al humedal.

#### **4.1.4. Humedal Artificial de Flujo Horizontal (HAFH)**

El tratamiento secundario (biológico), se encuentra compuesto por una fosa recubierta de material impermeable, de 15m x 5m y profundidad de 0.7m en la zona de alimentación del influente, mientras que en el otro extremo se encontrará un arreglo de tuberías que ha de captar y evacuar el efluente, su profundidad es de 0.8m. Esta diferencia en la profundidad de la fosa se debe a que se pretende que el flujo interno del agua a través del humedal se lleve a cabo por gravedad. El material de empaque del HAFH es de diferentes granulometrías, el cual, debido a las

propiedades que mostró en el estudio técnico, resultó ser el más conveniente que el habitualmente empleado para este tipo de sistemas (Ramírez, 1998).

Las plantas vasculares emergentes se colocarán inicialmente a razón de tres plantas por cada m<sup>2</sup> de superficie de material de empaque. La reproducción de las plantas es rápida, debido a las condiciones climáticas que resultan favorables para su acelerado crecimiento y reproducción.

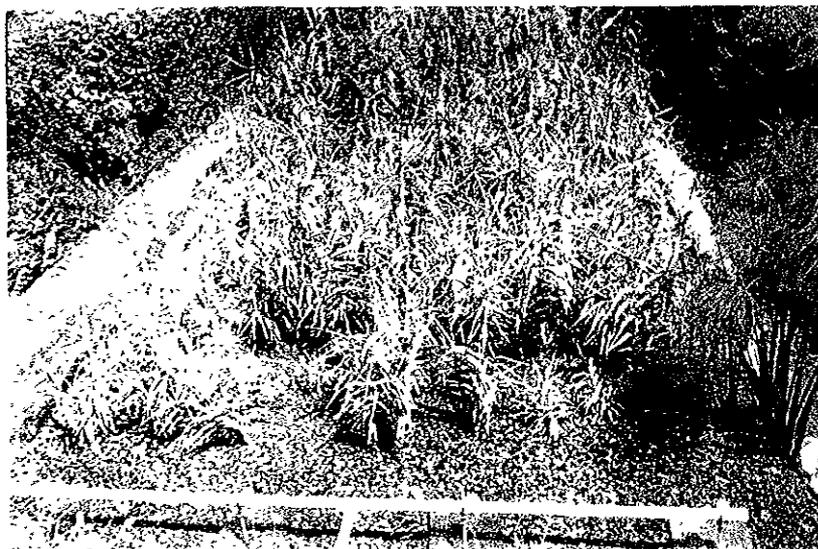


Fig. 4.4. Vista parcial del HAFH, aquí se puede apreciar el sistema de alimentación, distribución del influente que ya ha pasado por el tratamiento primario.

#### **4.1.5. Desalojo del efluente y registro secundario**

Para la colecta del efluente se emplea un arreglo de tubería que permita captarlo y que lo conducirá hasta la cisterna de almacenamiento de agua tratada. Ésta estará colocada a una mayor profundidad que el propio HAFH, ya que todo el flujo (en el lecho) será por gravedad y será necesario desalojarla a intervalos de tiempo con la ayuda de una bomba (fig. 4.5.), que también contará con un sistema de control. La tubería que conduzca al agua tratada hasta el lugar de disposición final, contará con

un registro secundario, también denotado como “registro 3”, el cual contempla otro medidor del caudal y volumen del efluente obtenido, un sistema distribuidor de agua para riego y de mantenimiento del HAFH, tal y como se mostrará más adelante.

El tubo de salida del HA, será flexible, con la finalidad de poder controlar el nivel de agua dentro del empaque. En La cisterna de captación se instalará un tercer instrumento de control de nivel, el cual accionará la bomba de salida cuando el nivel del agua sea máximo e impedirá su funcionamiento cuando sea mínimo.



Fig. 4.5. Vista general de la cisterna de captación del efluente tratado, se puede apreciar al tubo de salida del HAFH, la bomba de desalojo y el sistema de control.

#### **4.1.6. Mantenimiento**

El mantenimiento será realizado de acuerdo a las necesidades que el sistema o alguno de sus componentes demande durante su operación. Para lodos acumulados en la fosa séptica se deberá asignar una zona especial para darles un tratamiento adecuado, recomendable formar composta.

## 4.2. Lista de actividades

De acuerdo a la descripción de las etapas del proceso que se han de llevar a cabo en el HAFH, se enuncian las siguientes actividades que se desarrollaron durante la construcción del mismo.

### Número    Actividad

#### **I        Construcción**

- 1        Revisión de la información previa y planeación de la construcción
- 2        Abastecimiento de servicios provisionales y otros requerimientos
- 3        Adecuación del terreno y cimentaciones
- 4        Levantamiento de construcciones requeridas
- 5        Impermeabilización de la fosa para el HAFH
- 6        Montaje de tuberías, equipos e instrumentos (instalación)
- 7        Preparación y colocación del material de soporte
- 8        Obtención y colocación de las plantas vasculares
- 9        Pruebas de funcionalidad en equipos e instrumentos y delimitación física de límites de batería

#### **II        Arranque de operaciones y estabilidad operativa**

En los subcapítulos siguientes se mostrará la información referente a cada una de las actividades de la construcción del HAFH, reforzándose con información fotográfica obtenida en los momentos de la construcción.

### **4.3. Revisión de información previa y planeación de la construcción**

#### **4.3.1. Información previa necesaria para la construcción del Humedal Artificial de Flujo Horizontal (HAFH)**

Una vez completa toda la información previa a la construcción del HAFH en los viveros de Coyoacán, se realizó una revisión de los principales documentos pertenecientes a las etapas de proyecto básico y proyecto ejecutivo (enunciados en el capítulo 3 del presente trabajo), siendo éstos, puntos críticos para llevar a cabo la continuidad del proyecto con la menor cantidad de contratiempos.

#### **4.3.2. Planeación de la construcción**

En relación con el cronograma (Tabla A-II.1. del anexo II) se emplearon tres criterios importantes para programar las actividades relacionadas con la construcción y arranque del sistema (Rase y Barrow, 1973):

- Objetivos a alcanzar
- Recursos disponibles
- Limitantes para lograr los objetivos

Con ellos se logran armar los documentos siguientes:

- Cronograma de actividades
- Horas-hombre estimadas
- Diagrama de Gantt
- Ruta crítica

#### **4.3.2.1. Cronograma de actividades**

En el Anexo II, tabla A-II.1. se muestra un cuadro donde se marcan las diferentes actividades durante la construcción del HAFH, incluyendo la duración de cada una de ellas.

El proceso de construcción del HAFH tubo una duración de 66 días efectivos, iniciando el primer día del mes de Diciembre de 1997 y culminando el día 2 del mes de Marzo de 1998. Cabe mencionar que no se consideraron días de trabajo los festivos reglamentarios y domingos.

#### **4.3.2.2. Horas- Hombre estimadas**

La estimación de Horas-hombre por actividad de la construcción y de arranque de operaciones del HAFH se denota en la tabla A-II.2. del Anexo II. En él se considera la cantidad de horas necesarias para la etapa de construcción y del arranque de operaciones de manera global y también las requeridas por cada actividad de la construcción de forma independiente.

Esta estimación se realizó basándose en la cantidad y complejidad del trabajo que implica cada una de las actividades, además, de las estimaciones realizadas en los trabajos previos (Ramírez, 1988; Schaller, 1998).

#### **4.3.2.3. Diagrama de Gantt**

En la tabla 4.1 se muestra los datos que han de formar el diagrama de Gantt en donde se incluyen solamente las actividades de la construcción en su totalidad y sólo se enuncia la actividad principal (sin subactividades). Adicionalmente en la figura 4.6. se muestra el diagrama de Gantt con todas las actividades principales de la construcción ya incluidas.

Tabla 4.1. Diagrama de Gantt para la construcción del HAFH

No	Actividad	Dic. '97	Ene. '98	Feb. '98	Mar. '98
1	Construcción del HAFH	Xxxxx	xxxxx	xxxxx	xx
2	Revisión de información previa y planeación de la construcción	Xx			
3	Abastecimiento de servicios provisionales y otros requerimientos	X			
4	Adecuación del terreno y cimentación	Xxxxx			
5	Erección de construcción requeridas		xxx		
6	Impermeabilización de la fosa para el HAFH		x		
7	Montaje e instalación de equipos, instalaciones, tubería, accesorios y otros		xx		
8	Preparación y colocación del material de soporte		x	xxx	
9	Colocación de plantas vasculares			xx	
10	Pruebas de funcionalidad de equipos e instrumentos y delimitación física de límites de batería			x	xx

#### 4.3.3. Selección del método de construcción del HAFH

Sobre la construcción, entre las principales ventajas que tiene el aplicar los HAFH como sistema de tratamiento para pequeñas y medianas poblaciones, se encuentran las siguientes:

- Baja complejidad de diseño
- Baja complejidad de construcción
- No requiere de maquinaria pesada

- Se puede emplear mano de obra local, sin problemas de transporte de personal ni necesidad de contrataciones costosas, influyendo en la inversión global la participación ciudadana con mano de obra u otros apoyos
- Por la reducida solvencia económica de las pequeñas poblaciones, la construcción en su primera fase debe ser relativamente lenta, debido a que la adquisición de equipos, tubería y materiales será también lenta.

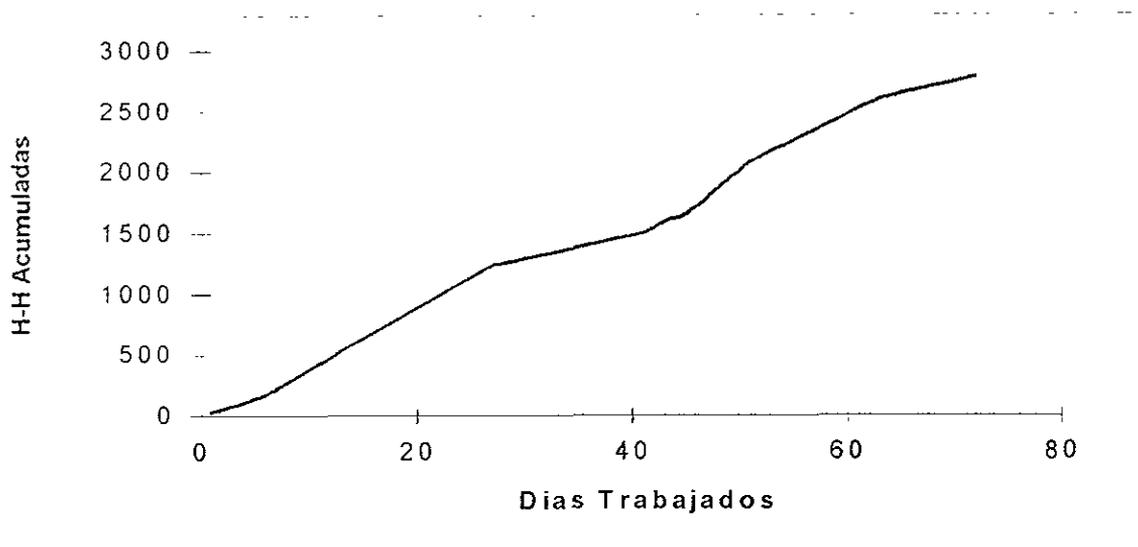


Fig. 4.6 Diagrama de Gantt de las actividades de construcción del HAFH, se observa el incremento en horas hombre necesarias para la culminación del proyecto con respecto a los días trabajados.

Por tales motivos, para la construcción del HAFH de Viveros de Coyoacán, se contrató personal con diferentes oficios y a diferentes tiempos, esto, dependió del grado de avance de la construcción y los requerimientos inmediatos. El emplear esta estrategia ayudó a identificar los problemas y/o contratiempos que deben considerarse como parte de la experiencia en la construcción de HA, logrando así contemplar un factor importante, y es el referido a la generación de fuentes de

trabajo que para el caso en cuestión, tienden a ser muy necesarias en esos sectores del país.

#### **4.4. Abastecimiento de servicios provisionales y otros requerimientos**

Antes de iniciar la construcción de la planta de tratamiento, deben confirmarse los servicios que han de requerirse provisionalmente mientras la construcción queda finalizada. En este sentido y con el apoyo de las autoridades internas del vivero, se consiguió llegar a acuerdos acerca del suministro de servicios auxiliares y de la posibilidad de apoyar el proyecto con personal en caso de ser necesario.

Los servicios requeridos para realizar la construcción del HAFH fueron los siguientes:

- Agua potable
- Energía eléctrica
- Transporte)
- Regaderas y excusados
- Accesos carreteros
- Almacén (para materiales y / o herramientas)
- Otros requerimientos

El suministro de éstos, según los requerimientos se llevó a cabo de la siguiente manera.

##### **4.4.1. Agua potable**

Durante el proceso de construcción del HAFH, el agua fue uno de los principales servicios demandados.

La demanda de agua potable fue totalmente cubierta y se debía a las siguientes necesidades:

- Agua potable para consumo humano (de escasa demanda)
- Agua potable para las actividades de ingeniería civil (de demanda considerable).

#### **4.4.2. Energía eléctrica**

El suministro de energía eléctrica fue autorizado por las autoridades, tanto de la DGCOH, como las internas de los Viveros Forestales de Coyoacán (ver fig. 4.8). Este servicio fue empleado fundamentalmente para operar herramientas, equipos y, algunas veces como auxiliar en las pruebas a los equipos del sistema (durante la construcción), pero sobretodo, empleado para efectuar la operación y el mantenimiento del HAFH.

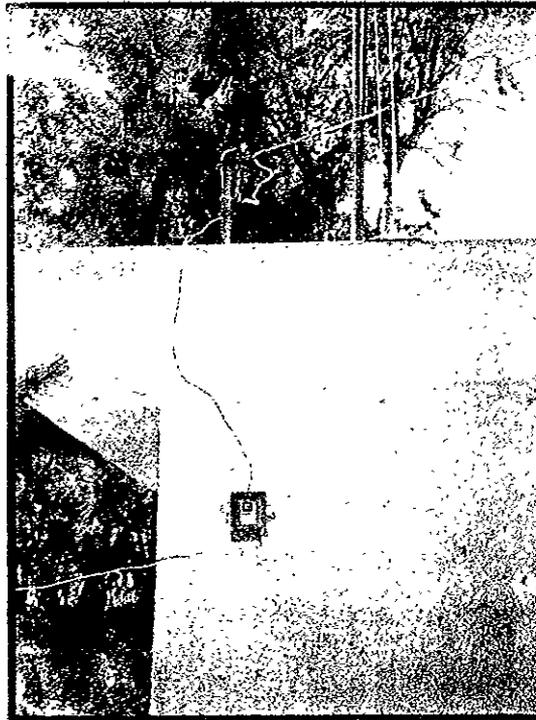


Fig. 4.7. Tablero de suministro de energía eléctrica, tanto para las actividades de construcción-instalación, como para las actividades de operación y mantenimiento.

#### **4.4.3. Transporte**

Debido a la necesidad de transporte de equipos, tubería, accesorios, material de soporte, e incluso para el abastecimiento de agua con motobombas, el requerimiento de gasolina pudo de ser cubierto, en gran parte por las autoridades internas del vivero sin que existiera inconveniente alguno.

#### **4.4.4. Regaderas**

También proporcionados por las autoridades internas del vivero, las regaderas y vestidores formaron parte de los requerimientos provisionales demandados por el personal encargado de la construcción del HAFH.

#### **4.4.5. Accesos carreteros**

Ya existentes dentro y fuera de los viveros, los accesos por vía terrestre fueron suficientes, ya que existen hasta tres posibilidades diferentes de llegar del exterior hasta la zona de ubicación del HAFH.

#### **4.4.6. Almacén**

El almacén general de los viveros fue empleado para guardar, durante el tiempo en que no eran ocupados, tanto materiales de construcción, como algunos equipos, tuberías, accesorios y las herramientas. La autorización para utilizarlo fue otorgada por las autoridades del vivero.

#### **4.4.7. Otros requerimientos**

Entre los principales requerimientos que se llegaron a demandar para la construcción, después de los servicios provisionales, se encuentran los siguientes:

- Herramienta: la cual fue proporcionada por las autoridades de los viveros durante toda la etapa de construcción y parte de la etapa de arranque de operaciones, significando esto, una disminución en los gastos globales del proyecto. Entre las herramientas más solicitadas por el tipo de trabajo y el método constructivo a desarrollar son:
  1. Carretillas
  2. Palas, picos, barretas, rastrillos
  3. Machetes, mazos, pinzas, arcos con cegueta
  4. Niveles de manguera, cintas métricas, llaves (pericos, Steelson)
  5. Herramienta para jardinería, entre otros
  
- Mano de obra: en este caso, se trata de personal capacitado para desarrollar actividades especiales, entre las que se destacaron:
  1. Corte parcial o tala de árboles y/o arbustos. Esto con los debidos permisos por parte de las autoridades del vivero y bajo un estricto análisis de impacto ambiental interno
  2. Limpieza y/o escombros de las zonas aledañas a la planta con ayuda de maquinaria pesada
  3. Colocación de setos naturales para delimitar físicamente los límites de batería
  4. Colocación de postes y alambre de cercado, entre otros.

## 4.5. Adecuación del terreno y cimentaciones

Una de las primeras y principales actividades en la construcción de este HA, fue la adecuación del terreno a las necesidades que el diseño global requería, así como realizar las cimentaciones.

### 4.5.1. Actividades realizadas

Entre las principales actividades que se realizaron en esta etapa de la construcción se encuentran:

- Limpieza, traza y nivelación del terreno
- Excavaciones requeridas
- Cimentaciones (escaleras, fosa para el HAFH, fosas de los registros "1" y "2", fosa de cisterna, zanjas para tubería de alimentación del influente y de desalojo del efluente)
- Acarreo del material, producto de la excavación.

### 4.5.2. Documentación fotográfica

A continuación se mostrarán algunas ilustraciones del proceso de adecuación del terreno y las cimentaciones realizadas.



Fig. 4.8. Aspecto original de la zona asignada para la construcción del HAFH, dentro del vivero forestal de Coyoacán en la Ciudad de México



Fig. 4.9. Excavación y desalojo del material extraído de la fosa perteneciente al HAFH



Fig. 4.10. Excavación (finalizada) de la zanja que contendrá a la tubería de alimentación por bombeo



Fig. 4.11. Zanja que contendrá a la tubería que conducirá el influente del canal de alimentación por gravedad.

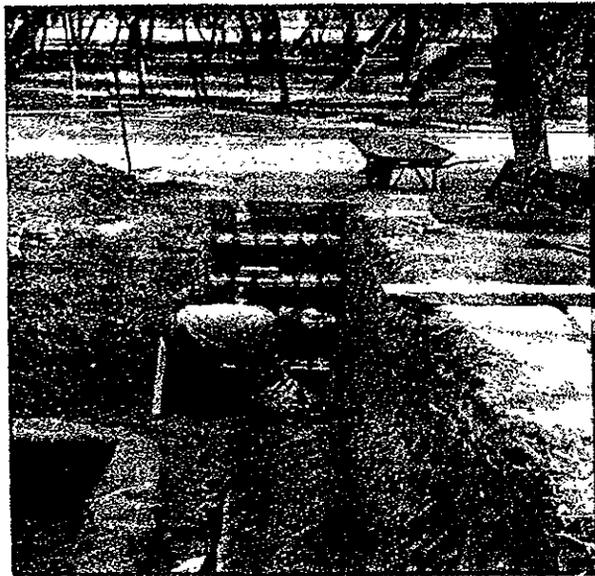


Fig. 4.12. Construcción de las escaleras de acceso al HAFH.



Fig. 4.13. Aspecto de toda la zona de tratamiento una vez finalizadas las tareas de adecuación del terreno y cimentaciones.

## **4.6. Levantamiento de construcciones requeridas**

Esta etapa fue relativamente corta, debido a las escasas necesidades de construcción. Esto se debe a que tanto almacén, sanitarios, cuarto de control y oficinas, así como naves industriales no fueron necesarias para esta planta de tratamiento en particular, ya que se cuenta con el apoyo de las instalaciones del vivero por parte de las autoridades internas.

### **4.6.1. Construcciones realizadas**

Las únicas construcciones necesariamente realizadas fueron las siguientes:

- Levantamiento de muros desde la contratrabe hasta la trabe de los registros "1", "2", "3" y la cisterna de captación, todos ellos con escaleras de acceso.
- Firme y aplanado de los muros de los registros y la cisterna de captación
- Pulido e impermeabilizado del cárcamo captor del efluente
- Piso de concreto para ambas construcciones
- Escaleras para acceso al HAFH
- Broquel externo del tanque séptico
- Colocación de tapas de seguridad en registros "1", "2" y cisterna de captación
- Anclado de las canastas de protección de la bomba de alimentación y la de protección del muestreador "1".

#### 4.6.2. Documentación fotográfica

A continuación se mostrarán algunas ilustraciones de actividades de las construcciones realizadas para el HAFH.

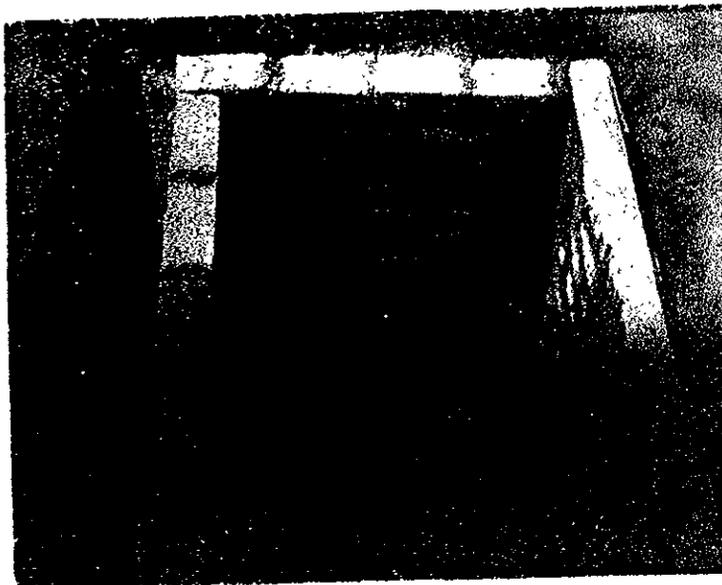


Fig. 4.14. Construcción de la cisterna de captación-desalojo del efluente (fase de revestimiento con firme, previa a la impermeabilización).

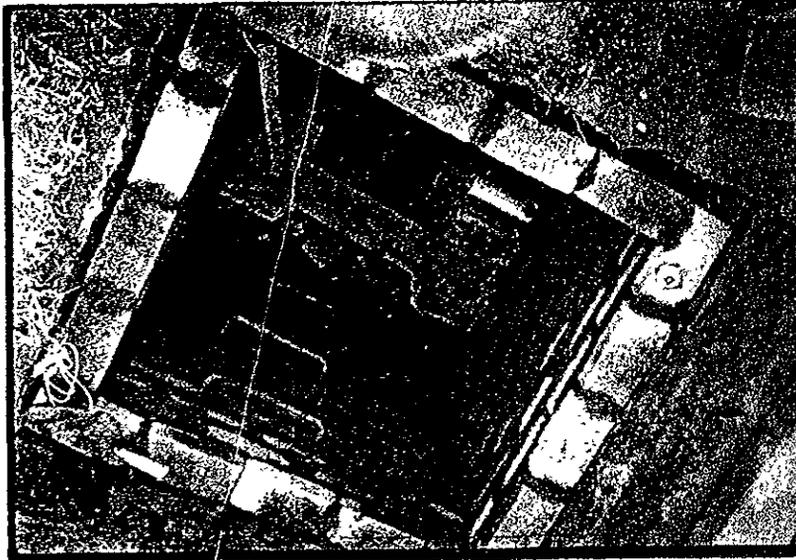


Fig. 4.15. Vista parcial (aérea) de la construcción del registro "2", se aprecia el tipo de escaleras de acceso y la estructura constructiva de esta edificación.

## **4.7. Impermeabilización de la fosa para el HAFH**

Esta etapa de la construcción fue realizada por personal calificado de la compañía abastecedora del material de impermeabilización, (geomembrana de PEAD de 3 mm de espesor), el cual, empleó maquinaria y herramienta propias con abastecimiento portátil de energía eléctrica.

### **4.7.1. Actividades realizadas**

Los trabajos de impermeabilización de la fosa se desarrollaron en un tiempo de tres días, y las actividades más sobresalientes fueron:

- Detallado de las paredes de la fosa
- Nivelación de la base
- Colocación de arenilla y, con ello la conformación de la pendiente requerida por el diseño

- Realización de cunetas de anclaje
- Tendido de la geomembrana y realización de los cortes necesarios
- Colocación de tubería de salida
- Unión y sellado de los cortes
- Anclado de la geomembrana y detallado de los bordes
- Colocación de sacos de arena en toda el área interna de la fosa para acoplamiento de la geomembrana al contorno superficial de la fosa.

#### 4.7.2. Documentación fotográfica

En las siguientes ilustraciones se podrán observar algunas de las actividades realizadas en la etapa de impermeabilización de la fosa del HA.

fondo.



Fig. 4.16. Inicio de la impermeabilización de la fosa del HAFH con el tendido y corte de las bobinas de polietileno de alta densidad (PEAD).

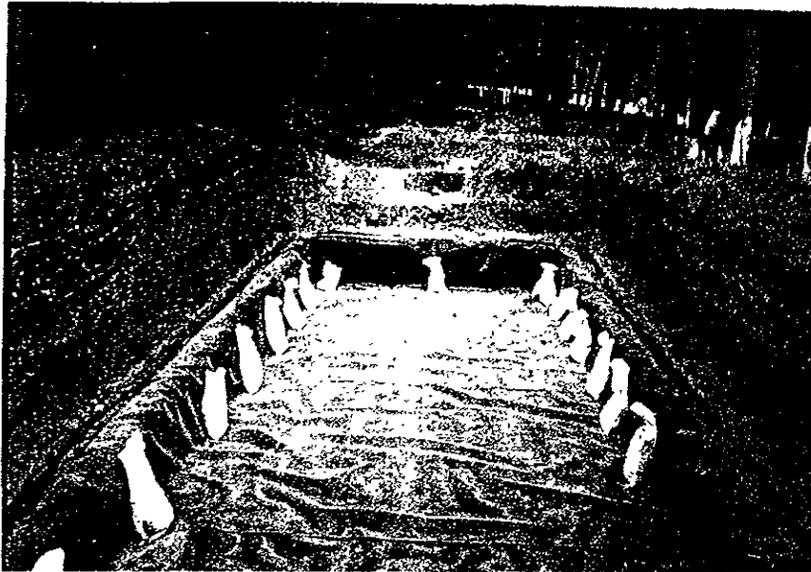


Fig. 4.17. Vista de la fosa para el HAFH una vez culminada su impermeabilización

#### **4.8. Montaje e instalación de equipos, instrumentos, tubería, accesorios y otros**

Esta etapa se llevó a cabo entre la etapa de impermeabilización de la fosa del HA y la de preparación del material de soporte. El tiempo invertido en esta etapa se vio incrementado debido al proceso de procuración, adquisición, y expeditación de los equipos y accesorios, por lo que se aceleró el proceso de preparación del material de soporte y la adquisición de las plantas vasculares para cumplir con el tiempo programado de culminación de la construcción.

##### **4.8.1. Actividades realizadas**

Entre las principales actividades realizadas en esta etapa se encuentran las siguientes, en orden progresivo

- Confirmación de las órdenes de compra de equipos especiales.
- Adquisición directa de faltantes de tubería, accesorios y otros materiales.

- Instalación de tubería y accesorios en las líneas de alimentación del influente y desalojo del efluente.
- Colocación de las rejas de protección para la bomba de alimentación del influente y muestreador " 1".
- Colocación e instalación de las bombas de alimentación del influente y desalojo del efluente con sus respectivos instrumentos de control.
- Colocación de la fosa séptica y su conexión con las líneas de alimentación y de suministro del influente pretratado al HAFH.
- Colocación de la tubería y accesorios del sistema de distribuidores que alimentarán el influente pretratado.
- Detallado del sistema de desalojo del efluente del HAFH a la cisterna de captación.
- Conexión de los equipos e instrumentos eléctricos al suministro de energía.
- Colocación de una capa de arenilla en la base de la fosa como protección.
- Relleno de las zanjas contenedoras de las tuberías.
- Acabado en esmalte ahulado con señalamientos de nivel para la cisterna de captación del efluente.
- Delimitación física del área de tratamiento y remoción de escombros.

#### **4.8.2. Documentación fotográfica**

En las siguientes ilustraciones pueden verse algunas de las actividades pertenecientes a esta etapa de la construcción



Fig. 4. 18. Desembarque, inspección y colocación de la fosa séptica.

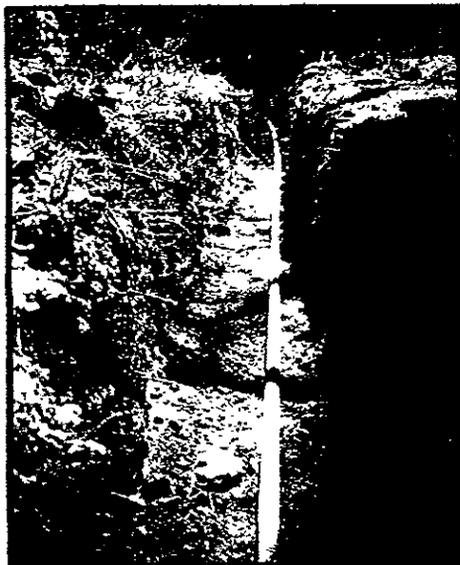


Fig. 4.19. Tendido y sellado de la tubería de alimentación del influente del río a la fosa séptica por bombeo.



Fig. 4.20. Tendido y sellado de la tubería de alimentación del influente a la fosa séptica por gravedad.

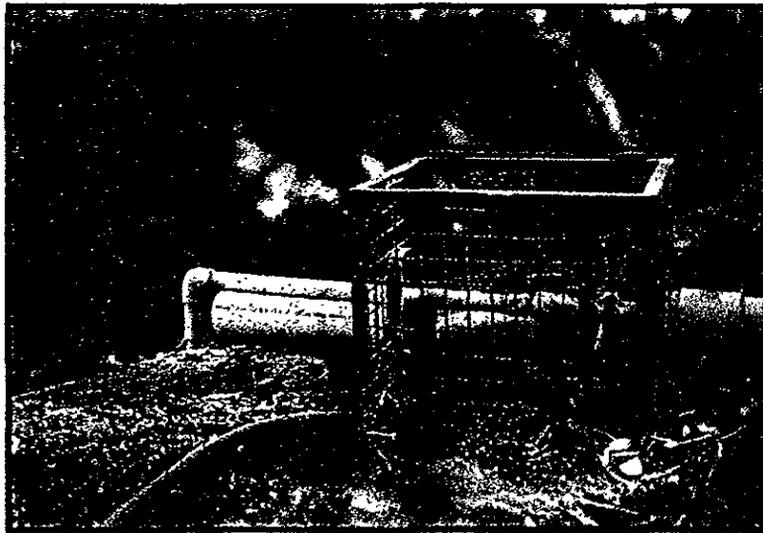


Fig. 4.21. Colocación de los accesorios del punto de muestreo número 1 y empotrado de la jaula de protección al piso.

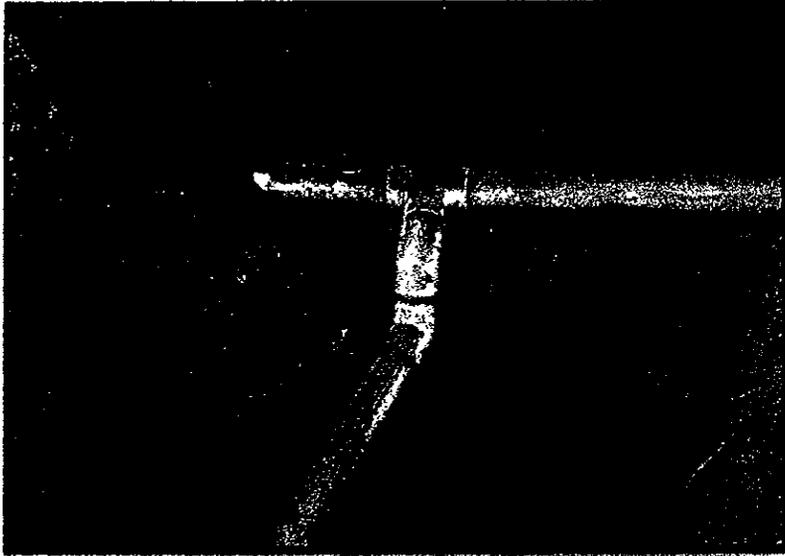


Fig. 4.22. Entronque de las tuberías que contemplan las dos opciones de alimentación del influente y su dirección hacia la fosa séptica.

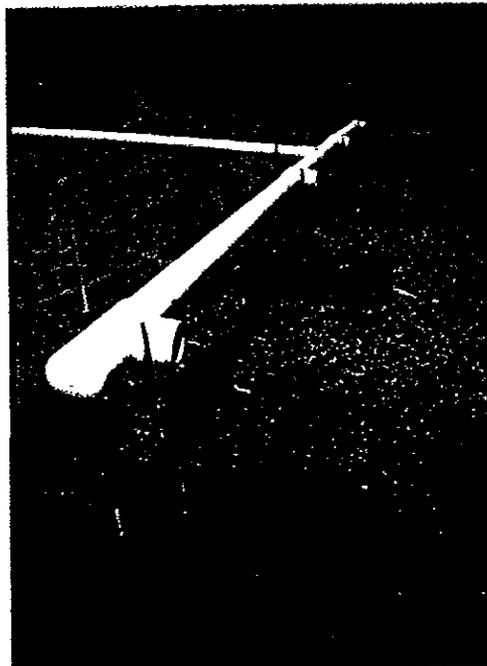


Fig. 4.23. Arreglo de la tubería de alimentación del influente pretratado al HAFH, adicionalmente se aprecian los platos distribuidores punto de muestreo No."2".



Fig.4.24. Bomba de alimentación del influente dentro de su canastilla de protección.



Fig. 4.25. Vista de la ubicación del sistema de captación del influente por bombeo dentro del río Magdalena en la Ciudad de México.



Fig. 4.26. vista del canal de alimentación del influente por gravedad.

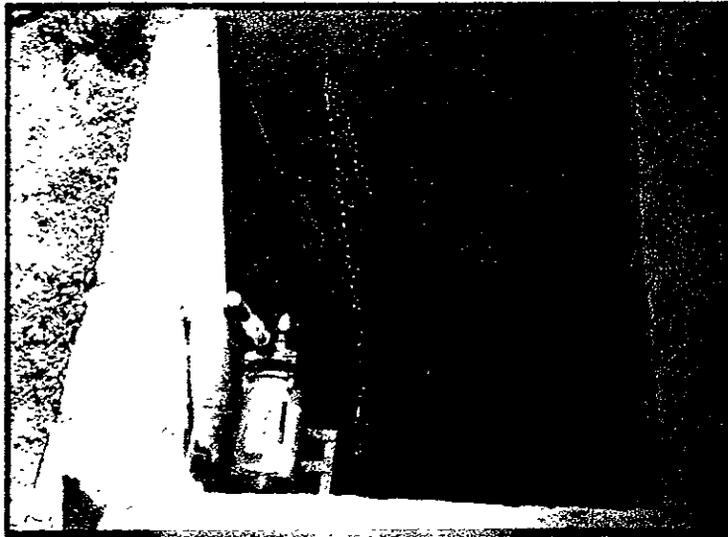


Fig. 4.27. Colocación de la bomba de desalajo del efluente en la cisterna de captación, lugar donde se encuentra la salida del efluente tratado (punto de muestreo No. "3").



Fig. 4.28. *Instalación de la tubería y los accesorios del registro número 3, aquí se observa el medidor de flujo del efluente, que será descargado en un canal de riego.*

## **4.9. Preparación y colocación del material de soporte**

Esta etapa de la construcción fue acelerada en su aplicación para cumplir con el tiempo destinado a la construcción del HAFH, ya que al tener retrasos en el montaje e instalación, se vio alargado el tiempo originalmente destinado para este fin.

### **4.9.1. Actividades realizadas**

En esta etapa sobresalen las actividades siguientes en orden consecutivo:

- Supervisión del material adquirido.
- Construcción de harneros.
- Cribado del material de soporte (dentro de las instalaciones del vivero).
- Traslado del material de soporte del lugar de preparación hasta la fosa del HAFH
- Colocación del material de igual tamaño y acorde al diseño del sistema

- Colocación de los seis muestreadores internos en el HAFH
- Colocación de los cuatro platos distribuidores sobre la superficie del material de soporte y por debajo de los tubos distribuidores
- Colocación de una capa de material de soporte de mayor tamaño sobre la parte superior del material de soporte de diseño

#### 4.9.2. Documentación fotográfica

En las siguientes ilustraciones se pueden apreciar parte de las actividades realizadas en esta etapa de la construcción.



Fig. 4.29. Finalización de la colocación del material de soporte, quedando la superficie 5 cm. Abajo del nivel superior de los muros de la fosa.

## **4.10. Colocación de plantas vasculares**

La colocación de las plantas vasculares sobre el material de soporte se realizó de manera rápida y sin problema alguno.

### **4.10.1. Actividades realizadas**

Las principales actividades realizadas en esta etapa de la construcción son:

- Adquisición de las plantas, la cual se llevó a cabo tanto dentro de los viveros, como externamente.
- Colocación de las plantas en el material de soporte

### **4.10.2. Documentación fotográfica**

En las siguientes ilustraciones se puede apreciar parte de las actividades realizadas del sembrado



Fig. 4.30. Colocación de las plantas dentro del material de soporte en el HAFH.



Fig. 4.31. Hidratación de los carrizos recién plantados con agua corriente suministrada por el canal

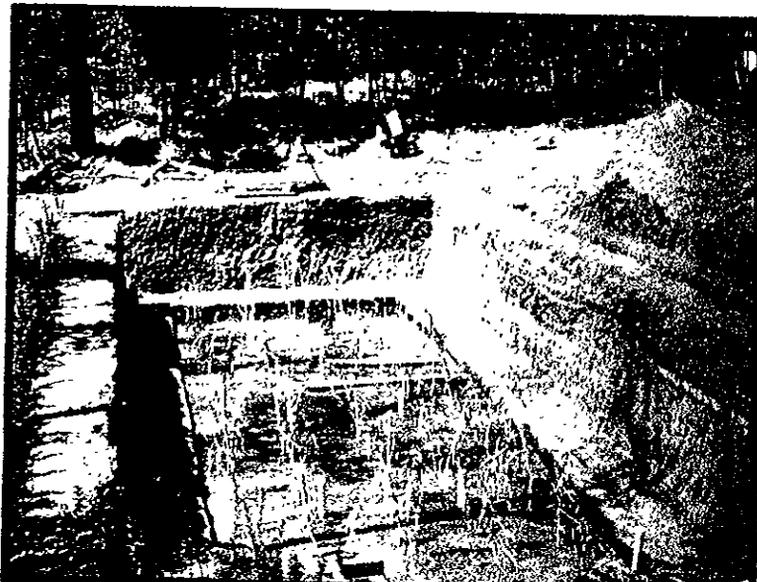


Fig. 4.32. Vista parcial del HAFH una vez que se término la construcción y comenzó el arranque de operaciones.

## **4.11. Pruebas de funcionalidad de equipos e instrumentos**

La actividad final referente a la construcción del HAFH consistió en realizar pruebas a cada equipo por separado y finalmente pruebas globales a todo el proceso de tratamiento.

### **4.11.1. Actividades realizadas**

Entre las pruebas de funcionalidad que se realizaron destacan las siguientes (por ambos medios de alimentación del influente):

- Funcionalidad de la bomba de alimentación del influente a la fosa séptica en conjunto con los dos instrumentos de control de nivel disponibles para su arranque - paro
- Eficiencia de remoción de sólidos sedimentables en la fosa séptica por comparación visual
- Comportamiento del medidor de flujo en la alimentación del influente pretratado en conjunto con la válvula previa a éste
- Homogeneidad de la alimentación de los distribuidores en la entrada al HAFH
- Determinación del tiempo requerido por el agua en tratamiento para llegar y salir por el otro extremo del HA hasta un nivel de 5 cm por debajo de la superficie del lecho
- Nivelación adecuada del sistema de desalojo del agua del HA a la cisterna de captación del efluente
- Funcionalidad de la bomba de desalojo del efluente del cárcamo y hasta el canal de riego del vivero. Esto en conjunto con el instrumento de control de nivel para su arranque-paro

- Comportamiento de medidor de flujo en el desalojo del efluente en conjunto con las válvulas de desvío al canal o a riego de setos.

#### 4.11.2. Documentación fotográfica

En las siguientes ilustraciones se pueden apreciar algunas de estas actividades:



Fig. 4.33. Vista parcial de la alimentación del influente pretratado y su distribución a lo ancho del HAFH por la parte inicial de éste.

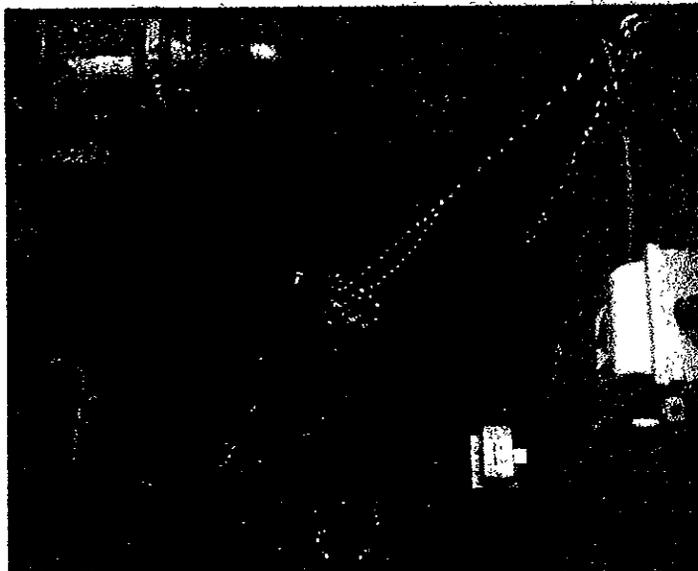


Fig. 4.34. Vista parcial de la cisterna de captación-desalojo del efluente



Fig. 4.35. Salida del efluente a un canal de distribución de agua para riego del vivero.

#### **4.12. Curva de avance programado vs curva de avance real de la construcción**

En la figura A-II.1. del Anexo II, se enmarca la curva de avance programado para el desarrollo de la construcción del HAFH, así como también la curva de avance real y avance total del proyecto global

#### **4.13. RUTA CRÍTICA DE LA CONSTRUCCIÓN DEL HAFH**

En la figura A-II.2. del Anexo II se encuentra la ruta crítica perteneciente al desarrollo de la construcción del presente HAFH.

# Capítulo 5.

## Arranque

---

*Bienaventurados aquellos que dan sin recordar y reciben sin olvidar*

*Busca la compañía de aquellos que puedan hacerte mejor de lo que eres ahora.*

*Dos capitanes hundieron el barco.*

*Experiencia no son las cosas que le ocurren a uno, sino lo que uno hace ante las cosas que le ocurren.*

*Lo malo de la felicidad es que al irse deja su recuerdo*

---

## **CAPÍTULO 5. ARRANQUE DE OPERACIONES**

La etapa que procede a la construcción del HAFH es la del arranque de operaciones. Aquí se realizan actividades relacionadas con la operación y mantenimiento y las cuáles incluyen la corrección de problemas con las instalaciones y la implantación de condiciones iniciales de operación e inclusive la evaluación, vía pruebas experimentales, de la eficiencia y estabilidad depurativa del sistema.

Para el HAFH construido en los viveros forestales de Coyoacán, la etapa de arranque se llevó a cabo durante los primeros 4 meses y medio posteriores al término de su construcción, tiempo que tardó en desarrollarse las actividades programadas para esta etapa, incluyendo el muestreo de agua antes, en y después de su tratamiento, con los análisis fisicoquímicos y microbiológicos correspondientes. También se contemplaron actividades como detección y corrección de problemas en las instalaciones del sistema, lo cual se considera determinante para efectuar su operación sin contratiempos.

En el presente capítulo, se describen los principales puntos que representan a la etapa de arranque del HAFH en los viveros forestales de Coyoacán.

### **5.1. PRUEBAS DE OPERACIÓN INICIALES**

Culminada la construcción del HAFH, se inició inmediatamente la etapa de arranque con las pruebas de operación tanto parciales como globales del sistema. A continuación se denotarán las principales actividades realizadas durante el arranque de operaciones.

#### **5.1.1. ACTIVIDADES RELACIONADAS**

Entre las principales actividades realizadas durante las pruebas de arranque iniciales están:

- Verificación del comportamiento operativo en la fase de pretratamiento del influente
- Verificación del comportamiento operativo en la fase de la alimentación del influente pretratado al de tratamiento primario
- Verificación del comportamiento operativo en la fase del tratamiento primario (fosa séptica)
- Verificación del comportamiento operativo en la fase de alimentación al HAFH (tratamiento secundario)
- Verificación del comportamiento operativo en la fase del tratamiento secundario (dentro del HAFH)
- Verificación del comportamiento operativo en la fase de evacuación del efluente del HAFH
- Verificación del comportamiento operativo en la fase de evacuación del efluente de la cisterna de captación
- Caracterización del agua en cada fase del tratamiento
- Verificación del comportamiento operativo de los accesorios de muestreo

Es importante recalcar que el agua inicialmente alimentada al HAFH fue agua corriente no contaminada (de la que se emplea para el riego del propio vivero), esto con la finalidad de verificar la funcionalidad del canal como opción de alimentación del influente y permitir la hidratación de las plantas vasculares y la pronta aceptación a su nuevo hábitat.

### **5.1.2. DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA**

En las figura 5.1., 5.2. y 5.3se muestran algunas de las actividades realizadas en la etapa de verificación de funcionalidad de algunos componentes del sistema en el inicio del arranque de operaciones.

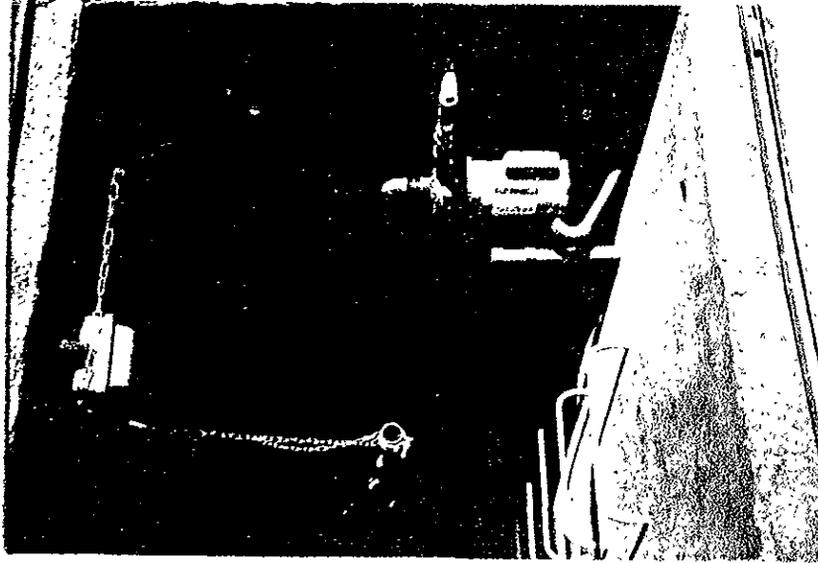


Fig. 5.1. Verificación de funcionalidad de los equipos y accesorios que participan en la cisterna de captación y desalojo del efluente.

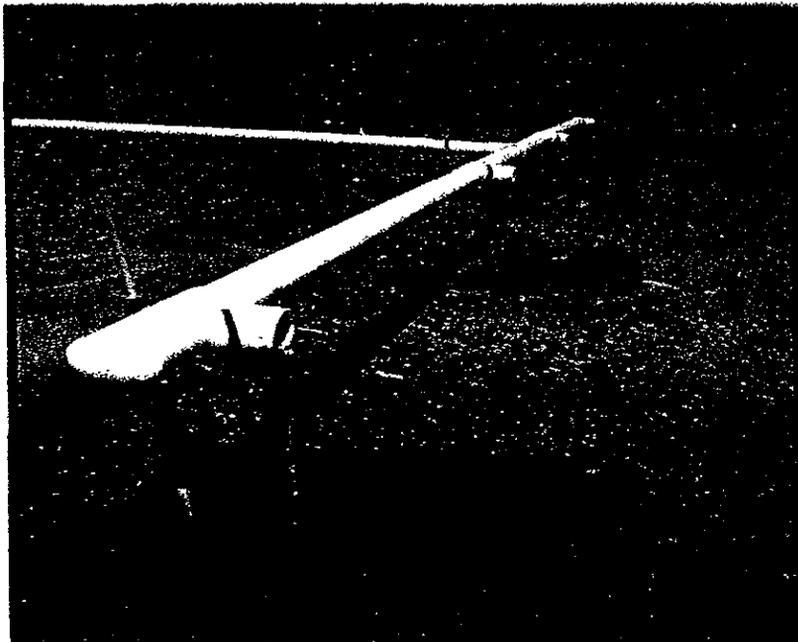


Fig. 5.2. Alimentación inicial de agua corriente al HA, permitiendo así la hidratación de las plantas y la detección inicial de problemas operativos

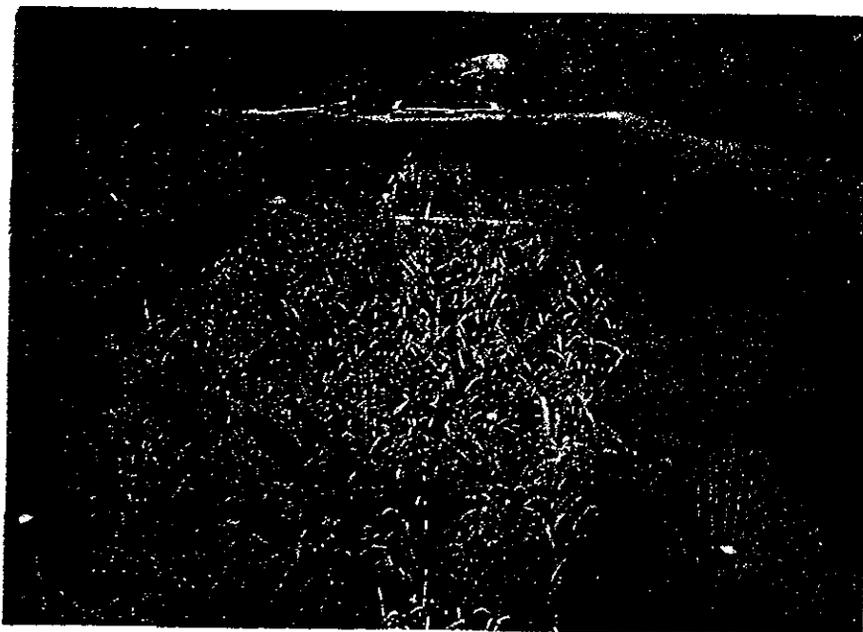


Fig. 5.3. Verificación de funcionalidad del sistema de alimentación al HAFH y del total del mismo durante el inicio del arranque.

## **5.2. DETECCIÓN-CORRECCIÓN DE PROBLEMAS OPERATIVOS**

En esta etapa del arranque se desarrollaron actividades relacionadas con la operación global del HAFH, pero ahora empleando agua residual proveniente del río Magdalena.

### **5.2.1. ACTIVIDADES REALIZADAS**

En esta fase del arranque del HAFH se realizaron tareas importantes, entre las iniciales y que destacan están la detección y corrección de los problemas operativos de las siguientes etapas del proceso de tratamiento:

- Pretratamiento del influente
- Alimentación del influente pretratado al tratamiento primario
- Alimentación al HAFH
- Tratamiento secundario (operación interna en el HAFH)
- Desalojo del efluente del HA a la cisterna y fuera de ésta.
- Puntos de muestreo

Las actividades antes mencionadas fueron realizadas durante la detección de problemas operativos con los dos sistemas de alimentación del influente: por gravedad y por bombeo. En la continuidad del arranque, la operación se contempló únicamente con la alimentación por bombeo, esto, debido al menor número de problemas presentados que con la alimentación por canal.

### **5.3. IMPLANTACIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN**

Con el objetivo de agilizar el crecimiento de las plantas vasculares en el medio de soporte (dentro del HA), así como de revisar el comportamiento general del sistema, se realizaron algunos cambios en las condiciones de operación.

La alimentación inicial se llevó a cabo con agua corriente para la inundación del medio de soporte y la hidratación de las plantas vasculares, así como para la realización de las pruebas iniciales sobre el comportamiento operativo. Tres días después la alimentación se cambió gradualmente, suministrando agua residual a una proporción preestablecida. Como siguiente punto, se determinaron las condiciones de operación permanentes para obtener la estabilidad funcional del HA en base a su diseño.

Entre los cambios importantes realizados tanto a las condiciones de operación de diseño, como de aspectos técnicos de la operación están los siguientes:

- Alimentación del influente con la ayuda de una bomba para contar con un mecanismo que garantice el suministro periódico y oportuno del agua residual a tratar, funcionando de manera alterna a la alimentación por canal.
- Alimentación inicial del agua residual cruda del 50% del flujo de alimentación de diseño (es decir,  $2.8 \text{ m}^3/\text{día}$ ).
- Influyente alimentado sin dilución alguna, pero considerando el volumen de agua corriente que había sido alimentada de manera previa al arranque de operaciones.

- Los muestreos para realizar los correspondientes análisis fisicoquímicos y microbiológicos se llevarán a cabo en promedio cada 3 semanas

#### 5.4. PLANEACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE ARRANQUE

La etapa de arranque de operaciones requirió de mayor tiempo para su realización que el inicialmente programado debido a los problemas técnicos presentados. Entre las actividades más importantes realizadas en esta etapa del proyecto se encuentran las listadas en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Cronograma de actividades desarrollado durante el arranque del HAFH

Actividad	Duración días	Fecha de Inicio	Fecha de Término
<b>ARRANQUE DE OPERACIONES</b>		<b>9/03/98</b>	<b>28/08/98</b>
Pruebas de operación iniciales	12	9/03/98	21/03/98
Detección-corrección de problemas operativos	14	16/03/98	31/03/98
Implantación de cond. iniciales de operación	4	1/04/95	4/04/98
Planeación de las actividades de arranque	6	30/03/98	4/04/98
Toma, transporte y conservación de muestras *	126	6/04/98	09/09/98
Análisis FQ y MB de muestras	126	6/04/98	28/08/98
Registros del pretratamiento y del mantenimiento global – parcial **	102	02/05/98	28/08/98

Nota: \* Actividad realizada solamente en 10 ocasiones durante el arranque del HAFH; \*\* Actividad realizada en 4 ocasiones de manera global y varias veces más de manera parcial durante el arranque del HAFH.

El resto de las actividades se realizaron sin problema alguno, realizando incluso, revisiones diarias del comportamiento operativo y registrándoles en una bitácora especial

## **5.5. TOMA, TRANSPORTE Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS**

La toma de muestras, su transporte y conservación fueron actividades de gran importancia que se desarrollaron previamente a los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las mismas, siguiendo los procedimientos establecidos por la normatividad nacional aplicable.

Para el presente trabajo se realizaron las tomas de muestras en las siguientes condiciones :

1. Temperaturas altas (cercanas a los 30°C) sin precipitaciones pluviales, teniendo así una mayor carga contaminante en el influente, presencia de algunos problemas técnicos en las instalaciones del HAFH.
2. Temperaturas altas y medias (entre 25°C y 30°C) con precipitaciones pluviales altas y medias, disminución relativa en la carga contaminante pero mayor número de problemas técnicos.
3. Condiciones ambientales promedio de la Ciudad de México (20°C), reducción de los problemas técnicos en las instalaciones del sistema.

### **5.5.1. FECHAS DE MUESTREO**

Las fechas de toma, transporte y conservación de muestras para el presente trabajo se denotan en la tabla 5.2

Tabla 5.2. Fechas de toma, transporte y conservación de muestras en la etapa del arranque de operaciones del HAFH.

Número de muestra	Fecha de Obtención
PRE	18 / 03 / 1998
1	08 / 04 / 1998
2	29 / 04 / 1998
3	20 / 05 / 1998
4	10 / 06 / 1998
5	01 / 07 / 1998
6	22 / 07 / 1998
7	12 / 08 / 1998
8	26 / 08 / 1998
POS	09 / 09 / 1998

PRE y POS = Muestras tomadas previa y posteriormente al arranque de operaciones éstas estarán contempladas con el resto de los resultados.

Todas las muestras fueron tomadas por las mismas personas y analizadas por personal capacitado , siguiendo los métodos establecidos oficialmente para ello (NOM 001-ECOL-1996 y APHA, 1992).

### 5.5.2. ZONAS DE MUESTREO

Los puntos de muestreo están localizados en tres zonas estratégicas para la realización de toma de muestras en los momentos planeados. Estos puntos se diferencian según su ubicación dentro de la zona de tratamiento, en la fig. A-I.6. del anexo I, se muestran las ubicaciones de los tres puntos de muestreo dentro del HAFH, denotados como a continuación se enuncia.

PUNTO 1: Correspondiente al "río" o "influyente": Este punto se ubica aproximadamente a 3 metros de la descarga de la bomba de alimentación. En este punto se obtienen muestras del influente que entra a la fosa séptica.

PUNTO 2: Correspondiente a la "fosa" . La muestra se obtiene en la descarga de los tubos distribuidores que alimentan al humedal. En este punto se tomaron muestras que representan al influente pretratado libre de gran parte de los sólidos sedimentables contenidos en el agua cruda conducida por el río Magdalena.

PUNTO 3: Conocido como "efluente": Este punto se localiza dentro de la cisterna de captación, justo a la descarga del efluente tratado, el cual proviene del HAFH. Aquí se toman muestras de agua que ha de ser dispuesta para el riego de una pequeña parte de la población de plantas del Vivero.

### **5.5.3. Procedimiento de muestreo**

A continuación se enlistan las principales actividades realizadas para la toma de muestras compuestas en el HAFH durante la etapa de arranque.

1. Lavado y desinfección de tres contenedores para transporte y conservación de las muestras.
2. Lavado y desinfección de los recipientes de llenado, uno para cada punto.
3. Traslado de los recipientes al HA para la toma de muestras.
4. Toma de muestras simples de 1L, iniciando con el primer punto, tomando los datos de campo (Temperatura, Potencial de Hidrógeno, Conductividad Eléctrica, Sólidos Suspendidos y Oxígeno Disuelto) con equipos portátiles y depositándolas en los contenedores previamente rotulados.
5. Obtención de tres muestras compuestas de 4 L tomadas con una hora de diferencia entre cada muestra simple.
6. Sellado de los contenedores y depósito en hieleras a 4°C.

7. El transporte de las muestras debe realizarse rápidamente al laboratorio para su análisis
8. Una vez en laboratorio se toman las cantidades necesarias para realizar las pruebas fisicoquímicas y microbiológicas seleccionadas.
9. Almacenar adecuadamente el resto de las muestras según las pruebas previstas a realizar posteriormente.

## 5.6. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de caracterización

Estas actividades se realizaron a todas y cada una de las muestras tomadas durante el arranque del HAFH; éstas muestras de agua pertenecieron a los tres puntos más importantes del sistema: Antes, en y después del tratamiento. Algunos de los análisis se realizaron por duplicado, otros por triplicado y algunos cuantos de manera única. Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se midieron a las muestras se listan a continuación:

### PARÁMETROS DE LABORATORIO

Abreviatura	Nombre de la prueba
	(unidades en mg/L, a menos que se indique otra)
DQO	Demanda Química de Oxígeno.
DBO <sub>5</sub>	Demanda Biológica de Oxígeno (5 días).
S Sed	Sólidos Sedimentables (mL/L).
NH <sub>4</sub>	Nitrógeno Amoniacal.
NO <sub>3</sub>	Nitratos.
PO <sub>4</sub>	Fosfatos.
Pt	Fósforo Total.
M P	Metales Pesados.

## PARÁMETROS DE CAMPO

Abreviatura	Nombre de la prueba
pH	Potencial de Hidrógeno (unidad pH).
T	Temperatura (°C).
OD	Oxígeno Disuelto (mg OD/L).
SS	Sólidos Suspendidos.
CE	Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{mhos/cm}$ ).

### 6.5. Registros del tratamiento

En el capítulo 7 se muestran los datos obtenidos como resultados promedio en el arranque de operaciones. Todos estos datos fueron anexados a la bitácora del registro de tratamiento del HAFH de Viveros forestales de Coyoacán con el objeto de verificar el grado de avance en la estabilidad operativa y depurativa del sistema.

### 5.9. Síntesis del historial de operación del HAFH en el arranque

En la tabla 5.3. se indica brevemente el historial operativo del HAFH, tomando en cuenta la semana de operación, la marca de los instrumentos de medición del influente alimentado y del efluente obtenido, el registro de problemas técnicos presentados y su corrección inmediata.

En las semanas de operación durante el arranque, los problemas operativos presentados se corrigieron inmediatamente con objeto de reducir contratiempos futuros.

Tabla 5.3. Síntesis del historial operativo del HAFH en Viveros forestales de Coyoacán

Semana de operación	Entrada de Influyente (m3)	Salida de Efluente (m3)	Problemas operativos (Sí / No)	Corrección inmediata de los problemas (Sí / No)
1	65.45 *	37.74	Sí	Sí
2	85.05 **	56.51	Sí	Sí
3	104.65	75.38	No	--
4	124.25	94.29	No	--
5	143.85	113.26	No	--
6	163.45	132.29	No	--
7	183.05	151.07	No	--
8	202.65	169.98	Sí	Sí
9	222.25	188.96	No	--
10	241.85	207.69	No	--
11	261.45 ***	230.05	Sí	Sí
12	281.05	251.66	Sí	Sí
13	300.65	272.57	No	--
14	300.25	296.11	No	--
15	319.85	317.84	Sí	Sí
16	339.45	338.63	No	--
17	359.05	358.57	No	--
18	378.65	378.56	No	--
19	398.25	398.57	No	--
20	417.85	417.90	Sí	Sí
21	437.45	437.00	No	--
22	457.05	456.16	No	--
23	476.65	475.39	No	--
24	51585 ****	513.80	No	--

Nota.

\* Alimentación de influente igual a la alimentación de diseño (5.6 M<sup>3</sup>/día) por inicio.

\*\* Alimentación de influente igual al 50% de la alimentación de diseño, etapa de arranque.

\*\*\* Inicio de la temporada de lluvias intensas y moderadas.

\*\*\*\* Finalización total de temporada de lluvias intensas, así como de la etapa de arranque e inicio de alimentación del influente igual a la alimentación de diseño (5.6 M<sup>3</sup>/d).

# Capítulo 6.

## Futuro Operativo

---

*No es perezoso únicamente quién no hace nada, sino también quien puede hacer algo mejor.*

*Nunca regales tu trabajo. La gente no valora lo que no tiene que pagar.*

*Se lento para escoger un amigo y más lento para cambiarlo.*

*El que no deja de repetirse que las cosas le van a salir mal, tiene muchas posibilidades de convertirse en profeta.*

*No basta tener inteligencia; lo principal es aplicarla bien.*

---

## Capítulo 6. Futuro operativo del HAFH

En la operación de las plantas de tratamiento, ni los programas de tratamiento ni los suministros generosos de capital sirven de mucho a menos que se conjunten los siguientes elementos:

- Tecnología adecuada
- Dirección efectiva y eficiente
- Mano de obra capacitada
- Análisis de riesgos y aspectos de seguridad e higiene

Cabe recordar que en México la mayoría de las plantas de tratamiento que están diseñadas y construidas, se encuentran operando deficientemente debido a la mala operación y falta de mantenimiento a equipos e instrumentos del proceso depurativo. Ahora, un sistema de tratamiento no puede considerarse concluido aún cuando la construcción e instalación hayan sido terminadas, a menos que se encuentren debidamente capacitadas aquellas personas que han de responsabilizarse de su operación y mantenimiento; por tal motivo, en el presente capítulo se expresan los puntos más importantes que se presentan en calidad de recomendaciones para el adecuado manejo operativo de futuras plantas de tratamiento del tipo HAFH.

### 6.1. Aspectos de seguridad e higiene del proceso

#### 6.1.1. Riesgos susceptibles dentro del HAFH en los viveros forestales de Coyoacán

De acuerdo al análisis realizado para el HAFH de viveros de Coyoacán, los riesgos que se corren en el sistema en orden de probabilidad y/o posibilidad accidental son como se indican a continuación:

1. **Incendios:** que pueden ser provocados por personas ajenas, u ocurrir accidentalmente al personal de operación y mantenimiento. Este tipo de riesgos es alto y de difícil control, precisamente porque al convertirse en un accidente, éste se puede tornar incontrolable. Para disminuir este riesgo es importante la vigilancia constante y continua, teniendo disponible un sistema de irrigación del agua tratada para así combatirlos en caso de existir y no desequilibrar el proceso depurativo.
2. **Higiénicos:** Los riesgos de tipo higiénico abarcan todo lo relacionado con el contacto directo e ingestión accidental del influente, efluente o del agua en tratamiento. Este tipo de riesgo se disminuye en gran parte cuando se toman las debidas precauciones y se emplean los equipos y herramientas apropiados en todas las actividades que se realicen, como lo son toma, transporte, conservación y análisis de muestras, mantenimiento y operación del HAFH.
3. **Eléctrico-mecánicos:** Riesgos que se corren principalmente en la operación, mantenimiento y revisión de equipos críticos del HA, ya que para estas actividades se emplean herramientas que por su uso inadecuado pueden provocar accidentes graves y más aún cuando los equipos eléctricos no se consideran de peligro. Es recomendable la revisión continua tanto de líneas y equipos eléctricos, como de sus conexiones y la distribución, debido a que la humedad, la tierra y otras intervenciones físicas pueden ser dañinas. En este sentido, el manejo de herramientas o equipos de trabajo deberán realizarse por personal capacitado, que tenga conocimiento del proceso de tratamiento y que se realice en momentos apropiados.

## **6.1.2. Seguridad e higiene**

### **6.1.2.1. Comisión de higiene y seguridad**

Independientemente del sistema administrativo adoptado para operar plantas de tratamiento del tipo HAFH, la ley marca que se debe crear una comisión mixta de higiene y seguridad para manejarla dentro de la misma planta (SARH, 1984). Se le denomina mixta pues se debe representar tanto al personal de operación y mantenimiento como al sector administrativo, para que ante cualquier incidente exista la responsabilidad conjunta, más cuando existe una autoridad.

A esta comisión se le recomienda llevar un libro que se debe revisar en inspecciones periódicas en las que se anoten los resultados observados por dicha comisión después de realizar una inspección con ánimo de crítica constructiva, esto forzará a todo el personal que labora en la planta a revisar más continuamente el estado de higiene, orden y seguridad en el que se encuentran las instalaciones.

### **6.1.2.2. Presentación**

Con respecto a este renglón, es de gran importancia la impresión que se dé al estado en que se encuentren los equipos, instrumentos, accesorios y en general todas las instalaciones de la planta, incluso para la disposición psicológica del personal y así poder desempeñar más eficientemente las actividades relacionadas a la operación y el mantenimiento.

### **6.1.2.3. Seguridad**

La prevención de accidentes es el resultado de una profunda meditación, así como de la aplicación de unos cuantos principios básicos y el conocimiento de los peligros potenciales. La prevención de accidentes se puede resumir en la siguiente afirmación: "siempre sea cuidadoso", sin embargo, hay que saber ser cuidadoso ya que con ello se pueden evitar los riesgos.

En general, los peligros de accidentes en una planta de tratamiento de aguas negras consisten en:

- Daños físicos
- Infecciones corporales
- Peligros ocasionados por gases nocivos o vapores tóxicos

Estos riesgos ciertamente disminuyen si existe responsabilidad, prevención y deseos de hacer las cosas

## 6.2. Segregación de efluentes generados

En este apartado se trata brevemente sobre la disposición final que se debe dar a los efluentes generados en el proceso:

1. **Agua tratada:** Para el caso particular del HAFH en los viveros de Coyoacán, el agua que resulta del proceso de tratamiento puede ser canalizada para riego de la vegetación que ahí existe, o para humedecer el piso de calles y avenidas internas del propio vivero, para evitar que se levante polvo que dificulte la respiración de los corredores que por ellas transitan.
2. **Residuos de gran tamaño:** Estos residuos se acumulan en las rejillas de pretratamiento y están conformados principalmente por residuos sólidos inorgánicos (basura) de hasta 2 cm de diámetro, los cuáles son retirados cuidadosamente y puestos en contenedores especiales que posteriormente se desocupan por el sistema de limpieza del vivero.
3. **Lodos:** Los cuales son resultado del proceso de sedimentación que se lleva a cabo en la fosa séptica, son retirados con la ayuda de una motobomba, ya que al ser espesados con el agua que queda dentro del tanque son enviados al lugar del confinamiento, una zona dentro del vivero en donde se realiza composta y se eliminan los malos olores.

Para la actividad del confinamiento de lodos es indispensable emplear equipo de seguridad para el personal asignado y las herramientas adecuadas para su realización.

## 6.3. Impacto ambiental del proceso

En términos generales, este tipo de plantas de tratamiento no genera un impacto ambiental nocivo, precisamente porque en vez de modificar negativamente el equilibrio ecológico de las zonas aledañas, lo promueve positivamente por el proceso de depuración y las aplicaciones que a los efluentes se les puede dar, así como por la generación de un área verde que sirve de refugio a la vida silvestre. Los HA por principio operativo, permiten la generación de ecosistemas de manera natural, en donde se desarrollan plantas que permiten el saneamiento de aguas residuales.

## 6.4. Operación y mantenimiento

### 6.4.1. Personal asignado para la operación y el mantenimiento del sistema

Para el desarrollo de las actividades de operación y mantenimiento del HAFH se requiere de dos tipos de personal encargado :

- Directo
- Indirecto

En cuanto al personal directo, éste desarrollará básicamente las tareas que requieran de un soporte técnico profundo. Entre las actividades a desarrollar por parte de este personal son:

- Verificación del funcionamiento de equipos e instrumentos eléctricos y/o mecánicos
- Revisión de tuberías y/o accesorios
- Registros y reportes sobre el tratamiento, las condiciones climatológicas del lugar y de la operación
- Toma, transporte y conservación de muestras.
- Realización de pruebas fisicoquímicas y microbiológicas a muestras
- Planeación, supervisión y apoyo al personal asignado para realizar las actividades de mantenimiento del sistema
- Orden de mantenimiento a equipos que lo requieran así como de cambios en tuberías o accesorios.
- Inspección del mantenimiento global y parcial del sistema.

El personal indirecto, está conformado normalmente por personas ajenas al proyecto, pero relacionadas con las actividades de operación y mantenimiento del sistema. Estas actividades podrán ser realizadas, ya que estas personas estarán apoyadas por el personal directo. Entre las actividades a desarrollar por parte de este personal se encuentran las de operación y mantenimiento consistentes en:

- Chequeo diario del buen funcionamiento de todos y cada uno de los componentes del sistema
- Dar conocimiento de las fallas encontradas al personal encargado
- Purga de lodos del tanque séptico y lavado de éste
- Producción de composta en el área asignada
- Remoción de sólidos en la rejilla protectora de la bomba de alimentación del influente
- Lavado de tubería de abastecimiento del influente pretratado al HA
- Lavado de la cisterna de captación y la tubería de desalojo del efluente y todos sus accesorios
- Limpieza general de la superficie del HA
- Poda de setos, plantas vasculares emergentes y árboles cercanos al HA
- Limpieza general del área de tratamiento y aledaña a ésta
- Limpieza del canal de alimentación del influente y sus accesorios

El apoyo de este personal puede obtenerse con recursos económicos del propio proyecto o con la participación de personal contratado por la administración del propio vivero. Las herramientas y/o equipos necesarios serán proporcionados por los responsables del vivero.

#### **6.4.2. Programa de mantenimiento global y parcial**

Aún cuando la operación de la planta de tratamiento es o debe ser continua, el mantenimiento de alguno de sus componentes o de todos a la vez debe realizarse en función del comportamiento que desarrollaron en la etapa de arranque. Esto con la finalidad de crear un programa de mantenimiento que permita interrumpir el mínimo de tiempo la operación para mejorarla en términos de funcionalidad general.

Importante resulta considerar las distintas épocas del año, ya que de las experiencias adquiridas en el arranque sobre mantenimiento permiten recomendar la frecuencia con la que deben realizarse esas actividades en cada

época del año, adicionalmente esas experiencias permitieron identificar las condiciones a las que el HAFH estuvo expuesto, así como de las necesidades de revisión y cuidados especiales que debían aplicársele en cada época. La continuidad operativa del sistema estuvo en función de dos tipos de mantenimientos, el parcial y el global, el primero aplicado solamente a algunas partes del sistema, como lo son rejillas de tratamiento previo, instrumentos de medición de caudal de alimentación de influente y desalojo del efluente, equipos de bombeo, entre otros, los cuáles son susceptibles de impedir la continuidad operativa deseada; el segundo tipo, aplicado cada ciertos períodos de tiempo y a todo el sistema de tratamiento.

#### **6.4.2.1. Mantenimiento parcial**

Las actividades de mantenimiento parcial deberán realizarse por lo menos cada tercer día, con recomendación de realizarse diariamente, si así lo exige la operación. Entre los equipos, instrumentos, y/o accesorios que recibirán este mantenimiento, están los siguientes:

- Rejilla protectora de la bomba de alimentación del influente. El mantenimiento de éste equipo deberá realizarse por lo menos cada tercer día por las mañanas
- Platos distribuidores en la alimentación del humedal. El mantenimiento de éstos accesorios se recomienda se realice cada vez que la acumulación de lodos y basuras sea importante.
- Canal de conducción del influente hasta el tratamiento primario. El mantenimiento de este sistema de alimentación se realizará cada vez que se requiera .
- Bomba de desalojo del efluente. Dependiendo de los requerimientos de purga, es como se dará el mantenimiento adecuado, además de que es recomendable revisarle a diario
- Humedal artificial. El mantenimiento que requiere es el de retirar cualquier sólido extraño, así como el de podar las plantas vasculares

- Cisterna de almacenaje temporal del efluente. Remover sólidos extraños que pudiesen entrar y afectar la bomba de desalojo y al medidor del caudal del efluente.

#### **6.4.2.2. Mantenimiento global**

Este mantenimiento es, por necesidad, estrictamente completo y para toda la planta de tratamiento, llevándolo a cabo de manera más minuciosa con la siguiente lista de actividades

1. Paro total del sistema
2. Mantenimiento a la rejilla protectora de la bomba de alimentación
3. Limpieza general de la bomba de alimentación
4. Purga de lodos y limpieza completa de la fosa séptica
5. Lavado minucioso de la tubería suministradora de influente pretratado al HA incluyendo todos sus accesorios e instrumentos
6. Mantenimiento y limpieza a todo el HAFH
7. Limpieza minuciosa a la cisterna de captación del efluente y a todos los equipos e instrumentos que contemple
8. Lavado de la bomba y tubería de desalojo del efluente
9. Poda a setos, árboles y plantas vasculares en medida de lo necesario
10. Revisión a toda la línea de suministro eléctrico incluyendo cambio de aislantes o materiales necesarios para mantener la seguridad en equipos, instrumentos y más al personal encargado.
11. Revisión del funcionamiento de todos y cada uno de los elementos del sistema al reanudar la operación.

La frecuencia recomendada par realizar estas actividades está indicada en el siguiente apartado, en donde se encontrará el programa de mantenimiento del HAFH en los viveros forestales de Coyoacán.

### 6.4.2.3. Programa de Mantenimiento del HAFH en viveros de Coyoacán

En la Tabla 6.1. se denotan, de acuerdo a las experiencias adquiridas, las recomendaciones en frecuencia sobre el mantenimiento que debe dársele al HAFH en función de la época del año.

Tabla 6.1. Programa de mantenimiento global-parcial en función de la época del año

Tipo de Mantenimiento	Frecuencia de realización recomendada	Época del Año en el D.F.
PARCIAL	Por lo menos cada tres días Recomendable realizarse a diario	De lluvias escasas pero existentes con Temperaturas altas y moderadas
	Estrictamente a diario. Recomendable por las mañanas.	De lluvias excesivas y temperaturas moderadas
	Cada 5 días como máximo Recomendable cada tercer día	De temperaturas altas y moderadas, con lluvias inexistentes
GLOBAL	Por lo menos cada 4 semanas Recomendable revisar semanalmente	De lluvias escasas pero existentes con Temperaturas altas y moderadas
	Estrictamente cada 2 semanas Recomendable revisar cada 3 días	De lluvias excesivas y temperaturas moderadas
	Cada 6 semanas como máximo. Recomendable revisar cada 7 o 15 días	De temperaturas altas y moderadas, con lluvias inexistentes

Este programa de mantenimiento surgió a partir de las experiencias adquiridas durante el tiempo en que duro el arranque de operaciones del HAFH y el cual contempló las 3 épocas estacionales denotadas, las cuales son a las que ha estado expuesto el sistema.

Llevando acabo este programa, se permitirá tener una operación ininterrumpida a pesar de las condiciones climáticas cambiantes, así como de la calidad del agua alimentada.

En cuanto a la aplicación de HA en pequeñas y medianas poblaciones, el programa de mantenimiento se verá ciertamente involucrado, pero no considerando las dificultades que representa un río como receptor del cauce natural, de las aguas residuales y de paso las corrientes pluviales que como en el sur de la ciudad de México.

## **6.5. Organización Interna-Externa**

Dependiendo del tipo de planta de tratamiento que se ha de explotar es como se requiere de conocer ciertos lineamientos generales para determinar su forma de organización, así también se aplica para el sistema de tratamiento del presente trabajo (SRH, 1984). A continuación se describen las dos formas de organización que se proponen aplicarse una vez que el HAFH haya alcanzado la estabilidad depurativa y operativa (poco tiempo después de finalizar la etapa de arranque de operaciones).

### **6.5.1. Organización Interna**

#### **6.5.1.1. Reportes de operación**

Se recomienda llevar dos tipos de registro de datos de operación, con el objeto de optimizar la operación, el mantenimiento y la capacidad depurativa de la planta (SRH, 1984). Uno de ellos es el reporte diario, en donde se deben asentar los cambios significativos de operación y datos importantes como fallas de equipo, reparaciones, cambios en el influente-efluente, entre otros datos. El otro, es un resumen diario de la operación de la planta, similar a la tabla A-III.1. que se encuentra en el anexo III del presente trabajo, este cuadro tiene la finalidad de proporcionar una rápida visión de las características de operación y es útil para

predecir los cambios a efectuar y en el último de los casos, como se trata de una planta en estudio, para recabar la información relevante para futuros diseños (SRH, 1984).

Como la planta de tratamiento que se trata en el presente trabajo, cuenta con tratamiento previo, primario y secundario, se ejemplifican las actividades a realizar en los siguientes puntos:

1. Reporte diario. La frecuencia de las pruebas que se asienten en el libro de reporte diario se determinará con base a la experiencia del responsable. A fin de profundizar el estudio que en esta planta se realiza, se sugiere lo siguiente:
  - Caudal: registrar diariamente cualquier cambio del caudal de alimentación, ya sea volumen o calidad. Este parámetro depende de las condiciones climáticas en las zonas próximas al río Magdalena
  - pH: Medir diariamente o por lo menos una vez por semana, o en cualquier cambio en el aspecto del influente y efluente
  - Temperatura: Diariamente o cada tercer día medir la temperatura del influente y efluente o en los cambios climáticos más reconocibles se determinará adicionalmente la temperatura ambiente
  - OD: una vez por semana

En todos los parámetros anteriores deberán realizarse a muestras de influente pretratado y efluente, empleando medidores de campo, así también se recomienda anotar los cambios significativos en apariencia del influente y/o efluente, la fecha y hora del registro y notificarlo a los responsables del análisis en laboratorio y de operación.

2. Reporte mensual: Este reporte contará con los resultados de las pruebas de laboratorio como son  $DBO_5$ ,  $DQO$ ,  $NH_4$ , Pt,  $SO_4$ ,  $PO_4$ , SS, STV y STF, entre otras. Se realizarán en un inicio de manera quincenal hasta tener resultados suficientes. Lo anterior con la finalidad de conocer el tiempo de estabilización o la presencia de altas y/o bajas en la eficiencia del sistema de tratamiento, tomando en cuenta las variaciones de reporte diario. Los parámetros

físicoquímicos y microbiológicos se determinarán a muestras de influente, influente pretratado y efluente con la frecuencia preestablecida para ello.

3. *Bitácora*: otro medio de conocer las variaciones importantes durante un tiempo dado, es mediante la utilización de un libro, llamado bitácora, en el cual se anotarán los asuntos más importantes que sucedieron durante ese tiempo. La bitácora concentra la información relevante observada por el personal de operación y mantenimiento, según lo dicten las circunstancias. En cada reporte debe existir un espacio para indicaciones al personal que ha de realizar actividades en la planta en el día siguiente (ver tablas A-III.1.a A-III.8. del Anexo III).

#### **6.5.1.2. Personal necesario. Sus funciones y responsabilidades**

Idealmente, la estructura organizativa del personal involucrado en la correcta operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de cualquier tipo, incluyendo humedales artificiales es la que se recomienda a continuación y que además puede visualizarse en la figura 6.1.: un gerente de planta o jefe de operación y mantenimiento, sin olvidar que existe un jefe de proyecto (traducido a consejo de administración) a quien se debe mantener al tanto de todo lo que ocurra en la planta. Por lo menos se requiere de un operador quien haga las diferentes actividades relacionadas con el funcionamiento de la planta y su consecuente reporte. También debe haber personal para realizar las actividades de mantenimiento parcial o eventual, las cuales deben estar disponibles en los momentos más necesarios y , de por lo menos una persona para realizar las actividades relacionadas con el mantenimiento general de la planta (la cantidad en los requerimientos de personal estarán en función de la capacidad de la planta). Las funciones y obligaciones para cada puesto o actividad se explican a continuación.

#### **VIGILANTE:**

Cuidar la seguridad de las instalaciones de la planta, evitando la entrada a personas no autorizadas y controlando visualmente el correcto funcionamiento de los equipos; debe reportar anomalías de inmediato al operador. Este personal debe ser asignado por parte de las autoridades del vivero.

## OPERADOR

El operador puede ser el propio jefe de operación y mantenimiento o personas adicionales de apoyo, su responsabilidad será mantener el correcto funcionamiento del proceso de tratamiento. Lo anterior incluye desde la captación del influente, hasta la disposición fuera de límites de batería de el efluente tratado. El operador debe de comprobar el correcto funcionamiento de todos los equipos eléctricos de medición y de control, con el objeto de reportar inmediatamente las anomalías presentadas y, en el último de los casos, corregir las fallas funcionales del sistema. Así mismo, el operador debe reportar toda actividad realizada durante su estancia tanto en las tablas de reporte como en la bitácora, finalmente deberá auxiliar al personal que realice el mantenimiento para cualquier aclaración sobre el mal funcionamiento detectado.

## JEFE DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Como el propio cargo lo dice, el jefe de operación y mantenimiento es el responsable inmediato de la operación y/o mantenimiento de la planta y su equipo, ésta persona debe supervisar al personal que esté a su cargo o que la apoye en las diversas actividades tanto en campo como en laboratorio. Así mismo debe reportar todo lo relacionado con la planta al coordinador o jefe de proyecto. También es el responsable de mantener el buen funcionamiento de la planta y generar los reportes periódicos correspondientes.

## JEFE DE PROYECTO

Dirección y control administrativo y operacional de la planta. Incluye entre otros aspectos, los de costos y contabilidad, producción, mantenimiento y control de la calidad del efluente obtenido, manejo de personal, establecimiento de normas y políticas y en general, de todo aquello que se requiera para el óptimo funcionamiento de la planta. Deberá reportar todo avance o logro del proyecto a quien represente al consejo de administración o grupo responsable del proyecto.

El organigrama para el funcionamiento de la planta podría ser como el que se muestra en la figura 6.1., el cuál evidentemente, es susceptible de cambiar si así se requiere.

### **6.5.2. Organización externa**

Al respecto, se tiene que tomar en cuenta la dependencia económica y administrativa que se requiera, así como la función externa que cumpla dicha planta en lo que se refiere a planeación financiera, plan de expansiones, presupuestos autorizados, financiamientos, aplicación de cuotas y la construcción de nuevas plantas a futuro, las políticas propias a seguir ya sea que se trate de servicio federal, estatal, municipal o del sector privado.

Para la construcción y operación de este tipo de sistemas de tratamiento fue necesario obtener una serie de autorizaciones ante organismos públicos como:

1. Secretaría de obras públicas de la comunidad o departamento del D.F. En su caso, para todo lo relativo a las autorizaciones de construcción y cruce con diversas instalaciones que requiera cumplir con ciertas especificaciones, como serían las líneas de PEMEX, CFE, TELMEX, redes de alcantarillado y drenaje, Ferrocarriles Nacionales de México, pasos de calle o carreteras entre otros.
2. Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Solicitud de exención de pago por concepto de ingresos mercantiles en el caso de sociedades civiles o de usuarios cuya finalidad, sin fines de lucro, es obtener suministro de agua mediante el reúso de aguas residuales ya tratadas, y para el caso de dar cumplimiento con lo ordenado por el reglamento de usos del agua y prevención de la contaminación de la Comisión Nacional del Agua, solicitar la autorización de la deducción de impuestos por concepto de las erogaciones realizadas en pro de la prevención de la contaminación ambiental y preservación de los ecosistemas naturales.

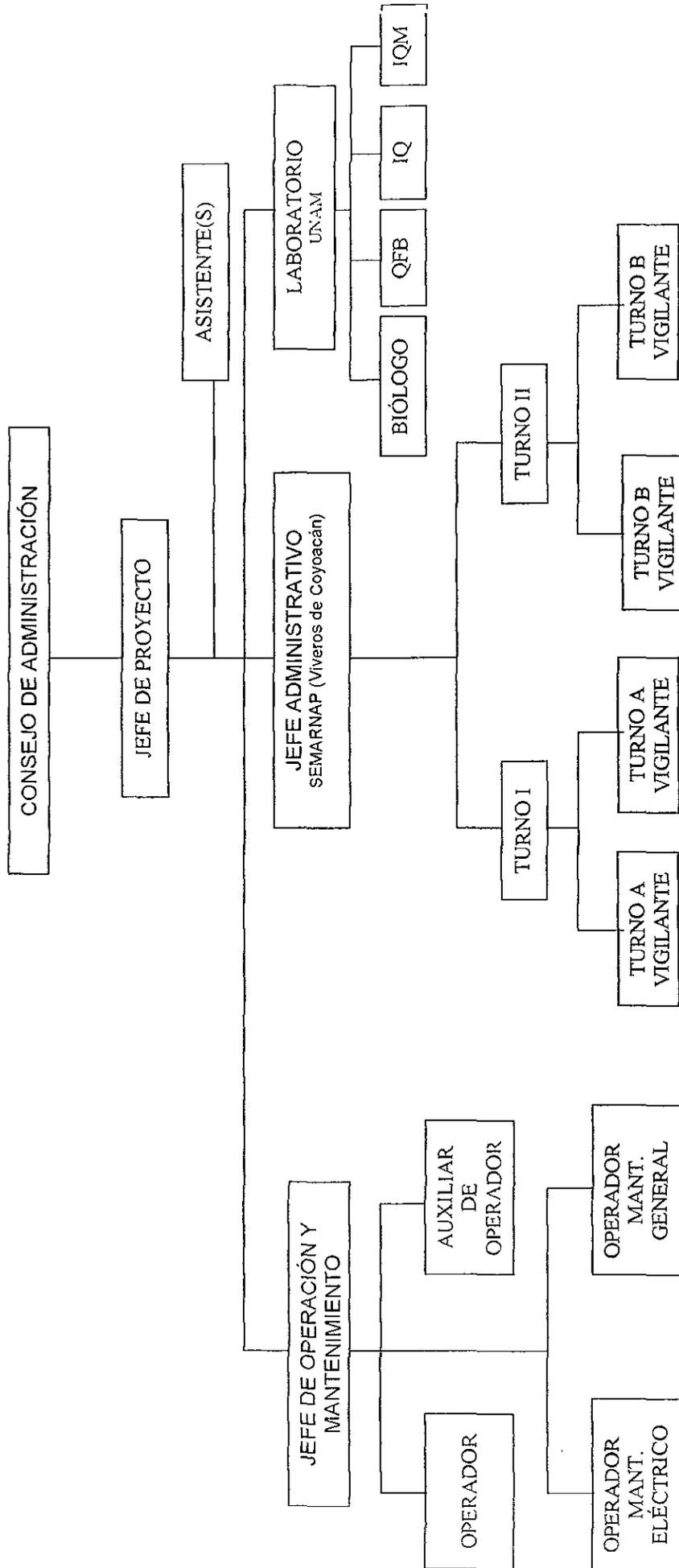


FIGURA 6.1. Organigrama propuesto para el correcto manejo de la planta de tratamiento tipo humedal artificial de flujo horizontal

# Capítulo 7.

## Resultados

---

*Pensar alto, sentir hondo, hablar claro.*

*No hagas amistad con un tonto, porque cuando trate de hacerte bien, te hará mal.*

*Escucho y olvido, veo y recuerdo, hago y aprendo.*

*Sólo poseemos la felicidad que hemos dado.*

*El mundo sería más feliz si los hombres fueran tan capaces de guardar silencio, como de hablar.*

*Si deseamos que algo suceda, hagamos que suceda.*

---

## CAPÍTULO 7. RESULTADOS OBTENIDOS

Al considerar como parte medular del presente trabajo a la construcción y el arranque de operaciones del HAFH dentro de las instalaciones del vivero forestal de Coyoacán, y ya que los alcances fueron orientados en estas dos etapas del proyecto global, los resultados obtenidos y aquí expuestos, se encuentran referidos a ellas.

En éste capítulo se presentan todos los resultados obtenidos durante el desarrollo de este trabajo, particularmente los relativos al arranque de operaciones, ya que desde su inicio, se realizaron las correcciones a las instalaciones que podrían ocasionar problemas operativos.

Los resultados provienen de la caracterización fisicoquímica y microbiológica que se les practicó a todas las muestras extraídas de los tres puntos de muestreo predeterminados. Los datos obtenidos permiten conocer el funcionamiento operativo tanto por secciones del sistema de tratamiento, como de manera global. Los resultados se presentan como valores promedio obtenidos en días normales de operación, por lo que su análisis posterior está basado en ellos.

Adicionalmente, y con la finalidad de concretar el análisis de todo el sistema, se realizó la siguiente separación en zonas de secuencia operativa del HAFH :

- Alimentación del influente
- Separación de sólidos sedimentables
- Tratamiento secundario
- Desalojo del efluente tratado

## **7.1. Resultados**

### **7.1.1. Detección y corrección de problemas operativos**

Al inicio de la etapa de arranque, los problemas de carácter operativo se presentaron causando contratiempos y perturbando la continuidad en la operación del sistema, por lo que de inmediato se buscó dar solución adecuada mediante la aplicación de las acciones correctivas requeridas. A continuación se describen los principales problemas encontrados y su posterior solución. En el apartado 7.2. se describen de manera concreta las mejoras que se incorporaron con los cambios realizados a las instalaciones.

#### **7.1.1.1. Zona de alimentación del influente**

En esta zona del tratamiento, se encontraron en el inicio del arranque de operaciones cuatro principales inconvenientes para la operación continua y homogénea debido, principalmente, al alto contenido de sólidos en el influente y los cuales fueron:

1. Deficiencias en la jaula de protección de la bomba de alimentación
2. Deficiencias en la criba de retención de sólidos del influente a ser alimentado con la bomba
3. Problemas de obtención de muestras en el punto de muestreo número 1 (río)
4. Problemas de agitación del influente dentro de la fosa séptica, debido a la presión y el caudal de llegada de éste.

Estos problemas fueron minimizados con las siguientes acciones que fueron inmediatamente efectuadas:

- Incremento en las dimensiones de la jaula de protección de la bomba y su anclado al muro de contención más cercano.

- Colocación de malla plástica de dimensiones de paso de 2x2 mm en toda la jaula de protección de la bomba
- Cambio en todos los accesorios del punto de muestreo número 1 (río).
- Colocación de mallas plásticas dobles de dimensiones de paso 2x2 mm a la entrada de la fosa séptica.

#### **7.1.1.2. Zona de separación de sólidos sedimentables**

Al respecto, la detección de problemas técnicos que se tuvieron fueron los siguientes:

1. Alta concentración de sólidos en la descarga del influente pretratado al HAFH.
2. Dificultades para realizar el mantenimiento a la línea de paso de la fosa séptica al HAFH, junto con todos los accesorios.

La minimización de estos problemas fue efectuada al realizar, por un lado, las mejoras hechas en la zona de alimentación del influente, y por otro, con las siguientes medidas:

- Colocación de mallas plásticas dobles de dimensiones de paso de 2x2 mm en la descarga de la fosa séptica
- Colocación de accesorios adecuados para dar mantenimiento a la línea de paso de la fosa séptica al HAFH.

#### **7.1.1.3. Zona del tratamiento secundario mediante un humedal artificial**

En esta zona del sistema global de tratamiento se presentaron problemas técnicos entre los que resaltan están los siguientes:

1. Acumulación elevada de sólidos en los platos distribuidores del influente pretratado, proveniente de la fosa séptica
2. Deslave parcial de los muros de contención circundantes al HA

Estos problemas se minimizaron al haber realizado los cambios en las zonas anteriores en combinación con las acciones siguientes:

- Remoción de los sólidos acumulados en los platos distribuidores cuando así se requiera
- Colocación de barreras de contención alrededor del HA, evitando así el ingreso de lodo al HA

#### **7.1.1.4. Zona de desalojo del efluente**

Los problemas principales que en esta zona se presentaron son los siguientes:

1. Problemas en el desalojo del efluente por despurga no deseada de la bomba
2. Fugas de agua en los accesorios de la descarga de la bomba

Problemas a los cuales se les dio solución con las acciones siguientes:

- Colocación de malla plástica de dimensiones de poro de 1x1 mm en la válvula "check" de la succión para evitar el paso de cualquier tipo de sólidos.
- Cambio de los accesorios en la descarga de la bomba

#### **7.1.2. Pruebas de caracterización fisicoquímica y microbiológica**

Como se mencionó en el capítulo 6 del presente trabajo sobre la toma, transporte, conservación y análisis FQ y MB de muestras, los puntos de muestreo son tres e identificados como a continuación se indica:

**Punto de muestreo**

Número 1

Número 2

Número 3

**Identificado como:**

**RIO**

**FOSA**

**EFLUENTE**

La identificación con un nombre a cada punto de muestreo se hizo con la finalidad de reconocer a cada muestra con la correspondiente rotulación en los frascos contenedores, de tal modo que los datos aquí expuestos estarán referidos con éstos nombres, tanto para los análisis realizados en campo, como para los realizados en el laboratorio.

Por último y como principal, se remarca que los datos presentados en este trabajo son resultados promedio para todas las muestras, ya que a algunas se les aplicó análisis por duplicado y otras por triplicado, esto fue realizado en función de la confiabilidad de las pruebas y de los equipos y materiales empleados para realizarlas.

**7.1.2.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO<sub>5</sub> )**

En la tabla 7.1. se encuentran los datos correspondientes a los resultados obtenidos en la prueba DBO<sub>5</sub>, aplicada a todas las muestras obtenidas durante el arranque de operaciones del HAFH.

Tabla 7.1. Concentración de materia orgánica en términos de DBO<sub>5</sub> para las muestras extraídas. Los datos están en miligramos por litro (mg/L).

Muestra núm.	Río	Fosa	Efluente	% Remoción Global
1*	405	172	50	87.6
2	225	115	75	66.0
3	157	166	92	44.4
4	230	193	79	65.6
5	240	188	114	40.0
6	185	197	113	38.9
7	256	207	106	58.6
8	154	122	41	73.0
9	100	110	27	73.0
10*	88	62	28	68

Las muestras 1\* y 10\* indican el inicio y término (respectivamente) del arranque de operaciones.

#### 7.1.2.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

En la tabla 7.2. se encuentran reportados los resultados obtenidos en el análisis de DQO de las muestras tomadas durante el arranque de operaciones del HAFH. Los datos se encuentran reportados en mg/L, éstos se ajustaron a decenas y/o medias decenas debido entre otros factores, al error intrínseco que contempla la técnica empleada.

Tabla 7.2. Resultados de la prueba de DQO practicado a las muestras tomadas durante el arranque de operaciones.

Muestra núm.	Río	Fosa	Efluente	% Remoción Global
1	495	315	150	69.4
2	595	295	185	68.9
3	305	275	115	62.6
4	500	395	170	66.5
5	560	355	130	77.01
6	595	305	100	83.5
7	390	270	125	67.7
8	280	175	40	70.8
9	130	155	45	50
10	90	135	40	80.0

### 7.1.2.3. Sólidos Sedimentables (S Sed)

En la tabla 7.3. se muestran los datos correspondientes a la prueba de sólidos sedimentables, obtenidos para las 10 muestras analizadas a cada punto de muestreo. Los datos se reportan en mililitros por litro (mL/L).

Tabla 7.3. Resultados obtenidos de la prueba de sólidos sedimentables, incluyendo el porcentaje de remoción río-fosa y global respectivamente.

Muestra núm.	Río	Fosa	Efluente	% Remoción Río – Fosa	% Remoción Global
1	6.5	0.4	0	93.8	100.0
2	4	0.5	0	87.5	100.0
3	0.7	0.2	0	71.4	100.0
4	1.4	0.2	0	85.7	100.0
5	0.7	0.6	0	14.3	100.0
6	0.7	2	0	0.0	100.0
7	2.1	0.4	0	81.0	100.0
8	3	0.3	0	90.0	100.0
9	0.4	0.3	0	25.0	100.0
10	4	2.8	0	30.0	100.0

#### 7.1.2.4. Nitrógeno amoniacal (NH<sub>4</sub>)

En la tabla 7.4. se encuentran los datos correspondientes a los resultados obtenidos de aplicar la prueba de nitrógeno amoniacal a las muestras.

Tabla 7.4. Datos de  $\text{NH}_4$  (mg/L) obtenidos y % de remoción global

Muestra núm.	Río	Fosa	Efluente	% Remoción Global
1	124	76.5	40.0	67.74
2	137	40.0	28.0	79.56
3	105.3	52.3	38.5	63.43
4	75.3	54.1	30.3	59.76
5	58.5	31.0	26.0	55.55
6	25.2	35.0	21.0	16.66
7	14.6	1.65	2.31	84.17
8	4.75	3.17	1.15	75.78
9	1.24	0.21	0.87	29.83
10	0.86	0.15	0.14	83.72

#### 7.1.2.5. Nitratos ( $\text{NO}_3$ )

En la tabla 7.5. se encuentran reportados los datos correspondientes a la prueba de nitrógeno en términos de nitratos, los datos están reportados en mg/L.

Tabla 7.5. Datos de  $\text{NO}_3$  (mg/L) obtenidos y % de remoción global

Muestra núm.	Río	Fosa	Efluente	% Remoción global
1	3.2	1.8	1.25	60.93
2	2.5	1.8	1.5	40
3	2.4	0.5	1.6	33.33
4	1.85	1.5	0.9	51.35
5	2.15	5.25	1.95	9.3

Tabla 7.5. continuación....

Muestra núm.	Río	Fosa	Efluente	% Remoción global
6	1.44	1.91	0.315	78.12
7	3.25	1.9	1.19	63.38
8	0.85	0.5	0.1	88.23
9	0.18	0.17	0.178	1.11
10	0.19	0.172	0.176	7.36

#### 7.1.2.6. Fosfatos ( $PO_4$ )

En la tabla 7.6. se enuncian los datos obtenidos en la prueba de fosfatos, los datos se reportan en mg/L.

Tabla 7.6. Datos correspondientes a la prueba de fosfatos aplicada a las muestras obtenidas durante el arranque de operaciones del HAFH.

Muestra núm.	Río	Fosa	Efluente	% Remoción global
1	6.3	3.4	4.2	33.3
2	6.44	2.68	2.98	53.72
3	5.91	3.63	3.9	34.01
4	4.9	3.22	3.6	26.53
5	5.82	4.02	4.25	26.97
6	7.84	5.37	3.69	52.93
7	6.22	4.85	5.27	15.27
8	7.22	4.75	4.25	41.13
9	6.15	4.08	3.83	37.72
10	5.09	3.15	2.31	54.61

### 7.1.2.7. Fósforo Total (P<sub>t</sub>)

En la tabla 7.7. se encuentran reportados los datos obtenidos de aplicar la prueba de fósforo total, los datos igualmente se encuentran reportados en mg/L.

Tabla 7.7. Datos correspondientes a la prueba de fósforo total, así como porcentaje global de remoción.

Muestra núm.	Río	Fosa	Efluente	% Remoción global
1	7.2	3.6	3.9	45.83
2	4.03	3.7	3.91	2.97
3	4.37	4.22	3.65	16.47
4	4.33	3.9	4.1	5.31
5	5.17	4.91	4.85	6.18
6	5.15	6.3	4.92	4.46
7	7.45	5.49	5.55	25.5
8	6.13	4.19	4.88	20.39
9	4.07	4.21	3.92	3.685
10	2.47	3.56	2.21	10.52

### 7.1.2.8. Oxígeno Disuelto (OD)

En la tabla 7.8. se encuentran los datos correspondientes a la prueba de oxígeno disuelto (realizada en campo) para todas las muestras, los datos están reportados en mg/L.

Tabla 7.8. Datos correspondientes a la prueba de Oxígeno Disuelto

Muestra	Río	Fosa	Efluente
1	1.0	1.6	1.8
2	1.0	0.8	1.4
3	1.8	1.6	4.4
4	2.5	2.9	5.8
5	1.0	1.2	3.3
6	0.1	0.2	1.3
7	0.8	0.6	2.2
8	0.9	1.18	1.7
9	1.3	0.9	2.3
10	0.9	0.7	1.95

#### 7.1.2.9. Conductividad Eléctrica (CE)

En la tabla 7.9. se encuentran reportados los datos correspondientes a la prueba de conductividad eléctrica, los datos están reportados en la unidades de  $\mu\text{mhos}$ .

Tabla 7.9. Datos correspondientes a la prueba de "conductividad eléctrica"

Muestra	Río	Fosa	Efluente
1	500	500	510
2	500	500	510
3	515	500	500
4	510	500	500
5	485	500	510
6	500	500	500
7	490	500	510
8	505	525	500
9	500	530	645
10	490	497	591

### 7.1.2.10. Sólidos Totales Totales (STT)

En la tabla 7.10. se encuentran los datos obtenidos en la prueba de sólidos totales totales y están reportados en mg/L, así como el porcentaje de remoción global.

Tabla 7.10. Datos correspondientes a la prueba de sólidos totales totales

Muestra	Río	Fosa	Efluente	% de Remoción global
1	1310	1170	920	29.77
2	1290	1010	1050	18.6
3	1650	1250	700	57.57
4	700	550	450	35.71
5	800	660	620	22.5
6	1120	970	620	44.64
7	1070	950	550	48.59
8	815	725	530	34.96
9	1395	1065	810	41.93
10	935	795	545	41.71

### 7.1.2.11. Sólidos Disueltos Totales (SDT)

En la tabla 7.11. están reportados los resultados correspondientes a la prueba de sólidos disueltos, así también se encuentran los porcentajes de remoción global.

Tabla 7.11. Datos correspondientes a la prueba de SDT, así como el % de remoción global

Muestra	Río	Fosa	Efluente	% de Remoción global
1	255	246	231	9.41
2	309	296	248	19.7
3	287	302	279	2.78
4	295	275	285	3.4
5	278	250	269	3.23
6	282	271	268	4.96
7	291	283	279	4.12
8	270	282	297	0
9	250	265	322	0
10	235	246	291	0

#### 7.1.2.12. Temperatura (T)

En la tabla 7.12. se encuentran los datos correspondientes a la prueba de temperatura (T), éstos datos se encuentran reportados en grados Celcius (° C).

Tabla 7.12. Datos correspondientes a la prueba de temperatura (prueba de campo), para cada uno de los puntos de muestreo.

Muestra núm.	Río	Fosa	Efluente
1	21	21	21
2	20.5	21	21
3	17.5	18.3	16.5

Tabla 7.12 continuación....

Muestra núm.	Río	Fosa	Efluente
5	17	17	18
6	19.5	19	20
7	20	20	21
8	21	20	21
9	20	19.5	19
10	19.5	19	18

### 7.1.2.13. Potencial de Hidrógeno (pH)

En la tabla 7.13. se encuentran los datos correspondientes a la prueba de campo pH, los datos se reportan en unidades de pH.

Tabla 7.13. Datos correspondientes a la prueba de potencial e hidrógeno (pH) en cada uno de los puntos de muestreo para las diez muestras tomadas.

Muestra	Río	Fosa	Efluente
1	6.8	6.7	7.1
2	7	6.8	7.4
3	6.8	6.7	7.3
4	7.2	6.9	7.3
5	7.0	6.8	6.9
6	6.7	6.6	6.9
7	7.2	6.9	7.4
8	7.2	6.9	7.4
9	7.2	7.6	7.4
10	7.1	7.3	7.3

#### 7.1.2.14. Metales Pesados

Al respecto, se realizaron los análisis de Cadmio, Cianuro, Cobre, Cromo, Níquel, Plomo, Zinc y Hierro, detectándose únicamente la presencia de éste último en las concentraciones indicadas en la tabla 7.14.

Tabla 7.14. Valores de Hierro encontrados en diferentes muestras de agua procedente del humedal artificial.

METAL	Punto de muestreo	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Hierro	Río	0.18	0.15	0.09	0.17	0.29
	Fosa	0.22	0.18	0.14	0.28	0.86
	Efluente	0.29	0.32	0.58	1.59	1.9
METAL		Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 10
Hierro	Río	0.18	0.19	0.19	0.14	0.37
	Fosa	0.22	0.78	0.74	0.86	0.96
	Efluente	0.29	1.32	1.18	1.37	1.52

#### 7.1.2.15. Grupos Bacterianos

En la tabla 7.15. se encuentran reportados los resultados correspondientes a las pruebas microbiológicas de identificación de grupos bacterianos. Éstas pruebas, sólo incluyen a los grupos bacterianos más importantes y son los que se presentan en ésta tabla.

Tabla 7.15. Datos correspondientes a las pruebas microbiológicas de identificación de grupos bacterianos realizadas a las muestras.

Grupo Bacteriano	Muestra No.	Río	Fosa	Efluente	% Remoción global
Mesófilas Aerobias (UFC/100 ml)	1	4.21E+10	1.33E+09	1.17E+07	99.9
	2	5.03E+10	4.85E+09	3.27E+07	99.9
	3	3.90E+10	1.44E+09	2.75E+07	99
	4	5.00E+10	3.80E+10	2.30E+10	54
	5	4.78E+10	4.98E+09	3.21E+09	93.2
	6	4.70E+10	3.20E+10	1.34E+10	71.5
	7	5.08E+10	1.15E+09	4.21E+08	99.1
	8	3.78E+10	1.56E+09	8.87E+08	97.65
	9	4.80E+09	8.10E+09	7.60E+07	98
	10	1.99E+11	1.99E+10	1.31E+08	99
Coliformes Totales (UFC / 100mL)	1	5.21E+08	1.63E+07	1.87E+05	99.9
	2	4.93E+08	3.85E+07	3.97E+05	99.9
	3	4.34E+07	2.66E+07	1.30E+05	99.7
	4	6.70E+09	2.30E+09	6.60E+05	99.9
	5	5.08E+08	9.78E+07	8.21E+05	99.8
	6	7.10E+09	2.60E+09	6.80E+05	99.9
	7	4.08E+09	1.15E+09	3.81E+05	99.9
	8	4.78E+09	8.56E+07	8.17E+05	99.9
	9	5.80E+09	2.40E+09	1.56E+03	99.9
	10	1.12E+09	8.80E+08	1.32E+06	99.8

En la siguiente página se encuentra la continuación de la presente tabla.

Grupo		Río	Fosa	Efluente	% Remoción
Coliformes Fecales (UFC/ 100mL)	1	2.21E+08	5.33E+07	4.57E+05	99.70
	2	3.83E+08	2.89E+07	9.67E+05	99.70
	3	1.62E+07	6.13E+06	5.90E+05	96.30
	4	3.10E+08	2.00E+08	1.58E+07	94.90
	5	2.98E+08	3.28E+07	9.91E+05	99.60
	6	3.90E+08	2.14E+08	1.29E+07	96.60
	7	3.08E+08	1.75E+07	6.21E+05	99.80
	8	5.38E+08	2.76E+07	8.17E+05	99.80
	9	2.90E+08	1.90E+08	1.20E+05	99.90
	10	9.93E+07	2.54E+07	9.60E+05	99.03
<i>Salmonella</i> (UFC/1mL)	1	1.18E+05	6.71E+04	978	99.1
	2	2.23E+05	7.79E+04	945	99.5
	3	2.68E+05	4.57E+04	897	99.6
	4	1.96E+05	3.56E+04	1.01E+04	94.8
	5	1.65E+05	3.23E+04	1.28E+04	92.2
	6	2.56E+05	7.67E+04	965	99.6
	7	2.11E+05	5.34E+04	870	99.5
	8	3.01E+05	3.08E+04	745	99.7
	9	1.25E+05	5.60E+04	580	99.5
	10	1.66E+05	1.15E+05	2.08E+04	88
<i>Shigella</i> (UFC/1mL)	1	9.01E+04	1.07E+4	951	98.9
	2	2.20E+05	5.89E+04	1.76E+04	92
	3	3.18E+05	4.12E+04	9.76E+03	96.9
	4	4.03E+05	3.19E+04	978	99.7
	5	2.98E+05	2.19E+04	789	99.7
	6	1.01E+05	1.98E+04	889	99.1
	7	3.94E+05	3.08E+04	904	99.7
	8	4.27E+05	2.83E+04	1.23E+03	99.7
	9	2.71E+05	1.40E+05	790	99.7
	10	8.20E+04	1.90E+05	1.92E+04	76.5

# Capítulo 8.

## Análisis y Discusión de resultados

---

*Escucha a uno antes de hablar y a muchos antes de decidir.*

*Haz lo correcto con los presentes y habla bien de los ausentes*

*Mucho da, aunque poco de, si lo da con voluntad*

*Una persona con una idea nueva es un chiflado, sólo hasta que la idea tiene éxito, es un genio.*

*Sé el dueño y no el esclavo de tus riquezas.*

*Una persona que habla de sus inferiores, no tiene ninguno*

*Todos morimos, pero... ..no todos vivimos realmente.*

---

## CAPÍTULO 8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Este capítulo se ha dividido de tal forma que en la primera parte se presentan, por parámetro independiente, los resultados obtenidos durante la fase de análisis y muestreo. En una segunda etapa, se efectúa el análisis en conjunto de dichos parámetros monitoreados. Se optó por esta secuencia debido a la importancia que tiene el llevar a cabo el análisis de información de manera conjunta dada la propia naturaleza de este tipo de sistemas de tratamiento.

### 8.1. Análisis

En los siguientes gráficos se mostrarán, tanto el comportamiento de los datos correspondientes a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos practicados a las muestras (ver capítulo 7 del presente trabajo), como la eficiencia de remoción las etapas del tratamiento que se indican.

#### 8.1.1. Demanda bioquímica de oxígeno en cinco días ( $DBO_5$ )

En la figura 8.1. se puede apreciar el comportamiento de los datos que corresponden a la prueba de  $DBO_5$ , en ésta figura se observa que los valores del efluente son menores que los de pertenecientes a los otros dos puntos de muestreo en un total de diez muestras analizadas. Esto indica que, efectivamente, hay capacidad de remoción de materia orgánica en éstos términos; este hecho se aprecia con mayor claridad en la figura 8.2., en donde se muestra el porcentaje de remoción global.

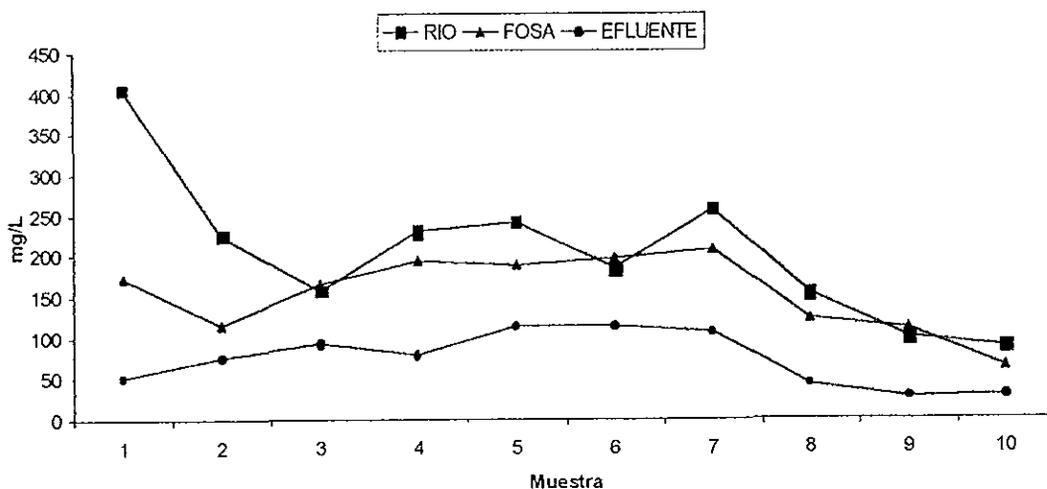


Fig 8.1. Comportamiento de la  $DBO_5$  en los 3 puntos de muestreo

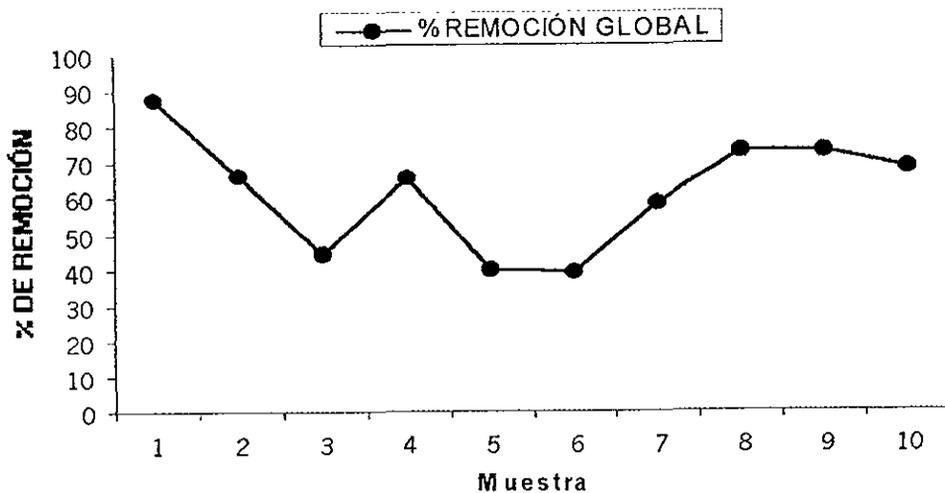


Fig. 8.2. Porcentaje de remoción global de materia orgánica en términos de DBO<sub>5</sub>

### 8.1.2. Demanda química de oxígeno (DQO)

En la figura 8.2. se puede apreciar el comportamiento de los datos que corresponden a la prueba de DQO, se puede observar igualmente que para el punto de muestreo del efluente tratado, los valores son menores que cualquiera de los otros dos puntos de muestreo, indicando que el HAFH tiene capacidad de remoción de materia orgánica en términos de DQO, en la figura 8.4. se aprecia el porcentaje de remoción global en éstos términos.

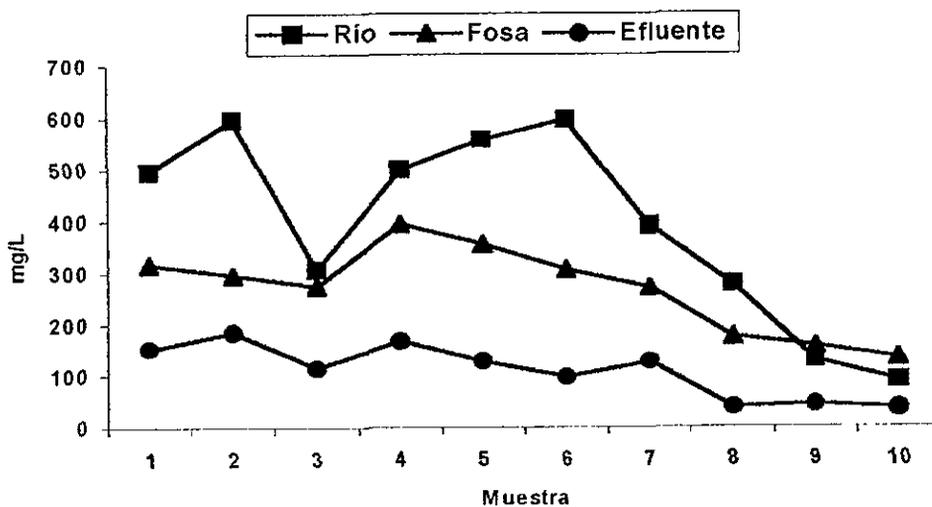


Fig. 8.3. Comportamiento del DQO en los tres puntos de muestreo

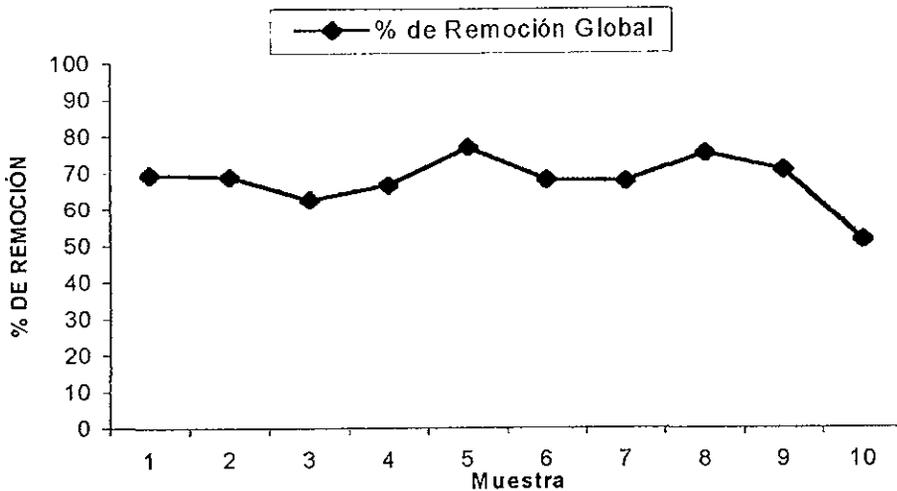


Fig. 8.4. Porcentaje de remoción global de materia orgánica en términos de DQO

### 8.1.3. Sólidos sedimentables (S sed)

En la figura 8.5. se puede apreciar el comportamiento de los datos obtenidos al aplicar la prueba de S.sed., estos datos fueron variables para los dos puntos de muestreo 1 y 2, pero lo que respecta al efluente tratado, éste estuvo libre de éstos contaminantes en todas las muestras tomadas durante el arranque del HAFH, indicando un 100% de remoción global. En la figura 8.6. se muestra el comportamiento del porcentaje de remoción de S.sed. entre el río y la fosa.

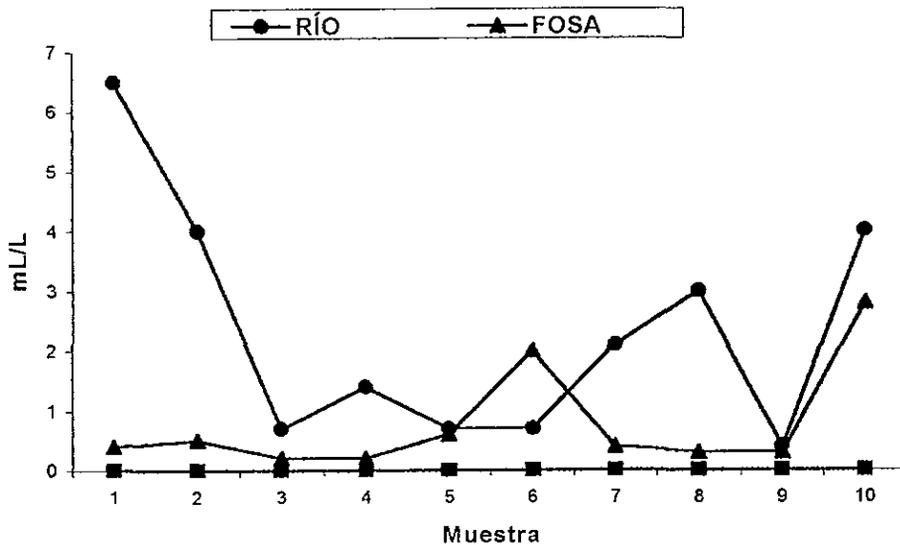


Fig. 8.5. Comportamiento de la concentración de S.sed.

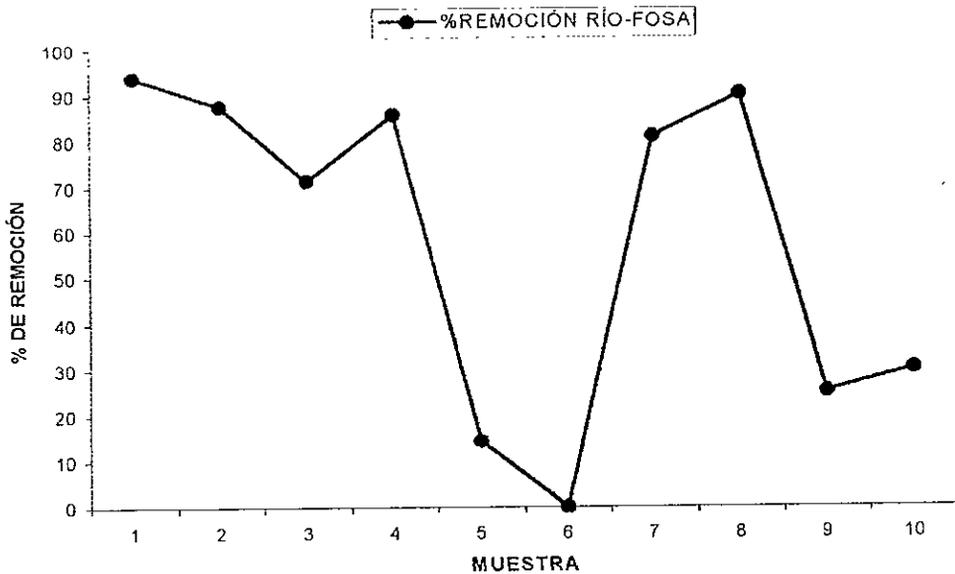


Fig. 8.6. Comportamiento del % de remoción de SSed entre muestras del río y la fosa séptica

#### 8.1.4. Nitrógeno amoniacal (NH<sub>4</sub>)

En la figura 8.7. se muestra el comportamiento de los datos correspondientes a la prueba de nitrógeno amoniacal, mientras que en la figura 8.8. se aprecia el comportamiento del porcentaje de remoción global de éste parámetro como contaminante.

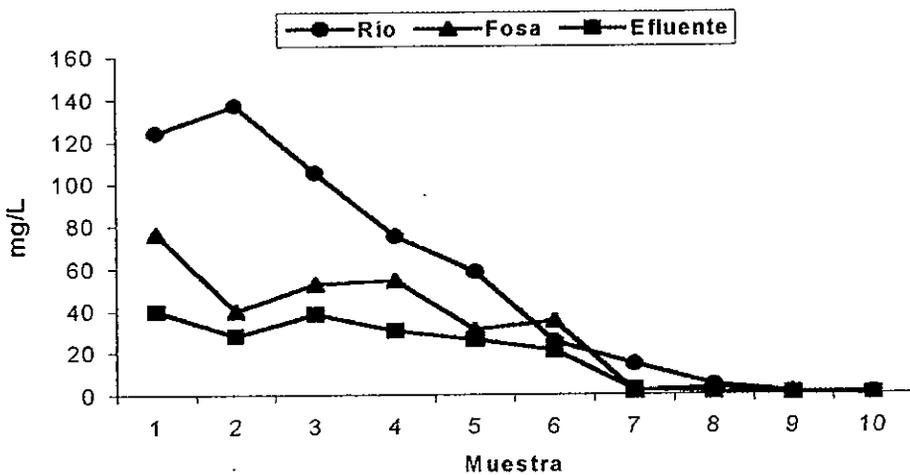


FIG. 8.7. Comportamiento del NH<sub>4</sub> en cada uno de los puntos de muestreo

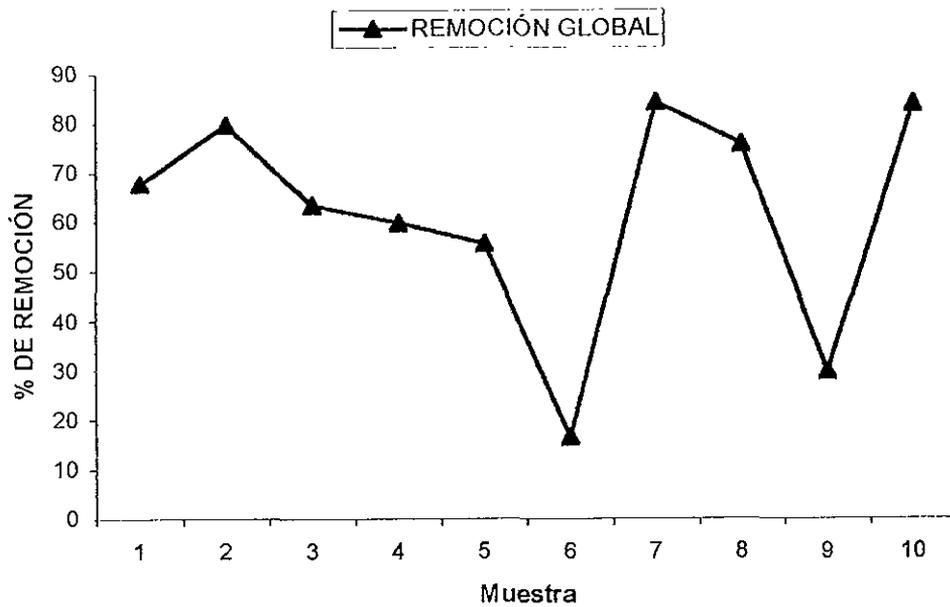


Fig. 8.8. Remoción global de  $\text{NH}_4$

### 8.1.5. Nitratos ( $\text{NO}_3$ )

En la figura 8.9. se muestra el comportamiento de los datos correspondientes a la prueba de nitrógeno de nitratos, mientras que en la figura 8.10. se aprecia el comportamiento del porcentaje de remoción global de éste parámetro como contaminante para las diez muestras y los tres puntos de muestreo.

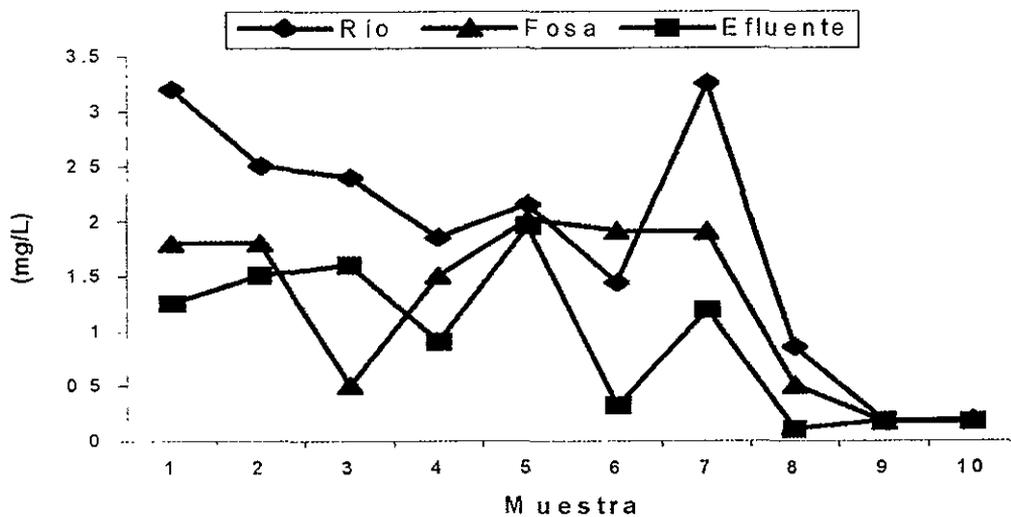


Fig. 8.9. Comportamiento de la concentración de  $\text{NO}_3$  en cada punto de muestreo

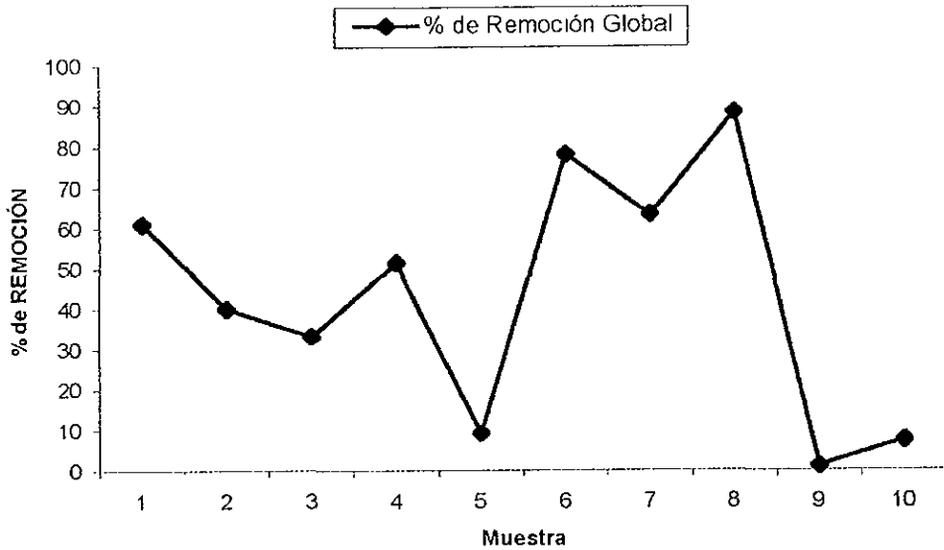


Fig. 8.10. Porcentaje de remoción global de  $\text{NO}_3$

### 8.1.6. Fosfatos ( $\text{PO}_4$ )

En la figura 8.11. se muestra el comportamiento de los datos correspondientes a la prueba de Fosfatos, así también, en la figura 8.12. se aprecia el comportamiento del porcentaje de remoción global de éste parámetro como contaminante para las diez muestras y los tres puntos de muestreo.

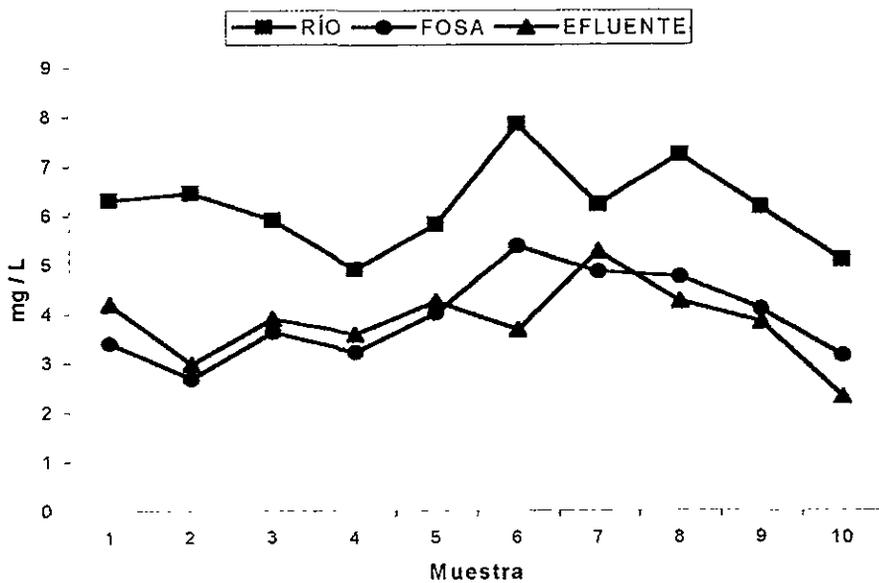


Fig. 8.11. Comportamiento del  $\text{PO}_4$  en cada uno de los puntos de muestreo

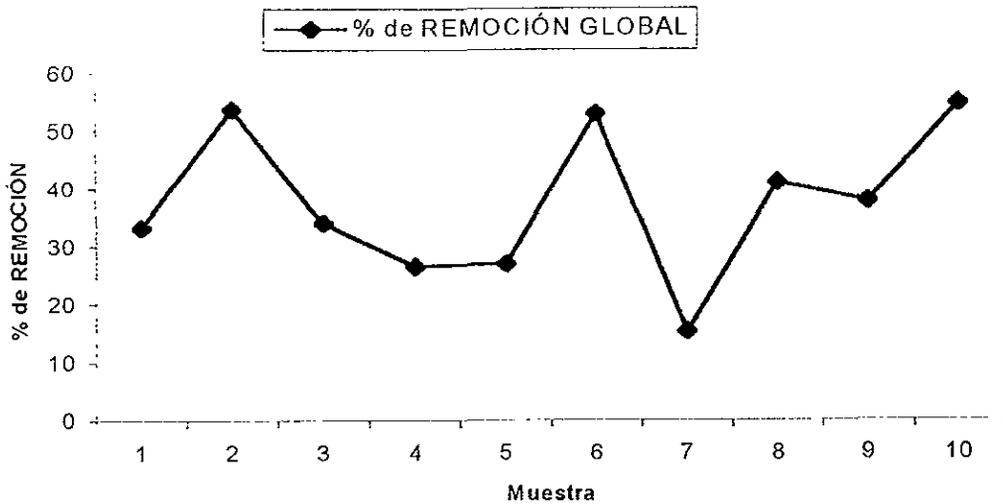


Fig. 8.12. Porcentaje de remoción Global

### 8.1.7. Fósforo total (Pt)

En la figura 8.13. se encuentra el gráfico correspondiente al comportamiento de los datos obtenidos en la prueba de fósforo total, así también en la figura 8.14. se aprecia el comportamiento del porcentaje de remoción global de éste parámetro como contaminante.

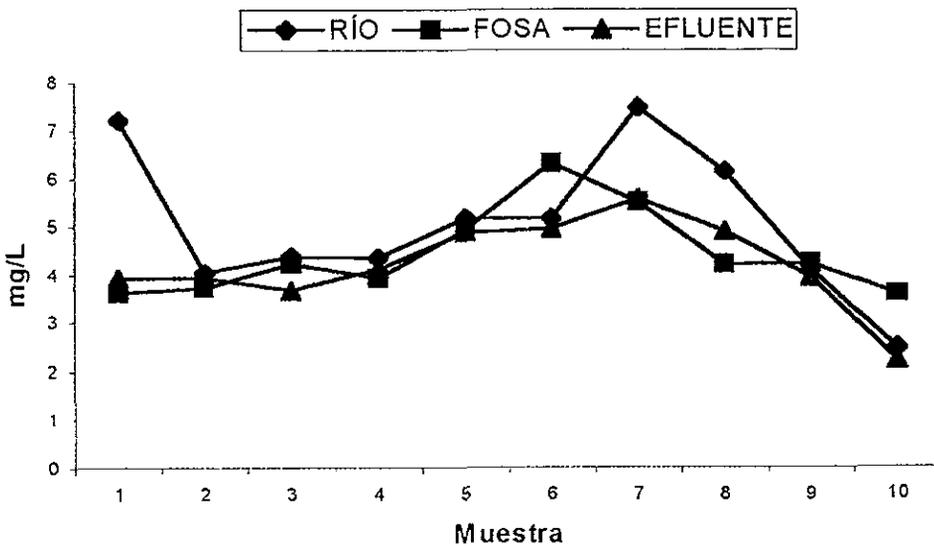


Fig. 8.13. Comportamiento del Pt en cada punto de muestreo

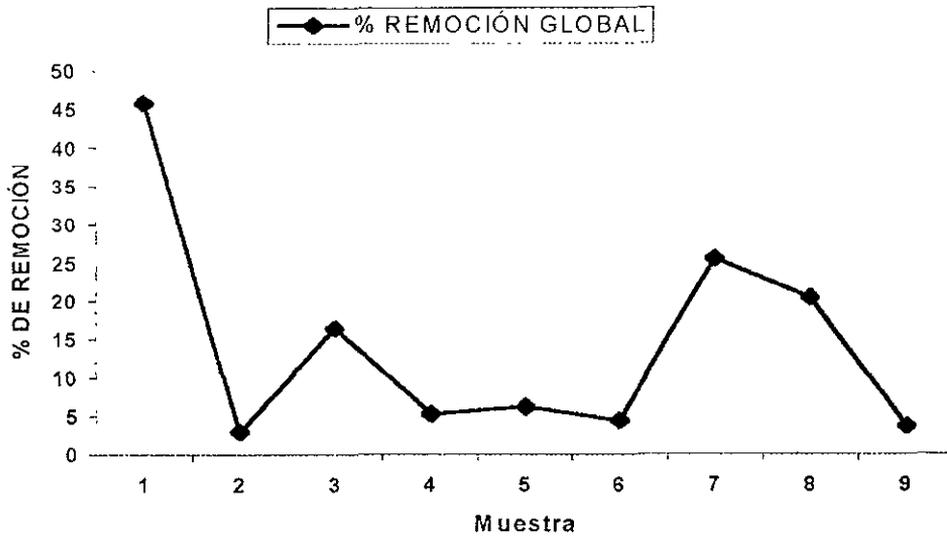


Fig. 8.14.% Remoción global de Pt

### 8.1.8. Oxígeno Disuelto (OD)

En la figura 8.15. se muestra el comportamiento de la concentración de OD en cada punto de muestreo, se puede apreciar que la concentración para el efluente tratado es más favorable que para el río o el mismo tratamiento primario (fosa).

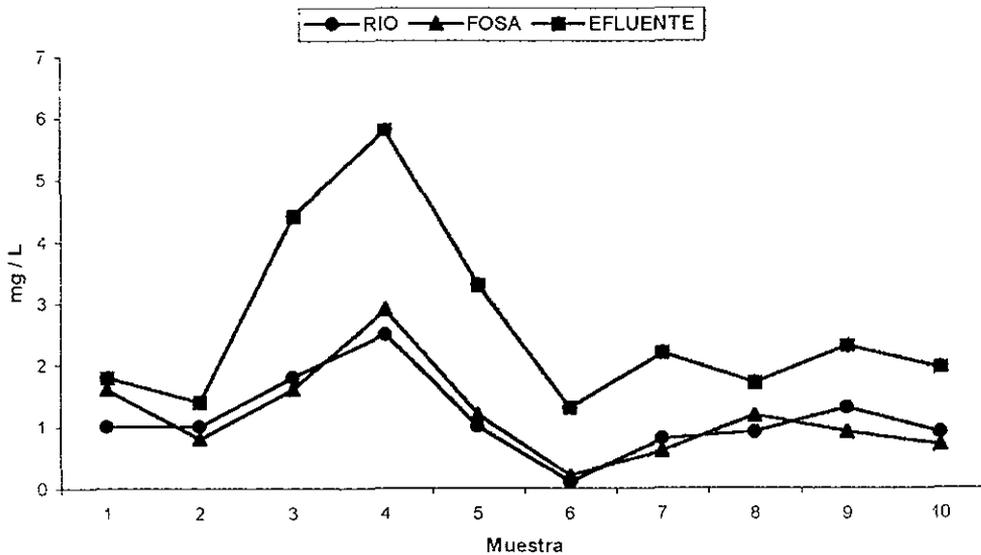


Fig. 8.15.Comportamiento de la concentración de OD en cada punto de muestreo

### 8.1.9. Conductividad eléctrica (CE)

En la figura 8.16. se muestra el comportamiento de la CE en cada punto de muestreo, se puede apreciar que éste parámetro de campo se comportó de manera homogénea en la mayor parte del tiempo que duró el arranque del HAFH.

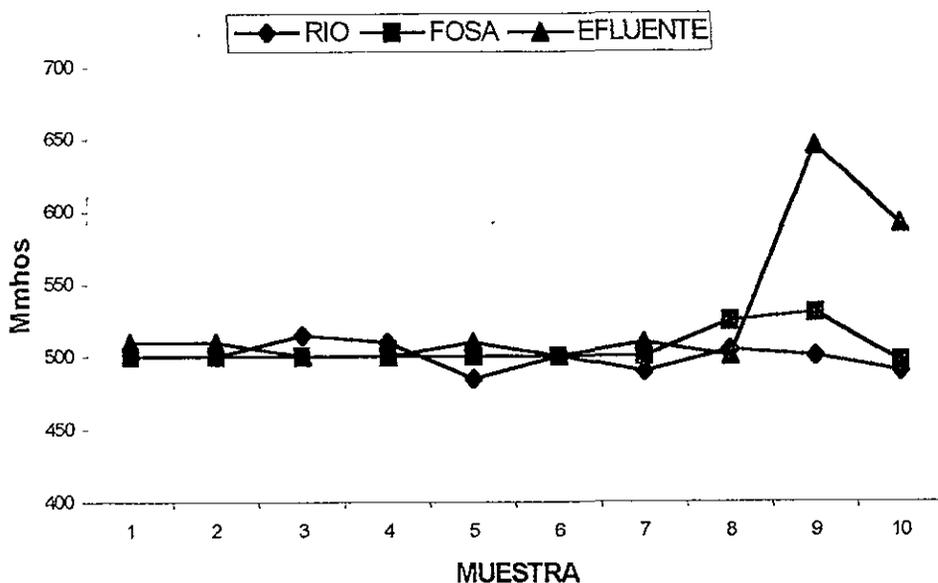


Fig. 8.16. Comportamiento de la CE para los tres puntos de muestreo

### 8.1.10. Sólidos totales (STT)

En las figuras 8.17. y 8.18 se muestra el comportamiento de la concentración de STT en cada punto de muestreo y el porcentaje de remoción global respectivamente, en la primera se puede apreciar que la concentración de éste parámetro como contaminante es más favorable para el efluente tratado.

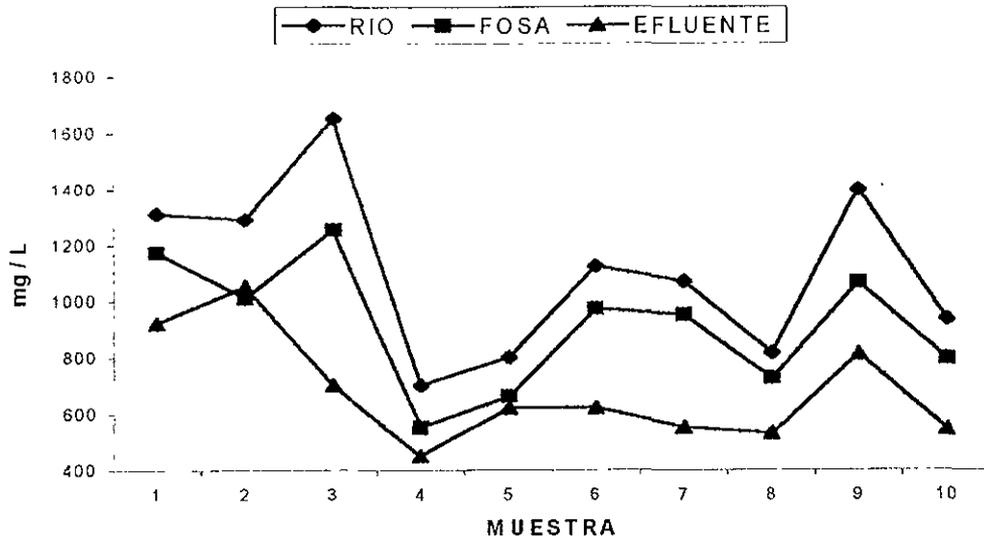


Fig. 8.17. Comportamiento de la Concentración de STT en Ambos Puntos de Muestreo

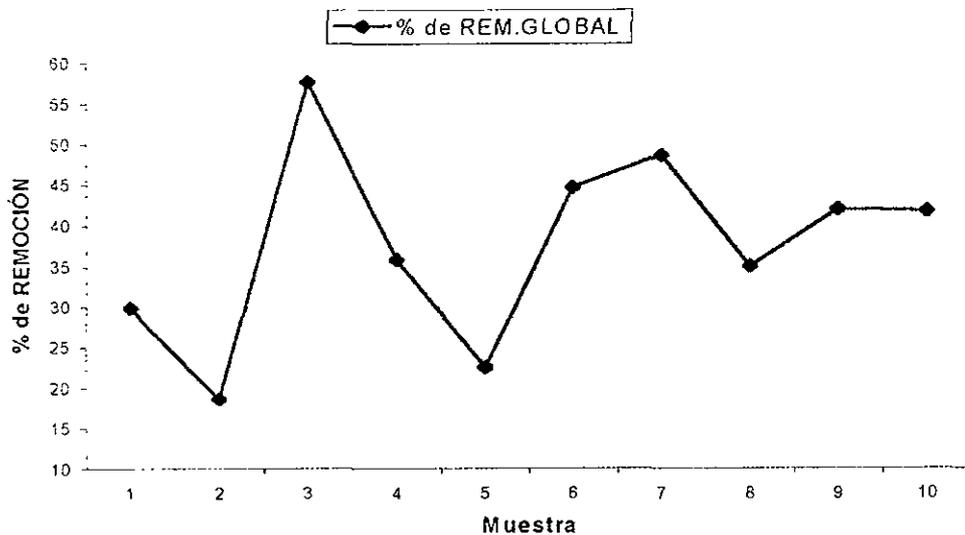


Fig. 8.18. Porcentaje de remoción global de STT

### 8.1.11. Sólidos disueltos totales (SDT)

En las figuras 8.19. y 8.20. se muestra el comportamiento de la concentración de SDT en cada punto de muestreo y el porcentaje de remoción global respectivamente, en la primera se puede apreciar que la concentración del contaminante no varía entre el río y el efluente, esto se ve reflejado en la fig. 8.20.

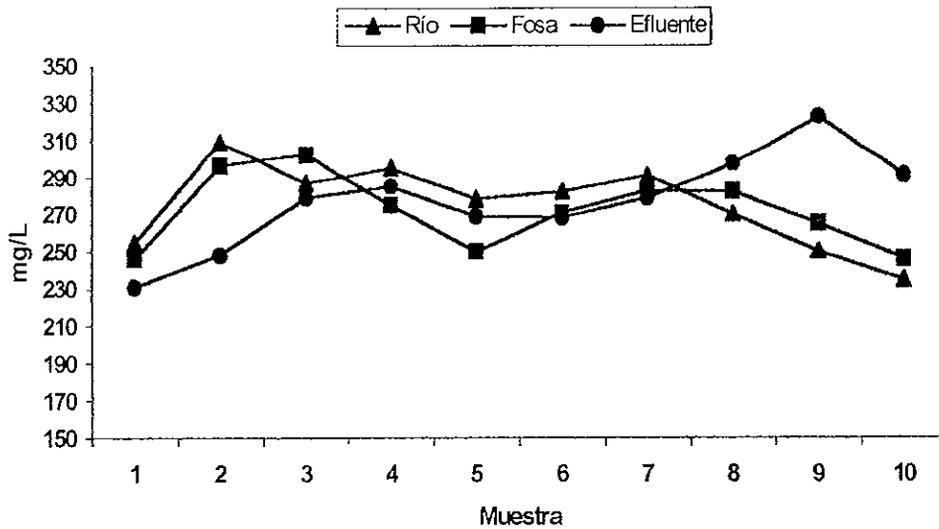


Fig. 4.19. Comportamiento de los SDT en los tres puntos de muestreo.

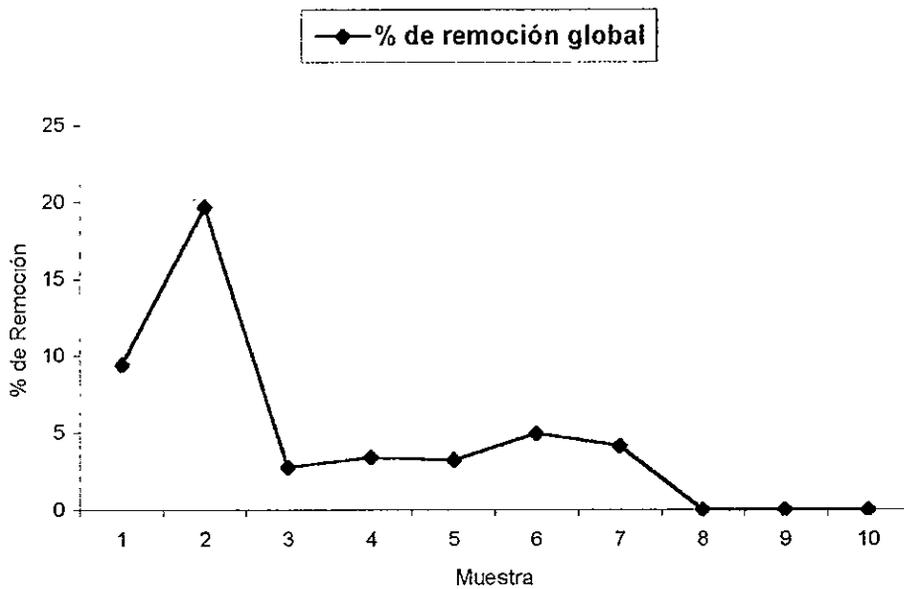


Fig. 8.20. Porcentaje de remoción global de SDT

### 8.1.12. Temperatura y potencial de hidrógeno (T y pH)

En las figuras 8.21. y 8.22. se puede apreciar el comportamiento de la T y el pH registrados durante el arranque del HAFH, en la primera se aprecia la homogeneidad

de los valores para ambos puntos de muestreo, en cambio, en la segunda se aprecia la variación de los valores durante el mismo periodo.

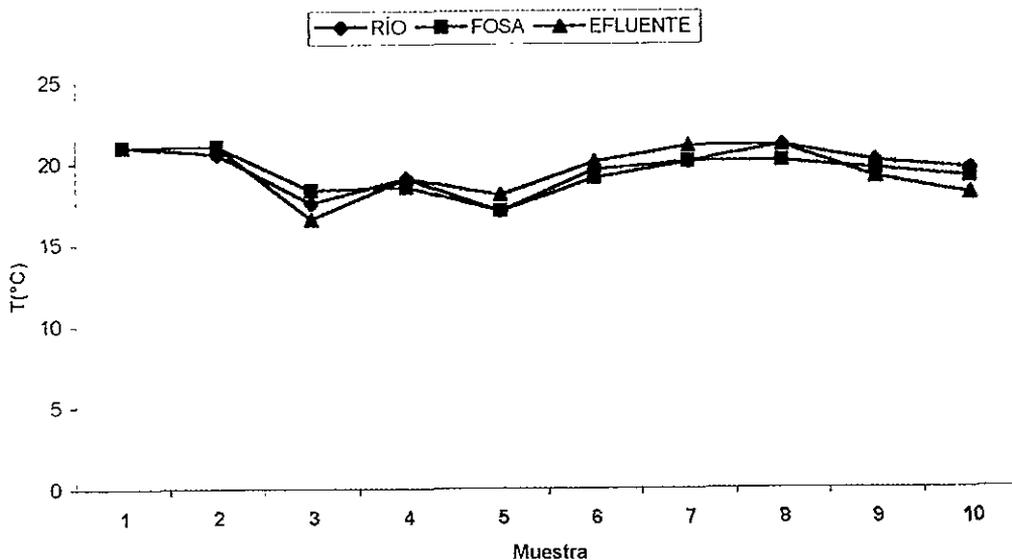


Fig. 8.21. Comportamiento de la temperatura en los tres puntos de muestreo

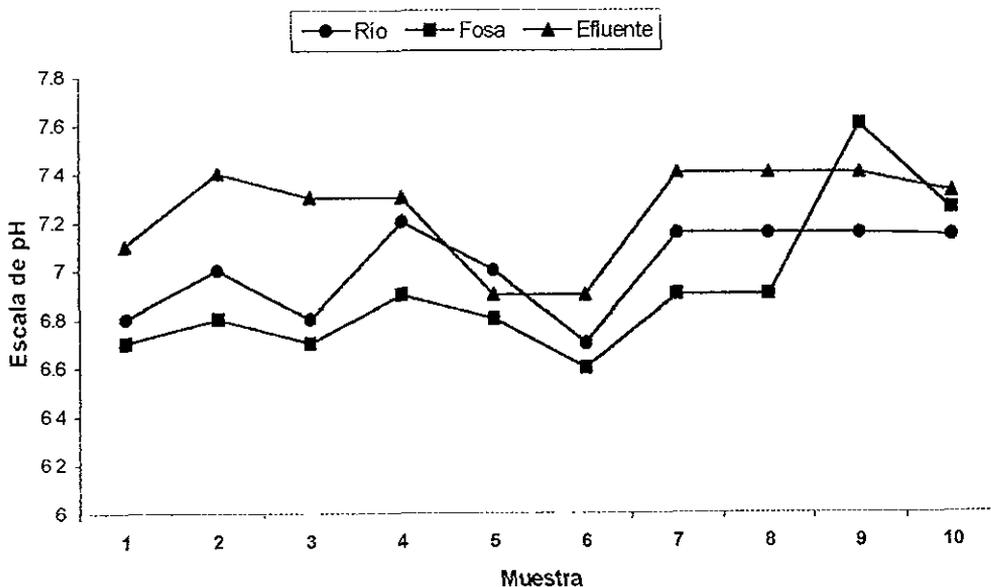


Fig. 8.22. Comportamiento del pH en los tres puntos de muestreo.

### 8.1.13. Grupo mesófilas aerobias

En la figura 8.23. se muestra el comportamiento de los datos obtenidos al aplicar la prueba microbiológica de identificación del grupo bacteriano mesófilas aerobias, adicionalmente, en la figura 8.24. se aprecia el comportamiento del porcentaje de remoción global del mismo.

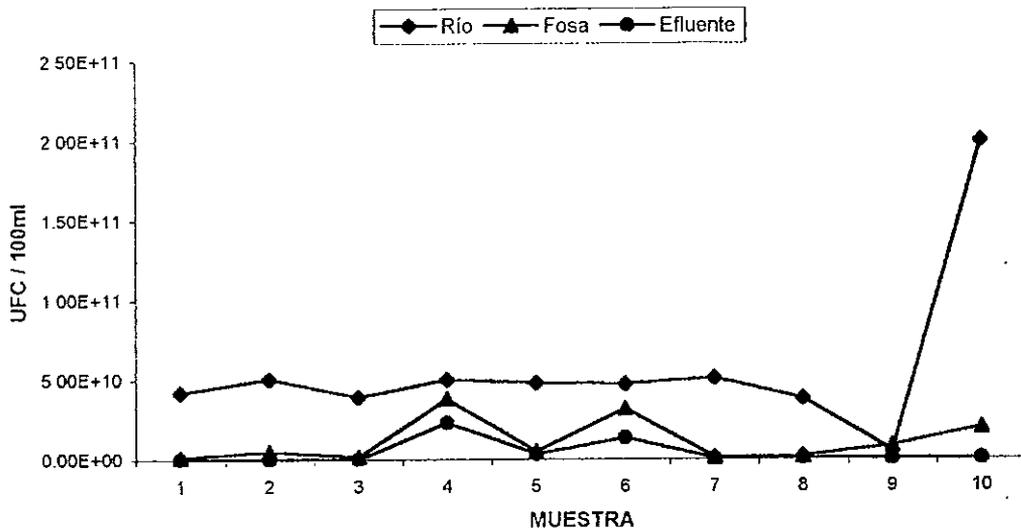


Fig. 8.23. Comportamiento del grupo Mesófilas aerobias en los tres puntos de muestreo

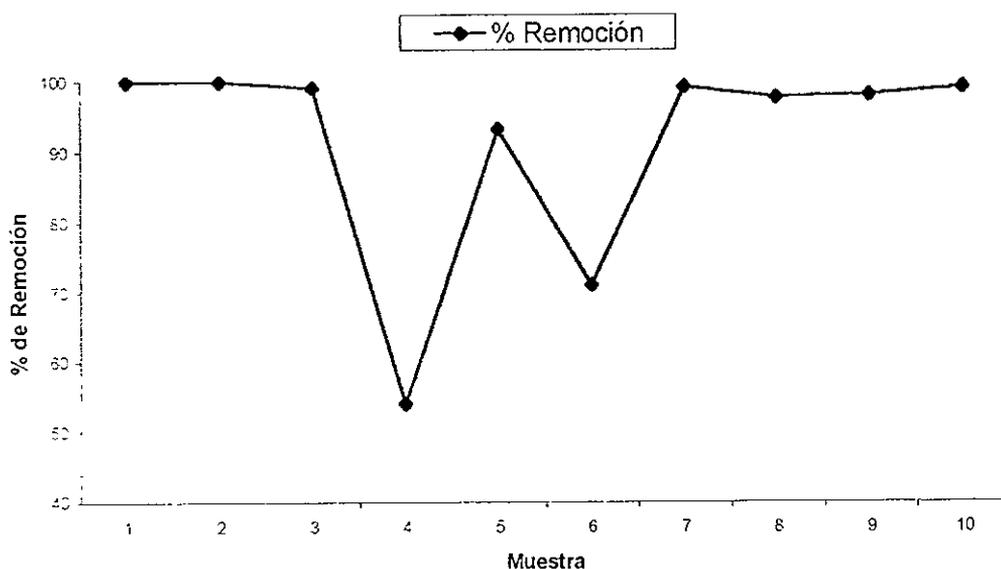


Fig. 8.24. Porcentaje de remoción del grupo mesófilas aerobias.

### 8.1.14. Grupo coliformes totales

En la figura 8.25. se muestra el comportamiento de los datos obtenidos al aplicar la prueba microbiológica de identificación del grupo bacteriano coliformes totales, adicionalmente, en la figura 8.26. se aprecia el comportamiento del porcentaje de remoción global del mismo.

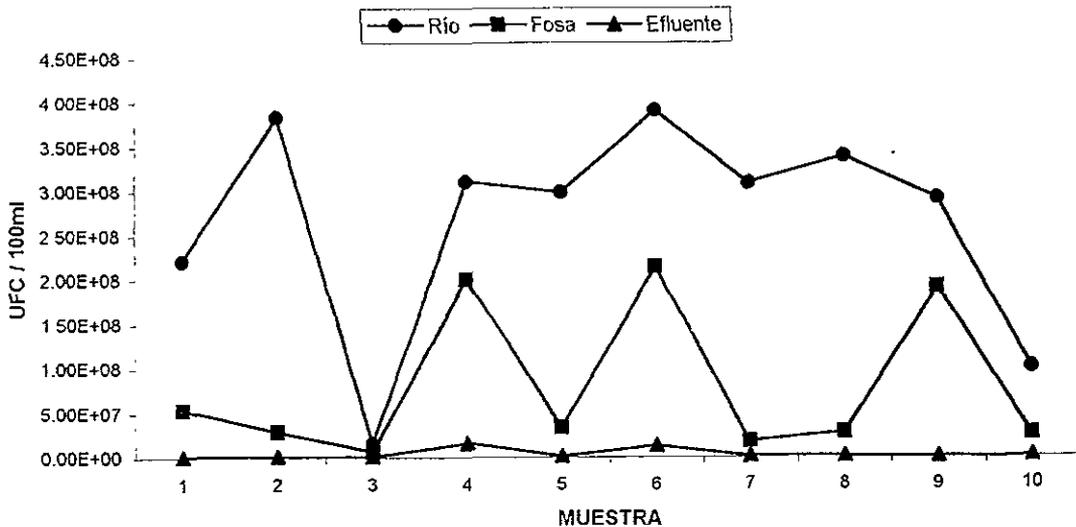


Fig. 8.25. Comportamiento del Grupo Coliformes fecales en ambos puntos de muestreo

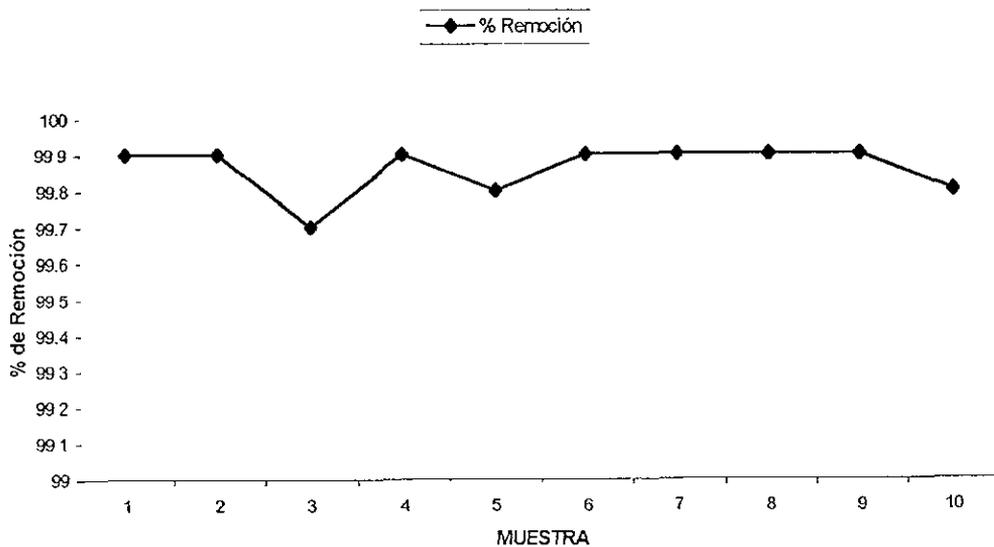


Fig 8.26. % de Remoción del grupo Coliformes Totales

### 8.1.15. Grupo coliformes fecales

En la figura 8.27. se muestra el comportamiento de los datos obtenidos al aplicar la prueba microbiológica de identificación del grupo bacteriano coliformes totales, adicionalmente, en la figura 8.28. se aprecia el comportamiento del porcentaje de remoción global del mismo.

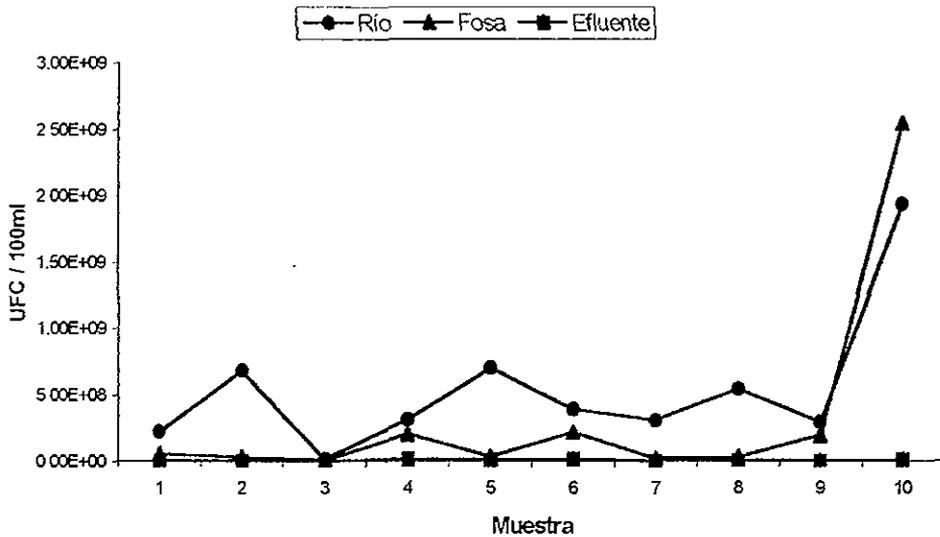


Fig. 8.27. Comportamiento del grupo coliformes fecales en ambos puntos de muestreo

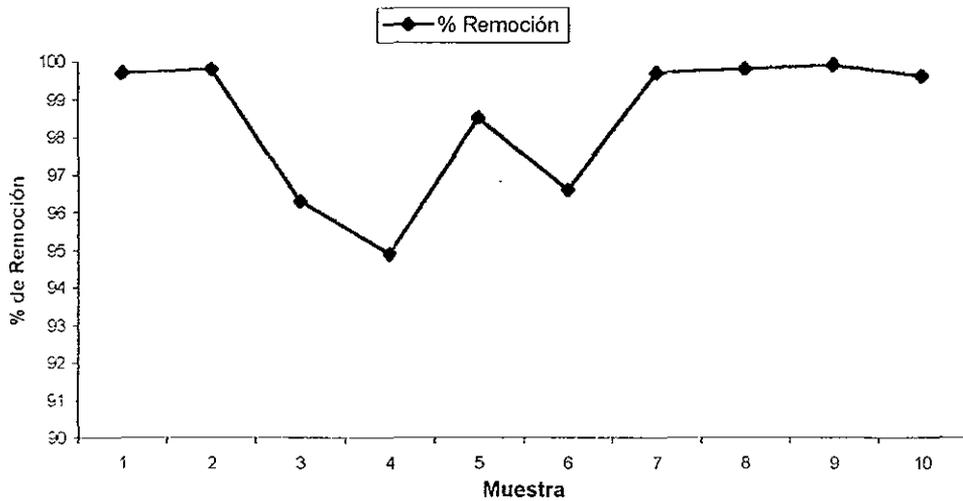


Fig. 8.28. Porcentaje de Remoción global del grupo bacteriano coliformes fecales

### 8.1.16. Bacterias del género *Salmonella*

En la figura 8.29. se muestra el comportamiento de los datos obtenidos al aplicar la prueba microbiológica de identificación del grupo bacteriano *Salmonella*, adicionalmente, en la figura 8.30. se aprecia el comportamiento del porcentaje de remoción global del mismo.

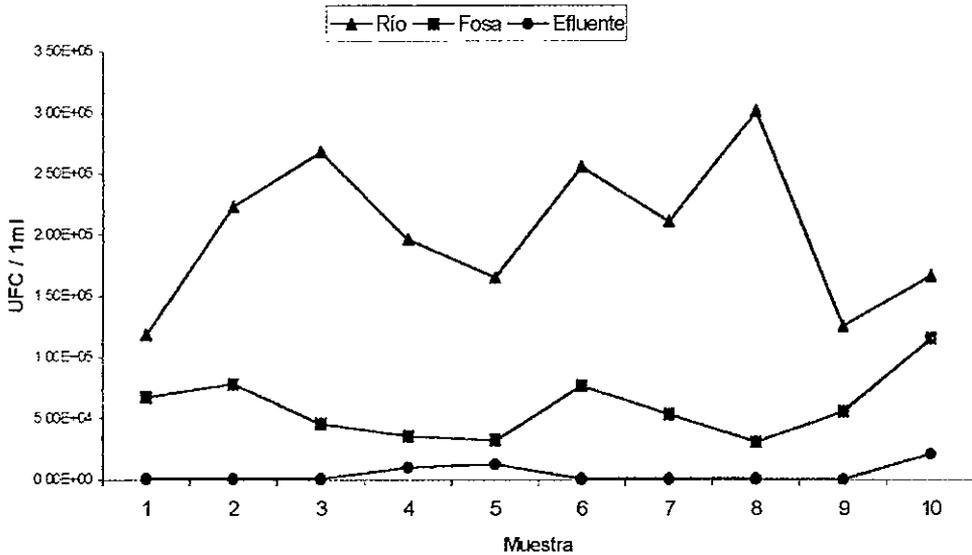


Fig. 8.29. Comportamiento del grupo *Salmonella* en los tres puntos de muestreo

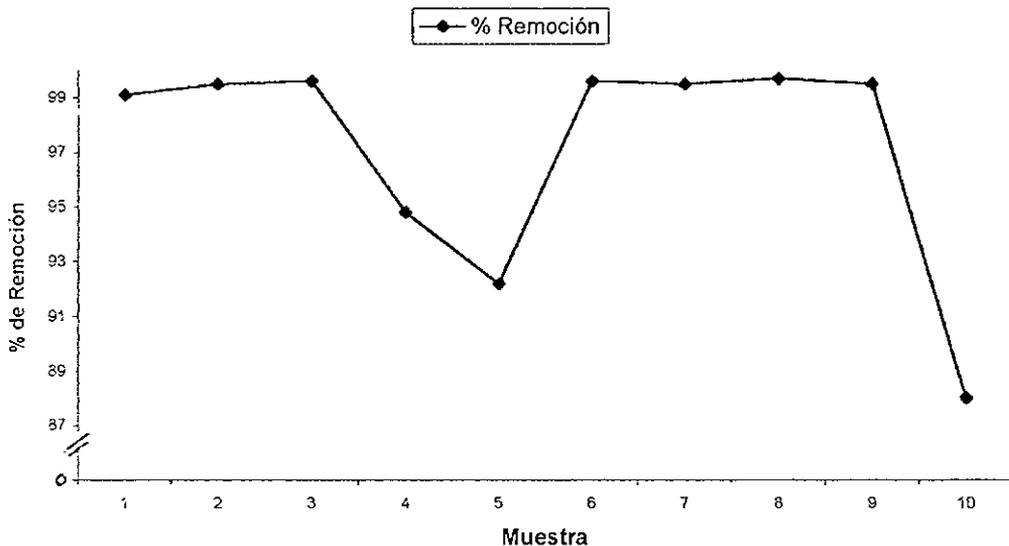


Fig. 8.30. Porcentaje de remoción global del grupo bacteriano *Salmonella*

### 8.1.17. Bacterias del género *Shigella*

En la figura 8.31. se muestra el comportamiento de los datos obtenidos al aplicar la prueba microbiológica de identificación del grupo bacteriano *Shigella*, adicionalmente, en la figura 8.32. se aprecia el comportamiento del porcentaje de remoción global del mismo.

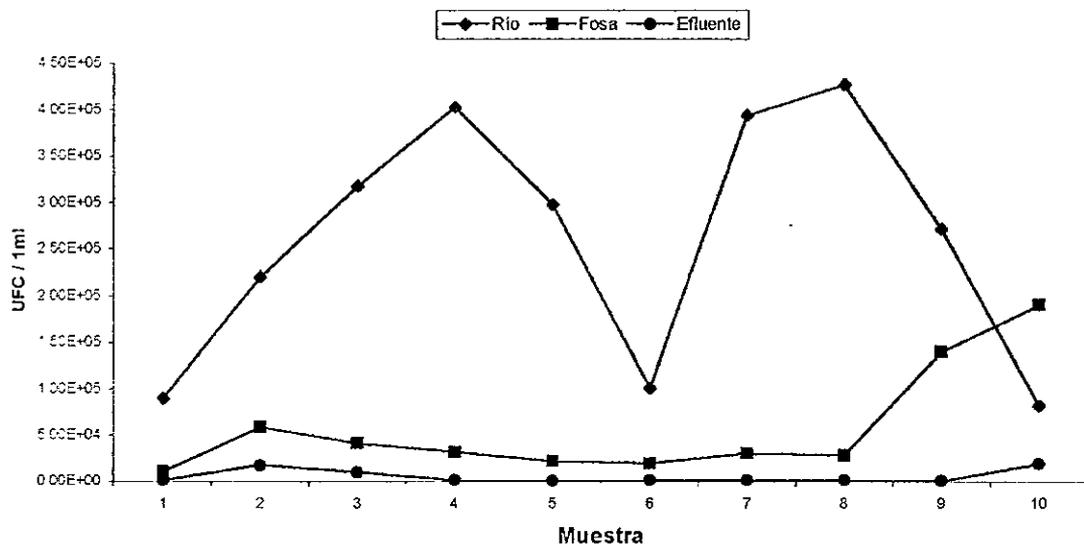


Fig. 4.31. Abundancia de *Shigella* en ambos puntos de muestreo

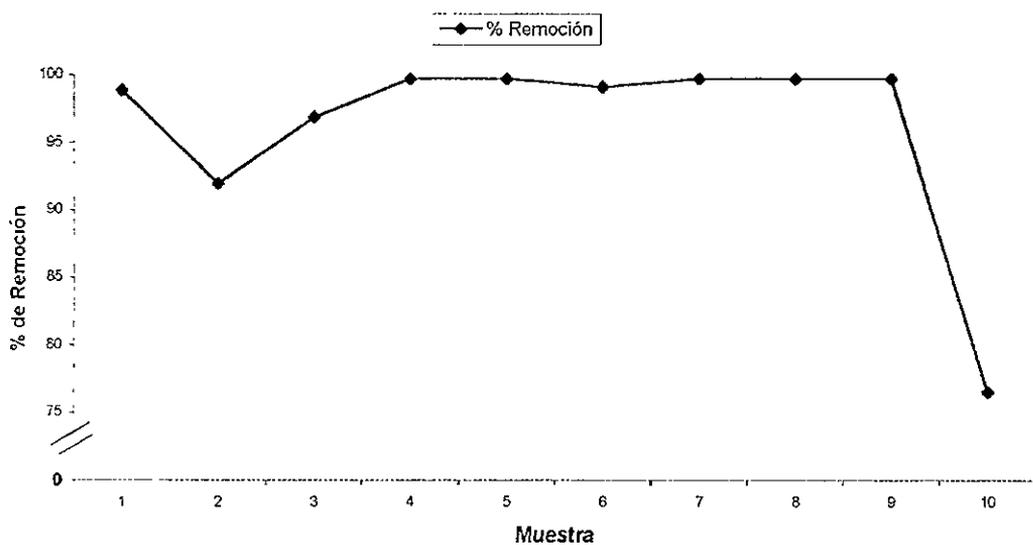


Fig. 8.32. Porcentaje de remoción de *Shigella*

Como se pudo observar en los gráficos anteriores, dentro de los parámetros fisicoquímicos que se analizaron durante el arranque del HAFH, el comportamiento de los datos obtenidos muestran que al inicio del arranque la eficiencia se muestra mayor en cuanto a la remoción de contaminantes se refiere, esto sucedió, debido a que el material de soporte del HAFH estaba libre de partículas contaminantes. Semanas más tarde, se observó que la eficiencia de remoción fue ciertamente disminuida, pero a la vez homogeneizada indicando la estabilidad depurativa del sistema en conjunto con el alcance de la estabilidad operativa. Para el caso particular de la determinación de metales pesados, el metal Hierro, fue el único encontrado en los tres puntos de muestreo, mostrando además un incremento sensible en su concentración, a la salida del sistema, probablemente debido al propio material de empaque del sistema.

En cuanto al análisis de identificación de los cinco grupos bacterianos para el presente trabajo, al inicio del arranque del HAFH se encontró una eficiencia menor que la alcanzada para el tercero, cuarto y hasta el quinto muestreo, éste comportamiento se atribuye principalmente a que el sistema al inicio estaba libre de colonias depuradoras de contaminantes y, como estaba hidratado con agua corriente, el arrastre de los microorganismos introducidos fue mayor. Cabe mencionar que para los últimos muestreos, la eficiencia de remoción de los grupos bacterianos fue superior al 90%, tal y como lo muestran los datos y los gráficos al respecto. lo cual si bien constituye un porcentaje significativo, no resulta suficiente para la calidad de agua deseada.

## **8.2. Discusión**

### **8.2.1. General**

Importante beneficios se adquirieron al realizar los ajustes necesarios al HAFH al término de su construcción, entre los que destacan: continuidad ininterrumpida de la

operación global del sistema, toma de muestras más adecuada y sin contratiempos, mantenimiento global-parcial menos complejo y tardado, entre otros.

En el arranque de operaciones las actividades más importantes además de verificar diariamente la estabilidad operativa y depurativa del sistema y realizar el mantenimiento requerido, fueron los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados a las muestras obtenidas. Los resultados, reportados en el presente capítulo, son datos promedio de muestras tomadas en días normales de operación.

En el apartado anterior se mostraron los gráficos que muestran el comportamiento tanto de los datos para todas las muestras y cada punto de muestreo, así como el porcentaje de remoción global realizado por el HAFH a ciertos parámetros.

### **8.2.2. Acerca de la detección-corrección de problemas operativos**

Los resultados aportados por aplicar ésta etapa previa al arranque de operaciones fueron del todo benéficos, ya que gracias a éstos, las condiciones tanto operativas y de mantenimiento, así como depurativas y de muestreo fueron desde su inicio, mejoradas invirtiendo tiempo sola y únicamente en los ajustes requeridos de tuberías y accesorios. Adicionalmente se vieron aceleradas las actividades correspondientes al muestreo, pruebas de campo y de laboratorio.

### **8.2.3. Pruebas de caracterización fisicoquímica y microbiológica**

Las principales actividades que comprendieron el arranque de operaciones del HAFH fueron: revisión (diaria) de la operación global del sistema, del crecimiento y propagación de las plantas vasculares emergentes (datos no reportados en éste trabajo), realización del mantenimiento según la demanda del propio sistema o alguno de sus componentes, análisis de muestras cada tres semanas durante los primeros seis meses de operación.

Las actividades de análisis fueron en términos globales las más representativas del presente trabajo, ya que los datos obtenidos como resultados muestran el avance de estabilidad adquirido por el sistema durante la etapa del arranque, mostrado en términos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados, entre los que destacan están: DBO<sub>5</sub>, DQO, S Sed., STT, SDT, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, Pt, metales pesados (específicamente Hierro); los grupos bacterianos (principalmente del tipo mesófilo aerobio, coliformes totales, y coliformes fecales). El porcentaje promedio de remoción global de los principales parámetros analizados durante el arranque y el valor promedio para el efluente son como se enuncia en la tabla 8.1.

Tabla 8.1. Porcentaje de remoción promedio y valor del efluente para cada parámetro

Parámetro	% de remoción (promedio)	Valor del Efluente (promedio)
DBO <sub>5</sub>	61.51± 24.35	72.5 mg/L ± 43.5
DQO	68.05± 16.75	108.9 mg/L± 72.5
S Sed.	100± 0.0	0.0 mL/L ± 0.0
STT	37.59± 19.48	679.5 mg /L± 260
SDT	4.76± 9.85	276.9 mg/L± 45.50
NH <sub>4</sub>	61.52± 33.75	18.82 mg/L± 19.93
NO <sub>3</sub>	43.31± 43.5	0.9159 mg/L± 0.925
PO <sub>4</sub>	37.61± 19.67	3.82 mg/L± 1.48
Pt	14.13± 21.43	4.18 mg/L± 1.67
Hierro	0.0± 0.0	1.03 mg/L± 0.805
Mesófilas aerobias	91.07± 22.95	4.03E+09 UFC ± 1.14E+09
Coliformes totales	99.86± 0.1	5.39E+05 UFC ± 6.59E+05
Coliformes fecales	98.52± 2.5	4.97E+06 UFC ± 7.84E+06

Para el caso de la prueba de identificación de metales, en donde para todas las muestras no se detectó la presencia de Níquel, Plomo, Zinc, Cadmio, Cianuro, Cobre y Cromo en ninguno de los puntos de muestreo, mientras que para el Hierro, la

concentración se vio incrementada conforme avanzaba en el proceso de tratamiento, el incremento en la salida del efluente supone un arrastre de trazas de éste metal que esta contenido en el material de soporte.

*En lo que se refiere a la identificación de grupos bacterianos, la disminución de los cinco grupos identificados para todas las muestras en ambos puntos de muestreo se vieron disminuidos considerablemente, tal y como lo muestra la tabla 7.1.2.15. y la tabla anterior, aunque persisten las cantidades suficientes para evitar el contacto directo con el agua tratada. Cabe señalar que se espera que conforme el tiempo de operación transcurra, el sistema adquirirá un mayor porcentaje de remoción de contaminantes, tanto fisicoquímicos como microbiológicos, lo cual redundará en una mejor calidad del agua tratada.*

# Capítulo 9.

## Conclusiones y Recomendaciones

---

*Una palabra de aliento después del fracaso, vale más que una tonelada de alabanzas después del éxito.*

*Bienaventurado aquel que conserva el equilibrio entre lo que debe adquirir, lo que puede adquirir, lo que desea adquirir y lo que merece adquirir.*

*No comas todo lo que puedas, no gastes todo lo que tienes, no creas todo lo que oyes, ni digas todo lo que sabes.*

*Hasta que seas padre, sabrás ser buen hijo.*

*Al ojo del amo engorda el caballo.*

*El que no escucha consejos, no llega a viejo.*

---

## CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En relación al trabajo realizado se presentan las siguientes conclusiones y recomendaciones:

Se realizó la construcción y el arranque de operaciones de una planta de tratamiento de aguas residuales tipo humedal artificial de flujo horizontal dentro de las instalaciones del vivero forestal de Coyoacán en la Ciudad de México, aplicando el principio de planeación de la construcción del HAFH.

Se evaluó la calidad fisicoquímica y microbiológica de las muestras tomadas durante el arranque de operaciones. De acuerdo con los resultados obtenidos, es alentadora su aplicación, ya que al obtener una eficiencia (en el arranque operativo) permite inferir que es posible que conforme avance el tiempo de operación del HAFH, los parámetros se apegarán cada vez más al cumplimiento de lo estipulado por las Normas Oficiales Mexicanas para el caso de riego agrícola y jardinería (NOM-001-ECOL-1996 y NOM-003-ECOL-1998). Principalmente en lo concerniente a concentración de bacterias presentes en el efluente, ya que para los otros parámetros puede decirse que se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos; por otra parte, los costos de operación y mantenimiento pueden considerarse como bajos. Cabe señalar que existe la posibilidad de llegar a cumplir con las exigencias de dichas normas, si se aplicara un tratamiento posterior o complementario al agua efluente del humedal. Al respecto se pueden recomendar el empleo de filtros de carbón activado y/o procesos de desinfección convencional, mediante cloración, o bien, empleando lámparas de luz ultravioleta.

Las actividades de construcción – instalación no tuvieron mayor problema de ser efectuadas tanto por el personal encargado del proyecto, como del personal externo o contratado, aunque éste último no fuese capacitado.

Durante el arranque de operaciones se realizaron diversas actividades, entre las que destacaron la detección-corrección de problemas operativos, que no implicaron mayores inconvenientes, ni inversión de tiempo excesivo para ejecutarse.

Los análisis que se le aplicaron a muestras obtenidas durante el arranque, es la principal actividad desarrollada en esta etapa, ya que proporcionó desde el inicio de la operación del sistema, datos que han sido de mucha utilidad tanto para efectos del estudio del HAFH del presente trabajo, así como para el mejoramiento en las aplicaciones de diseños futuros .

Los materiales empleados en la instalación del sistema como lo son el material de soporte y las plantas vasculares emergentes, son materiales que pueden encontrarse disponibles en todos (o casi todos) los lugares en donde se podría aplicar éste tipo de sistemas de tratamiento, reduciendo así el costo global de construcción.

En cuanto a la operación y mantenimiento del sistema expuesto en este trabajo, se puede concluir que, no es necesaria la ocupación de personal con experiencia o de nivel técnico, mucho menos de nivel profesional, ya que las actividades a realizar en éstos dos puntos son sencillas y no implican contratiempo alguno, además de que se les puede proporcionar una capacitación básica y específica. Lo que si es importante considerar son los cuidados y la precaución al realizar éstas actividades, ya que podría haber ingestión accidental del influente, efluente, o productos del mantenimiento, o bien, debido a la no realización las acciones pertinentes de limpieza requeridas al término de estas actividades, lo que podría causar problemas gastrointestinales severos al personal involucrado.

Se elaboró un programa de mantenimiento de acuerdo con las experiencias adquiridas durante la etapa de arranque operativo.

Para continuar con las actividades de análisis de muestras tanto para estudio, como para verificación de la estabilidad operativa y depurativa, es importante

recalcar acerca de los cuidados que deberán tenerse, ya que ingestiones accidentales o mal manejo de las muestras y los equipos de análisis in-situ, pueden causar serios daños al personal y a los equipos de análisis.

Es recomendable la consolidación y el desarrollo de nuevas líneas de investigación sobre éste sistema, ya que parámetros importantes como los son la conducción hidráulica, la evapotranspiración, el crecimiento de las plantas en condiciones normales de operación, así también la eficiencia de remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos en función del tiempo de operación y la época del año, entre otros.

La realización de las actividades de mantenimiento deberán ser efectuadas con la frecuencia que el propio sistema demande, ya que las características del agua residual alimentada varía según la época del año, así como de condiciones ambientales prevalecientes. También deben tenerse presentes las actividades relacionadas con la operación, específicamente de verificación de alimentación del influente, desalojo del efluente y limpieza general de la zona, para la programación de dichas actividades de mantenimiento oportuno.

# Bibliografía

---

*Quien tiene poco y gaste menos, es rico sin saberlo.  
Como un día bien aprovechado trae un sueño feliz,  
También una vida bien aprovechada trae una muerte  
feliz.*

*Un proverbio es un fruto del árbol de la vida*

*Primero busca el pan, luego la novia.*

*No hay mejor manera de aprender, que hacerlo uno  
mismo*

*Nunca hagas de tu caridad una exhibición  
pública.*

*No importa como morir, sino como vivir.*

---

## BIBLIOGRAFÍA

1. APHA. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater analysis. 19ª Ed. American Public Health Association. AWWA and WPCF. EEUUA. Pp.233-258.
2. Batchelor, A. y Loots, P. 1996. A critical evaluation of a pilot scale subsurface flow wetland: 10 years after commissioning. En Memories of 5<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Austria Pp. XI/4 – 1 A XI/4 – 9.
3. Bavor, H. 1995. Challenges for the development of advanced constructed wetlands technology. Wat. Sci. Technol., 32(3): 13 – 20.
4. Boon, A. 1985. Report of a visit by members and staff of Wrc to Germany to investigate the root zone method for treatment for wastewaters. Wrc Report 376-S/1. Reino Unido. Pp. 133-198.
5. Brix, H. 1994. Subsurface horizontal flow systems-systems components. En CICHEAM-IAWQ course: Role of wetlands for the control of pollution. España. Pp. 1-14.
6. Brix, H. 1996. Role of macrophytes in constructed wetlands. En Memories of 5<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for water pollution Control. Austria Pp. 2-1 a 2-6.
7. Breen, P. 1990. A mass balance method for assessing the potential of artificial wetlands: for wastewater treatment. Wat. Res., 24(6):669-679.
8. CNA. 1997. Inventario nacional de plantas de tratamiento. Subdirección General Técnica. Gerencia de saneamiento y calidad del agua. México. Pp. 26-28.

9. Collado, R. 1989. Trickling filter of low and medium loadings as small cost wastewater treatment system on small communities (50 – 5000 inhab). Poster sessions. International specialized conference on design and operation of small wastewater treatment plants. Trondheim. (Norway).
10. Collado, R. 1991. La depuración de aguas residuales en pequeñas comunidades. Criterios de selección. Tecnología del agua. No. 80 Abril. Madrid, España.
11. Collado, R. 1992. Depuración de aguas residuales en pequeñas comunidades, Colección Señor No.12. Madrid España.
12. Cooper, P. F.; Hobson, J.A. y Findlater, C. 1989. The use of reed treatment systems in the UK. International specialized conference on design and operation of small wastewater treatment plants. Trondheim. (Norway).
13. Davies, T. y Hart, B. 1990. Reed bed Treatment of wastewater in a pilot-scale facility. En Memories of Constructed Wetland Water Pollution Control. Reino Unido. Pp. 517-520.
14. Denny, P. 1996. Implementation of constructed wetland in developing countries. En Memories of 5<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Austria. Pp. 4-1 a 4-10.
15. Fastenau, F.A. 1989. Comparison of various systems for on-site wastewater treatment. International Specialized Conference on Design and Operation of small wastewater treatment plants. Trondheim (Norway).
16. García C., E. 1998. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. UNAM. México. Pp. 192-194.

17. George, D. y Kemp, M. 1996. Design of subsurface flow wetland treating municipal wastewater. En Memories of 5<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Austria. Pp. III/3-1 a III/ 3-8.
- 18 Gersberg, R. 1985. Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetland. Wat. Res.,20(4): 363- 371.
19. Green M. y Upton, J. 1994. Constructed reed beds. A cost-effective way to polish wastewater effluents for small communities. Wat. Environm. Res. 31(2): 4-44.
20. Haberl, R. 1997. Constructed wetlands in Europe with emphasis to Austria. En Memorias del Tercer Seminarios Internacional de Expertos en Tratamiento de Efluentes Industriales y Residuos. PIQAyQA-UNAM. México.Pp. 232-245.
21. Hammer, D. 1994. Designing constructed wetlands for nitrogen removal. Wat. Sci. Technol.,29(4): 15-27.
22. Hernández, A. 1987. Abastecimiento y Distribución de Agua. Colección Señor No.6. Madrid España. Pp. 18-55.
23. Hernández, A. 1990a. Depuración de Aguas Residuales. Colección Señor No.9. Madrid España. Pp. 24-105.
24. Hernández, A. 1990b Saneamiento y Alcantarillado. Colección Señor No. 10. Madrid España. Pp. 8-32.
25. Hiley, P. 1990. The performance limitations of wetland treatment systems- a discussion. En Memories of Constructed Wetlands Water Pollution Control. Reino Unido. Pp. 535-537.
26. House, C. Y Frederick, D. 1996. Engineered environments: Combined treatment systems design and performance. En Memories of 5<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Austria. Poster 15.

27. Hu, K. 1994. Overview: Design of subsurface flow constructed wetland systems. En Memories of 4<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. China. Pp. 13-24
28. Johansen, N. y Brix, H. 1996. Design criteria for a two-stage constructed wetland. En Memories of 5<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Austria. Pp. IX/3-1 a IX/3-9.
29. Kadlec, R. 1996. Deterministic an stochastic aspects of constructed wetland performance and design. En Memories of 5<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Austria. Poster 9.
30. King, A. 1996. Hydraulic tracer studies in a pilot scale subsurface flow constructed wetland. En Memories of 5<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Austria. Pp. IV/4-1 a IV/4-10.
31. Knight, R. e Iverson, M. 1990. Design of the fort deposit, Alabama, constructed wetlands treatment system. En Memories of Constructed Wetland Water Pollution Control. Reino Unido. Pp. 521-524.
32. Krabbenhoft. D. 1996. Groundwater inflow measurements in wetland systems. Wat. Res., 32(3): 495-507.
33. Lakatos, G. 1996. Application of constructed wetlands for wastewater treatment in Hungary. En Memories of 5<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Austria. Pp. IX/9-1 a IX/9-9.
34. Levenspiel, O. 1991. Ingeniería de las reacciones químicas. Reverté. México. Cap.9. Pp. 277- 280.

35. Luna-Pabello, V.; Duran de Bazúa, C.; Ramírez-Carrillo, H.; Fenoglio-Limón, F. y Sánchez-García, H. 1997a. Los Humedales Artificiales. Una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales. Anuario Latinoamericano de Educación Química. Argentina. Pp. 78-83.
36. Luna-Pabello, V.; Duran de Bazúa, C.; Ramírez-Carrillo, H.; Fenoglio-Limón, F. Y Sánchez-García, H. 1997b. Sistemas de tratamiento de aguas residuales a base de humedales artificiales. Una tecnología alterna para la protección del equilibrio ecológico en zonas urbanas. En Memorias de las III Jornadas Panamericanas. Medio Ambiente y Vivienda. Zacatecas, México. Pp. 78-83.
37. Luna-Pabello, V.; Ramírez-Carrillo, H. y Fenoglio-Limón, F. 1998. Informe de actividades sobre el estudio de humedales artificiales. Revisión bibliográfica, pruebas experimentales a nivel laboratorio y propuestas de diseño a nivel de plantas piloto. Informe interno HA-MEX-01-1998. Facultad de Química, UNAM. México.
38. Macney, B. 1990. The design of wetlands for wastewater treatment. An Australian perspective. En Memories of Constructed Wetland Water Pollution Control. Reino Unido. Pp.471-479.
39. Mander, U. 1996. Constructed wetland for wastewater treatment in Estonia. En Memories of 5<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Austria. Pp.IX/7-1 a IX/7-7.
40. Marsteiner, E.; Collins, A. y Theis, T. 1996. The influence of macrophytes on subsurface flow wetland (SSFW) hydraulics. En Memories of 5<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Austria. Pp.II/2-1 a II/2-7.
41. Metcalf, E. y Eddy, C. 1991. Wastewater Engineering. McGraw-Hill International Editions. EUUA. Pp. 935-1003.

42. Morales - Valladares, C 1994. Ingeniería de proyectos plicada al tratamiento de aguas residuales. Tesis de licenciatura UNAM. México. Pp. 58- 87.
43. Norma Oficial Mexicana, NOM-001-ECOL-1997. ,Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación. Enero 6 de 1997.
44. Norma Oficial Mexicana, NOM-003-ECOL-1998. ,Que establece los límites máximos permisibles de contaminación para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. Diario Oficial de la Federación. Septiembre 21 de 1997.
45. Phillips, J. 1989. Fluvial sediment storage in wetlands Wat. Res. Buil., 25(4): 867-873.
46. Poiani, K. 1995. Sensitivity of a prairie wetland to increased temperature seasonal precipitation changes. Wat. Res. Buil., 31(2): 283-293.
47. Ramírez-Carrillo, H. 1998. Desarrollo de la ingeniería básica para una planta de tratamiento de aguas residuales a base de un humedal artificial de flujo horizontal. Tesis de licenciatura UNAM. México. Pp. 1-65.
48. Rase, F. y Barrow, H. 1973. Ingeniería de proyectos para plantas de proceso. CECSA. México. Pp. 12-117.
49. Rase, F. y Barrow, H. 1993. Ingeniería de proyectos para plantas de proceso. CECSA. México. Pp. 165-193.
50. Reed, S. y Brown, D. 1995. Subsurface flow wetlands - a performance evaluation Wat. Environm Res., 76(2): 244- 299.

51. Schaller, P. 1998. Planning, construction and investigation of a constructed wetland for the secondary treatment of domestic wastewater in México city. Tesis de Licenciatura BOKU. Austria. Pp. 12 –41.
52. Sereico, P. y Larneo, C. 1998. Use of wetlands for wastewater treatment. Civil Engineering Practice 5. Wat. Res. Environm. Pp. 767- 787.
53. SRH, 1984. Operación de plantas de tratamiento primario de aguas residuales. México. Pp. 4-95.
54. Shutes, R. 1996. The tratment of urban runoff by wetland systems. En Memories 5<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Austria. Pp. 3-1 a 3-8.
55. Tanner, C. y Sukias, P. 1995 Accumulation of organic solids in gravel-beed constructed wetland. Wat. Sci. Technol., 32(3): 229-239.
56. Winkler, M. 1986. Tratamiento biológico de aguas residuales. McGraw Hill International Editions. EEUUA. Pp. 213-253.
57. Wood. A. 1990. Constructed wetlands in water pollution control: Fundamentals to their understanding. Wat. Sci. Technol., 32(3): 21-29.
58. Xianfa. Y. y Chuncai, J. 1995. . Constructed wetlands in water pollution control in north China. Wat. Environm. Res., 2(3): 349-356.

# Anejos

---

*Siembra un pensamiento, cosecha un hábito, siembra un hábito, cosecha un carácter, siembra un carácter, cosecha un destino.*

*Estar contento con poco, es difícil; Estar contento con mucho, Imposible!.*

*Es mejor una palabra antes, que dos después.*

*Un sabio toma sus propias decisiones, el ignorante sigue la opinión pública.*

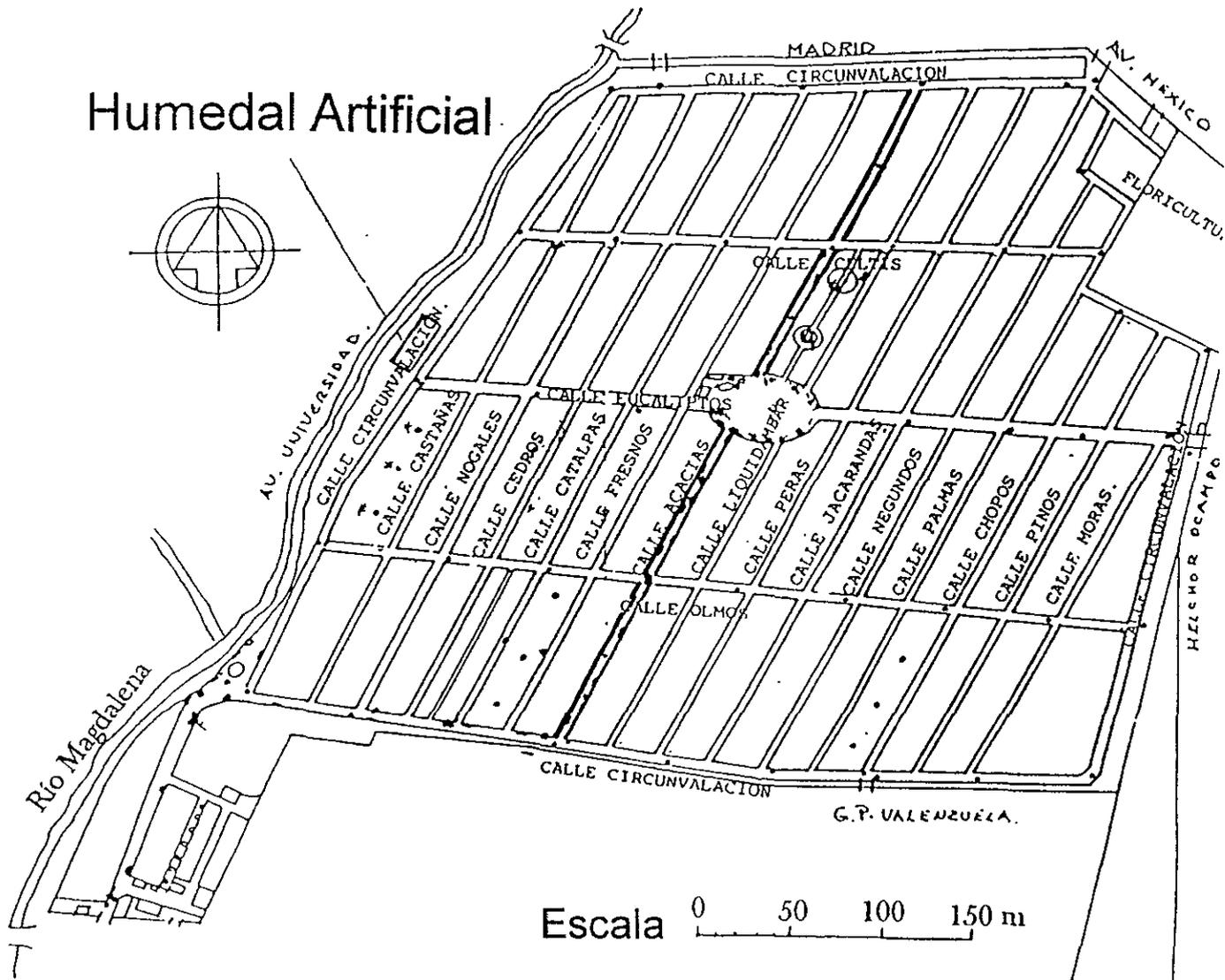
*Quien ame al árbol, tiene que amar sus ramas.*

*El ahorro es santo, porque... hace milagros.*

---

# Anexo I: Diagramas de ubicación y aspectos generales del HAFH

Fig. A-I 1. Ubicación del HAFH dentro de la zona comprendida por los viveros de Coyoacán (Schaller, 1988).



A continuación se enunciarán únicamente los encabezados de las figuras restantes que corresponden al anexo I, ya que todas ellas son planos de ingeniería y el orden en el que se enuncian, es como se podrán consultarse en las páginas siguientes.

Fig. A-I.2. Diagrama de Flujo de Proceso (DFP) del HAFH en viveros de Coyoacán (tomado y actualizado de: Ramírez, 1998 y Schaller, 1998).

Fig. A-I.3. Arreglo general del sistema, HAFH en viveros de Coyoacán (Tomado y actualizado de Ramírez, 1998 y Schaller, 1998).

Fig. A-I.4. Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI) del HAFH.

Fig. A-I.5. Isométrico general de HAFH.

Fig. A-I.6. Plano de localización de los puntos de muestreo en todo el HAFH .

CORRIENTE	1	2	3	4
SERVICIO	Influente	Influente	lodos	Efluente
FLUJO (m <sup>3</sup> /d)	5.60	5.60	0.22	5.38
DBO (mg/l)	350	297	53	20
STI (mg/l)	430	194	236	35

LISTA DE EQUIPO

CLAVE LISTA

- BB - 111  
 BB - 112  
 FS - 120  
 HA - 140  
 CS - 150

CARACTERÍSTICAS

- Bomba de alimentacion.  
 Bomba de desalojo  
 Fosa-Septica  
 Humedal artificial  
 Cisterna
- Ddesc. = 1 1/4" 0.5 HP 1550 RPM  
 Dsuc. = 3/4" Ddesc. = 1/2" 1/4 HP  
 Cap. 1848 L Dextl.=1.51m. alt. 1.84m.  
 L =15.0m. A=5.0m Profprom. 0.75m.  
 Capac. 850L L1=1m. L2=1m. Alt.0.85m.

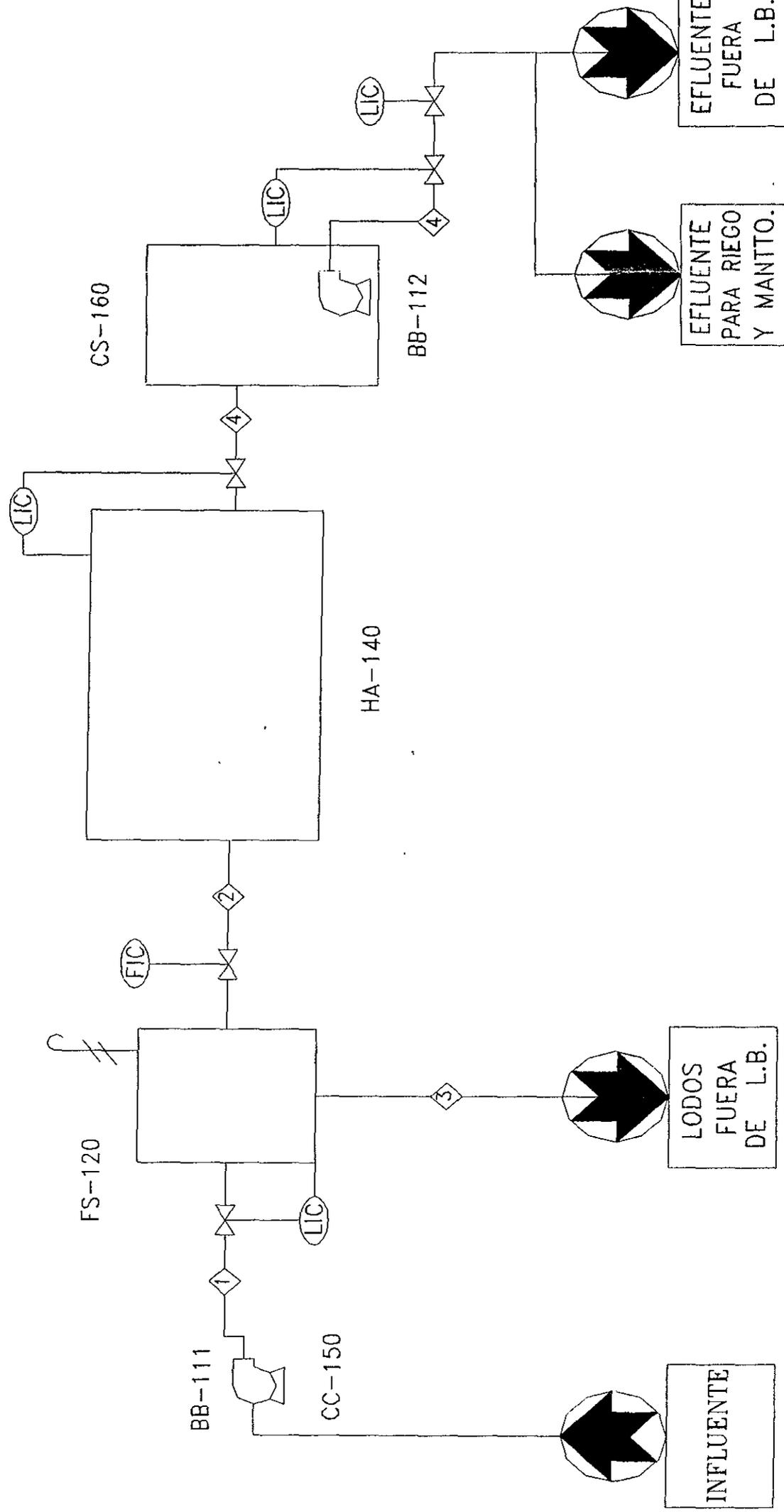
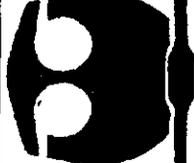


Diagrama de Flujo de Proceso

REFERENCIA: Paul Schaller y Héctor Ramírez  
 CORRIGIO: BALAM J. JIMÉNEZ TOVAR  
 REVISO: HECTOR F. RAMÍREZ CARRILLO  
 APROBO: VICTOR MANUEL LUNA PABELLO



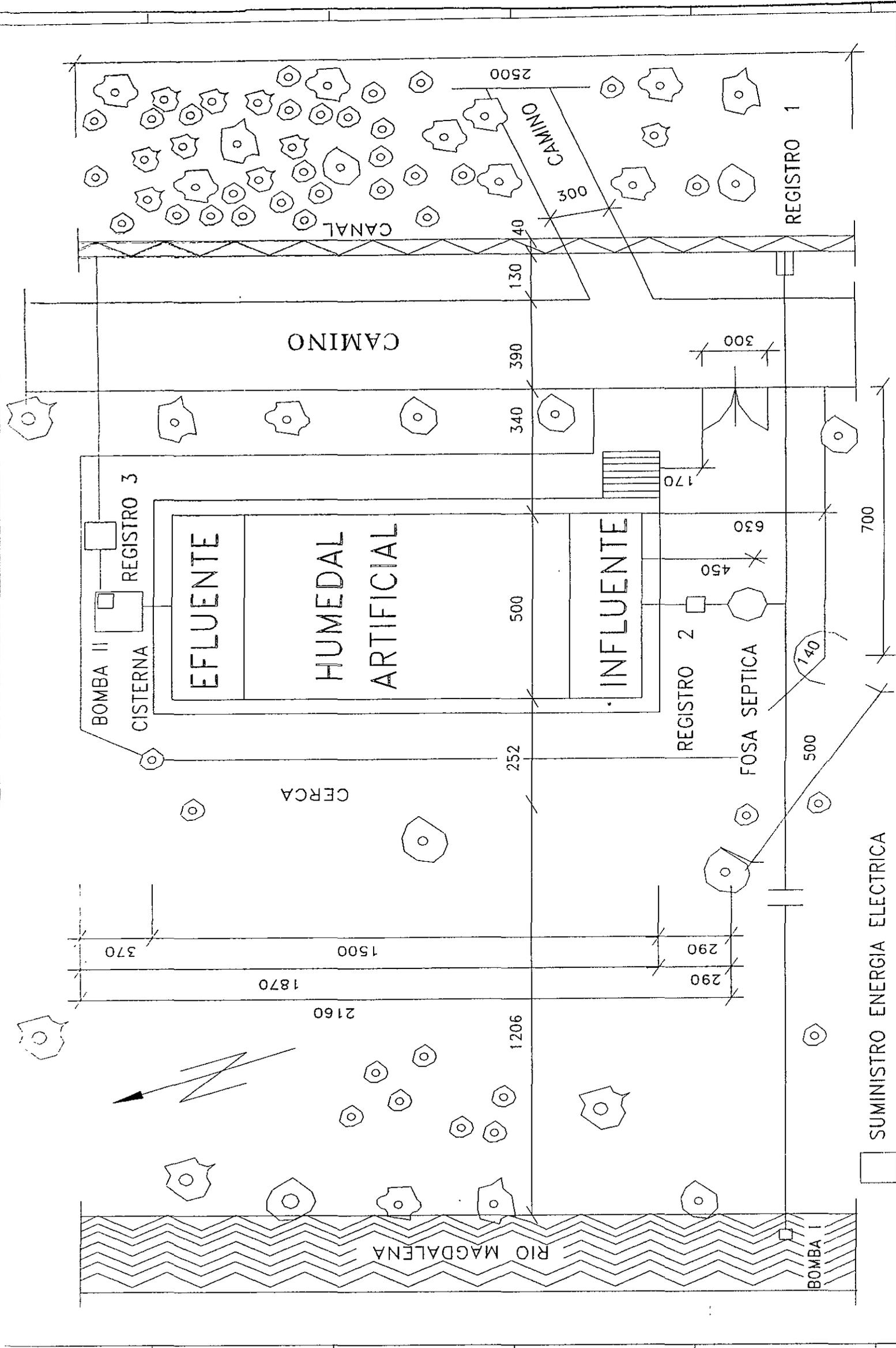
HUMEDAL ARTIFICIAL  
 FACULTAD DE QUIMICA-UNAM



Programa de  
 Ingeniería Química Ambiental  
 y Química Ambiental

Dibujo No.-BJJT-JPP-001 REV. 2

Figura A-1.2.



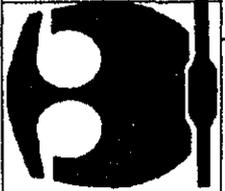
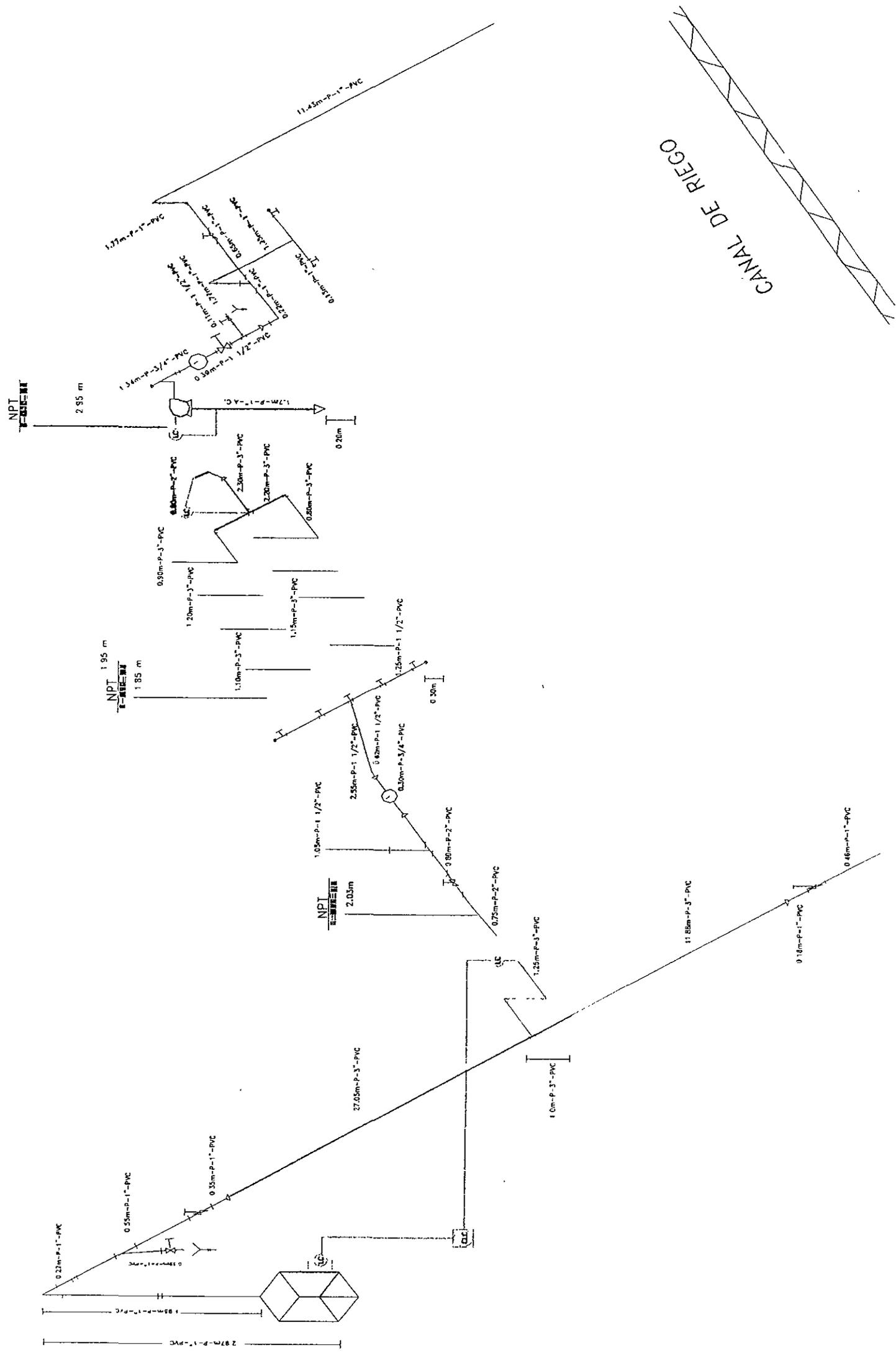
<b>Arreglo general del sistema</b> REFERENCIA: Paul Schaller, Hector Ramirez CORRIGIO: BALAM J. JIMÉNEZ TOVAR REVISO: HÉCTOR F. RAMÍREZ CARRILLO APROBO: VICTOR MANUEL LUNA PABELLO		 <b>HUMEDAL ARTIFICIAL</b> FACULTAD DE QUIMICA-UNAM Dibujo No.-BJJT-JPR-002   REV. 2		 Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental	
---	--	--	--	---	--

Figura A-1.3.



CANAL DE RIEGO

Diagrama de Tubería e Instrumentación  
 ELABORO: BALAM J. JIMÉNEZ TOVAR  
 REVISO: HÉCTOR F. RAMÍREZ CARRILLO  
 APROBO: VÍCTOR MANUEL LUNA PABELLO

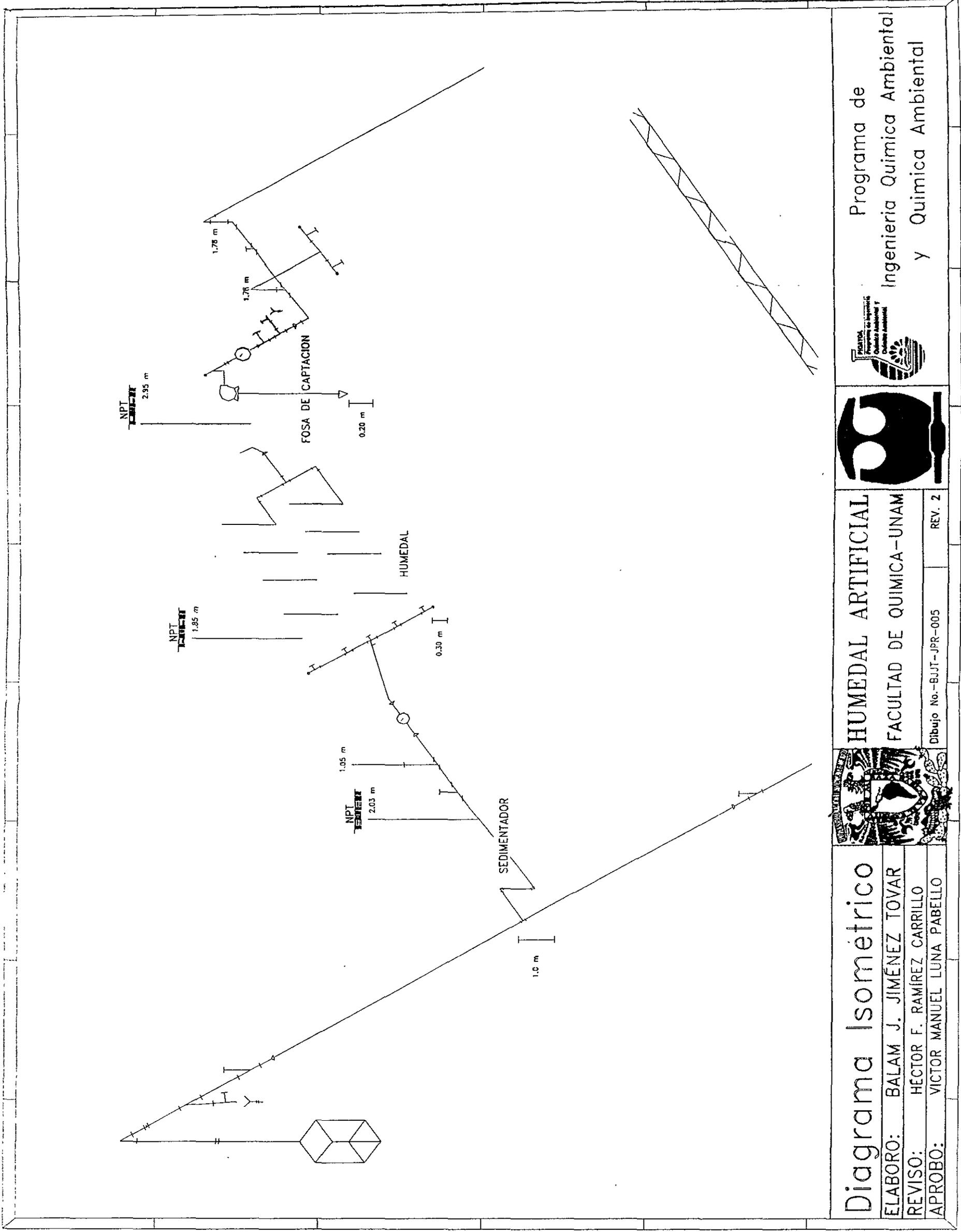


HUMEDAL ARTIFICIAL  
 FACULTAD DE QUÍMICA-UNAM  
 Dibujo No. BUJT-JPR-004 | REV. 2



Programa de  
 Ingeniería Química Ambiental  
 y Química Ambiental

Figura A-14



**Diagrama Isométrico**

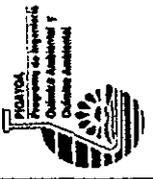
ELABORO: BALAM J. JIMÉNEZ TOVAR

REVISO: HECTOR F. RAMÍREZ CARRILLO

APROBO: VICTOR MANUEL LUNA PABELLO



**HUMEDAL ARTIFICIAL**  
FACULTAD DE QUIMICA-UNAM

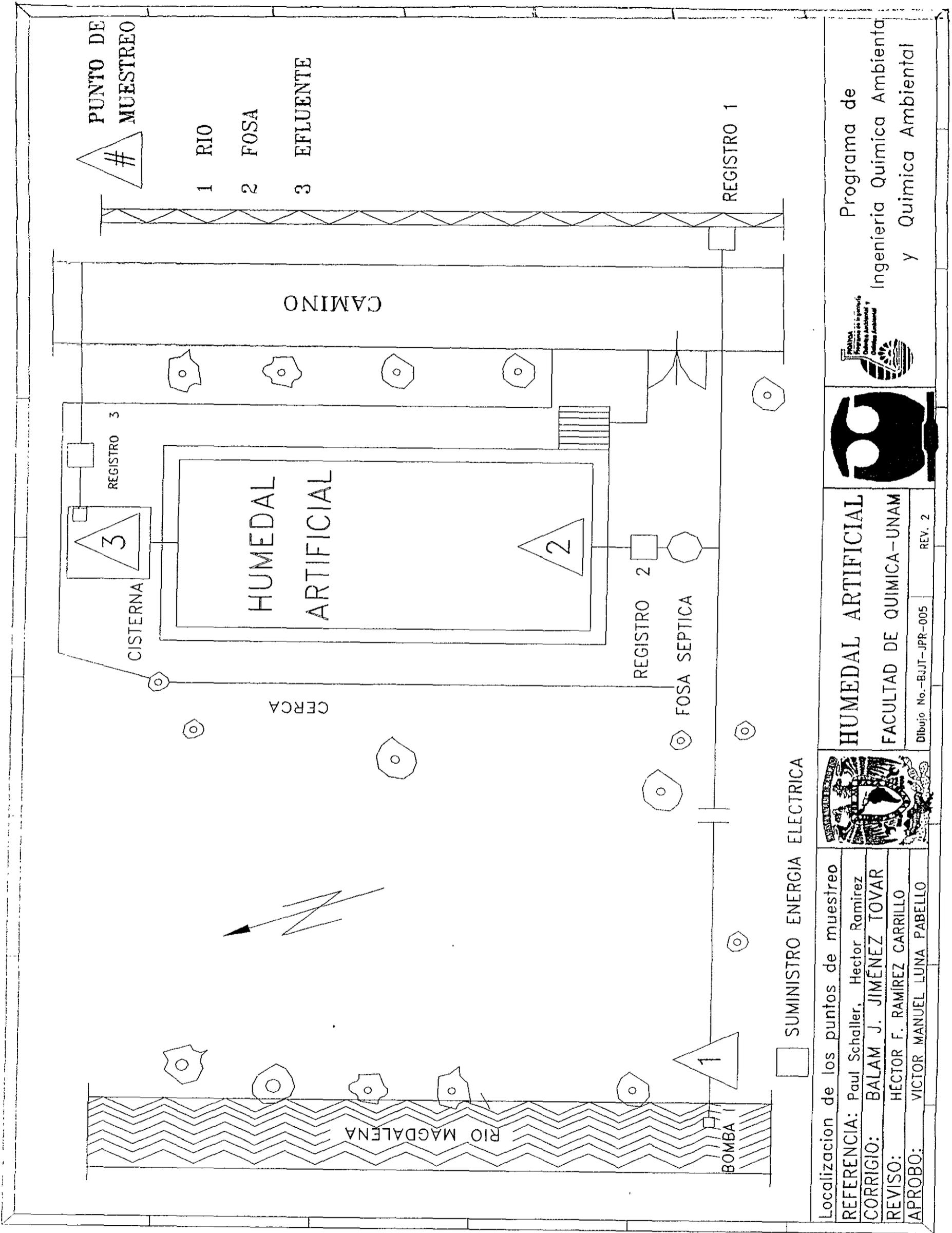


Programa de  
Ingeniería Química Ambiental  
y Química Ambiental

Dibujo No.-BJJT-JPR-005

REV. 2

Figura A-1.5.



Localizacion de los puntos de muestreo  
 REFERENCIA: Paul Schaller, Hector Ramirez  
 CORRIGIO: BALAM J. JIMÉNEZ TOVAR  
 REVISO: HECTOR F. RAMIREZ CARRILLO  
 APROBO: VICTOR MANUEL LUNA PABELLO



HUMEDAL ARTIFICIAL  
 FACULTAD DE QUIMICA - UNAM



Programa de  
 Ingenieria Quimica Ambiental  
 y Quimica Ambiental

Dibujo No. -BJJT-JPR-005  
 REV. 2

Figura A-1.6.

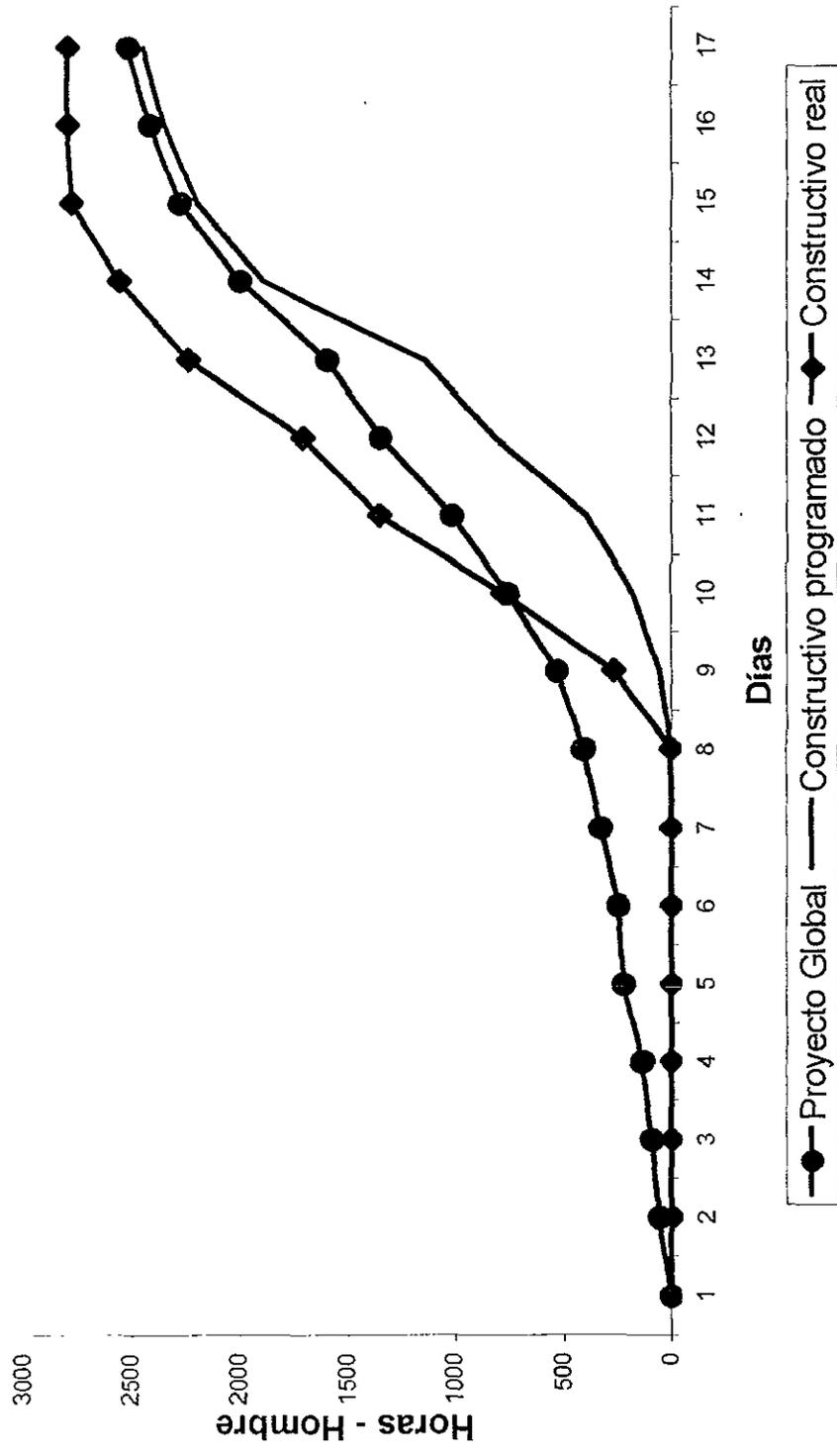
## Anexo II: Cronograma, estimación de H-H, curvas de avance y ruta crítica seguidos para la construcción del HAFH

Tabla A-II.1. Cronograma de actividades para la construcción de la planta de tratamiento en Viveros de Coyoacán

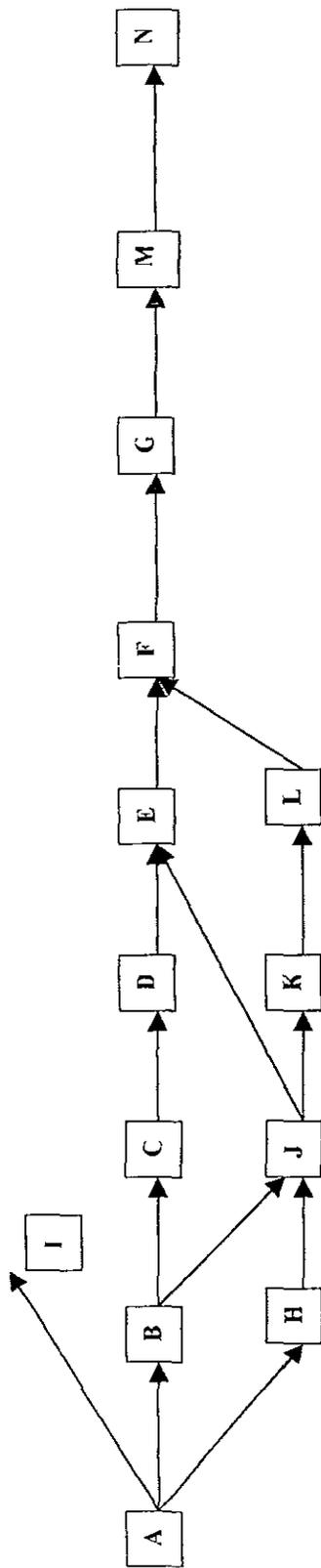
Núm.	Actividad	Duración (días)	Fecha inicio	Fecha término	Actividad que prosigue
	<b>Construcción del HAFH</b>	<b>66</b>	<b>1/12/97</b>	<b>2/03/98</b>	<b>II</b>
1	Revisión de información previa y planeación de la <i>construcción</i>	6	1/12/97	6/12/97	2
2	Abastecimiento de servicios provisionales y otros requerimientos	3	5/12/97	8/12/97	3
3	Adecuación del terreno y cimentaciones	21	8/12/97	13/01/98	4
4	Erección de construcciones requeridas	14	5/01/98	20/01/98	5
5	Impermeabilización de la fosa para el HAFH	2	21/01/98	22/01/98	6
6	Montaje e instalación de equipos, instrumentos, tubería, accesorios y otros	10	21/01/98	31/01/98	7
7	Preparación y colocación del material de soporte	18	26/01/98	17/02/98	8
8	Colocación de plantas vasculares	11	16/02/98	2/03/98	9
9	Pruebas de funcionalidad de equipos e instrumentos y delimitación física de límites de batería	5	25/02/98	2/03/98	<b>II</b>
<b>II</b>	<b>Arranque de operaciones y estabilidad operativa.</b>	<b>179</b>	<b>3/03/98</b>	<b>28/08/98</b>	<b>S</b>

Tabla A-II.2. Estimación de Horas-Hombre por actividad, (H-H / activ.)

Núm.	ACTIVIDAD	H-H	% DE AVANCE DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN
<b>I</b>	<b>Construcción del HAFH</b>	2780	61.77
1	Revisión de información previa y planeación de la construcción	160	3.55
2	Abastecimiento de servicios provisionales y otros requerimientos	15	0.33
3	Adecuación del terreno y cimentaciones	1060	23.55
4	Erección de construcciones requeridas	265	5.8
5	Impermeabilización de la fosa para el HAFH	25	0.55
6	Montaje e instalación de equipos, instrumentos, tubería, accesorios y otros	312	6.93
7	Preparación y colocación del material de soporte	730	16.22
8	Colocación de plantas vasculares	133	2.95
9	Pruebas de funcionalidad de equipos e instrumentos y delimitación física de límites de batería	80	1.78
<b>II</b>	<b>Arranque de operaciones y estabilidad operativa</b>	1720	38.23



En la Fig. A-II.1. Curva de avance programado para efectuar la construcción del humedal artificial de flujo horizontal (HAFH), la curva de avance real de la construcción y el avance del proyecto global, hasta la finalización de la etapa de construcción (Tomada y actualizada de Schaller, 1998).



Clave	Descripción	Clave	Descripción
A	Inicio de la construcción	I	Preparación del material de soporte
B	Excavaciones	J	Erección de construcciones requeridas
C	Impermeabilización de la fosa para el HAFH	K	Instalación de tuberías y accesorios
D	Montaje e instalación de equipos críticos	L	Instalación y conexión eléctrica
E	Plantado de carrizos	M	Limpieza de la zona aledaña al HAFH
F	Protección de los registros y de todo el HA	N	Finalización de la construcción e inicio del arranque de operaciones
G	Pruebas iniciales de operación		
H	Procura de equipos y materiales		

Fig. A-II.2. Ruta crítica de la construcción del HAFH en los viveros de Coyoacán ( tomada de Schaller, 1998).

# Anexo III: Formatos sugeridos para el correcto seguimiento operativo del HAFH

Tabla A-III.1. Resumen diario de operación: REPORTE DE EQUIPOS EN OPERACIÓN

EQUIPO EN OPERACIÓN	TURNO 1	TURNO 2	TURNO 3	OBSERVACIONES GENERALES
Rejilla en obra de toma Rej-101				
Bomba de alimentación de influente BB-111				
Control automático de nivel LIC-101				
Fosa séptica FS-120				
Control automático de nivel LIC-102				
Medidor - controlador de flujo FIC-101				
Sistema de alimentación-distribución al HAFH				
Humedal artificial de flujo horizontal HA-140				
Control semimanual de nivel LIC-103				
Bomba de desalojo de efluente BB-112				
Control automático de nivel LIC-104				
Medidor - controlador de flujo FIC-102				

RESPONSABLE DE OPERACIÓN \_\_\_\_\_ OPERADOR \_\_\_\_\_ AUXILIAR \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_

Tabla A-III.2. Bitácora: REPORTE DE MEDICIÓN

Hora de Medición	Influyente M <sup>3</sup>	Influyente alimentado M <sup>3</sup> /Hora	Efluente desalojado M <sup>3</sup> /Hora	Observaciones generales	Recomendaciones del operador
7:00					
9:00					
11:00					
13:00					
14:00					
15:00					
17:00					
19:00					
21:00					
22:00					
23:00					
1:00					
3:00					
5:00					
6:00					

RESPONSABLE DE OPERACIÓN \_\_\_\_\_ OPERADOR \_\_\_\_\_ AUXILIAR \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_

Tabla A-III.3. Bitácora: REPORTE DE PARÁMETROS IN-SITU.

Muestreador	pH Unidades	SSusp mg/L	Ssed mg/L	Temp. (°C)	OD mg/L	Olor	Color	Observaciones	Recomendaciones	Hora
RIO										7:00
FOSA										9:00
EFLUENTE										11:00
										13:00
										14:00
RIO										15:00
FOSA										17:00
EFLUENTE										19:00
										21:00
										22:00
RIO										23:00
FOSA										1:00
EFLUENTE										3:00
										5:00
										6:00

RESPONSABLE DE OPERACIÓN \_\_\_\_\_ OPERADOR \_\_\_\_\_ AUXILIAR \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_

Tabla A-III.4 Bitácora: REPORTE DE PARÁMETROS FQ y MB EN LABORATORIO

Parámetro \_\_\_\_\_ Siglas \_\_\_\_\_ Técnica empleada \_\_\_\_\_  
 Laboratorio \_\_\_\_\_ Asistente(s) \_\_\_\_\_ Fecha de inicio \_\_\_\_\_ Fecha de término \_\_\_\_\_

Muestra (litros)	Muestreador	Fecha de toma	Horario(s) de toma	Personal de toma	Transportó	Datos y resultados	Observaciones generales	Recomendaciones
Simple								
Compuesta	RIO							
Simple								
Compuesta	FOSA							
Simple								
Compuesta	EFLUENTE							
Notas:								

RESPONSABLE DE OPERACIÓN \_\_\_\_\_ OPERADOR \_\_\_\_\_ AUXILIAR \_\_\_\_\_

Encargado de análisis FQ y MB \_\_\_\_\_ Cargo \_\_\_\_\_ Proyecto \_\_\_\_\_

Autorizado por: \_\_\_\_\_ Cargo \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_ Hora \_\_\_\_\_

APROBÓ \_\_\_\_\_ Cargo \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_ Hora \_\_\_\_\_

Tabla A-III.5. Bitácora: REPORTE DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO ELÉCTRICO – MECÁNICO

CONCEPTO	Trabajo realizado	Tiempo empleado	Observaciones	Recomendaciones
Rej-101				
BB-111				
LIC-101				
FS-120				
LIC-102				
FIC-101				
Alimentación-distribución HAFH				
HA-140				
LIC-103				
BB-112				
LIC-104				
FIC-102				

RESPONSABLE DE OPERACIÓN \_\_\_\_\_ OPERADOR \_\_\_\_\_ AUXILIAR \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_ Hora de inicio: \_\_\_\_\_ Hora de término: \_\_\_\_\_

Responsable de mantenimiento \_\_\_\_\_ Asistente de mantenimiento Eléctrico-Mecánico \_\_\_\_\_

Motivos del mantenimiento \_\_\_\_\_ Autorizado por: \_\_\_\_\_ Cargo \_\_\_\_\_

Tabla A-III.6. Bitácora: REPORTE DIARIO DE TRABAJO DE VIGILANCIA

Trabajo realizado	Tiempo	Observaciones	Recomendaciones
Limpieza caseta de vigilancia			
Limpieza oficinas			
Limpieza general de la zona de tratamiento y aledaño			
Poda de pasto y setos			
Recorridos a la planta			
Auxiliar a operador			
Regado de plantas y césped			
Recados a:			
Limpieza de bodega			
Visitas guiadas			
Pases otorgados			
Otros			

Responsable de vigilancia \_\_\_\_\_ CARGO \_\_\_\_\_

Vigilante \_\_\_\_\_ Turno \_\_\_\_\_ Auxiliar \_\_\_\_\_

Fecha de reporte \_\_\_\_\_ Hora \_\_\_\_\_ Entregado a: \_\_\_\_\_

Operador Activo \_\_\_\_\_ Turno \_\_\_\_\_

Tabla A-III.7. Bitácora: REPORTE DIARIO DE PASES PERSONALES; FORMATO DE PASE

**“PASE PERSONAL”**

FECHA DE EXPEDICIÓN \_\_\_\_\_

FECHA DE VALIDEZ \_\_\_\_\_

HORARIO(S) DE ENTRADA OTORGADO(S) \_\_\_\_\_

A FAVOR DE \_\_\_\_\_ (NOMBRE COMPLETO POR APELLIDOS) \_\_\_\_\_ (COMPañÍA)

PARA \_\_\_\_\_ (PERSONA A VER)

ASUNTO: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Firma del visitante

\_\_\_\_\_  
Persona entrevistada

\_\_\_\_\_  
VIGILANTE

Hora de Entrada: \_\_\_\_\_ de Salida \_\_\_\_\_

Tabla A-III.8. Bitácora: REPORTE DIARIO DE VIGILANCIA: ENTRADA – SALIDA DE VEHÍCULOS

Jefe de vigilancia \_\_\_\_\_ Auxiliar(es) \_\_\_\_\_ Turno \_\_\_\_\_

Fecha \_\_\_\_\_

Placas y No. de pase	Hora de entrada	Remisión	Material que entra	Material que sale	Hora de salida	Observaciones y firma del visitante	Recomendaciones

RESPONSABLE DE OPERACIÓN \_\_\_\_\_ OPERADOR \_\_\_\_\_ AUXILIAR \_\_\_\_\_

---

*Si pudiste leer todo esto, da gracias infinitas a un maestro.*

*Para todo lo que quieras di "por favor" y para todo lo que obtengas di "gracias". y...*

*En tus apuros y en tus afanes, pide siempre consejos a los refranes.*

---

**Gracias**