

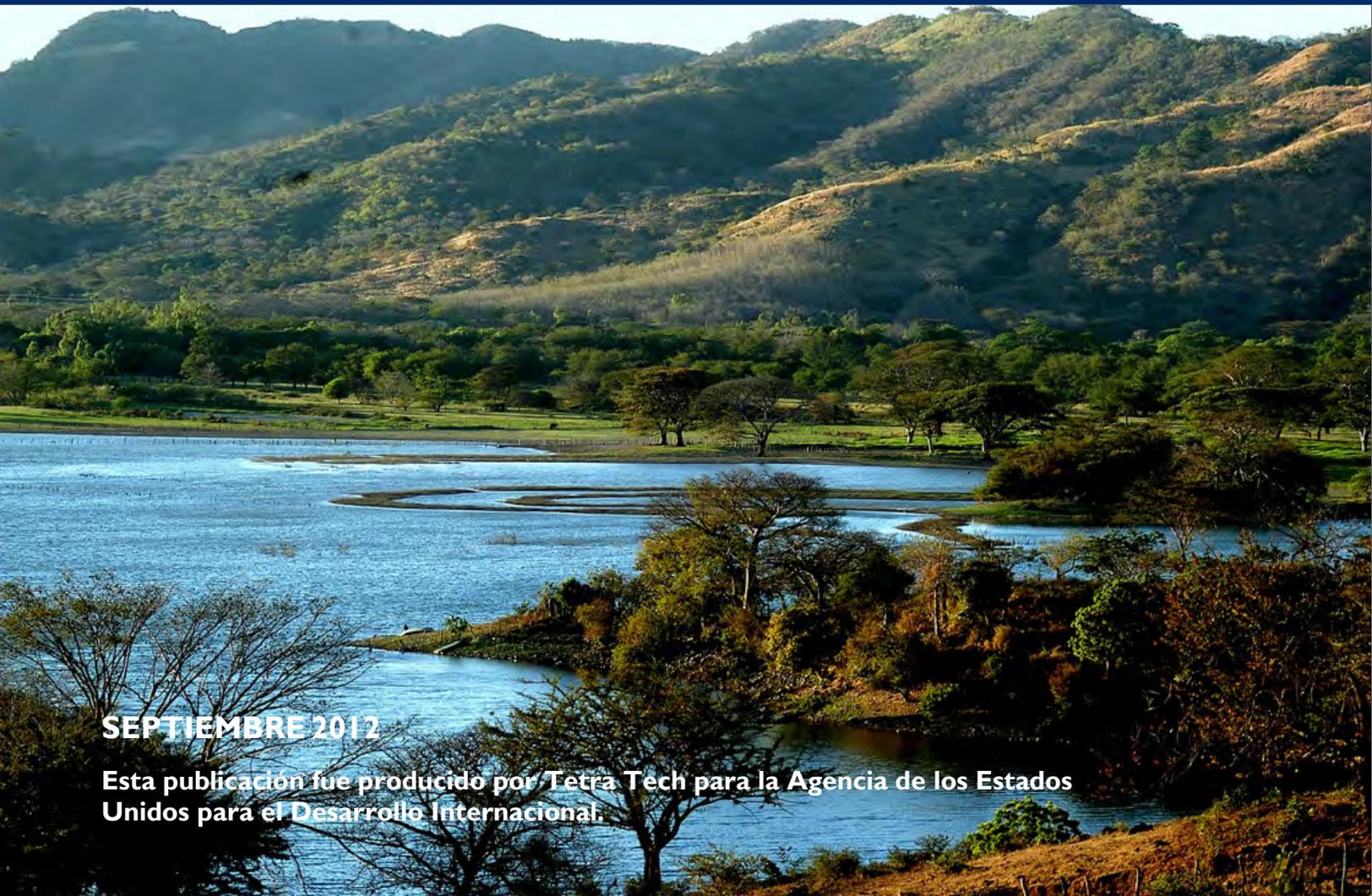


USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA

EL SALVADOR

ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE METAPÁN EN SANTA ANA



SEPTIEMBRE 2012

Esta publicación fue producido por Tetra Tech para la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.

CRÉDITOS:

Autores: *Ing. Fernando Román, Arq. Julián Monge, Licda. Magdalena de Aguilar e Ing. Miguel Franco.*

Fotografías, Esquemas y edición: *Arq. Julián Monge.*

Fotografía de la Portada: *José Cruz, 2002.*

ACERCA DE LOS AUTORES:

Ing. Fernando Román:

Vice Presidente y Asesor en tratamiento de aguas residuales; experiencias en Potabilización de agua y tratamiento de aguas residuales. San Antonio, Texas, USA.

Arq. Julián Monge:

Especialista local en tratamiento de aguas residuales; experiencia en diseño, construcción y mantenimiento de sistemas tratamiento de aguas residuales. San Salvador, El Salvador.

Licda. Magdalena de Aguilar:

Especialista local en tratamiento de aguas residuales; experiencia en tratamiento de aguas residuales y análisis de laboratorio. San Salvador, El Salvador.

Ing. Miguel Franco:

Director y Jefe del equipo de Tetra Tech, experiencia en tratamiento de aguas residuales para procesos industriales; Generación, captura y uso de biogás. Arlington, Virginia, USA.

ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE METAPÁN EN SANTA ANA

SEPTIEMBRE 2012

DECLARACIÓN

Las opiniones e ideas expresadas aquí son las de los autores y no reflejan necesariamente las de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, ni las del Gobierno de los Estados Unidos de América.

TABLA DE CONTENIDO

LISTADO DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS	V
RESUMEN EJECUTIVO	VII
1.0 INTRODUCCIÓN	I
2.0 OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3.0 ANTECEDENTES	5
3.1 DESCRIPCION DEL MUNICIPIO DE METAPÁN, LAGUNA DE METAPAN, LAGO DE GUIJA Y RIO SAN JOSÉ	5
3.1.1 Municipio de Metapán	5
3.1.2 Laguna de Metapán.....	5
3.1.3 Lago de Guija.....	6
3.1.4 Rio San José	6
3.2 DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA, HIDROGRÁFICA, GEOLÓGICA Y LÍNEAS GENERALES DE DESARROLLO	6
3.2.1 Geografía Física	7
3.2.2 Hidrología.....	7
3.2.3 Uso Actual de la Tierra.....	7
3.2.4 Estructura Agraria	7
3.2.5 Electrificación Rural	7
3.2.6 Líneas Generales De Desarrollo	7
3.2.7 Ecosistemas	8
3.3 ANTECEDENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LA CIUDAD DE METAPAN	8
4.0 METODOLOGÍA.....	11
5.0 RESULTADOS DEL ESTUDIO.....	13
5.1 EVALUACIÓN DE LA UBICACIÓN MÁS ESTRATÉGICA PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO, Y DETERMINAR LA IDONEIDAD DEL TERRENO ADQUIRIDO POR EL MUNICIPIO PARA LAS OPCIONES DE TRATAMIENTO CONSIDERADAS.....	13
5.2 EVALUAR LAS OPCIONES DE TRATAMIENTO Y CREAR UNA MATRIZ PARA COMPARAR LAS OPCIONES BASADAS EN CONSIDERACIONES TÉCNICAS, FINANCIERAS Y ORGANIZATIVAS.....	18
5.2.1 Opciones de Tratamiento	20
5.2.2 Tecnología Apropiada	28
5.2.3 Descripción de Planta de Tratamiento de Aguas Negras con RAFA + Filtro Percolador	28
5.3 DEFINIR POBLACION DE DISEÑO Y LA CONVENIENCIA DE REALIZAR EL PROYECTO EN FASES A LARGO PLAZO	34

5.3.1	Definir Poblacion de Diseño y Caudales de Aguas Residuales.....	34
5.3.2	Conviene Que el Proyecto se Realice en su Totalidad o en Etapas a Largo Plazo	38
5.4	DETERMINAR EL PUNTO DE DISPOSICIÓN FINAL DEL EFLUENTE Y LODOS TRATADOS.	39
5.4.1	Determinar el Punto de Disposición Final del Efluente.....	39
5.4.2	Determinar el Punto de Disposición Final de Lodos Tratados... ..	39
5.4.3	Experiencia Local en Disposicion Final de Lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas.....	40
5.5	RECUPERACIÓN DE COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	41
5.5.1	Desarrollo de Presupuesto Operativo	41
5.5.2	Mecanismos de Recuperación.....	43
5.6	DETERMINAR LA CAPACIDAD DE SOSTENIBILIDAD DE LA MUNICIPALIDAD PARA EL FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO A LARGO PLAZO.....	45
5.6.1	Finanzas Municipales	45
5.6.2	Apoyo Técnico y Financiero de ANDA	45
5.6.3	Personal Capacitado	46
5.6.4	Protección del Sistema de Alcantarillado.....	46
5.6.5	Capacidad del Municipio para Operar el Sistema	46
5.7	IDENTIFICAR INFORMACIÓN NECESARIA PARA EL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y/O DISEÑO FINAL, EN CASO DE ENCONTRARSE ALTERNATIVAS.....	47
5.7.1	Diseño Preliminar.....	47
5.7.2	Diseño Final	47
5.8	EVALUAR EL RIESGO DE ATRASO EN EL PROYECTO DE SEPARACIÓN DE AGUAS PLUVIALES Y AGUAS RESIDUALES, EJECUTÁNDOSE POR EL MUNICIPIO DE METAPÁN Y ANDA, Y POSIBLES IMPACTOS AL PROYECTO DE LA PLANTA	48
5.8.1	Proyecto de Separación de Aguas Pluviales y Aguas Residuales Ejecutándose por Iniciativa de la Alcaldía Municipal de Metapán	48
5.8.2	Evaluacion de Riesgo por Atraso en el Proyecto de Separación de Aguas Pluviales y Aguas Residuales Ejecutándose por la Alcaldía de Metapán y el Ministerio de Salud Pública y Posibles Impactos al Proyecto de la Planta	49
5.9	EVALUAR LOS BENEFICIOS DE SALUD, AMBIENTALES Y ECONÓMICOS RESULTANTES DEL PROYECTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	50
5.9.1	Beneficios de Salud.....	50
5.9.2	Beneficios Ambientales	50
5.9.3	Beneficios Económicos.....	51
5.10	CREAR LÍNEA DE TIEMPO DEL PROYECTO (PLAN DE EJECUCIÓN), Y ESTIMAR COSTOS DEL PROYECTO	51
5.10.1	Línea de Tiempo del Proyecto (Plan de Ejecución).....	51
5.10.2	Estimación de Costos del Proyecto	53
5.11	COMO LA ACTIVIDAD SE AJUSTA A CRITERIOS ESTABLECIDOS POR EL CÓDIGO DE BIODIVERSIDAD DE USAID	54

5.12 EXPERIENCIAS EN EL SALVADOR CON PLANTAS DE TRATAMIENTO QUE FUERON CONSTRUIDAS CON APOYO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE ORGANISMOS INTERNACIONALES.....	57
5.12.1 Planta de Tratamiento del Municipio de San Juan Talpa, Depto. de la Paz.....	58
5.12.2 Planta de Tratamiento del Municipio de San Pablo Tacahico, Departamento de la Libertad.....	59
5.12.3 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de los Municipio de San José Las Flores en Chalatenango y Nejapa en San Salvador.....	60
5.12.4 Planta de Tratamiento de Aguas Negras del Municipio de Suchitoto, Cuscatlán.....	61
5.12.5 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de los Municipios de Apaneca y Juayua en Sonsonate, Puerto el Triunfo, Usulután y la Laguna, Chalatenango.....	62
6.0 CONCLUSIONES	63
7.0 RECOMENDACIONES	65
7.1 PASOS PRÓXIMOS	65
7.2 RECOMENDACIONES TÉCNICAS.....	65
7.3 RECOMENDACIONES INSTITUCIONALES.....	66
8.0 GLOSARIO.....	67
9.0 BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	69

LISTADO DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

AN	Aguas Negras
ANDA	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados
°C	Grados Celsius o Centígrados
CESSA	Cementos de El Salvador
CONACYT	Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología
COSUDE	Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EIA	Estudio de Impacto Ambiental
EMASA	Empresa Municipal Administradora Suchitotense de Agua Potable y Alcantarillado
FANTEL	Fondo Especial de los Recursos Provenientes de la Privatización de ANTEL
FISDL	Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local
FODEC	Fondo Contravalor de Desarrollo El Salvador-Canadá
HOLCIM	Holcim El Salvador, S.A de C.V.
ISSS	Instituto Salvadoreño del Seguro Social
KFW Alemania	Kreditanstalt für Wiederaufbau (Banco de Crédito para la Reconstrucción),
kg/hab.	Kilogramo por habitante
km ²	Kilometro cuadrado
KWh	Kilowatts por hora
l/s	Litros por segundo
m ²	Metro cuadrado
m ³ /d.	Metro cúbico por día
m ³ /h.	Metro cúbico por hora
m ³ /seg.	Metro cúbico por segundo
MARN	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
mg/l	Miligramos por litro

msnm	Metros sobre el nivel del mar
ONG	Organización No Gubernamental
PROCOSAL	Programas Comunitarios para El Salvador
Convenio de RAMSAR	Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas
RAFA	Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente o UASB
SNET	Servicio Nacional de Estudios Territoriales
SST	Sólidos Suspendidos Totales
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i> o RAFA
UCA	Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
USAID	<i>United States Agency for International Development</i> o Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i> o Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos

RESUMEN EJECUTIVO

USAID contrató a Tetra Tech para preparar un estudio de pre-factibilidad cuyo objetivo era el de definir la viabilidad del proyecto de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Metapán. A la fecha de inicio de este estudio, el comité para la construcción de la planta de tratamiento de Metapán, compuesto por la Alcaldía de Metapán, ANDA, MARN, Plan Trifinio, y Holcim, había discutido cuatro alternativas de tratamiento todas basadas en el uso de un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA), con diferentes modalidades de tratamiento secundario. De las cuatro modalidades (filtro percolador, lodos activados, humedales, y lagunas facultativas) el filtro percolador fue seleccionado por el comité.

Tetra Tech se dio a la tarea de evaluar opciones de tratamiento dentro del marco de las expectativas de proceso y normatividad de El Salvador. Dentro de las expectativas se encuentran las de minimizar los costos operativos futuros, minimizar la cantidad de lodos generados y establecer el proceso más simple que dé los resultados esperados a fin de favorecer la sostenibilidad del proyecto. Las tareas de evaluación incluyeron el determinar si un terreno previamente adquirido por la Alcaldía para la ubicación de la planta es no solo adecuado, sino idóneo.

Como resultado del estudio de pre-factibilidad se concluye que el proyecto de la planta de tratamiento de aguas Residuales de Metapán es factible. Tetra Tech concluye que el instalar un proceso de RAFA con Filtro Percolador es la mejor opción, considerando primordialmente que la reducción de sólidos en el reactor por digestión anaerobia, minimiza la cantidad subsecuente de disposición de lodos; y que la tecnología de filtro percolador asegura en gran medida que el tratamiento de aguas negras sea exitoso. En cuanto al terreno, se analizaron los factores de ubicación de planta, tales como la distancia a las descargas de aguas negras, a la distancia al punto de descarga del efluente, sus características topográficas, accesos, disponibilidad de energía eléctrica, y análisis de riesgos e impactos a vecinos. Se concluye que el terreno adquirido por la Alcaldía es adecuado y representa la mejor opción de entre los terrenos candidatos en el área.

La capacidad de planta a instalarse se calculó en base a información censal y con factores de uso de agua de ANDA, concluyendo que para el año 2034 el caudal que arribe a la planta será del orden de 5,300 m³/d, por lo cual se recomienda la construcción modular de una planta de 5,500 m³/d. Se recomienda que el efluente tratado y en cumplimiento con la norma NSO 13.49.01:09, CONACYT se descargue directamente al Río San José y que se evalúen opciones para su reuso una vez que la planta haya sido construida. De la misma forma, la producción de gas metano de la planta debe cuantificarse en condiciones reales y de haber interés y ser factible, se podría desarrollar un proyecto para usar el gas en producción de energía interna de la planta.

Dos tareas importantes deben darse de inmediato: la separación de líneas de aguas lluvias y aguas negras para que al momento de hacerlos aforos preliminares de diseño se tenga la confianza máxima en los datos. La segunda tarea es la de caracterizar las aguas crudas a fin de poder diseñar el proceso biológico en forma óptima.

El presupuesto operativo mensual de la planta está en un rango de \$8,000 a \$9,000 en los primeros diez años. Esta cifra incluye mano de obra, químicos, electricidad, refacciones, y una reserva contingente para gastos mayores. El estimado de costos se presenta en dólares constantes y su uso presupuestal para años subsecuentes debe incluir factores de inflación apropiados. El estimado de costo de construcción de \$2,530,000 es aparentemente suficiente para la realización del proyecto. El equipo Tetra Tech estimó una cantidad de \$2,666,586, sin contar contingencias, basándose en un pre-dimensionamiento conceptual, con información previamente desarrollada en otros estudios, y suponiendo construcción no modular. A este estimado de costo se debe agregar una cantidad adicional si la decisión de proyecto conlleva a la mecanización más intensa de la planta y si se construye en forma modular.

El programa de ejecución del proyecto es muy ambicioso, ya que se espera terminar la construcción a mediados del 2014. A fin de poder tomar las acciones inmediatas para poner en marcha el proyecto se recomienda que las instituciones involucradas en el proyecto ejecuten una carta de entendimiento. La carta deberá incluir la definición de atribuciones, responsabilidades y compromisos de las partes, facilitar el trámite y recaudación de los fondos para el proyecto, y la contratación de servicios de apoyo al proyecto. Los firmantes de la carta deben ser como mínimo la Alcaldía de Metapán, ANDA, MARN, Plan Trifinio, FISDL y Holcim.

I.0 INTRODUCCIÓN

El informe de esta consultoría, titulado “Estudio de Pre-factibilidad Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Metapán, El Salvador” es previo a la ejecución de la construcción de la planta de tratamiento de aguas negras; este describe la ubicación de la planta, alternativas de tratamiento, disposición final de lodos y la sostenibilidad de la planta a largo plazo.

El estudio se enmarca dentro del Acuerdo de Cooperación de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y la empresa consultora Tetra Tech con la cooperación del comité público-privado integrado por la alcaldía de Metapán, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador, la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, y la Comisión Trinacional del Plan Trifinio.

El trabajo consiste en consultar, recopilar y evaluar la información existente sobre el tema a través del análisis de documentos existentes, reuniones y entrevistas con personas/puntos de contacto de las instituciones antes mencionadas, recopilar información in situ, y analizar las experiencias anteriores relativas al tema.

2.0 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Definir la viabilidad de la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Metapán.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la tecnología propuesta/ opciones de tratamiento.
- Evaluar el lugar y/o ubicación de la planta de tratamiento.
- Evaluar los factores críticos de diseño.
- Investigar opciones de disposición de efluentes y lodos
- Investigar aspectos de sostenibilidad
- Enlistar los beneficios del proyecto.

3.0 ANTECEDENTES

3.1 DESCRIPCION DEL MUNICIPIO DE METAPÁN, LAGUNA DE METAPAN, LAGO DE GUIJA Y RIO SAN JOSÉ

3.1.1 Municipio de Metapán

El origen del nombre de Metapán procede de origen náhuatl o pipil que significa met (Maguey) y (apan) río. El significado completo llega a significar río de maguey o de magueyes. Está ubicado en la zona occidental en el del departamento de Santa Ana; es el Municipio con mayor extensión territorial en el departamento (668.36 km²), posee una población de 59,004 habitantes (VI censo de población y V de Vivienda 2007) y se divide en 29 cantones y 227 caseríos. El municipio limita al norte con la República de Guatemala; al Este con los municipios de Citalá y La Palma; al Sur con los municipios de Agua Caliente, Nueva Concepción, Santa Rosa- Guachipilín Masahuat, Texistepeque y San Antonio Pajonal; y al Oeste con la República de Guatemala.

Este municipio, por compartir el bosque de Montecristo con las fronteras de Guatemala y Honduras, tener el lago de Guija y la laguna de Metapán y la única industria cementera es identificado como una de las zonas de potencial desarrollo.

3.1.2 Laguna de Metapán

La Laguna de Metapán está ubicada al noreste del lago de Güija y a 3 Km. al Suroeste de la ciudad entre los cantones de Las Piedras y Tecomapa, Municipio de Metapán y en el Departamento de Santa Ana entre las coordenadas: 14°17' Latitud Norte 89 °27' Longitud Oeste. El espejo de agua alcanza en época lluviosa un área de 4 Km² que se mantiene de junio a noviembre, pudiendo alcanzar la profundidad de 6 metros. Sin embargo en época seca la extensión de la laguna se reduce hasta aproximadamente 1 Km² y la profundidad baja de 0.60 metros a 1 metro. El nivel del agua experimenta fluctuaciones de carácter estacional, formando unas zonas de tierras fluctuantes que son utilizadas por las comunidades aledañas para la agricultura, pastoreo y turismo, (Tesis UES); esta laguna es uno de los recursos naturales de este municipio, utilizada como fuente de trabajo y alimentos. La laguna no es de origen volcánico y yace en un valle formado por corrientes de lava y bordeada por pequeños volcanes (Moisa 1994).



Fotografía 1: Laguna de Metapán donde se observa el asolvamiento y cubrimiento de un 50% del espejo de agua por la proliferación de Jacinto de Agua.

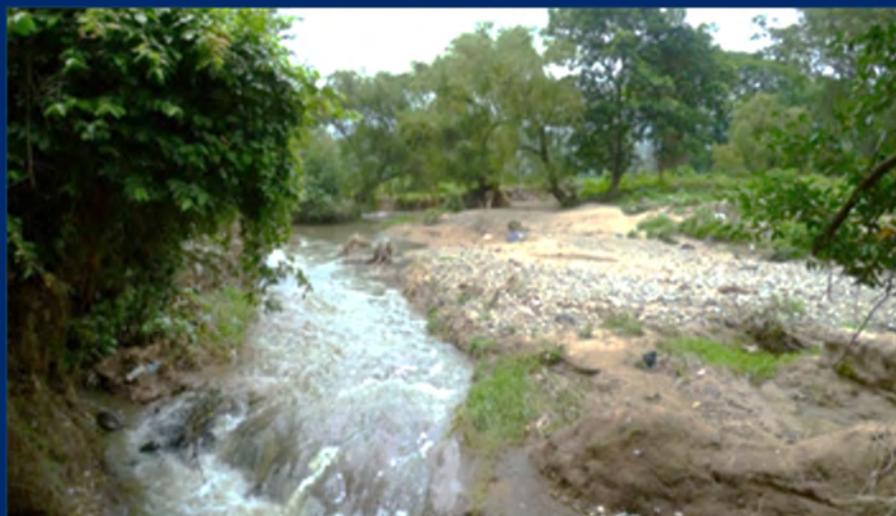
3.1.3 Lago de Guija

El Lago de Güija es un lago cuya superficie es compartida por El Salvador y Guatemala. Está ubicado en la frontera noroeste de El Salvador y el este de Guatemala, entre el departamento de Santa Ana y el de Jutiapa, respectivamente a una altura de 430 msnm . El lago tiene una extensión aproximada de 45 km². Este cuerpo de agua dulce tiene como tributarios a los ríos Ostúa, Angue y Cusmapa. El lago vierte su caudal en el margen derecho del Río Lempa por el río Desagüe donde se halla la presa hidroeléctrica del Guajoyo. Dos grandes penínsulas estrechan el lago. Del lado salvadoreño del lago (que tiene aproximadamente 32 km²) están las islas de Teotipa, Cerro de Tule e Iguatepec, donde desde las primeras excavaciones en 1924 se han descubierto numerosas piezas de cerámica precolombina. El lago está rodeado por los volcanes de Mita, San Diego y Cerro Quemado (ahora extintos).

3.1.4 Río San José

El río San José nace dentro del Parque Montecristo; tiene una longitud de 6.4 km., alimentado por otros ríos en su recorrido, y desemboca en la Laguna de Metapán. En 1975 Tage y Heymans reportaron que este río es considerado como torrencial. Su cuenca se caracteriza por tener un patrón de drenaje detrítico cuya densidad es de 1.41 Km/Km² con una red de cuases hasta el cuarto orden.

El lecho principal alcanza una longitud de 17 km, con una diferencia de elevación de 1.720 m y con una pendiente media de 10%. El escurrimiento anual es de 533 mm. (Coeficiente de esorrentía general de 0.31), lo que provoca un arrastre por erosión de 9,000 m³ por el fondo del lecho; estos sedimentos tienden a depositarse en la parte baja de la ciudad de Metapán disminuyendo la capacidad del cauce. En la actualidad el río ha cambiado su curso, y en época lluviosa se desborda e inunda.



Fotografía 2: Río San José, recorren toda la ciudad de Metapán y en su trayecto recoge las aguas residuales.

3.2 DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA, HIDROGRÁFICA, GEOLÓGICA Y LÍNEAS GENERALES DE DESARROLLO

Metapán ofrece un conjunto de condiciones ventajosas para incrementar el desarrollo de la parte noroccidental del país por su buena posición geográfica para la comercialización, la naturaleza, calidad de sus tierras y por las facilidades de transporte con que cuenta. La zona está situada en la frontera con Guatemala. Cuenta con terrenos de naturaleza caliza, muy escasos en el país, y tiene la laguna de Metapán y el lago de Guija y ríos importantes, como el San José, Angue y el Desagüe. Además, cuenta con recursos minerales y fuentes de energía hidráulica, y con una floreciente industria derivada de la transformación de sus recursos mineros. La extensión de la zona es de 9,656 kilómetros cuadrados y comprende parte de los municipios de Metapán y San Antonio Pajonal, del departamento de Santa Ana; Metapán esta situada a 480 metros sobre el nivel del mar, con una precipitación media anual de 1,556 milímetros, una estación seca de noviembre a abril

y una lluviosa de mayo a octubre. En general, es posible esperar un promedio anual de precipitación de 1,700 milímetros en los bordes extremos del norte y del sur de la zona, y alrededor de 1,300 milímetros en la parte central.

3.2.1 Geografía Física

Las rocas más antiguas de El Salvador se encuentran probablemente en la zona de Metapán, y pertenecen a la Formación Metapán del Jurásico Superior y Cretáceo Inferior. Esta formación incluye intercamadas de arenisca, lutita, conglomerado, margas, y caliza, con ocasionales estratos de toba y breccia. Al norte de la zona, en las montañas al este del río Lempa y cerca de la frontera con Honduras hay ocurrencias de caliza dolomítica. La parte central de la zona tiene una formación de llana a ondulada en las que se encuentran depositados materiales aluviales. Esta área está circundada por colinas y altas montañas.

3.2.2 Hidrología

En las lagunas de Guija, Metapán y San Diego se recolectan las aguas superficiales del drenaje del área circunvecina, principalmente por los ríos Ostua y Angue. El río Desagüe transvasa las aguas del lago de Guija hacia el Lempa. La descarga del lago se regula por la presa hidroeléctrica, y a su vez se emplea para suplementar el almacenamiento del Guayabo. La descarga anterior a la construcción de la presa era de 5-7 metros cúbicos por segundo por infiltración. Como en todos los ríos del país, los de esta zona tienen también alto contenido de materiales en suspensión. La deforestación de las partes altas circundantes a esta zona ha provocado una erosión acelerada que pone en peligro las ciudades y las obras de infraestructura de la zona y campos de cultivo. Por esta razón es recomendable establecer zonas de conservación.

3.2.3 Uso Actual de la Tierra

En la zona se produce melón, sandía, tomate, frijol, maíz y maicillo, de los cuales el melón ocupa una mayor superficie.

3.2.4 Estructura Agraria

Los dos municipios en los que se encuentra ubicada esta zona tienen, según el patrón de formas predominantes de tenencia de la tierra, un mayor porcentaje de arrendatarios. La densidad de población de la zona es baja.

3.2.5 Electrificación Rural

La región cuenta con energía eléctrica proveniente de la central hidroeléctrica con embalse en el lago de Guija, que produce 15,000 kilovatios. Hacia Metapán salen líneas de transmisión de 44 kilovatios, y hacia el Sur sale una potencia de 115 kilovatios que se conectan con las líneas de transmisión del centro del país. Aun cuando la electrificación rural no es completa, hay facilidades para proporcionarla.

3.2.6 Líneas Generales De Desarrollo

La industrialización de sus recursos mineros es muy evidente en esta región. Sin embargo, los recursos de suelo y agua también pueden conducir a un desarrollo agrícola sostenido. En esta zona se puede encontrar suelos con buena capacidad de producción potencial, pero actualmente confrontan peligros de inundación. Esta condición se debe a que los suelos de buena capacidad ocupan posiciones bajas y tienen poca pendiente, lo que no les permite drenar superficialmente el agua colectada. Sin embargo, tienen buena velocidad de infiltración, textura media, buena profundidad y aparentemente buena fertilidad inherente. Estas tierras

pueden mejorarse notablemente con la provisión de canales de drenaje, y podrían producir buenas cosechas de hortalizas que pueden ser comercializadas en forma fresca o industrializada, aprovechando la facilidad que ofrecen las fuentes de energía. La posición geográfica que ocupa la zona, de área fronteriza, la hace doblemente importante debido a la posibilidad de encontrar mercado para su producción.

Las áreas circundantes a la zona, cuya topografía es de colinosa a alomada, también ofrece una variante con respecto al resto del país porque permitiría una variada producción forestal, especialmente de latifoliadas. En todo caso, al considerar el desarrollo de esta zona, que constituiría un importante polo de desarrollo en el norte del país, se deben considerar los trabajos de conservación de las partes altas o de las cuencas de captación de su sistema de drenaje natural. Sin considerar esto, todo trabajo que se haga en la parte baja de la zona estaría amenazado por derrumbes y sedimentación de los sistemas de riego y drenaje.

TEMPERATURA PROMEDIO EN LA CIUDAD DE METAPÁN												
Temperatura	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Máxima (°C)	28	29	31	33	32	30	30	30	29	28	27	27
Mínima (°C)	17	17	18	19	20	20	20	20	19	19	18	17

<http://www.sunmap.eu/>

3.2.7 Ecosistemas

“Los ecosistemas se modifican en forma paulatina no sólo en el tiempo sino también en el espacio. Por esto son importantes las zonas de influencia, debido a las estrechas relaciones entre ecosistemas vecinos, que se producen incluso a nivel de subsuelo. La riqueza del ecosistema se determina por el grado de biodiversidad de un territorio, esta riqueza no solo se refiere a las aves, peces y mamíferos, sino también insectos y organismos microscópicos que se encuentran en su base alimentaria. Por ello, cuando un ecosistema se altera los ecosistemas contiguos se vuelven cada vez menos estables”. (C-CONDEM Corporación Coordinadora Nacional para la Defensa del Ecosistema Manglar del Ecuador. ©2010.)

El Complejo Güija es reconocido como 5° Sitio Ramsar de Importancia Internacional, el cual abarca las lagunas de Metapán, Clara, Verde, Teconalá y el lago de Güija. Este complejo lagunar incluye los volcanes San Diego, Vega de la Caña, Masatepeque y El Tule. Este ecosistema sustenta especies catalogadas como amenazadas y en peligro de extinción por la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) tales como el garrobo espinoso, el perico ronco, la lora nuca amarilla y el tigrillo. También alberga una alta riqueza de peces, así como un bivalvo de agua dulce, muy escaso en el país. Con la denominación de Sitio Ramsar, el Complejo de Güija se convierte en el Humedal de Importancia Internacional número 1924 de acuerdo al orden cronológico de Ramsar.

3.3 ANTECEDENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LA CIUDAD DE METAPAN

1. PROCOSAL en el año de 1995 realizó un estudio “Diseño de la Planta de Tratamiento de las Aguas Residuales de Metapán”, el cual contiene una memoria descriptiva, presupuesto y el cálculo de las dimensiones de la planta de tratamiento basada en diferentes experiencias nacionales, así como en la planta de tratamiento de la ciudad de Suchitoto, Departamento de Cuscatlán.
2. La Universidad José Simeón Cañas (UCA), por medio del Departamento de Tecnología de Procesos y Ciencias Ambientales, realizó en mayo de 2010 el estudio “Estimación Preliminar de La Capacidad de una Planta de Tratamiento de Las Aguas Residuales Descargadas al Río San José por la Ciudad de Metapán” basados en información de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (datos consumo

de agua) y de la Dirección de Estadísticas y Censos 2004 (las proyecciones de población). El estudio calculó la población y el caudal de las aguas residuales del 2010-2029 con la finalidad de utilizar estos datos como insumo para el diseño del sistema de tratamiento.

3. La fundación CESSA por medio del consultor Klaas Visscher (holandés) en junio de 2011 realizó el estudio “Proyecto de Tratamiento de Aguas Residuales de Metapán”, en base a información y estudios en el tema y a la experiencia de tratamiento anaeróbico en Bolivia. El estudio propone el sistema de tratamiento y da costos estimados.
4. El comité para la construcción de la planta de tratamiento de Metapán se reunió en diciembre de 2011 para definir el “Pre diseño de Tratamiento de Aguas Residuales de Metapán”, en donde se discutió el sistema de tratamiento de cuatro alternativas propuestas: 1) UASB con filtro percolador; 2) UASB con lodos activados; 3) UASB con humedales; y 4) UASB con lagunas. Se discutieron las ventajas y desventajas de cada alternativa, seleccionándose la alternativa No. 1: uso de Reactores Anaeróbicos de Flujo Ascendente seguido de filtro percolador con sedimentador secundario.

4.0 METODOLOGÍA

Para desarrollar el objetivo del proyecto de pre-factibilidad, se realizaron las actividades listadas a continuación:

1. Presentación del equipo de consultores de Tetra Tech y la forma de trabajo para realizar el estudio de pre-factibilidad de la planta de tratamiento de Metapán. El equipo se enfocaría en entrevistas y reuniones con miembros de USAID, el Comité para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de Metapán, e instituciones gubernamentales que están directa o indirectamente involucradas.
2. Realizar visitas de campo, en conjunto con representantes de la alcaldía de Metapán y ANDA (la región occidental y metropolitana), a la ciudad de Metapán para conocer los lugares de interés para el proyecto: Río San José, Laguna de Metapán y los posibles terrenos para la construcción de la planta de tratamiento.
3. Solicitar la información pertinente a las diferentes instituciones involucradas con el objetivo de recopilar, analizar y utilizar como insumo la información recibida.
4. Efectuar reuniones de trabajo para la discusión del avance del proyecto para identificar los puntos críticos y la información e investigación faltante.

5.0 RESULTADOS DEL ESTUDIO

Los resultados del estudio se resumen a continuación. Las diferentes actividades realizadas fueron:

1. Evaluar la ubicación más estratégica para la planta de tratamiento a través de visitas de campo, y determinar la idoneidad del terreno adquirido por el municipio para las opciones de tratamiento consideradas.
2. Evaluar las opciones de tratamiento y crear una matriz para comparar las opciones de manera técnica, financiera y organizacional.
3. Definir población de diseño y la conveniencia de realizar el proyecto en fases a largo plazo.
4. Determinar cuál será el punto de disposición final de los efluentes y lodos tratados.
5. Definir como se recuperarán los costos de operación y mantenimiento.
6. Determinar la capacidad de sostenibilidad de la municipalidad para el funcionamiento y mantenimiento de la planta de tratamiento en el largo plazo.
7. Identificar la información necesaria para el estudio de factibilidad y/o diseño final, en caso de encontrarse alternativas.
8. Evaluar el riesgo de atraso en el proyecto de separación de aguas pluviales y aguas residuales ejecutándose por el municipio de Metapán y ANDA, y los posibles impactos al proyecto de la planta de tratamiento de aguas residuales.
9. Evaluar los beneficios de salud, económicos y ambientales resultantes del proyecto.
10. Crear la línea de tiempo del proyecto (plan de ejecución), y estimar los costos del proyecto.
11. Definir como la actividad se ajusta a criterios establecidos por el Código de Biodiversidad de USAID.
12. Identificar experiencias en plantas existentes en El Salvador: triunfos y fracasos.

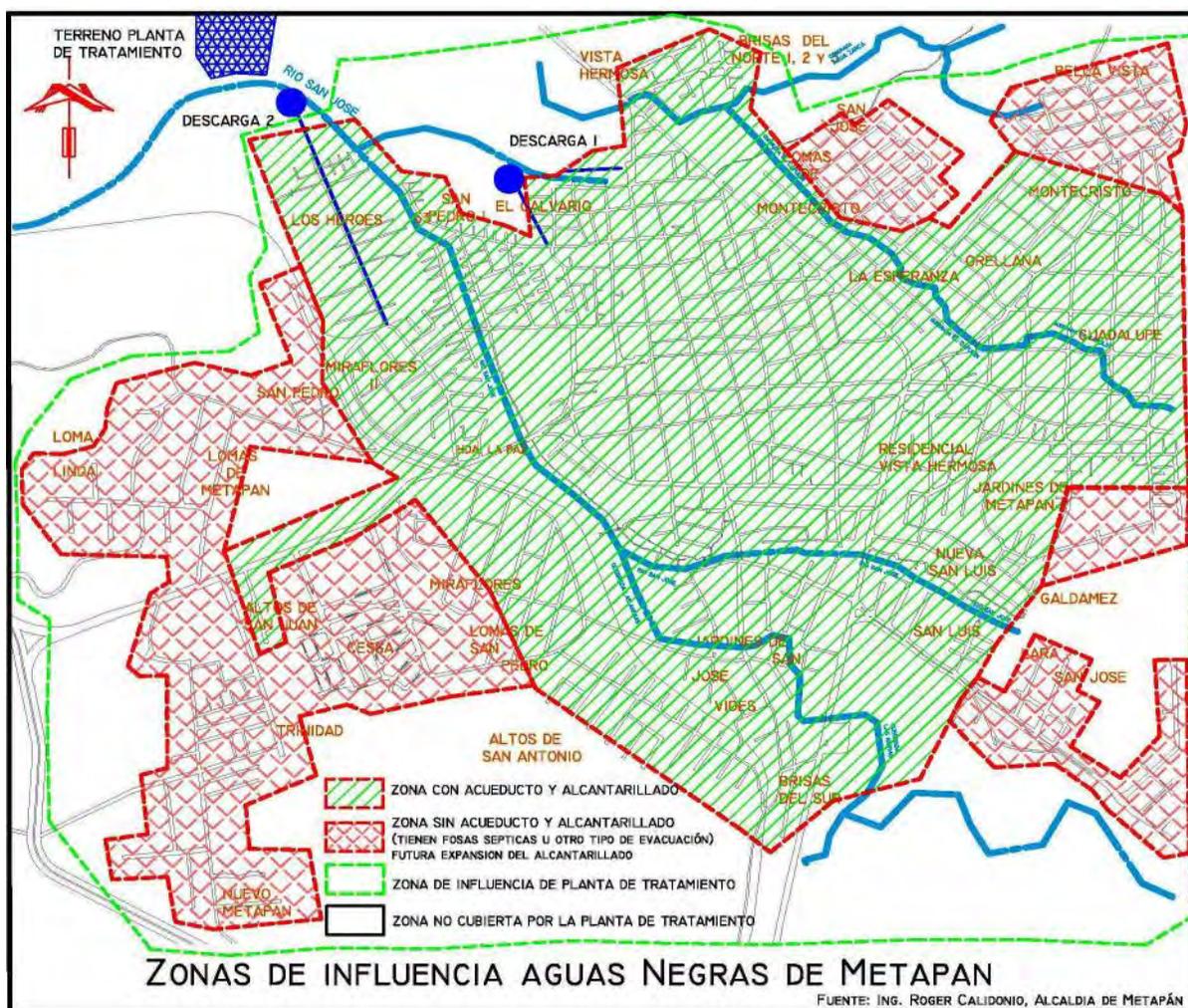
5.1 EVALUACIÓN DE LA UBICACIÓN MÁS ESTRATÉGICA PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO, Y DETERMINAR LA IDONEIDAD DEL TERRENO ADQUIRIDO POR EL MUNICIPIO PARA LAS OPCIONES DE TRATAMIENTO CONSIDERADAS

La ciudad de Metapán tiene un sistema de alcantarillado que cubre aproximadamente un 70% de su extensión territorial. La parte cubierta por el servicio de alcantarillado se encuentra entre los dos afluentes principales del Río San José en esa zona. El resto de la ciudad que no tiene servicio de alcantarillado consiste de una gran cantidad de viviendas que sólo cuentan con fosa sépticas, fosas convencionales, o no tienen el servicio de aguas negras. Dada la topografía, las viviendas de la parte Poniente de la zona pudieran conectarse a la planta

de tratamiento cuando se proyecte y construya una ampliación de los colectores. Las de la zona Oriente tendrían que conectarse a través de una estación elevadora.

En la figura 1, se muestra el plano de la ciudad, el cual fue proporcionado por la Alcaldía Municipal de Metapán, quienes con técnicos de Tetra Tech delimitaron las áreas servidas y no servidas.

Figura 1: Planimetría mostrando las zonas con acueducto y alcantarillado, sin servicio de alcantarillado, zonas de influencia de la planta, y zonas no cubiertas por la planta de tratamiento de la Ciudad de Metapán.



Como se puede apreciar en el diagrama, hay un punto lógico para capturar las aguas negras en el Río San José, y la ubicación de la planta debe conseguirse en el lugar más cercano a ese punto para minimizar costos de transporte.

El 24 de mayo del 2012, se realizó la primera visita al municipio de Metapán con el objetivo de obtener información y efectuar un recorrido de reconocimiento por las dos descargas de aguas residuales. En esta visita también se inspeccionó el terreno comprado por la municipalidad para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de la cabecera departamental y la laguna de Metapán. Este recorrido se realizó con representantes de USAID (Rubén Alemán y Christine Katin), ANDA (Thelma Sandoval de Arévalo), la Alcaldía de Metapán (Virginia Sanabria, Naún González y Roger Edmundo Calidonio), y Magdalena de Aguilar y Julián Monge como representantes del equipo de Tetra Tech.

El 6 de junio, los consultores locales en compañía de Fernando Román, consultor internacional de Tetra Tech, y los técnicos de la alcaldía, Naún González y Roger Edmundo Calidonio, efectuaron un recorrido mas exhaustivo a las descargas de aguas negras, terreno adquirido por la Municipalidad, otros terrenos ubicados a los costados del río San Antonio y aguas debajo de la descarga y finalmente a la Laguna de Metapán para comprobar la topografía y la mejor ubicación posible para la construcción de la planta.

En el recorrido pudimos observar que la topografía de los terrenos al sur-oriente de la descarga de aguas negras tiene un 50% no inundable, son muy irregulares (con mucha pendiente) y la cota de construcción para la planta está 20 - 30 metros arriba de la descarga N° 2 en el río San José. Los terrenos al nororiente de la misma descarga son planos pero el riesgo de inundación es alto; el terreno aledaño al comprado prácticamente tiene las mismas características que el adquirido por lo que no es significativo un cambio. El nivel máximo de crecida del río San Antonio está a unos 3.00 m arriba de la mencionada descarga.

Después del recorrido, de analizar las propiedades aledaños al río San José, revisar los mapas de riesgo por inundación de Metapán proporcionados por el SNET, y consultar con los técnicos de la Alcaldía de Metapán, se constató que los terrenos aledaños y frente al destinado para la planta de tratamiento tienen las mismas condiciones topográficas que el comprado, y los que están aguas abajo son planos y tienen riesgos de inundación. (Ver figuras 2 y 3).



Fotografía 3: Miembros de USAID, ANDA, Alcaldía de Metapán y Tetra Tech en la canaleta de descarga de agua de lluvia y colector de descarga de aguas residuales N° 1 de la Ciudad de Metapán.



Fotografía 4: Fernando Román y Roger Edmundo Calidonio, en el río San José observando el cabezal de descarga del colector de aguas residuales N° 2 de la Ciudad de Metapán, el cual está destruido.

Figura 2: Mapa de riesgo por inundaciones de la Ciudad de Metapán, cuenca rio San José. SNET, MARN, junio 2009

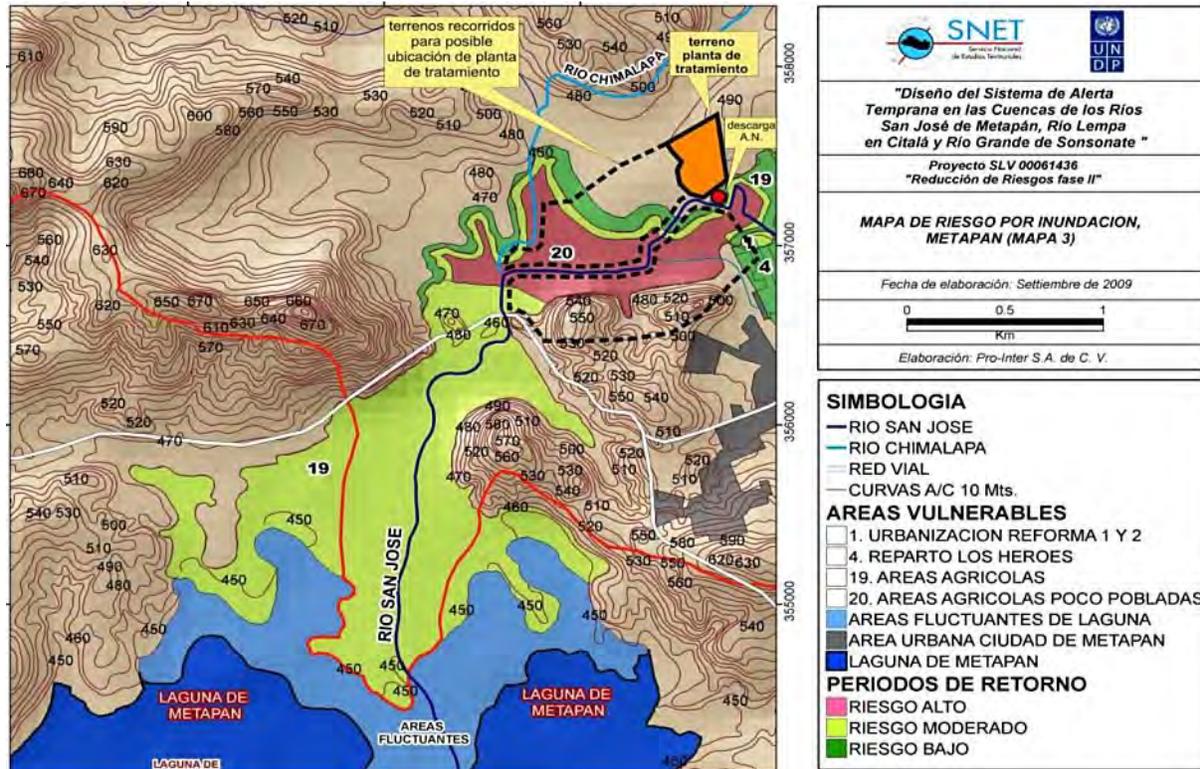
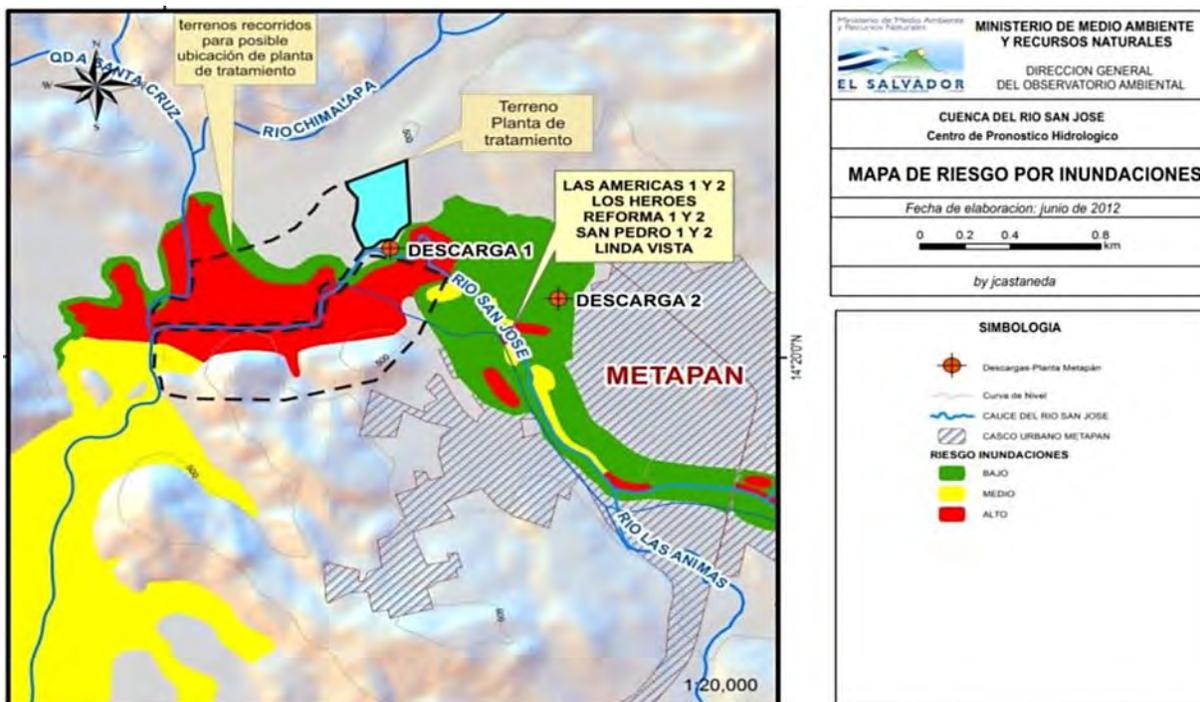


Figura 3: Mapa de riesgo por inundaciones de la Ciudad de Metapán, cuenca rio San José. MARN, junio 2012



Una de las tareas del estudio es la determinación de la idoneidad del terreno adquirido. Tomando en consideración la información recopilada en las visitas de campo y entrevistas en la Alcaldía de Metapán, se

determinó que el terreno adquirido representa la mejor opción. Para determinar la idoneidad se plantearon tres preguntas:

1. *¿Existen terrenos cuya topografía minimice la altura de bombeo con respecto al terreno adquirido?*

Como se puede apreciar en la Figura 2, los terrenos aledaños no tienen gran diferencia topográfica (\pm 5.00 mts.), y los que pudiesen tener una diferencia menor se encuentran aguas abajo a distancias mayores de un kilómetro de las descargas.

2. *¿Si hay otros candidatos, están los terrenos fuera de la zona de inundación?*

De acuerdo a las cotas de nivel de la Figuras 2 y 3, se observa que la mayoría de los terrenos próximos al adquirido están en zona inundable, por lo que se tendrían que considerar terrenos mas lejos aguas abajo.

3. *Dado que el terreno adquirido es el más cercano a las descargas, si hay otros candidatos ¿superarían los costos de adquisición y extensión de infraestructura el valor presente de los ahorros operativos por menor altura de bombeo?*

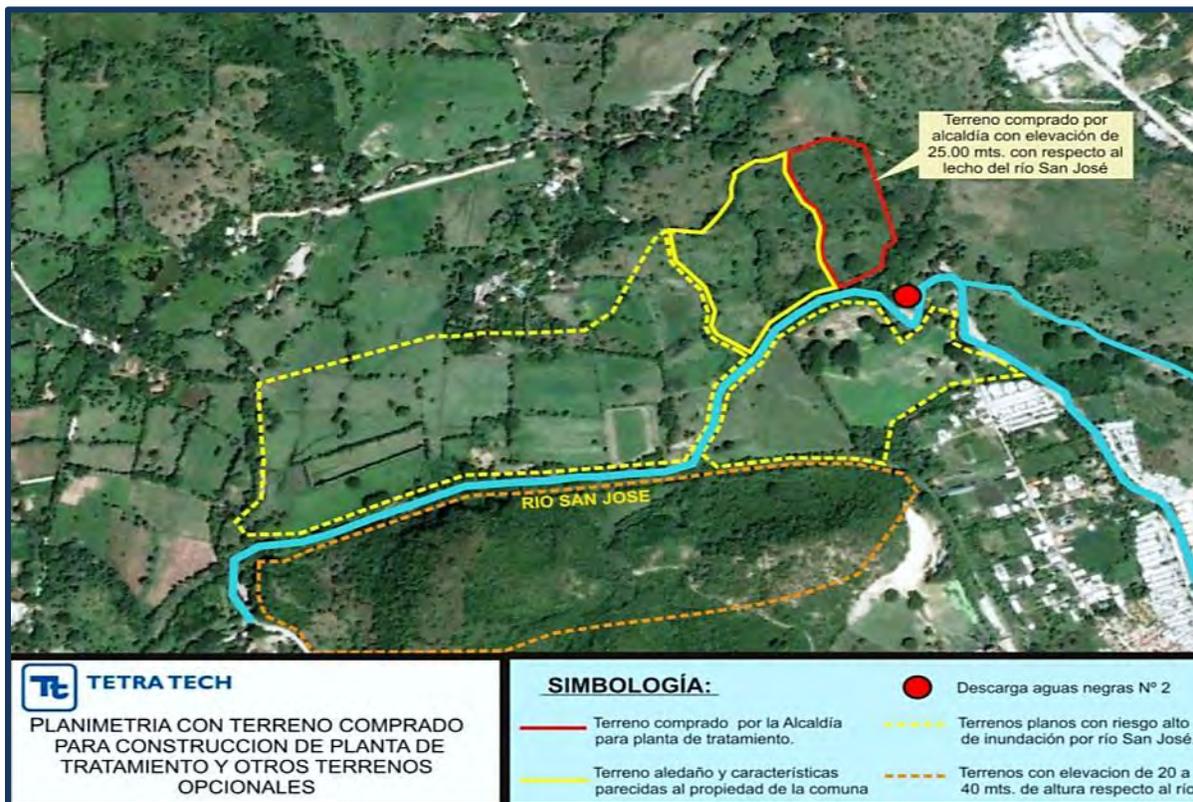
Considerando un costo de electricidad de \$0.16/kWh y un consumo de energía a capacidad máxima de la planta, los ahorros en energía atribuibles a una diferencia de elevación de cinco metros representan \$685/mes, lo cual, a una tasa de interés de 5% y periodo de 50 años, nos daría un valor presente neto de ahorros de energía de \$150,142. Si se considera que el costo de un terreno equivalente de cinco manzanas podría ser de \$125,000, los ahorros se consumirían en la compra. Aún en el caso de una donación de terreno, la extensión de la línea de aguas negras a un sitio nuevo costaría \$316/m, por lo que \$150,142 equivaldría a 475 metros de extensión.

Por lo visto en los planos de MARN, no existen terrenos de menor elevación dentro de esa distancia, lo que haría que el costo de cualquier otra extensión de línea exceda los ahorros operativos.

Otros criterios a considerarse incluyen la evaluación de riesgos de inundación, deslizamiento y terremotos, así como el impacto potencial a vecinos con olores, ruidos, o actividades que cambien la calidad de vida de manera substancial. Se comprobó que el terreno adquirido esta fuera de la zona de inundación, por lo que este criterio se ha superado. Con respecto a los riesgos de deslizamiento, se observó en la visita del 6 de Junio que se ha reforestado la parte alta del terreno, lo que permite la resistencia a deslizamientos. Independientemente de esto, el diseño de la planta deberá incluir taludes de retención para evitar que las superficies alteradas por la construcción se deslicen. El riesgo de daños por terremotos se minimizará con un diseño antisísmico.

Con respecto al impacto a vecinos, este sería insignificante ya que las viviendas más cercanas se encuentran a una distancia de 300 metros. Como ejemplo comparativo, en el estado de Texas, EEUU, la reglamentación (al igual que en El Salvador) requiere una distancia mínima de 50 metros entre las unidades de tratamiento y la residencia más cercana. El uso de gas cloro, si se elige este desinfectante, siempre lleva consigo un riesgo especial a la salud pública, ya que de haber una fuga masiva y descontrolada habría un riesgo agudo a la salud dentro de un rango de 100 metros del tanque y se requeriría la evacuación de la población en una distancia mínima de 300 metros en la dirección del viento. Cabe mencionar que el gas cloro es un material muy común y que con un diseño conservador y capacitación adecuada de operadores el riesgo de fugas se minimiza substancialmente. Los impactos al ambiente podrían incluir erosiones causadas por baja calidad de relleno de zanjas en la construcción de la línea de impulsión, o por mal diseño de drenajes de aguas lluvias en la planta; un potencial riesgo sería el escape de gas metano por fugas en tubería o si el quemador se apagara. Por lo anterior consideramos que la elección de este terreno es la mejor opción, por lo tanto sugerimos que se utilice el terreno que ya fue adquirido por la municipalidad (ver figura 4).

Figura 4: Planimetría mostrando terreno adquirido por la Alcaldía de Metapán para la construcción de la planta de tratamiento, incluyendo los terrenos opcionales que se analizaron en la cuenca río San José.



5.2 EVALUAR LAS OPCIONES DE TRATAMIENTO Y CREAR UNA MATRIZ PARA COMPARAR LAS OPCIONES BASADAS EN CONSIDERACIONES TÉCNICAS, FINANCIERAS Y ORGANIZATIVAS

El estudio de pre-factibilidad tiene como compromiso especial el evaluar las tecnologías disponibles para el tratamiento de aguas negras de Metapán con el objetivo de encontrar la alternativa de proceso que cumpla con requerimientos del proyecto:

1. Cumplir con normatividad vigente (NSO 13.49.01:09, CONACYT).
2. Minimizar los costos operativos.
3. Minimizar la generación de lodos.
4. Ser apropiada para el nivel técnico y administrativo de la Alcaldía.
5. Ser sostenible.

En Latinoamérica existe mucha experiencia con plantas de bajo impacto, como son los sistemas lagunares, así como también con tecnologías con diverso grado de mecanización y complejidad. A fin de poder comparar las tecnologías, se desarrolló una investigación bibliográfica buscando entender la experiencia en tratamiento de aguas en países en desarrollo. Dentro de los artículos recopilados destaca el escrito por los investigadores

brasileños Silvia C. Oliveira y Marcos von Sperling, de título “*Performance evaluation of different wastewater treatment technologies operating in developing countries*”, (Evaluación del funcionamiento de diferentes tecnologías de tratamiento de aguas negras en operación en países en desarrollo).

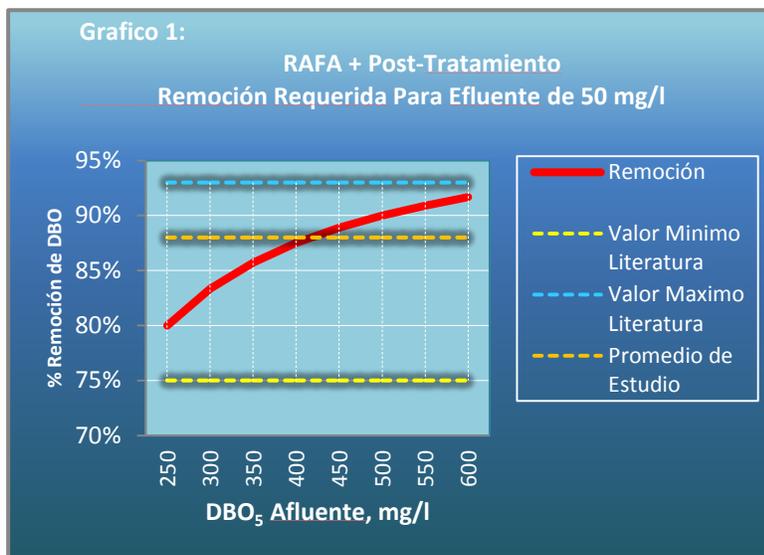
El artículo presenta un cuadro comparativo de los principales índices cuantificadores del desempeño de las plantas en una muestra de 166 plantas, y contrasta su funcionamiento con respecto a varios parámetros a partir de información real de operación. Las conclusiones del artículo favorecen el uso del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente con Post-Tratamiento, el cual es el tipo analizado por el comité inter-institucional del proyecto Metapán.

TABLA I: RESUMEN DE LAS CONCLUSIONES DE LOS INVESTIGADORES BRASILEÑOS
Experiencias en Países en Desarrollo¹

Proceso	% Remoción Promedio		
	DBO ₅	DQO	SST
• Fosa Séptica con Filtro Anaerobio	59	51	66
• Lagunas Facultativas	75	55	48
• Lagunas Anaeróbicas y Facultativas	82	71	62
• Lodos Activados	85	81	76
• RAFA	72	59	67
• RAFA con post-tratamiento	88	77	82

¹ Silvia C. Oliveira y Marcos von Sperling, iwa Enero 2011

Con eficiencias de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y Sólidos Suspending Totales (SST), el proceso RAFA con Post-tratamiento es deseable. Sin embargo habría que comprobar si la remoción promedio de 88% sería adecuada para las condiciones de Metapán. En el gráfico 1 se presenta una curva de remoción de DBO con respecto a condiciones variables de concentración de DBO del afluente para alcanzar una calidad de efluente de 50 mg/l de DBO (la normatividad requiere un DBO de 60 mg/l).



Como se puede apreciar en el gráfico 1, si la DBO del afluente de Metapán está en un valor menor a 600 mg/l se puede esperar que se alcancen calidades de 50 mg/l en el efluente si la planta opera en la parte más alta del rango reportado en literatura. Sin embargo, un afluente de hasta 420 mg/l de DBO sería muy cómodamente tratado con la eficiencia promedio de remoción de DBO de 88% reportada por Oliveira, por lo tanto la tecnología RAFA con Post-tratamiento es recomendable desde el punto de vista técnico.

Otras variables a considerar son los requerimientos financieros y administrativos de cada tecnología.

Para propósito de discusión, se agruparán los sistemas naturales en un rubro, sean filtros anaerobios o cualquier tipo de laguna siempre y cuando no sea mecanizada, los de baja mecanización en otro (los RAFA entran aquí), y los de alta mecanización con las plantas de lodos activados en un tercero.

TABLA 2: COMPARACIÓN FINANCIERA, ADMINISTRATIVA Y TÉCNICA DE PROCESOS			
Parámetro	Sistemas Naturales	Media Mecanización	Alta Mecanización
Ejemplo de Proceso	Lagunas Facultativas	RAFA con Post-Tratamiento	Lodos Activados
Financiero			
Costo Operativo	Bajo	Medio	Alto
Costo de Refacciones	Insignificante	Medio	Alto
Costo Químico	Básico	Alto por manejo de lodos	Alto por manejo de lodos
Costo Adquisición de Terreno	Alto	Bajo	Bajo
Administrativo			
Nivel de Capacitación de Operadores	Bajo	Medio	Alto
Apoyo Administrativo	Bajo	Medio (compras y contratos)	Medio (compras y contratos)
Técnico			
Complejidad Operativa	Baja	Media	Baja
Muestreo Para Control de Proceso	Ninguno	Bajo	Alto
Potencial de Trastorno por Mala Operación	Bajo	Medio	Alto
Controles Operativos	Baja	Media	Alta
Calidad de Agua	Media	Alta	Alta
Confiabilidad	Baja, no hay forma de controlar el proceso	Media, pocos elementos de control	Alta

5.2.1 Opciones de Tratamiento

Las opciones de tratamiento consideradas por el comité interinstitucional para la construcción de la planta de tratamiento de la Ciudad de Metapán, en el documento “Pre-Diseño de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Metapán” de fecha 6 de diciembre de 2011, evalúan ventajas y desventajas de cuatro alternativas viables. Todas las alternativas tienen en común que para el tratamiento primario proponen el uso de Reactores Anaeróbicos de Flujo Ascendente (RAFA o UASB); las cuatro opciones son las siguientes:

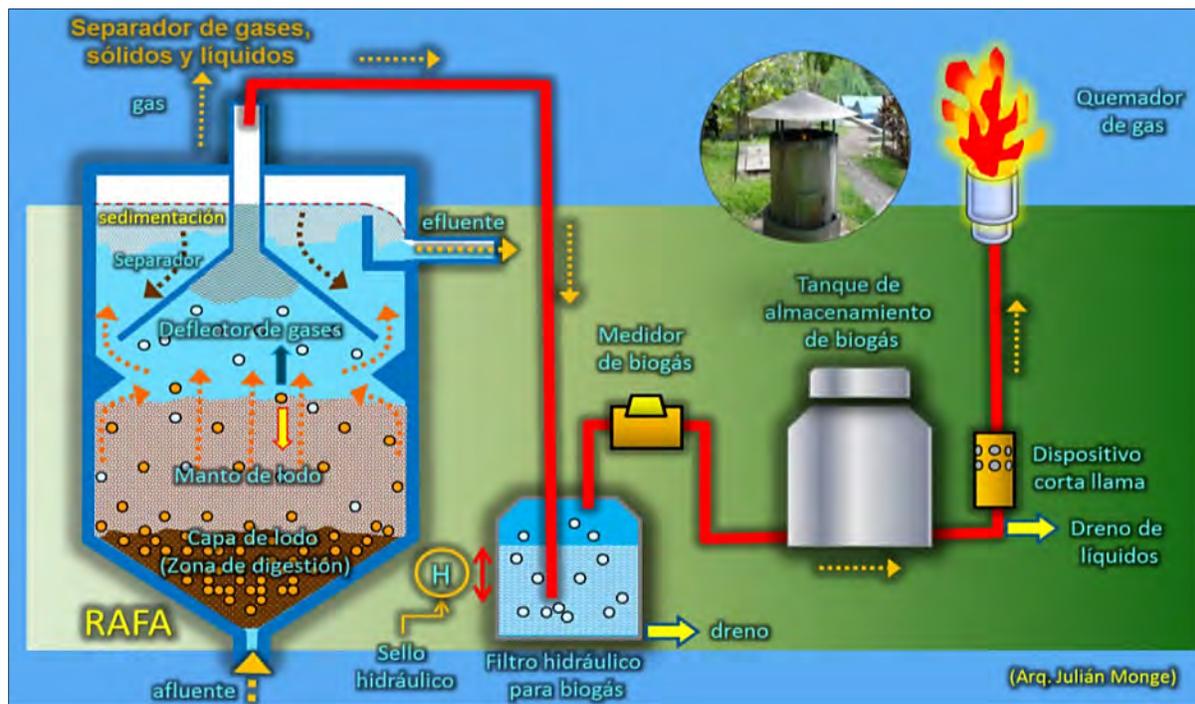
1. Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA) + Filtro Percolador,
2. Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA) + Lodos Activados,
3. Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA) + Humedales Y
4. Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA) + Lagunas.

REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE

RAFA es una forma de digestor anaeróbico que se utiliza en el tratamiento de aguas residuales. El reactor es un digestor metanogénico (produce gas metano). El proceso anaeróbico de flujo ascendente consiste básicamente de un tanque Imhoff, “al revés”, presentando las cámaras de decantación y digestión anaeróbica superpuestas, y en la parte superior cuenta con un sistema de separación de gas-líquido-sólido. El gas metano, después de un proceso de purificación, puede ser utilizado para producir energía eléctrica o para cocinar.

El tiempo de retención hidráulica es entre 6 y 24 horas, dependiendo de la temperatura del proceso.

Figura 5: Esquema en sección de un Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente con el sistema de biogás.



5.2.1.1 REACTOR ANAEROBICO DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA) + FILTRO PERCOLADOR

El Filtro Percolador, funcionando después del RAFA como tratamiento secundario, ha sido utilizado en Guatemala y El Salvador. Es un sistema que trabaja con una fase anaeróbica y otra aeróbica. La fase aeróbica pone en contacto las aguas residuales sedimentadas con cultivos biológicos y oxígeno, donde los microorganismos convierten las sustancias complejas que están presentes en las aguas, principalmente orgánicas, en material celular viviente o en sustancias más simples y sedimentables. Dependiendo el tipo de filtro que se utilice, no necesita de energía eléctrica y trabaja por gravedad.

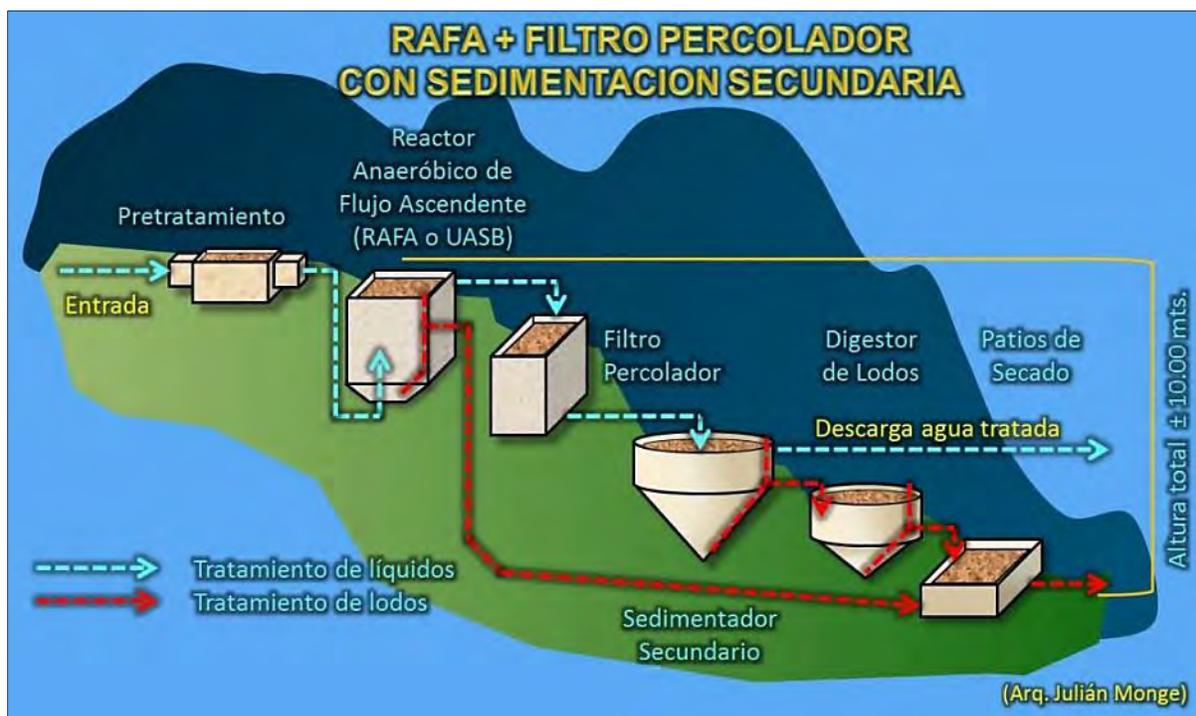
El sistema de tratamiento completo consta de (ver figura 6):

- a. Pretratamiento o tratamiento preliminar: Cámara de rejillas, desarenador, medidor de caudales y trampa de grasas.
- b. Tratamiento Primario: Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente.
- c. Tratamiento Secundario: Filtro biológico o percolador y sedimentador secundario.
- d. Tratamiento de Lodos: Digestor de lodos (funciona como almacenador del sedimentador secundario) y lechos o patios de secado de lodos digeridos.

Por la diferencia de nivel que necesita este sistema para funcionar por gravedad (aproximadamente 10.00 m de altura), el terreno adquirido por la Municipalidad es ideal pues reúne las condiciones topográficas para desarrollarlo sin ningún problema. Técnicamente es la mejor opción ya que está comprobado su funcionamiento y eficiencia, y el biogás puede ser utilizado.

El costo de la operación y mantenimiento puede ser relativamente bajo si el sistema trabaja por gravedad.

Figura 6: Esquema en sección de una planta de tratamiento con RAFA y filtro percolador con sedimentación



5.2.1.2 REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA) + LODOS ACTIVADOS

Este proceso es más utilizado en países económica y tecnológicamente avanzados para darle tratamiento a grandes caudales de aguas residuales. Este sistema utiliza millones de microorganismos para tratar las aguas residuales. La alimentación, crecimiento y reproducción de estos organismos hacen el trabajo de remover materiales de desecho disueltos y suspendidos en el agua. Este sistema utiliza equipos electromecánicos que consumen mucha energía eléctrica, y para su operación y mantenimiento necesita personal con cierto grado académico. El lodo activado es un proceso de tratamiento por el cual el agua residual y el lodo biológico con microorganismos son mezclados y aireados en un tanque denominado aireador, los flóculos biológicos formados en este proceso se sedimentan en un tanque de sedimentación, y luego son recirculados nuevamente al tanque de aeración.

En el proceso de lodos activados los microorganismos son completamente mezclados con la materia orgánica en el agua residual de manera que ésta les sirve de alimento para su producción. La mezcla o agitación se efectúa por medios mecánicos (e.g., aireadores superficiales, sopladores) los cuales tiene doble función: producir mezcla completa y agregar oxígeno al medio para que el proceso se desarrolle.

Este sistema, construyéndolo en terrazas, pueden hacerlo en el terreno de la alcaldía, pero económicamente no es viable por los costos de construcción, equipamiento y operación y mantenimiento.

El sistema de tratamiento completo consta de (ver figura 7):

- Pretratamiento o tratamiento preliminar: Cámara de rejas, desarenador, medidor de caudales y trampa de grasas.
- Tratamiento Primario: Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente.
- Tratamiento Secundario: Tanque de aireación y sedimentador secundario.
- Tratamiento de Lodos: Digestor de lodos y lechos o patios de secado de lodos digeridos.

Figura 7: Esquema en sección de una planta de tratamiento con reactor anaeróbico y lodos activados



En Tegucigalpa, Honduras, tienen una planta de tratamiento funcionando con reactores anaeróbicos y lodos activados donado por la Unión Europea. La calidad del agua es buena, pero se quejan del alto consumo de energía eléctrica.



5.2.1.3 REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA ó UASB) + HUMEDALES

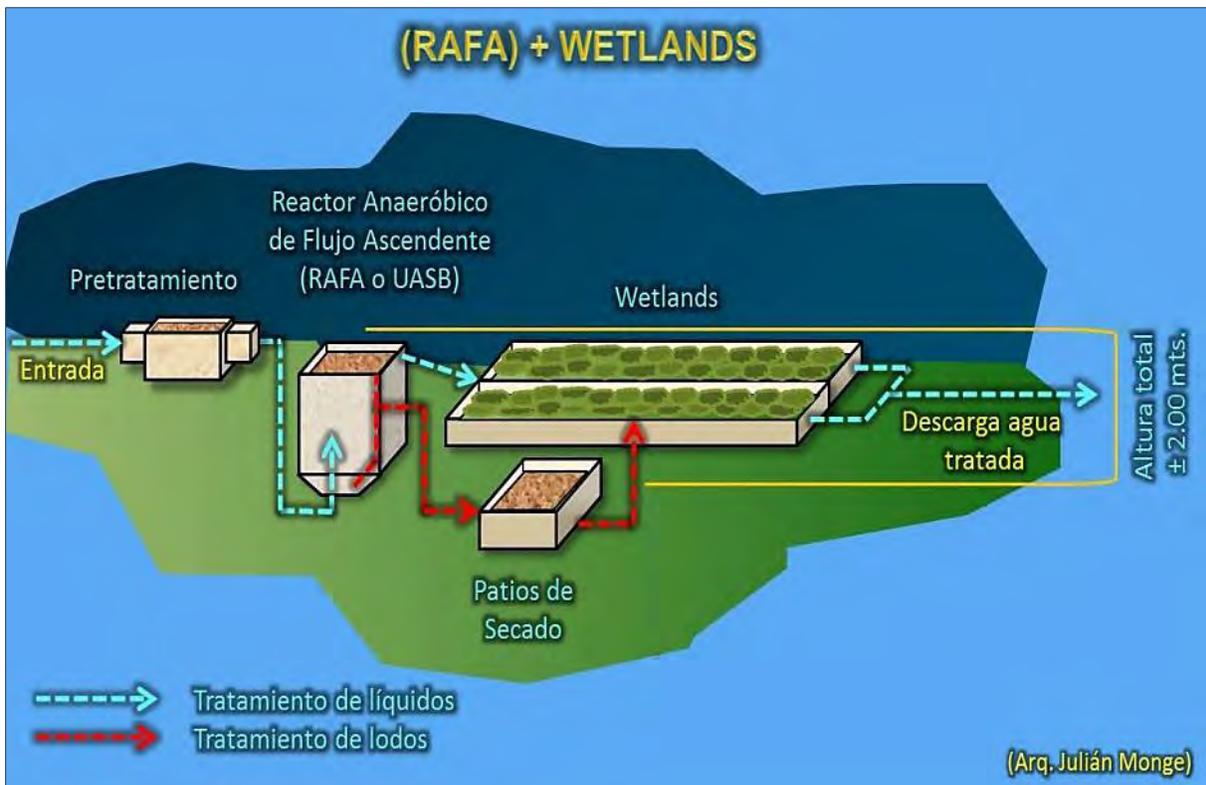
En nuestro país se tiene poca experiencia sobre los humedales o empantanamiento debido a que necesitan grandes extensiones de terreno completamente plano. Existen dos plantas de tratamiento parecidas, construidas en los Municipios de San José Villanueva en el Departamento de Chalatenango y Nejapa en el Departamento de San Salvador, que utilizan el sistema de humedales. Estos sistemas tienen un tanque Imhoff (parecido al RAFA, pero de flujo horizontal), con un humedal, pero las experiencias no son muy buenas: los tanques Imhoff, por ser de flujo horizontal, tienen baja eficiencia por tener un tiempo de residencia del agua muy corto, y los humedales se han obstruido. Esto ha ocasionado una considerable baja en la calidad del agua tratada.

Este sistema, agregándole otras unidades como trampa de grasas y el RAFA en lugar de Imhoff, puede mejorar su eficiencia en cuanto a remoción de contaminantes, y ser utilizado en comunidades pequeñas de menos de 1000 habitantes y que tengan disponibilidad de terrenos planos.

La planta de tratamiento completa consta de (ver figura 8):

- Pretratamiento o tratamiento preliminar: Cámara de rejillas, desarenador, medidor de caudales y trampa de grasas.
- Tratamiento Primario: Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente.
- Tratamiento Secundario: Humedales.
- Tratamiento de Lodos: Lechos o patios de secado de lodos digeridos (no es necesario el digester de lodos).

Figura 8: Esquema en sección de una planta de tratamiento con reactor anaeróbico y humedales



5.2.1.4 REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA) + LAGUNAS

Las lagunas de oxidación son excavaciones de poca profundidad en la cual se desarrolla una población microbiana compuesta por bacterias, algas y protozoos que eliminan en forma natural los patógenos relacionados con aguas residuales. Existen varios tipos de lagunas para el tratamiento de aguas residuales: Lagunas de oxidación facultativas, lagunas de maduración, lagunas de oxidación anaeróbicas (sin aireación), y lagunas de oxidación aeróbicas (aireadas).

Las lagunas más usadas son las facultativas, que pueden ser de dos tipos: lagunas primarias que reciben aguas residuales crudas, y laguna secundarias que reciben aguas sedimentadas de la etapa primaria (usualmente el efluente de una laguna anaeróbica, un sedimentador o un RAFA). Están diseñadas para remoción de DBO_5 con base en una baja carga orgánica superficial que permita el desarrollo de una población de algas activa. De esta forma, las algas generan el oxígeno requerido por las bacterias heterotróficas para remover la DBO_5 soluble. El tiempo de retención hidráulica nominal (TRH) es de 10 días mínimo para remover huevos de helmintos en lagunas facultativas.

Este sistema es muy bueno para la remoción de patógenos, pero no se recomienda porque necesita grandes extensiones de terreno plano, y el terreno de la Alcaldía es quebrado y sería necesario un gran movimiento de tierra.

El sistema de tratamiento completo consta de (ver figura 9):

- Pretratamiento o tratamiento preliminar: Cámara de rejas, desarenador, medidor de caudales y trampa de grasas.
- Tratamiento Primario: Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente.
- Tratamiento Secundario: Lagunas de oxidación tipo facultativas (mínimo: dos en paralelo).
- Tratamiento de Lodos: Lechos o patios de secado de lodos digeridos.

Figura 9: Esquema en sección de una planta de tratamiento con reactor anaeróbico y lagunas de oxidación tipo facultativas.

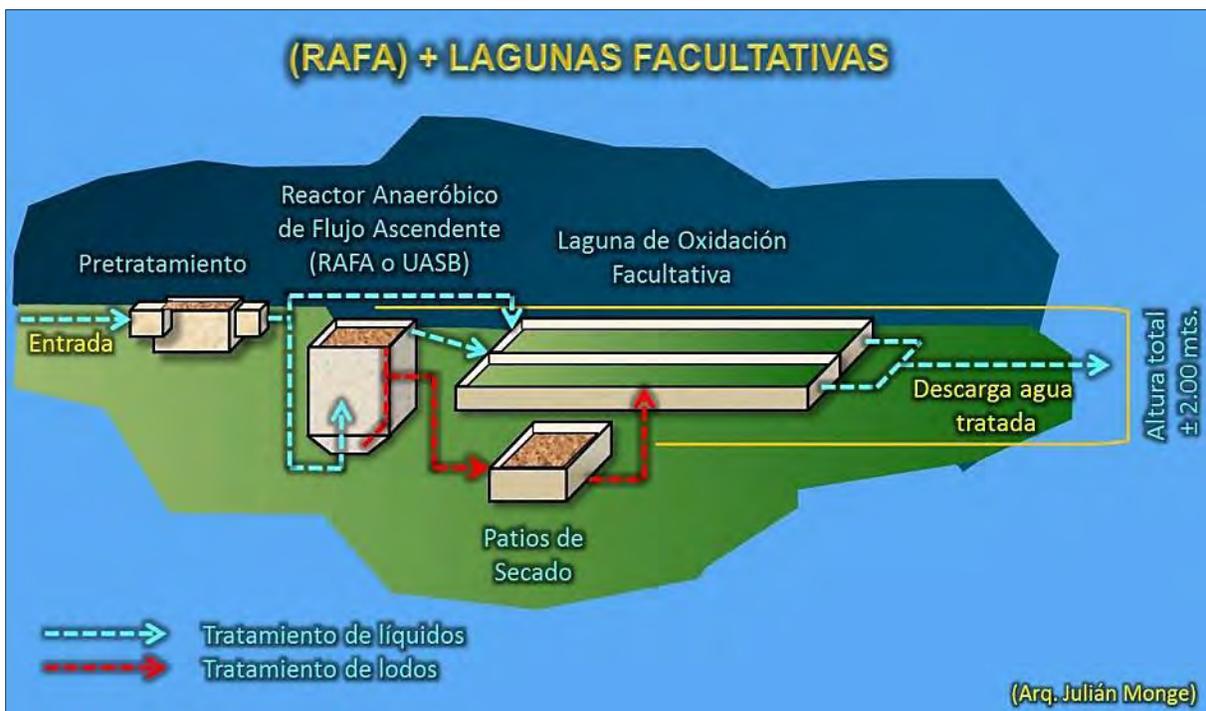


TABLA 3: COMPARACIÓN DE OPCIONES DE TRATAMIENTO EN REMOCIÓN DE DBO₅, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, Y OTROS PARÁMETROS

COMPARACIÓN DE OPCIONES DE TRATAMIENTO							
Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales	Remoción %		Remoción CICLOS Log ₁₀			Ventajas	Desventajas
	DBO ₅	Sólidos Suspendedos	VIRUS	Bacterias	Huevos de Helmintos		
RAFA + Filtro Percolador	70 a 90	70 a 90	1 a 2	0 a 2	1 a 2	Los costos de operación y mantenimiento son mínimos y no requiere de energía eléctrica	Los costos de construcción son altos. Son fabricadas en concreto armado.
						Funciona por gravedad, no necesita equipos electromecánicos	Para que funcione por gravedad necesita una diferencia mínima de altura de 10 m
						No necesita grandes extensiones de terreno y se puede construir en terrenos con topografía quebrada.	Puede darse la generación de posibles malos olores y proliferación de moscas y la posible obstrucción del medio filtrante
RAFA + Lodos Activados	60 a 95	60 a 95	1 a 2	0 a 2	1 a 2	No necesita grandes extensiones de terreno y se puede construir en terrenos con topografía plana o quebrada.	Los costos construcción, de operación y mantenimiento son altos, necesitan equipos electromecánicos y energía eléctrica.
						Fácil de estabilizar durante el arranque y tiene gran capacidad para recuperarse	Los trabajos de mantenimiento son mayores y se requiere de personal calificado
						Si todos los equipos electromecánicos funcionan los posibles malos olores son mínimos.	Si hay prolongados cortes de energía eléctrica, la posibilidad de malos olores son grandes. Los equipos electromecánicos por lo general no se encuentran en plaza.
RAFA + Humedales	60 a 90	60 a 90	1 a 2	0 a 2	1 a 2	Los costos de operación son mínimos, no requiere energía eléctrica	Necesita grandes extensiones de terreno.
						Los trabajos de mantenimiento son mínimos, no se requiere de personal calificado	No se recomienda para caudales mayores a 1,000 m ³ /día
						Funciona por gravedad, no necesita equipos electromecánicos	Su construcción se debe hacer en terrenos con topografía plana
RAFA + Lagunas de Oxidación	70 a 90	70 a 90	2 a 4	2 a 6	2 a 4	Construcción simple y económica.	Necesita grandes extensiones de terreno
						Los trabajos de mantenimiento son mínimos, no se requiere de personal calificado	El rendimiento y tamaño dependen del clima
						Los costos de operación son mínimos, no necesitan energía eléctrica, y la evacuación de lodos se hace cada 5 a 10 años	Puede darse la generación de posibles malos olores. Y crecimiento de insectos
						Es el sistema que remueve más patógenos	Su construcción se debe hacer en terrenos con topografía plana
						Flexibilidad de operación en diversas condiciones, acepta grandes variaciones de caudal.	Dificultad para cumplir los estándares de efluente, arrastra mucha alga microscópica

Un ciclo log₁₀ = 90% remoción; 2 ciclos = 99%; 3 ciclos = 99.9%.

TABLA 4: COMPARACIÓN DE LAS OPCIONES DE TRATAMIENTO PARA OBTENER LA MEJOR ALTERNATIVA

COMPARACIÓN DE LOS TIPOS DE SISTEMAS SELECCIONADOS PARA CONSTRUIRSE EN EL TERRENO COMPRADO								
CRITERIOS DE COMPARACIÓN	TIPO DE TRATAMIENTO							
	N° 1 RAFA + FILTRO PERCOLADOR		N° 2 RAFA + LODOS ACTIVADOS		N° 3 RAFA + HUMEDALES		N° 4 RAFA + LAGUNAS	
Puede construirse en terreno comprado, que tiene diferencia de nivel de ± 20.00 metros.	3	SI: Necesita diferencia de nivel de ± 10.00 mts.	3	SI: Se puede construir en terreno plano o quebrado.	1	NO: Los humedales, solo se pueden construir en terreno plano.	1	NO: Las lagunas, solo se puede construir en terreno plano.
Es buena la eficiencia de remoción de DBOs.	3	SI: Arriba de 90 %	3	SI: Arriba de 90 %.	3	SI: Arriba de 90 %	3	SI: Arriba de 90 %
Complejidad operativa	2	MEDIA	1	ALTA	2	MEDIA	3	BAJA
Utilizará energía eléctrica para equipos electromecánicos	2	SI: Utiliza recirculación al filtro percolador y sedimentador mecanizado	1	SI: Todo trabaja con electricidad	3	NO: Todo trabaja por gravedad, solo para bombeo	3	NO: Todo trabaja por gravedad, solo para bombeo
Disponibilidad de repuestos en plaza.	2	NO: Equipo de bombeo	1	NO: Equipo de bombeo y otros mecanic.	2	NO: Equipo de bombeo	2	NO: Equipo de bombeo
Costo de operación y mantenimiento.	2	MEDIO: E.Elec. y poca mecanización	1	ALTO: E.Elec. y mecanización completa.	3	BAJO: Equipo de bombeo	3	BAJO: Equipo de bombeo
El agua tratada se puede utilizar para usos agrícolas.	3	SI: Para plantas ornamentales, pastizales.	3	SI: Para plantas ornamentales, pastizales.	3	SI: La reducción de patógenos es grande.	3	SI: La reducción de patógenos es grande.
Experiencia nacional.	3	SI: Planta con las dos unidades	3	SI: Planta con las dos unidades	1	NO: Solo RAFA	2	SI: Por separado
TOTAL MAYOR ES MEJOR	20		16		18		20	

Los sistemas con lagunas por su baja complejidad son bien evaluados, pero necesitan terrenos planos que no están disponibles en Metapán. Por tal motivo y por las experiencias en nuestro país en cuanto a la utilización de Reactores Anaeróbicos de Flujo Ascendente y filtros percoladores, coincidimos con el Comité para la Construcción de la Planta de Tratamiento para la Ciudad de Metapán que de los cuatro sistemas analizados se inclinen por el primero. Este sistema tiene muchas ventajas, siendo la principal que se adapta al terreno propiedad de la Alcaldía.

5.2.2 Tecnología Apropriada

Es importante tener en cuenta el concepto de la tecnología apropiada, el cual abarca dimensiones técnicas, institucionales, sociales y económicas. Desde el punto de vista técnico e institucional, la selección de tecnologías no apropiadas ha sido identificada como una de las principales causas de fallas en el sistema. El ambiente de las aguas servidas es hostil para el equipo electrónico, eléctrico y mecánico. Su mantenimiento es un proceso constante y requiere de apoyo para repuestos, análisis de laboratorio, técnicos capacitados, asistencia técnica especializada y presupuestos adecuados. En los países desarrollados los sistemas más sencillos son elegidos y diseñados con vista al mantenimiento. En los países en desarrollo, donde es posible que falten algunos componentes para un programa exitoso de mantenimiento, ésta debe ser la primera consideración al elegir tecnologías para las plantas de tratamiento y estaciones de bombeo.



Fotografía 6: Panel de planta de tratamiento de aguas residuales en Tegucigalpa, Honduras. Los altos costos energéticos hacen que solo la pongan a funcionar al 50%.

5.2.3 Descripción de Planta de Tratamiento de Aguas Negras con RAFA + Filtro Percolador

ELEMENTOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

5.2.3.1 ESTACION DE BOMBEO DE AGUAS RESIDUALES

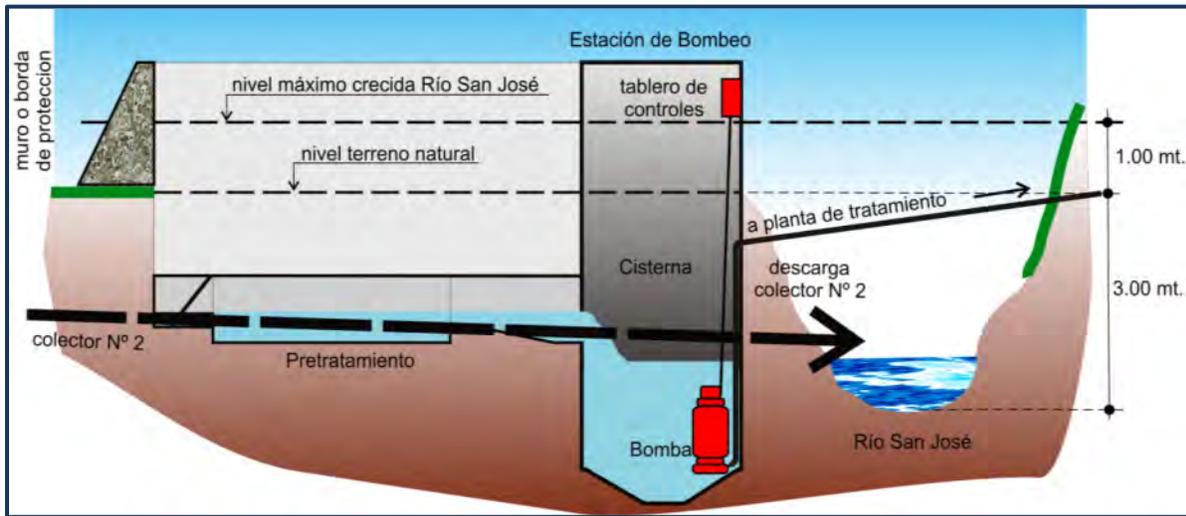
La mejor ubicación para construir la estación elevadora de aguas residuales es en el terreno que está sobre la descarga del colector n° 2, debido a que este colector tiene aproximadamente 2.00 metros de profundidad. Para pasar con la tubería por el río es necesario obras de protección, y en la parte baja del terreno comprado (contiguo al río) se profundizaría mucho. Se debe tener en cuenta que la máxima crecida del río San José pasa a más de un metro arriba del terreno seleccionado para el bombeo. Para el diseño se deben tomar en cuenta muchas variables para que en época de invierno no existan problemas de asolvamiento, inundación o que los equipos de bombeo trabajen al máximo por filtraciones del río a la estación elevadora. Se deberá poner mucha atención a su diseño.

La estación de bombeo debe ser precedida por el pretratamiento para retener objetos de gran tamaño y arenas que puedan afectar el buen funcionamiento de las bombas. Se deberán instalar tres equipos de bombeo: uno

para caudal normal, el segundo entra en caudales máximos y el último en stand-by, para no suspender la operación cuando una de las bombas esté en mantenimiento.

Se deberán utilizar válvulas check y se deberá prever el golpe de ariete. La estación elevadora tendrá un pozo húmedo, utilizando en este caso conjuntos de bombas sumergibles de acoplamiento y operación automática, con barras guías e interruptores-alternadores basculantes de mercurio. El diseño hidráulico del pozo húmedo debe incluir rebose y drenaje.

Figura 10: Esquema de las condiciones de la estación de bombeo de aguas residuales para la planta de tratamiento de la Ciudad de Metapán



El diseño y construcción de la estación elevadora debe presentar condiciones adecuadas de ventilación, iluminación y seguridad ocupacional.

5.2.3.2 TRATAMIENTO PRELIMINAR

El tratamiento preliminar deberá ser construido antes del sistema de bombeo, e incluirá los siguientes elementos:

- a. Rejilla (criba).
- b. Canal desarenador doble con sus dispositivos de control de velocidad de flujo y limpieza.
- c. Aforador Parshall para la medición de caudales.
- d. Trampa de grasas.

En la etapa preparatoria el objetivo principal es la eliminación manual de la mayor cantidad posible de elementos que puedan ser una carga adicional no deseada en la planta debido a sus características de composición no biodegradables. Los elementos más comunes a retener en esta fase son arena, piedras, plásticos, algunos sólidos con diámetros mayores de 2.0 pulgadas y cualquier otro elemento extraño que pueda ser retenido en la criba o en el canal desarenador.



Fotografía 7: Cámara de rejillas en funcionamiento

a. CÁMARA DE REJAS, REJILLA O CRIBA

Es la primera operación unitaria del proceso de tratamiento y consiste en pasar el agua residual a través de rejas para remover el material de mayor tamaño que afectaría los siguientes procesos. Adyacente a la reja y a mayor elevación, se instalará una loseta perforada que funcionará como escurridor; en esta loseta se depositarán temporalmente los objetos rastrillados manualmente de la reja para su deshidratación mediante la acción solar, y posteriormente serán depositados en fosas aldañas para su enterramiento.

b. DESARENADOR

En los colectores de aguas negras siempre hay presencia de objetos extraños, como arena, que pueden interferir negativamente en el funcionamiento de cualquier tipo de planta. En ese sentido es necesaria la construcción de cámaras desarenadoras.

Las partículas de mayor peso específico, llamadas partículas discretas, podrán sedimentar y quedar retenidas en el fondo de las cámaras desarenadoras. Esto es posible diseñando una sección hidráulica que permita la velocidad de sedimentación de las arenas, y de esta forma se reducirá la acumulación de depósitos pesados en las tuberías. Por consiguiente, los requerimientos de limpieza serán menores en el Reactor Anaeróbico de flujo Ascendente, en el filtro percolador y en el sedimentador secundario.



Fotografía 8



Fotografía 9

Pre-tratamiento: el de la izquierda (Ilopingo) es mecanizado y el de la derecha (Santa Ana) el mantenimiento se hace manualmente por el operador.

c. MEDIDOR DE CAUDALES TIPO PARSHALL

Se utilizará una canaleta Parshall de $W = 9''$ (22.9 cms.), la cual permite la medición de caudales en rango de 2.55 l/s a 251 l/s, lo cual es aceptable a las fluctuaciones de caudal que se mantendrán en el proceso operativo de la planta de tratamiento. Las dimensiones de la canaleta Parshall son medidas definidas que corresponden al ancho de garganta seleccionado (W). El caudal se obtendrá, midiendo el tirante de agua (H), en el pozo lateral de registro y sustituyéndolo en la ecuación:

$$Q = 0.5038 * H^{\frac{3}{2}}$$

donde : Q = caudal en m^3 / seg.

$$Q = 0.5038 \times H^{3/2}$$

H = tirante de aguas en mts.

d. CÁMARA DE RETENCIÓN DE GRASAS

Su función principal es la de retener grasas que, al igual que las arenas, se encuentran en las aguas residuales e interfieren en el proceso biológico que se efectúa en el reactor anaeróbico y el filtro percolador.

5.2.3.3 TRATAMIENTO PRIMARIO

Posteriormente a la etapa preparatoria, dará inicio la primera etapa de tratamiento biológico, la cual incluye una unidad de tratamiento denominada Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA). Se recomienda la utilización de esta estructura por su gran capacidad de remoción de carga orgánica, la cual puede alcanzar valores de eficiencia en el rango que va desde el 50 hasta el 70%. también cuenta con facilidad de operación bajo condiciones de demandas pico y una gran capacidad de estabilizar algunos elementos tóxicos comunes en las aguas residuales y que pueden ser perjudiciales en la siguiente fase de tratamiento (filtro percolador), protegiendo así su equilibrio biológico.

Esta estructura es un tanque completamente cerrado con tuberías para la expulsión de gases. Las tuberías estarán conectadas a unos ductos de ventilación (ya hay plantas construidas con este tipo de ventilación), con lo cual se elimina en gran medida el problema de olores en el entorno, que son característicos de los procesos anaeróbicos.

5.2.3.4 TRATAMIENTO SECUNDARIO

La segunda etapa del tratamiento tendrá como finalidad la degradación y estabilización de la materia orgánica aun contenida en el efluente proveniente de los reactores, y la clarificación final de éste.

- a. Un filtro biológico o percolador
- b. Un sedimentador secundario tipo Dortmund

a. FILTRO BIOLÓGICO O PERCOLADOR

En el proceso de bio-percolación, el efluente proveniente de los reactores será introducido en la batería de filtros por medio de canaletas rociadoras con el propósito de garantizar una distribución equitativa sobre el material de soporte



Fotografía 10: Medidor de caudales tipo Parshall prefabricados con regla calibrada para medición directa de caudales.



Fotografía 11: Personal de mantenimiento limpiando una trampa de grasas en funcionamiento, Mejicanos, San salvador.



Fotografía 12: Construcción de un Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (losa superior del tanque), Chalatenango

o medio filtrante. Por su composición, forma y textura se recomienda utilizar como medio filtrante escoria volcánica de diámetro entre 7 y 10 centímetros (también se puede utilizar material plástico), entorno al cual se formará una película biológica superficial compuesta por una gran variedad de microorganismos aeróbicos, los cuales absorben y mineralizan las sustancias contenidas en el agua residual.

La película biológica o zooglea está poblada principalmente por organismos unicelulares (ciliados), y multicelulares (rotatorios, nemátodos y larvas de insectos) de cuyas actividades alimenticias depende la eficiencia del filtro percolador. En esta fase se espera completar una eficiencia final en el tratamiento que será mayor del 85%.



Fotografía 13: Filtro percolador en funcionamiento que trabaja por gravedad. En la parte superior se observan las canaletas distribuidoras de caudal que tienen la misma función de un brazo giratorio. No es mecanizado, y su medio filtrante es básicamente escoria volcánica de 10 cms., Ilopango, Depto. de San Salvador.



Fotografía 14: Filtro percolador en funcionamiento, es mecanizado con medio filtrante plástico, Ilopango, Depto. de San Salvador.

b. SEDIMENTADOR SECUNDARIO TIPO DORTMUND

El espesor de la película biológica va aumentando gradualmente durante el proceso de bio-percolación hasta que debido a la carga hidráulica esta se desprende y es acarreada por el efluente, Debido a este proceso, es necesario retener esta zooglea en una estructura de clarificación final para lo cual se construirá un sedimentador secundario tipo Dortmund que servirá como clarificador. La eficiencia final en el tratamiento será mayor del 90%.

5.2.3.5 TRATAMIENTO DE LODOS

El tratamiento de los lodos resultantes para su disposición final se hace almacenando, digiriendo y deshidratando estos. Los elementos de esta etapa son los siguientes:



Fotografía 15: Sedimentador secundario tipo Dortmund, en funcionamiento. Al fondo el digester de lodos y patios de secado, planta de tratamiento del municipio de San Juan Talpa, La Paz.

- a. Un digestor-almacenador de lodos (se puede obviar si hay recirculación del sedimentados al RAFA)
- b. Lechos de secado de lodos

a. DIGESTOR DE LODOS

El digestor de lodos almacenará y espesará los lodos ya digeridos que del RAFA pasan al sedimentador secundario, del cual se tienen que purgar dos veces diarias como mínimo.

b. PATIOS DE SECADO



Fotografía 16: Parte de un Sedimentador secundario mecanizado con barredor de lodos, Tegucigalpa, Honduras.



Fotografía 17: Digestor de Lodos descubierto, donde la capa superior de material sobrenadante le sirve como cubierta, San Juan Talpa, La Paz.

Es común para cualquier tipo de planta de tratamiento. Su función es la deshidratación de los lodos. Para esto, los lodos digeridos se descargan y extienden en patios de fondo permeable; el espesor de capas de lodo en los patios de secado será de 15 a 30 cms. Para agilizar la deshidratación se recomienda que los patios de secado tengan la superficie expuesta al aire y el sol.

Para la deshidratación de lodos en ciudades con poblaciones superiores a los 20,000 habitantes, que es el caso de Metapán, se deben considerar otras alternativas como: los filtros de banda o los filtros de prensa, lo cual aumenta el costo de operación mantenimiento.



Fotografía 18: Tres celdas de patios de secado en fase de construcción, Ateos, La Libertad.



Fotografía 19: Un filtro de banda en Tegucigalpa, Honduras.



Fotografía 20: Un filtro prensa, en San José, Costa Rica.

5.3 DEFINIR POBLACION DE DISEÑO Y LA CONVENIENCIA DE REALIZAR EL PROYECTO EN FASES A LARGO PLAZO

5.3.1 Definir Población de Diseño y Caudales de Aguas Residuales

Para definir la proyección de crecimiento poblacional y el aporte de aguas residuales en la Ciudad de Metapán, se ha tomado como base el estudio “Estimación preliminar de la capacidad de una planta de tratamiento de las aguas residuales descargas al Río San José por la ciudad de Metapán”, del Departamento de Tecnología de Procesos y Ciencias Ambientales de la UCA. También se analizó el Boletín Estadístico 2010 de la Administración de Acueductos y Alcantarillados ANDA y el “VI Censo de Población y V de Vivienda 2007”, de la Dirección General de Estadísticas y Censos. A base de estos estudios se observa en la Tabla 7 que el caudal promedio de aguas residuales estimados para el 2029 alcanza los 5,452 m³/día, por cálculo lo aproximaron a **5,500 m³/d**.

TABLA 5: MUNICIPIOS CON SERVICIOS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DEPTO. SANTA ANA AÑO: 2010 (SOLO SE TOMÓ METAPÁN)

No.	Municipio Abastecido por ANDA	Número de Servicios Urbanos		Cobertura Población Urbana		Nuevos Serv. Urbanos		Consumo Mensual (miles m ³) (CM)	(b) Población Urbana (PU)
		Ac	Alc	Ac	Alc	Ac	Alc		
4	Metapán	6,513	4,521	100.0	87.3	164	42	113.2	20,719

ANDA, Boletín estadístico 2010, Municipios con servicios de acueducto y alcantarillado, Año: 2010, cuadro 23, pág. 26

De la tabla 5, obtenemos el consumo de agua potable por persona: $CP = \left(\frac{CM}{PU}\right) / 30 \text{ días} * 1000$

Donde: CP = Consumo por persona en litros/ persona * día

CM = Consumo mensual

PU = Población urbana con servicio de acueducto

$$CP = [(113,200 \text{ m}^3 / 20,719 \text{ hab.}) / 30 \text{ días}] * 1000$$

$$CP = 182.12 \text{ l/p.d}$$

Hay viviendas con servicio de agua que pagan consumo promedio bajo y otras viviendas con servicio ilegal (robo de agua), haciendo que el consumo mensual facturado por ANDA sea menor al real.

Según las “Normas Técnicas para Abastecimiento de Agua Potable Y Alcantarillados de Aguas Negras” (ANDA, 1998), el consumo de agua potable residencial para vivienda mínima de es 80-125 l/p.d, media de 125-175 l/p.d y alta de 175- 350 l/p.d y en su conjunto el consumo promedio urbano lo cuantifican en 220 l/p.d (incluye toda la infraestructura urbana: restaurantes, mercados, viviendas, entre otras), en la Ciudad la industria y el comercio son menores por lo tanto se puede utilizar un consumo de 200 l/p.d (utilizado también por la UCA), y el aporte de aguas negras con un 80% del consumo de agua potable en 160 l/pd. Esto debe decidirlo al final el diseñador de la planta de tratamiento.

TABLA 6: POBLACIÓN TOTAL POR ÁREA DE RESIDENCIA, SEXO, ÍNDICE DE MASCULINIDAD Y PORCENTAJE URBANO, SEGÚN DEPARTAMENTO Y MUNICIPIO. CENSO 2007 (SOLO SE TOMÓ METAPÁN)

DEPARTAMENTOS Y MUNICIPIOS	POBLACIÓN									IM	% Urbano
	TOTAL			ÁREA							
				URBANA			RURAL				
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres		
08- METAPAN	59,004	27,831	31,173	19,356	8,928	10,428	39,648	18,903	20,745	89.3	32.8

Ministerio de Economía, Dirección General de Estadísticas y Censos, VI Censo de Población y V de Vivienda 2007, pág. 33

Tomando la población urbana de Metapán del VI censo de población del 2007 se determinó el número de habitantes para las proyecciones, con la siguiente ecuación: $P_n = P_o (1+r)^n$

Donde: P_n = Población en el año n

P_o = Población en el base

r = Tasa de crecimiento anual

n = Diferencia entre el año N y el año base

Para el año 2010 se tiene: P₂₀₁₀ = 19356 x (1+0.258)²⁰¹⁰⁻²⁰⁰⁷

$$P_{2010} = 20,893 \text{ habitantes.}$$

TABLA 7: ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CIUDAD DE METAPÁN ENTRE LOS AÑOS 2010 Y 2029, UTILIZANDO DATOS DE LA UCA, DEL VI CENSO NACIONAL DE POBLACIÓN 2007 Y EL BOLETÍN ESTADÍSTICO 2010 DE ANDA.

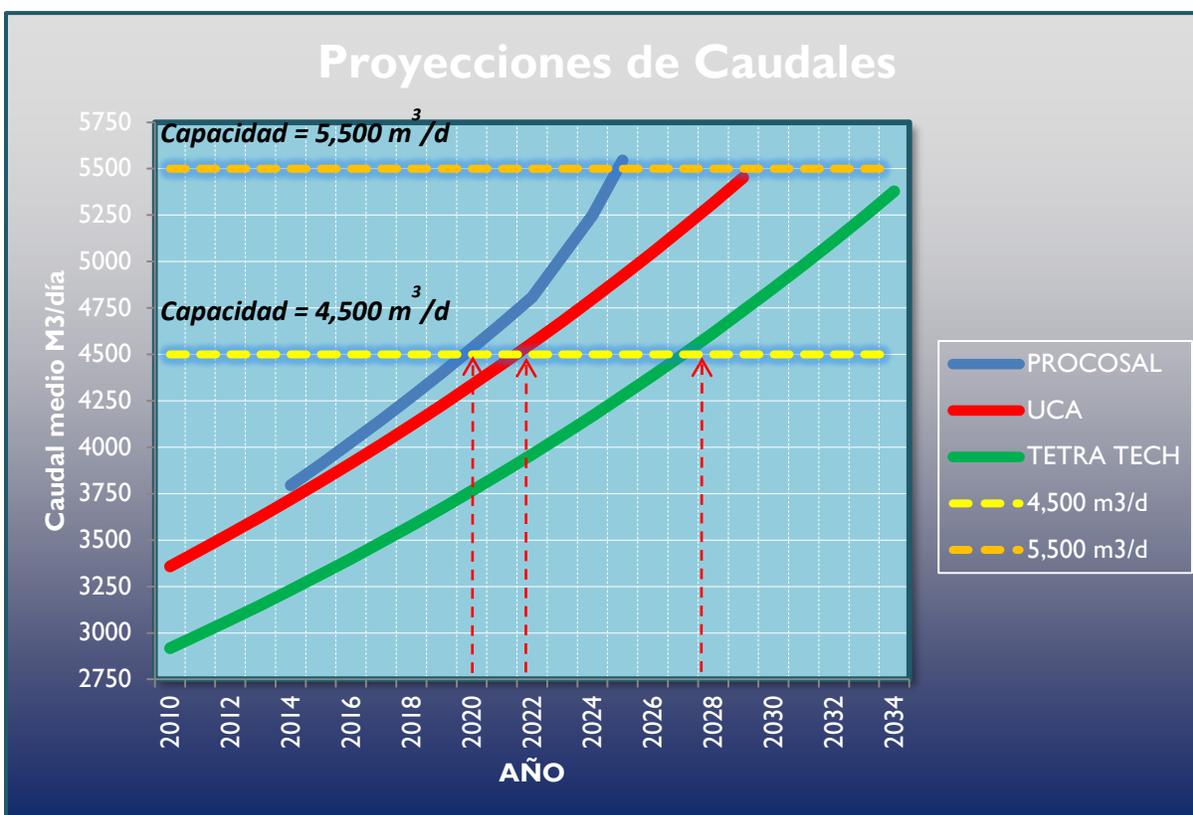
Calculo de Pob. Urb. de Metapán Y cobertura de AN con censo de pob. 1992 (Tasa Crec. Anual = 3.0 %) (PROCOSAL)			Calculo de Pob. Urb. de Metapán Y cobertura de AN con censo de pob. 2004 (Tasa Crec. Anual = 2.58 %) (UCA)			Calculo proyecciones de Pob. urbana, cobertura AP y AN, N° de Serv. De AN de la Cdad. de Metapán con VI Censo de pob. 2007 (Tasa de crecimiento anual = 2.58 %,) (TETRA TECH)				
Año	Poblac. (Hab.)	AN (m ³ /d) con 150 lp/d	Año	Poblac. (Hab.)	AN (m ³ /d) con 158.7 lp/d	Año	Pob. con serv. A.P (100%)	Pob. con serv. A.N (87.3%) (ANDA)	Viv. con serv. de AN	AN (m ³ /d) con 160 lp/d
2010	27,823		2010	21,163	3359	2010	20,893	18,240	4,559	2,918
2011	28,657		2011	21,710	3445	2011	21,432	18,710	4,677	2,994
2012	29,517		2012	22,270	3534	2012	21,985	19,193	4,797	3,071
2013	30,402		2013	22,845	3626	2013	22,552	19,688	4,921	3,150
2014	31,315	3,795	2014	23,435	3719	2014	23,134	20,196	5,048	3,231
2015	32,254	3,909	2015	24,041	3815	2015	23,731	20,717	5,178	3,315
2016	33,222	4,026	2016	24,661	3914	2016	24,343	21,252	5,312	3,400
2017	34,218	4,147	2017	25,298	4015	2017	24,971	21,800	5,449	3,488
2018	35,245	4,271	2018	25,952	4119	2018	25,616	22,362	5,589	3,578
2019	36,302	4,400	2019	26,622	4225	2019	26,277	22,939	5,734	3,670
2020	37,391	4,532	2020	27,309	4334	2020	26,954	23,531	5,882	3,765
2021	38,513	4,668	2021	28,014	4446	2021	27,650	24,138	6,033	3,862
2022	39,668	4,808	2022	28,738	4561	2022	28,363	24,761	6,189	3,962
2023	40,858	4,952	2023	29,480	4678	2023	29,095	25,400	6,349	4,064
2024	42,084	5,383	2024	30,241	4799	2024	29,846	26,055	6,512	4,169
2025	43,347	5,545	2025	31,022	4923	2025	30,616	26,728	6,680	4,276
			2026	31,823	5050	2026	31,406	27,417	6,853	4,387
			2027	32,645	5181	2027	32,216	28,124	7,030	4,500
			2028	33,488	5315	2028	33,047	28,850	7,211	4,616
			2029	34,353	5452	2029	33,900	29,594	7,397	4,735
						2030	34,774	30,358	7,588	4,857
						2031	35,671	31,141	7,784	4,983
						2032	36,592	31,945	7,984	5,111
						2033	37,536	32,769	8,190	5,243
						2034	38,504	33,614	8,402	5,378

En la tabla 7, se puede observar lo siguiente:

1. Los datos de población calculados por la UCA y Tetra Tech difieren debido a que en el primero se utilizaron datos de población de 2004 y el segundo del 2007.

2. El aporte de aguas residuales se aumenta en 1.3 l/pd; pasando de 158.7 l/pd a 160 l/pd. Este dato también se puede obtener con la dotación de 200 l/pd y el 80% de aporte de aguas residuales que es 160 l/pd.
3. Para obtener el caudal de aguas residuales en la tabla 5, UCA utilizó el 100% de la población. Según datos de ANDA, Metapán tiene cobertura de alcantarillado sanitario de un 87.3 %, lo que significa que teóricamente la planta de tratamiento de aguas residuales se estaría sobredimensionando. Se sugiere que se analicen datos de Tetra Tech para el diseño final.
4. Se han calculado caudales de aguas residuales hasta el año 2034, porque se estima que la planta de tratamiento se construya en el 2014.
5. ANDA proporcionó el consumo de agua potable en Metapán para marzo 2012, que fue de 114,868 m³/mes, equivalentes a 3,342 m³/ día; Tetra Tech calculó que para el 2012 es de 3,071 m³/día (91.9 % del consumo facilitado por ANDA).

Grafico 2: Comparación de proyecciones de caudales de diseño: PROCOSAL, UCA y Tetra Tech



Debido a que los datos son teóricos, se sugiere que a medida avancen los trabajos de detección y corrección de conexiones cruzadas de aguas lluvias con aguas negras se efectúen aforos de caudales en los dos colectores de descarga de aguas negras para obtener datos de campo y poder compararlos con los obtenidos teóricamente. Existen varios métodos y sistemas de medición de caudales con los que se puede obtener datos in situ tales como: Vertederos en “V”, Venturi, medidores de flujo magnéticos, medidores Parshall calibrados de fabrica, o también utilizando método del perímetro mojado en canal circular (tubo).

5.3.2 Conviene Que el Proyecto se Realice en su Totalidad o en Etapas a Largo Plazo

El caudal de aguas residuales generado por los habitantes de la Ciudad de Metapán en los años proyectados para el diseño es considerablemente grande. Estos caudales están mostrados en la *tabla 7* de este documento. La planta de tratamiento a construir deberá tener la capacidad de depurar el caudal entrante.

El horizonte de diseño de la planta de tratamiento debe ser mínimo para 20 años, tomando en cuenta todas las etapas necesarias hasta llegar a su construcción se espera que esté funcionando a mediados del 2014, por lo tanto el diseño sería hasta el 2034.

Existen dos soluciones para la construcción:

1. Construir la planta de tratamiento con la capacidad total para el año 2034, lo que implica que se tendrá el desembolso de dinero de una vez y la planta de tratamiento se construiría con capacidad extra de aproximadamente 1,350 m³/día con respecto a los primeros 10 años de funcionamiento.

En la estación de bombeo no se recomienda que se construya la cisterna en etapas, ya que para cada una se necesitan 3 equipos electromecánicos. Por tal motivo se recomienda construirla para la capacidad final y los equipos a los 10 años se cambian y se aumentan de potencia.

2. Construir la planta de tratamiento en fases o etapas, diseñándose en varios módulos de igual capacidad los cuales se construirían según las necesidades hasta finalizar en el año 2034.

TABLA 8: ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE AN PARA LA CIUDAD DE METAPÁN, CADA CINCO AÑOS ENTRE EL 2014 Y 2034

Calculo de Población urbana de Metapán y proyección de caudales de aguas residuales Utilizando datos VI Censo de población 2007 (Tasa de crecimiento anual = 2.58 %) (Tetra Tech)

Año	Pob. Hab. con serv. AP (100%)	Pob. Hab. con serv. AN (87.3%) (según ANDA)	Proyección de Viviendas con servicios de AN	Agua residual (m ³ /d) utilizando 160 l/pd	Agua residual (m ³ /hora) utilizando 160 l/pd	Número de Módulos de 1,350 m ³ /d o 8,438 hab.
2014	23,134	20,196	5,048	3,231	134.63	
2019	26,277	22,939	5,734	3,670	152.92	2.7 (3)
2024	29,846	26,055	6,512	4,169	173.71	3.1 (3)
2026	31,406	27,417	6,853	4,387	182.79	3.3(4)
2029	33,900	29,594	7,397	4,735	192.29	3.5 (4)
2034	38,504	33,614	8,402	5,378	224.08	4.0 (4)

3. Analizando la tabla 8, y tomando como base módulos de 1,350 m³/día, observamos que para el 2019 y 2024 (5 y 10 años), el número de módulos a construir son tres, y para el 2029 y 2034 (15 y 20 años), son cuatro. Se podría trabajar en dos etapas: construir primero los tres módulos para los primeros diez años (2024) y a los doce años, en el 2026, construir el cuarto. Si consideramos todo lo anterior y de los ejemplos de plantas ya construidas (hace más de 30 años), la infraestructura de concreto se mantiene bien, como de la “Planta Chilama” (ANDA), en el Puerto de La Libertad. Al construirse por etapas, prácticamente al inicio se pueden hacer tres módulos, y para el 2026 se hará un cuarto. Esto reduciría la inversión inicial en \$239,629.69. Al construir por módulos se tiene ventajas con respecto a hacer una sola. Si falla un modulo, en lo que se repara pueden seguir funcionando los otros. Esto dependerá de la disponibilidad financiera y el diseño propuesto.

5.4 DETERMINAR EL PUNTO DE DISPOSICIÓN FINAL DEL EFLUENTE Y LODOS TRATADOS

5.4.1 Determinar el Punto de Disposición Final del Efluente

Para poder descargar el agua tratada a un cuerpo receptor o utilizarla en la agricultura esta debe estar en los rangos establecidos en la norma NSO 13.49.01.09 de CONACYT, la cual se detalla en la siguiente tabla:

TABLA 9: CALIDAD DE AFLUENTE (AGUAS NEGRAS SIN TRATAR), CALIDAD DEL EFLUENTE (AGUA TRATADA) Y % DE REMOCIÓN			
PARÁMETRO	DBO₅	DQO	SST
• Calidad de afluente (aguas negras), mg/l	300	540	300
• Normatividad efluente, mg/l *	60	150	60
• % remoción requerido	80	72	80

**Norma NSO 13.49.01:09, CONACYT.*

Las dos alternativas para la disposición final del efluente del agua tratada pueden ser:

1. Descarga a Río San José y de este a la Laguna de Metapán.
2. Utilizarla para riego agrícola. El volumen se limita a 4,500 m³/día, que representa una aplicación diaria de 5 mm de agua a 127 manzanas de terreno, pero la inversión en bombeo y tubería para llevar el efluente a los agricultores puede ser muy alta.

La opción de riego agrícola debe considerarse por separado como un proyecto independiente cuyo principal criterio sea la sostenibilidad financiera. Los elementos necesarios para tomar esa decisión son la distancia de la planta al terreno, diferencia de elevación con respecto a la planta, cantidad de agua requerida total e instantánea, requerimientos de servidumbre de paso para la tubería, y todos los aspectos contractuales para asegurar el financiamiento del proyecto, como sería el requerimiento de que se pague por el agua, úsese o no.

El agua tratada puede ser utilizada en cultivos de pastizales, arboles frutales, y plantas de ornato. El uso para plantas comestibles que pudiesen entrar en contacto con el agua se restringe por el potencial de contaminación con coliformes u otros patógenos.

Se recomienda que inicialmente sea descargada al Río San José, y que la posibilidad de reúso se desarrolle con personas interesadas que no tengan agua para cultivar en el verano, que puedan costear los gastos de instalación del equipo y la tubería, y que puedan utilizarla (dependiendo el tipo de cultivo).

5.4.2 Determinar el Punto de Disposición Final de Lodos Tratados

La disposición final de los lodos depende del uso que se les quiera dar, el cual puede ser en dos etapas: en la fase líquida y en la sólida.

5.4.2.1 FASE LIQUIDA

- a. Riego en zonas de producción de pasto para ganado. Esta alternativa requiere la construcción de un sistema de riego de lodos de desecho que se pueda rotar en las áreas designadas. El uso es muy intensivo en la incorporación de nutrientes y metales al suelo natural y se debe monitorear para no exceder las tasas agronómicas deseables. Al igual que la alternativa de uso de efluente como suplemento estacional de riego, el uso de lodos para riego debe considerarse como un proyecto independiente de la construcción de la planta de tratamiento, ya que primero se deben reunir las condiciones de sostenibilidad financiera necesarias (cliente interesado y dispuesto a financiar el proyecto y pagar los costos operativos). Cabe mencionar que la planta debe tener un método alternativo de disposición de lodos, ya que en época de

invierno habría muy baja demanda de lodos y el problema de su disposición se regresaría a la Alcaldía.

5.4.2.2 FASE SÓLIDA

- Almacenamiento temporal in-situ para reparto a interesados. Los lodos deshidratados tienen propiedades de mejora de suelos ya que tienden a mejorar su porosidad e incorporan nutrientes en limitada cantidad. ANDA tiene experiencia positiva el país: en San Juan Talpa y San José Villanueva ya existe la distribución de lodos a interesados, quienes van a la planta con sus propios medios y se lo llevan. La alternativa es de bajo costo y de beneficio social.
- Traslado a relleno sanitario. Si la distribución a privados no es suficiente para disponer de los lodos en su totalidad, la Alcaldía deberá trasladarlos a algún relleno sanitario. La construcción de un relleno en Santa Ana minimizará los costos de transporte aunque se deberá pagar la tarifa de disposición por tonelada.
- Creación de relleno para lodos in-situ. Esta alternativa es complicada en el sentido ambiental. Un relleno sanitario específicamente destinado a disposición de lodos requiere un diseño específico con geomembranas y extracción de lixiviados. Para la escala de este proyecto, el relleno in situ sería prohibitivo.
- Composteo. Esta es una alternativa muy deseable donde no se pueden simplemente distribuir los lodos deshidratados. El mezclar los lodos con material de enmienda (material carbonaceo como ramas o desechos agrícolas) produce un compuesto inerte de excelentes propiedades para la mejora de suelos. Para hacer composta se necesita una fuente de material de enmienda, área de mezcla y maduración, y equipo para mover grandes volúmenes de material. Esto obviamente tiene un costo superior a la disposición de lodos deshidratados solos, y se haría solo si aquella alternativa no se pudiera implementar.

Se recomienda que primariamente una parte mezclada con tierra sea utilizada para abonar zonas verdes, y otra almacenarla en la planta para se lo lleven y pueda ser utilizado en agricultura, como es San Juan Talpa (dependiendo el tipo de cultivo). Si el lodo es mucho, para el exceso se deberá considerar las alternativas b y d.

Según el “Estudio de valorización de lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas”, del Municipio de Las Palmas, España; **una persona produce entre 15-20 Kg. de lodo seco por año;** tomando de base que una tonelada métrica es igual a un metro cubico de agua o 1,000 Kg, a la derecha en la tabla 10 se puede observar la cantidad teórica de lodos que producirá anual y mensualmente la planta de tratamiento.

TABLA 10: ESTIMACIÓN DE PRODUCCIÓN DE LODOS PLANTA DE TRATAMIENTO				
ESTIMACION DE PRODUCCION DE LODOS EN M ³ (Con 17.5 Kg/hab.* año o 1.46 m ³ /1000*mes)				
AÑO	POBLAC.	Producción Lodos/año	Producción Lodos/mes	Desalajo mes camión 6.0 m ³
2014	20,196	353.43	29.5	5 camionadas
2018	22,362	391.34	32.6	6 camionadas
2022	24,761	433.32	36.1	6 camionadas
2026	27,417	479.80	40.0	7 camionadas
2030	30,358	531.27	44.3	7 camionadas
2034	33,614	588.25	49.0	8 camionadas

5.4.3 Experiencia Local en Disposición Final de Lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas

Las plantas de tratamiento de las ciudades de San José Villanueva y San Pablo Tacachico en el Departamento de La Libertad y San Juan Talpa en La Paz, iniciaron funcionamiento en mayo de 1997. Las tres fueron diseñadas y construidas para 6,000 habitantes y solo la última no tiene estación de bombeo. Fueron financiadas por KFW y el Gobierno de El Salvador.

Las experiencias en estas plantas han sido grandes, desde el proceso de tratamiento hasta el de digestión, secado y disposición final de los lodos. En nuestro país, por las altas temperaturas, se utiliza digestión anaeróbica. Inicialmente la mezcla de líquidos y sólidos en este digestor tarda unos sesenta días para estabilizarse o digerirse y ser retirados por primera vez a los patios de secado, luego. Esta operación se realiza generalmente cada quince días, que es en verano el tiempo máximo para deshidratarse.

Con la disposición final de los lodos no se ha tenido problema, ya que la producción de estos es muy baja y **se necesitan como máximo 30.00 m² de patios de secado por cada 1,000 habitantes (normalmente con un espesor de lodos secos de 5.0 cms. Tendremos 1.50 m³/1,000 hab.*mes).** En las tres plantas de tratamiento se construyeron dos patios de secado (tres en San José Villanueva) y uno más pequeño para almacenamiento. En el caso de San Juan Talpa, el lodo ya seco se utiliza para abonar las zonas verdes de la planta y para una cancha de fútbol que está contiguo. En San José Villanueva los vecinos se lo llevan por las noches cuando no está el operador de la planta, y lo ocupan para abonar diferentes plantaciones. Por tal motivo en las plantas de tratamiento no hay acumulación de lodos.

Es de mencionar que estas ciudades son pequeñas (San Juan Talpa y San Pablo Tacachico la población es mas o menos de 6,000 habitantes) y no hay industria formal.

Fotografía 21: Patios de secado de lodos digeridos en San Juan Talpa, se observan dos patios y al fondo a la derecha el depósito para almacenarlos cuando ya están secos



5.5 RECUPERACIÓN DE COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

5.5.1 Desarrollo de Presupuesto Operativo

Los costos de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento se pueden clasificar en costos fijos y costos variables, siendo los fijos aquellos que se incurren independientemente del caudal tratado en planta, y los variables los que dependen exclusivamente del caudal tratado. Típicamente, los costos fijos incluyen

todos los costos administrativos como salarios, prestaciones, contratos a terceros, y amortización de costos de capital.

Los costos variables incluyen por lo general la electricidad y los químicos de proceso, aunque ciertas reparaciones tales como reemplazo de impulsores de bomba se podrían catalogar como variables, dado que el desgaste es proporcional al uso. Sin embargo, para simplificar la preparación de presupuestos de mantenimiento conviene considerarlos como fijos.

Los costos presentados en esta sección se calcularon para un caudal estimado de 4,500 m³/d, correspondientes a la población del año 2024 según las proyecciones de Tetra Tech. Los costos se expresan en dólares al 2012, y para preparar presupuestos operativos año con año deberán escalarse estos costos con los factores de ajuste pertinentes. En la tabla 11 se enlistan los costos operativos mensuales. Si se utilizan los valores y suposiciones de esta sección, el presupuesto de los años iniciales en los que el caudal tratado sería menor puede calcularse con la siguiente ecuación:

Presupuesto operativo: \$3,788 + \$1.00 por cada m³/d de caudal diario esperado + reserva deseada

TABLA 11: PROYECCIÓN DE LOS COSTOS DE 2014, AÑO EN QUE SE TERMINA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA, AL 2027, EN EL QUE LA DEMANDA ALCANZA LA CAPACIDAD INSTALADA					
EVOLUCIÓN DE LOS COSTOS EN EL PERÍODO DE 2014 AL 2027					
AÑO	CAUDAL m³/día	COSTO FIJO \$/mes	COSTOS MENSUALES, \$/mes		
			COSTO VARIABLE	RESERVA	COSTO MENSUAL
2014	3,231	3,788	3,231	702	7,721
2015	3,315	3,788	3,315	710	7,813
2016	3,400	3,788	3,400	719	7,907
2017	3,488	3,788	3,488	728	8,004
2018	3,578	3,788	3,578	737	8,103
2019	3,670	3,788	3,670	746	8,204
2020	3,765	3,788	3,765	755	8,308
2021	3,862	3,788	3,862	765	8,415
2022	3,962	3,788	3,962	775	8,525
2023	4,064	3,788	4,064	785	8,637
2024	4,169	3,788	4,169	796	8,753
2025	4,276	3,788	4,276	806	8,870
2026	4,387	3,788	4,387	818	8,993
2027	4,500	3,788	4,500	829	9,117

El cálculo de los costos se hizo a partir de las siguientes suposiciones: cuatro empleados de tiempo completo con un salario mensual promedio de \$480 por persona y prestaciones del 40% de los salarios y pago de \$10 por hora de mecánicos y electricistas externos locales. El costo de refacciones presupone que el costo de construcción de la planta de \$1, 800,000 contiene \$270,000 (15% del costo total) de equipo electromecánico, cuyo costo de mantenimiento se estima en el equivalente anual del 2% del costo de construcción (\$5,400/año o \$450/mes). La amortización de un vehículo para uso de los operadores se hace en base a costo inicial de \$15,000 y vida útil de cinco años.

El costo de electricidad se estimó en base al caudal medio de 4,500 m³/d y recirculación en filtro percolador equivalente al 100%, 12 horas al día, y un costo unitario de \$0.16 kWh. Para el cálculo del costo químico se supuso una dosificación de cloro gas de 10 mg/l a un costo de \$0.75/kg. Dados los riesgos de manejo de gases a presión, el cloro se podría dosificar con soluciones de hipoclorito de calcio o sodio, pero el costo químico se incrementaría en más de 300%.

La reserva presupuestaría del 10 % se establece para fortalecer la capacidad de la Alcaldía de enfrentar una tarea de mantenimiento de índole mayor. Durante los primeros años del funcionamiento de planta el

desgaste del equipo es limitado pero acumulativo, y en algún punto requerirá remplazo, con costo que pudiera estar fuera del presupuesto establecido. Como ejemplo se cita la sustitución de algún motor, el cual pudiera estar en el orden de \$10,000. Si las reglas de contabilidad lo permitiesen, la reserva no utilizada podría acumularse por separado para usos infrecuentes como el mencionado.

La estimación de costos del proyecto no incluye el costo del equipamiento para aprovechar el gas generado en la producción de electricidad para uso interno. Asimismo en este presupuesto operativo no se incluye la generación de electricidad. Se evaluarán los beneficios económicos de la disminución de consumo de energía externa contra el costo de operación y mantenimiento, los cuales se vuelven más altos dada la sofisticación del equipo en contraste con la planta en sí.

5.5.2 Mecanismos de Recuperación

El costo de cuidado de la salud y el ambiente a través del uso de una planta de tratamiento de aguas residuales impacta los presupuestos de los responsables de este cuidado. Dependiendo del marco jurídico y los convenios intergubernamentales, este costo podría ser recuperado por varias vías, típicamente impuestos o tarifas de uso.

El uso de impuestos como mecanismo de captura de los fondos de recuperación implica el reflejar el impacto presupuestario sobre los contribuyentes a nivel municipal o nacional. Los impuestos recolectados pueden ser etiquetados para atender las necesidades de la actividad que los requiere, siendo crítico el evitar compartirlos con otras necesidades municipales o nacionales, especialmente porque el incremento de ingresos generados no se habría dado sin este nuevo servicio.

A nivel municipal o nacional, los impuestos tienden a aplicarse a la tenencia de la propiedad, mientras que a nivel federal se pueden aplicar al ingreso, a las transacciones comerciales, o a otra actividad generadora de ingresos. Una desventaja del uso de impuestos es que, a menos que se orienten a un uso específico, el gravamen podría impactar a personas no directamente relacionadas a la actividad, sin embargo se puede argumentar que dentro del marco de salud pública y protección al medio ambiente los beneficios de tratar las aguas servidas alcanza a la población entera y por lo tanto un impuesto general podría ser adecuado. Tal razonamiento se utiliza en otros conceptos gubernamentales donde se dan fondos a proyectos de bien común para la nación, sin importar necesariamente la ubicación geográfica ni el nivel de uso regional.

A pesar de los razonamientos expuestos con anterioridad, se puede explorar la forma de asignar impactos presupuestales a la población directamente beneficiada por el servicio. En muchos países la responsabilidad del saneamiento se da a nivel local en un esquema en el cual las municipalidades son dueñas de la infraestructura y responsables de su mantenimiento, con todas las atribuciones fiscales para recaudar recursos y presupuestarlos de forma independiente. Bajo esta perspectiva el usuario del servicio, no necesariamente el contribuyente de impuestos, es la persona responsable por pagar su parte proporcional de los costos.

A la fecha existe una estructura tarifaria gubernamental para la recuperación de costo de transporte de aguas servidas solamente. ANDA ha establecido una tarifa proporcional al uso de agua potable que varía desde cero (exento) para un consumo menor a 10 m³/mes, hasta \$5.00 para consumos mayores a 500 m³/mes. Por las características poblacionales en Metapán expuestas con anterioridad, en el año de diseño 2027, se espera tener 7,030 viviendas con servicios de ANDA, lo cual resultaría en ingresos de \$6,679 suponiendo que el 50% de la población¹ esté en el rango de menos de 20 m³/d pagando \$0.10 por mes y el otro 50% arriba del nivel con contribución mensual de \$1.80.

¹ En 2009 la Revista Virtual de la Universidad Católica de El Salvador publicó un estudio del Lic. Ovidio Antonio Ágreda Cardona en el cual se discute que el 22% del ingreso nacional del 2002 estaba distribuido en los tres quintiles más bajos de la población mientras que el restante 78% se encontraba en los dos quintiles superiores (78% del ingreso nacional en 40% de la población). Suponiendo que la actividad y localización estratégica de Metapán presente un cuadro diferente, se ha usado un límite de 50% para dividir el consumo mayor o menor a 20 m³/mes.

La tarifa de ANDA no comprende costos de tratamiento y queda como recomendación para estudios subsiguientes el analizar los costos reales de ANDA en su gestión en Metapán para determinar si parte de estos fondos se podrían canalizar a los costos de tratamiento de aguas servidas.

Si se quisiera recuperar la tarifa de tratamiento completamente de los usuarios de Metapán, el costo mensual por abonado en el año 2027 sería de \$1.30. Sin embargo, en los primeros años el impacto sería mayor, como se refiere a continuación en Tabla 12.

TABLA 12: PROYECCIÓN DE COSTOS MENSUALES DE TRATAMIENTO POR VIVIENDA EN EL PERÍODO DE 2014 AL 2027				
PROYECCION COSTOS MENSUAL DE TRATAMIENTO POR VIVIENDA EN EL PERÍODO DE 2014 AL 2027				
AÑO	ALCANTARILLADO		TRATAMIENTO	
	Número Abonados	Recaudación Estimada (1) \$/mes	Costo Mensual \$/mes	Costo por Abonado (2) \$/mes
2014	5,048	4,796	7,721	1.53
2015	5,178	4,919	7,813	1.51
2016	5,312	5,046	7,907	1.49
2017	5,449	5,177	8,004	1.47
2018	5,589	5,310	8,103	1.45
2019	5,734	5,447	8,204	1.43
2020	5,882	5,588	8,308	1.41
2021	6,033	5,731	8,415	1.39
2022	6,189	5,880	8,525	1.38
2023	6,349	6,032	8,637	1.36
2024	6,512	6,186	8,753	1.34
2025	6,680	6,346	8,870	1.33
2026	6,853	6,510	8,993	1.31
2027	7,030	6,679	9,117	1.30

Notas: (1) Suponiendo: el 50% de los abonados consumen menos de 20 m³/d con una contribución de \$0.10 por mes.
(2) Supone una distribución homogénea sobre el número de abonados.

La discusión de recaudación estimada contra gastos de operación tiene como objetivo plantear las condiciones para el análisis de impactos al usuario si los fondos de ANDA no se pudieran usar parcialmente en la planta, y no como recomendación de que así se haga. La determinación de hacerlo o no descansa en la propias autoridades. Como forma de analizar el impacto a los usuarios se pueden considerar dos escenarios: uno en el que se determina el aumento de tarifas como porcentaje del costo de agua potable y alcantarillado por sí mismo, y otro en el que se considera el impacto del aumento en función del ingreso medio familiar.

En el primer caso, un aumento de \$1.53 por mes a la tarifa ANDA para una familia con un consumo de 20 m³/d, representaría un incremento de 34% sobre la tarifa de agua y alcantarillado vigente de \$4.49 (\$2.29 mínimo + \$0.21 por m³ adicional + \$0.10 por alcantarillado). Para una familia que consuma 30 m³/mes, el incremento sería de 14.6% sobre su tarifa normal de \$10.47 (\$2.29 + 20*0.319 + 1.80). Cuando un incremento en tarifas o impuestos afecta inversamente a la población de bajos consumo y a la de alto consumo como en este caso, se dice que el impacto es regresivo y la distribución de este debe ser corregida para reflejar una contribución más equitativa. El análisis tarifario está fuera del alcance de este estudio.

Aun cuando el incremento es alto se tiene que tomar en cuenta que se estaría cobrando por un servicio adicional. Un elemento imprescindible en la implementación de los costos de recuperación es el de la educación pública. El reto es el concientizar a la población de los beneficios de salud esperados para que el impacto económico del tratamiento de aguas servidas sea entendido y aceptado. Se deberán utilizar todos los medios al alcance del gobierno para lograr que el pueblo comprenda que el compromiso del saneamiento ambiental debe incluirlo a él.

5.6 DETERMINAR LA CAPACIDAD DE SOSTENIBILIDAD DE LA MUNICIPALIDAD PARA EL FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO A LARGO PLAZO

La operación sustentable de una planta de tratamiento depende de varios factores fundamentales:

1. Finanzas municipales saludables (presupuestos operativos adecuados)
2. Apoyo técnico y financiero de ANDA
3. Personal capacitado
4. Protección del sistema de alcantarillado
5. Capacidad del municipio para operar el sistema

5.6.1 Finanzas Municipales

El presupuesto operativo de la planta debe ser suficiente para mantener una fuerza de trabajo motivada y capacitada, aplicar la cantidad de energía requerida al proceso y llevar a cabo el monitoreo, las reparaciones y mejoras a tiempo y de forma cualitativa. La operación de un proceso biológico depende del proveer a los microorganismos el ambiente y condiciones ideales para su máxima eficiencia; esto implica el mantener la planta en equilibrio biológico cuyo manejo ideal se manifiesta a través protocolos operativos como mantener recirculaciones y la extracción de lodos del sistema en intervalos regulares. Muchas plantas fracasan porque los recursos para manejar el flujo de sólidos no son suficientes. Hay costos de manejo y disposición de lodos que son inevitables y que no se deben diferir. El presupuesto de operaciones debe cubrir los requerimientos de la planta en su totalidad.

El proyecto de Metapán dependerá, al igual que todo proyecto, de la voluntad política para asignar recursos, sean estos federales o Municipales. En cuestión de finanzas no hay factor que sustituya el entusiasmo y convicción de las autoridades manifestado a través de las partidas presupuestales para operación y mantenimiento.

Uno de los factores críticos para un programa de abatimiento de contaminación es la continuidad filosófica de las administraciones municipales. Un cambio de poder que resulte en administradores no comprometidos al saneamiento ambiental puede traer como consecuencia el desinterés y subsecuente abandono de las instalaciones ¿Cómo puede Metapán asegurar que habrá compromiso político a futuro? Una motivación grande podría ser el lograr que una laguna sana se convierta en foco de atracción turística o de inversión en desarrollos campestres. La belleza del lugar puede venderse mejor si al mismo tiempo se crea un aura de respeto ambiental que atraiga visitantes. El tema, por supuesto, esta fuera del alcance de este estudio.

5.6.2 Apoyo Técnico y Financiero de ANDA

ANDA tiene amplia experiencia en operación de sistemas similares y constituirá un apoyo invaluable para la Alcaldía. De las plantas que se han construido en el pasado, por lo menos seis de ellas se ha construido con ayuda internacional. Las plantas son: San Juan Talpa, San Pablo Tacachico y San José Villanueva con fondos de ANDA y KFW; Suchitoto financiada por USAID, FISDL y la Alcaldía; Juayua, con fondos de ANDA y FODEC; Nejapa y San José Las Flores, con fondos suizos (COSUDE).

Las experiencias de las plantas citadas no son iguales, ya que algunas plantas no operan eficientemente. Se recomienda seleccionar una o dos plantas exitosas y una de bajo rendimiento como ejemplos a estudiar a fin de derivar lecciones que se puedan aplicar al proyecto Metapán. En cuestión de apoyo financiero, toda ayuda

de ANDA disminuirá el gravamen local. La ayuda puede ser en forma de recursos, asistencia técnica, monitoreo y apoyo de laboratorios, y capacitación.

5.6.3 Personal Capacitado

El proceso de tratamiento seleccionado no es difícil de operar pero requiere que los operadores de planta estén capacitados y tengan la oportunidad de mantener sus conocimientos al día. El operador también debe tener acceso a recursos técnicos externos que le puedan asistir si se enfrenta a alguna situación de operación o mantenimiento que no pueda resolver. Desde el ingeniero a cargo de la supervisión de la planta hasta el personal de operación y mantenimiento, todos deben estar debidamente capacitados.

Los recursos técnicos no son siempre parte de la nómina municipal, en muchas ocasiones es posible conseguir personal capacitado externo bajo un contrato de servicios para atender situaciones específicas de operación, capacitación y mantenimiento. En Metapán, fuerza de trabajo capacitada que se ha desarrollado para dar servicio a Holcim es parte fundamental de la sostenibilidad de este proyecto. Esta fuerza laboral no es parte de la nómina de trabajo de Holcim, sino que son un grupo importante de pequeños propietarios que han desarrollado las habilidades mecánicas, eléctricas, o de instrumentación y control para apoyar a Holcim, constituyéndose en un gran recurso para satisfacer las necesidades de mantenimiento de la planta de tratamiento.

5.6.4 Protección del Sistema de Alcantarillado

A pesar de que la planta está diseñada para tratar aguas residuales domésticas con cierta variabilidad de calidad, se debe tratar de mantener la integridad del sistema dentro de los rangos esperados. La presencia de escurrimientos pluviales en el sistema de aguas servidas, accidentales o intencionales, se debe evitar. Para que la planta pueda trabajar dentro del rango de diseño el caudal de la planta debe separarse de las aguas pluviales y así mantener el equilibrio biológico dentro de las condiciones de diseño. Esto se aplica a cualquier proceso biológico.

Otra acción necesaria es la del pre-tratamiento de afluentes comerciales, institucionales e industriales que pudieran afectar el sistema. Ácidos, metales, y otras sustancias inhibitorias del proceso biológico deben ser capturados por las entidades generadoras, así como las grasas en exceso ya que pueden causar bloqueos del sistema de alcantarillado y las estaciones de bombeo.

5.6.5 Capacidad del Municipio para Operar el Sistema

La experiencia municipal en tratamiento de aguas servidas se deberá desarrollar con el personal actual o contratado para el proyecto, ya que el municipio no es responsable del sistema de alcantarillado y no hay instalaciones similares a la que se propone. Los ingenieros del municipio han demostrado capacidad y voluntad para sacar adelante el proyecto y es de esperarse que su gestión en el proyecto sea benéfica, sobre todo si se les da una capacitación previa y se les permite visitar proyectos de similar complejidad y magnitud. Si no existe personal para el proyecto que llene un mínimo de requisitos de experiencia con equipo mecánico, se deberá seleccionar una plantilla de trabajo cuya actitud y deseos de aprendizaje sean adecuados para este tipo de trabajo.

Según lo expresado por el Alcalde actual del Municipio de Metapán, Señor Juan Umaña Samayoa, la comuna tiene capacidad financiera para poder asumir los costos de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales a construir sin necesidad de incrementar tasas municipales. Es de mencionar que según un representante de la Empresa Cementera Holcim, esta entrega en concepto de impuestos a la alcaldía cerca de cuatro millones de dólares anuales (\$ 4, 000, 000). Por lo tanto somos de la opinión que el costo de la operación y mantenimiento está garantizado sin necesidad de subir los impuestos municipales. Por

otra parte, el Señor Alcalde mencionó que ellos se harán cargo de la planta de tratamiento, Holcim daría cierta colaboración técnica y que ANDA brindará ayuda en lo referente a análisis de laboratorio.

5.7 IDENTIFICAR INFORMACIÓN NECESARIA PARA EL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y/O DISEÑO FINAL, EN CASO DE ENCONTRARSE ALTERNATIVAS

5.7.1 Diseño Preliminar

El Estudio de Pre-Factibilidad encontró que el proyecto formulado por la Alcaldía es factible y puede pasar a la siguiente etapa; factibilidad también conocida como diseño preliminar. En esta fase se requiere desarrollar los conceptos del proyecto en suficiente detalle para entender las diversas opciones de diseño a seguir. Por ejemplo, hay dos opciones para la ubicación de la estación de bombeo y pre-tratamiento, una en el terreno comprado y la otra en el terreno opuesto pero las dos zonas son de inundación. Las opciones van a ser substancialmente diferente y las ventajas y desventajas deben regir al diseñador. Si la decisión de diseño es de usar el terreno en el margen opuesto, se deberá notificar a la Alcaldía de inmediato acerca de la necesidad de adquirir el terreno para la estación de pre-tratamiento y bombeo.

Dos de los criterios de diseño más importantes que se deben aclarar en esta etapa son el aforo y caracterización de afluentes. Ambos criterios son críticos en el dimensionamiento de los procesos y no se deben substituir con suposiciones. El proceso de aforo aparenta ser fácil en la descarga 1 ya que la estructura está intacta, pero para la descarga 2 puede ser más complicado, por lo que se recomienda se prepare un plan de trabajo y se alerte al municipio si se requerirán materiales y equipo para reconstruir parcialmente la descarga. Es obvio que la influencia de las aguas lluvia estará presente en los meses de invierno y afectará la caracterización de la calidad de agua y los aforos.

La fase de diseño preliminar requiere un conocimiento preciso de la topografía del sitio escogido para considerar las diversas posibilidades de distribución de unidades de proceso y estimar la carga hidráulica de la estación de bombeo de afluente. Con la topografía y mecánica de suelos se pueden aproximar los muros de retención que evitan los deslizamientos del terreno en la planta.

Se deberán presentar alternativas de diseño modular y recomendaciones de que unidades de proceso deben construirse para la capacidad total de la planta y cuales se pueden modular. También se estudiarán las ventajas y desventajas de las configuraciones de filtros percoladores para tomar una decisión adecuada al proyecto. El costo del proyecto se debe calcular de nuevo, esta vez en mucho mayor detalle, toda vez que las decisiones de diseño hoy indefinidas serán evidentes al término de esta fase.

El formulario ambiental se debe llevar al MARN acompañado de un diseño conceptual que permita a los evaluadores entender la intención del proyecto y del diseño. Este diseño conceptual se preparará en la fase de diseño preliminar. La agencia responsable de proveer el servicio eléctrico debe ser notificada en cuanto el orden de magnitud de la demanda eléctrica de la planta sea determinada. Este puede ser uno de los factores que pudieran alterar los presupuestos o retrasar la construcción.

5.7.2 Diseño Final

Una vez que el estudio de impacto ambiental arroje información firme sobre la posibilidad de que el terreno se pueda usar sin mayor problema, el diseño final se puede iniciar. Sin embargo, si el análisis inicial sugiere que pudiera haber factores ambientales considerables, se sugiere que el diseño se limite a aquellas actividades carentes de riesgo de re-diseño.

5.8 EVALUAR EL RIESGO DE ATRASO EN EL PROYECTO DE SEPARACIÓN DE AGUAS PLUVIALES Y AGUAS RESIDUALES, EJECUTÁNDOSE POR EL MUNICIPIO DE METAPÁN Y ANDA, Y POSIBLES IMPACTOS AL PROYECTO DE LA PLANTA

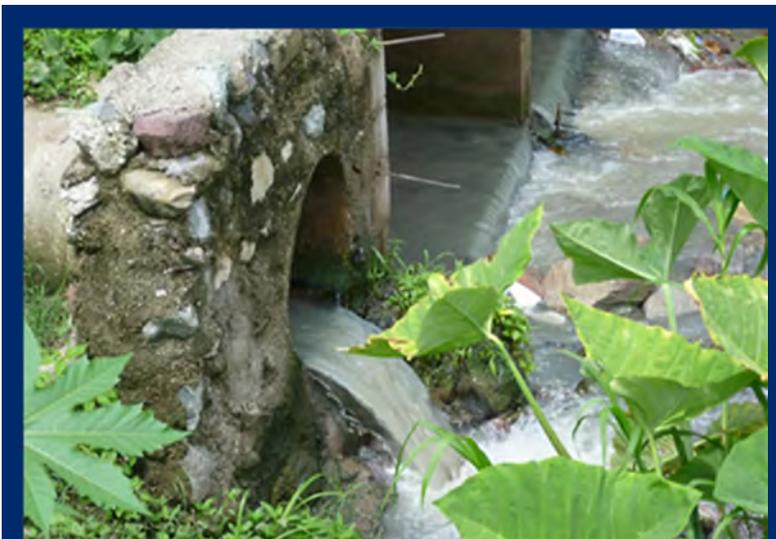
5.8.1 Proyecto de Separación de Aguas Pluviales y Aguas Residuales Ejecutándose por Iniciativa de la Alcaldía Municipal de Metapán

La Ciudad de Metapán cuenta con una cobertura del 87.3 % de alcantarillado sanitario (boletín estadístico 2010 de ANDA) y se estima que el sistema de aguas lluvias es del 60 %, incluyendo bóvedas y colectores de alcantarillado de aguas lluvias; el resto se evacúa por las calles por medio de escorrentía superficial hacia los ríos y quebradas.

Según lo expresado por técnicos de la Alcaldía de Metapán, para el programa de detección y separación de conexiones de los alcantarillados pluviales y aguas residuales, ya tienen sectorizada toda la ciudad. Ellos iniciaron un proyecto piloto que lo ejecutaron con ayuda del personal de el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, el cual consistió en la selección de un pequeño sector de la ciudad en el que hicieron visitas casa por casa para

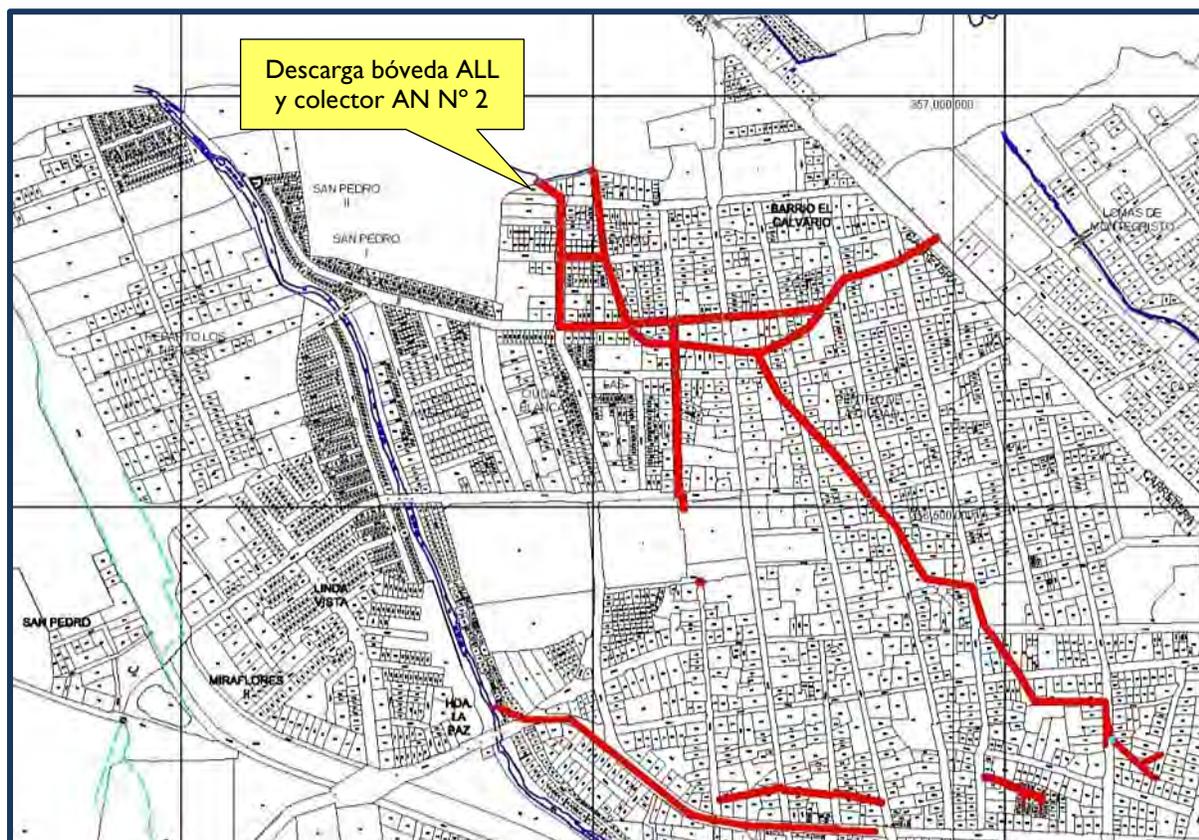
detectar conexiones cruzadas utilizando agua con colorante que descargaron en servicios sanitarios, lavaderos y tragantes de aguas lluvias, observando simultáneamente en la cuneta la descarga superficial de aguas lluvias y en los pozos de visita de aguas negra para constatar si existe conexiones unidas.

Por lo constatado en el lugar, la Municipalidad de Metapán prácticamente ya tiene plasmado el programa y la forma en que lo va a ejecutar. El método utilizado en el plan piloto para la detección de conexiones cruzadas de aguas lluvias con negras es muy utilizado y ha dado buenos resultados en nuestro país. La sectorización que han realizado en planos es muy importante porque pueden trabajar colonia por colonia y poco a poco avanzar en todo la ciudad. Es muy importante para este proceso hacer un plan de difusión escrito y radial a nivel local para que los habitantes tengan conocimiento y dejen entrar a sus viviendas en los lugares donde estarán trabajando. El tendrá que llevar identificación que lo acredite como empleado de la institución involucrada.



Fotografía 22: Mostrando que el líquido en la descarga de la bóveda de aguas lluvias y el colector de descarga de aguas residuales N° 1 de la Ciudad de Metapán, en las dos aguas son residuales domésticas.

Figura 11: Plano zona norte de la Ciudad de Metapán; algunos cuadrantes del plano proporcionado por la municipalidad en el que se observa en color rojo parte del sistema de alcantarillado pluvial



Este proyecto debe iniciarse a corto plazo para finalizarlo antes de la construcción del sistema de tratamiento. Dependiendo de la cantidad de cuadrillas que utilicen, se prevé que podrían llevarse en hacerlo cerca de un año, tiempo en que estarán trabajando en los estudios preliminares, impacto ambiental, el diseño de la planta, obtención de permisos y dinero para la construcción. Es importante la adecuación de aguas de origen industrial y hospitalario (ISSS, hospital Nacional y privado) para ser vertidas al alcantarillado; estos deben construir dispositivos para llegar a características de aguas municipales. Es necesario inicialmente capacitar al personal tanto en la detección y reparación de conexiones y en atención al público con el que tendrán contacto directo ya que estos estarían ingresando a lugares privados.

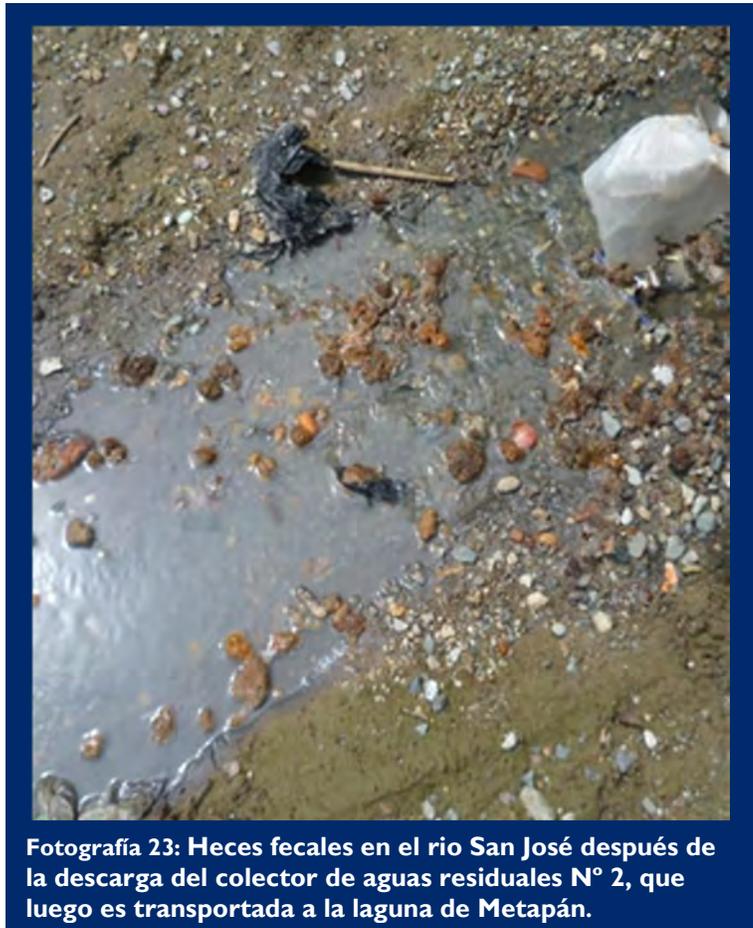
También se recomienda que el programa de detección vaya acompañado por el de corrección de las conexiones (separación).

5.8.2 Evaluación de Riesgo por Atraso en el Proyecto de Separación de Aguas Pluviales y Aguas Residuales Ejecutándose por la Alcaldía de Metapán y el Ministerio de Salud Pública y Posibles Impactos al Proyecto de la Planta

Si al programa de separación de las conexiones cruzadas de aguas lluvias y negras no se le da continuidad, se corre el riesgo que en época de invierno el caudal de aguas lluvias incorporado a la red de alcantarillado incremente sustancialmente la cantidad de aguas residuales diluidas que estaría descargando a la red de alcantarillado sanitario, y en época de verano que parte de las aguas residuales sean conducidas por los colectores de aguas lluvias generando olores desagradables. Al construir el sistema de tratamiento (estación de bombeo y planta de tratamiento), habría que sobredimensionar el proyecto para que este pueda absorber el incremento de caudal.

Se deberá diseñar y construir una estación de bombeo de aguas negras, la cual será sobredimensionada tanto en su volumen de almacenamiento (cisterna), como en la potencia de los equipos de bombeo, aumentando el caudal bombeado y el consumo de energía eléctrica a un costo mayor, o diseñar un bypass para desviar el exceso de aguas causado por las lluvias, con la consiguiente contaminación del río San José y la Laguna de Metapán. Al final, el sistema dejaría de funcionar por la gran cantidad de agua que ingresaría y los equipos de bombeo instalados colapsarían.

5.9 EVALUAR LOS BENEFICIOS DE SALUD, AMBIENTALES Y ECONÓMICOS RESULTANTES DEL PROYECTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



Fotografía 23: Heces fecales en el río San José después de la descarga del colector de aguas residuales N° 2, que luego es transportada a la laguna de Metapán.

En este documento se identifican algunos de los problemas a resolver y que pueden interferir negativamente en la planta de tratamiento, como son: la separación de las aguas lluvias y negras, las descargas de aguas negras existentes que van directamente al río San José, entre otros. La construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales permitirá que la población de Metapán se expanda y desarrolle mejor, beneficiándose en los siguientes aspectos:

5.9.1 Beneficios de Salud

Los beneficios más importantes serán la disminución de las enfermedades gastrointestinales, respiratorias y epidérmicas causadas por la basura, el polvo, los vientos, las aguas contaminadas y los malos olores. Por consiguiente se pueden reducir considerablemente las consultas médicas y las muertes por estas enfermedades que aquejan a la población, mejorando notablemente las condiciones de vida de la población de la ciudad.

5.9.2 Beneficios Ambientales

Reduciendo los niveles de nutrientes y contaminantes, los cuerpos de agua de la zona poco a poco comenzarían a mejorar sustancialmente en su calidad, principalmente el río San José y la Laguna de Metapán, los cuales son afectados directamente por las descargas de aguas residuales del municipio. Por consiguiente se vería favorecida grandemente la biodiversidad de estos ecosistemas.

5.9.3 Beneficios Económicos

En la construcción y el mantenimiento de la planta de tratamiento no habrá beneficios ni recuperación económica, pues según lo expresado por el señor Juan Umaña Samayoa, alcalde actual de Metapán, no se recargará con más impuestos a la población y ellos asumirán los costos del mantenimiento. Los beneficios serán que pueden generarse más y mejores fuentes de trabajo, disminuir los costos de salud pública por reducción de enfermedades estomacales, pulmonares y de la piel, así como el posible aumento del ecoturismo.

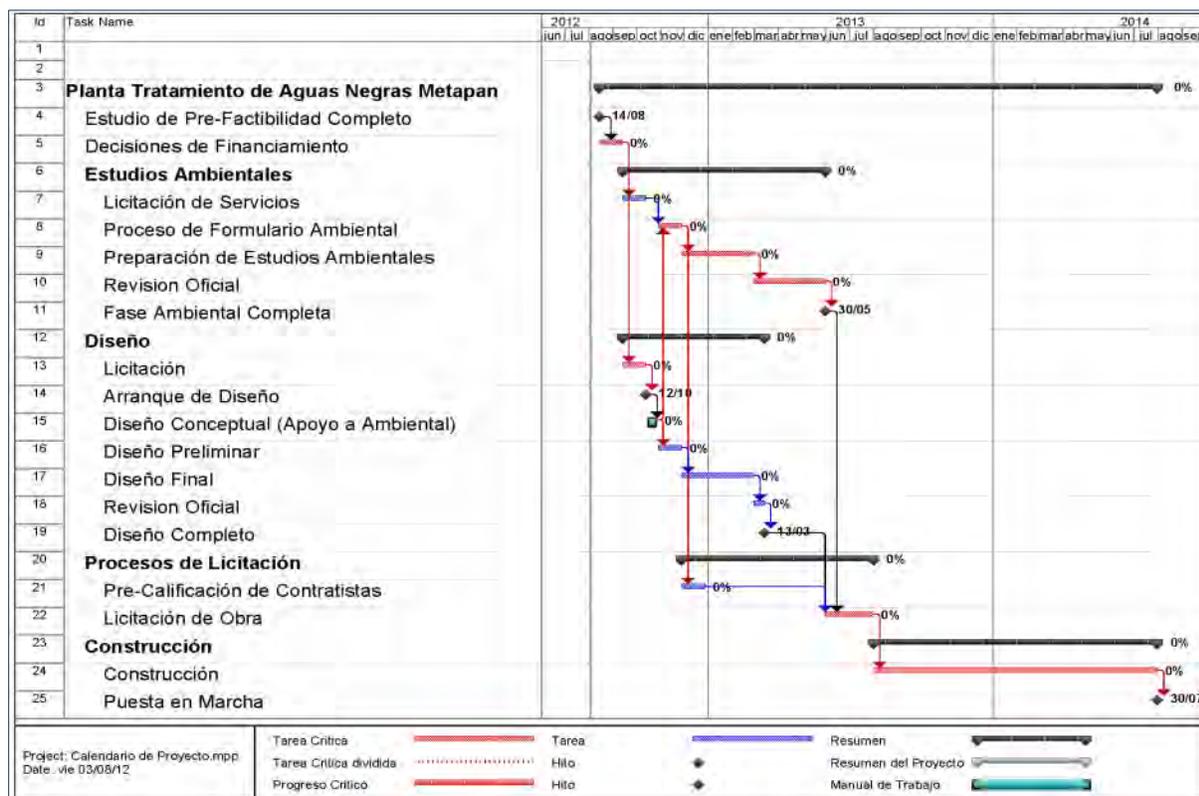
5.10 CREAR LÍNEA DE TIEMPO DEL PROYECTO (PLAN DE EJECUCIÓN), Y ESTIMAR COSTOS DEL PROYECTO

5.10.1 Línea de Tiempo del Proyecto (Plan de Ejecución)

El tiempo de ejecución total del proyecto es de dos años calendario, el cual se puede acortar en las fases preliminares a la construcción como lo son: el proceso de formulación y aprobación del estudio de impacto ambiental (EIA), el pre-diseño y el diseño de la planta de tratamiento, así como en su revisión. Las actividades inician en septiembre 2012 con la entrega del estudio de pre-factibilidad de la planta de tratamiento, para finalizar la construcción de la planta de tratamiento en julio de 2014. El proceso completo después de la entrega del estudio de pre-factibilidad consta de los siguientes rubros:

1. **Estudios Ambientales:** licitación de servicios, formulación ambiental, preparación de documento, revisión y aprobación.
2. **Diseño:** licitación diseño, diseño conceptual, diseño preliminar, revisión del diseño preliminar, diseño final.
3. **Proceso de licitación:** pre-calificación de empresas, licitación de obra.
4. **Construcción:** construcción de planta de tratamiento y puesta en marcha.

Tabla 13: En el siguiente diagrama de Gantt se puede observar el tiempo completo de ejecución del proyecto; las barras rojas indican la ruta crítica del proyecto



La ruta crítica del proyecto contiene actividades de coordinación y técnicas. Dado que el financiamiento del proyecto se compone de las aportaciones de múltiples agencias, este paso inicial es crítico. En el calendario de proyecto se ha definido un periodo de un mes para aterrizar el fondeo y determinar la agencia líder que llevará a cabo las actividades del proyecto. Es crítico que se tome de inmediato una posición con respecto a la solicitud de fondos de USAID, la cual requiere un nivel de detalle que consume tiempo. Igualmente, la creación de acuerdos intergubernamentales y de alianza con Holcim debe esbozarse de inmediato. Si no se toman acciones decisivas para avanzar estos procesos es muy posible que los 30 días asignados a aterrizar el fondeo no sean suficientes.

La siguiente actividad en ruta crítica es la gestión ambiental. Para poder preparar el formulario ambiental se necesita que el proyecto se conceptualice en mayor detalle y se prepare la información de apoyo. Esto puede hacerse de inmediato con los elementos a la mano. Dos contrataciones inmediatas son importantes, la de consultoría ambiental y la de servicios de ingeniería. La primera para desarrollar no solo el formulario sino el estudio de impacto ambiental; la firma a contratarse debe ser preferentemente conocida por su seriedad en tiempos de entrega. Los servicios de ingeniería son necesarios de inmediato también ya que son ellos los que proporcionarán el apoyo necesario para el estudio ambiental. El completar la construcción de la planta en dos años no es una tarea imposible pero requiere que el líder de proyecto mantenga una presión firme sobre los participantes para lograr la productividad requerida. En la medida en que se agilicen las contrataciones, preparación de estudio ambiental y revisiones oficiales, se podrá recortar el tiempo del proyecto.

En resumen, las actividades recomendadas como plan de acción son:

1. Confirmar recursos:

- Construcción

- Fuente de recursos operativos (ya confirmados por la Alcaldía de Metapán)
2. **Establecer la agencia líder con facultades de ejecución de proyecto:**
 - Establecer presupuesto para contratación servicios
 - Preparar Bases de Licitación para servicios profesionales
 3. **Agilizar contrataciones:**
 - Consultoría ambiental
 - Servicios de Ingeniería
 4. **Inicio inmediato de:**
 - Estudio de factibilidad y diseño conceptual
 - Gestión ambiental

5.10.2 Estimación de Costos del Proyecto

A fin de preparar un estimado de los costos de construcción, se han revisado y analizado los siguientes documentos: el presupuesto y diseño de la planta de tratamiento de PROCOSAL, del año 2006, las estimaciones costos de Klaas Visscher hechas en junio de 2011 y las del comité para la construcción de la planta de tratamiento en diciembre de 2011. La Tabla 14 muestra un estimado que ha sido calculado en base a experiencias en plantas similares; el costo es estimado y puede variar dependiendo el tipo de construcción que se haga (materiales) y del grado de mecanización que se desee. El presupuesto oficial final saldrá del diseño final.

TABLA 14: ESTIMACIÓN DE COSTOS DEL PROYECTO					
COSTO DEL PROYECTO: EL COSTO DE LA PLANTA TRATAMIENTO SE HA ESTIMADO EN 1,3 MILLONES DE DÓLARES USA, CON UN TOTAL DEL PROYECTO DE \$ 2,665.586 (VER DETALLE)					
TOTAL CALCULO ESTIMADO					
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo por Unidad (\$)	Sub Total (\$)	TOTAL (\$)
A) ESTUDIOS Y DISEÑO					60,000.00
Estudios y diseño	SG	1	60,000.00	60,000.00	
B) Construcción colector Ø 24" hasta Bombeo (incluye protección)					318,750.00
Construcción colector Ø 24" hasta Bombeo (incluye protección)	ML	750	425.00	318,750.00	
C) ESTACION DE BOMBEO					384,817.99
Pretratamiento (rejas, desarenador, parshall prefabricado)	c/u	1	13,158.00	13,158.00	
Trampa de Grasas (incluye pantallas y tubería) tr: 15 min.	c/u	1	10,200.00	10,200.00	
Cisterna de bombeo (incluye excavación bajo agua)	c/u	1	14,280.00	14,280.00	
Caseta de controles	c/u	1	4,080.00	4,080.00	
Equipos de bombeo	c/u	3	35,233.33	105,669.99	
Línea Impelencia Ø 6" HoFo, con accesorios (Bombeo a planta)	ML	285	400.00	114,000.00	
Línea Eléctrica y Subestación eléctrica	SG	1	100,000.00	100,000.00	
Compra de terreno para estación de bombeo	mz	0.12	25,000.00	3,000.00	

TABLA 14: ESTIMACIÓN DE COSTOS DEL PROYECTO					
COSTO DEL PROYECTO: EL COSTO DE LA PLANTA TRATAMIENTO SE HA ESTIMADO EN 1,3 MILLONES DE DÓLARES USA, CON UN TOTAL DEL PROYECTO DE \$ 2,665.586 (VER DETALLE)					
TOTAL CALCULO ESTIMADO					
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo por Unidad (\$)	Sub Total (\$)	TOTAL (\$)
Obras exteriores (Muro de contención y otros)	SG	1	20,400.00	20,400.00	
D) PLANTA DE TRATAMIENTO					1,243,018.76
Tranque de Homogenización	c/u	1	15,300.00	15,300.00	
Tratamiento Primario (Reactores Anaeróbicos de Flujo Ascendente)	c/u	4	137,559.38	550,237.52	
Tratamiento Secundario (F. Percolador + Sedimentación Secundaria)	c/u	4	102,070.31	408,281.24	
Digestor de Lodos	c/u	1	45,900.00	45,900.00	
Patios de secado de lodos	c/u	1	51,000.00	51,000.00	
Almacenamiento y quemador gas metano	SG	1	10,000.00	10,000.00	
Fosa Séptica (para lixiviados de patios de secado)	c/u	1	5,100.00	5,100.00	
Caseta de vigilancia (incluye duchas y S.S., cuarto para herramientas, almacenamiento de productos, oficina)	c/u	1	15,000.00	15,000.00	
Obras exteriores (terracería, canalización A.L.L., accesos, etc.)	SG	1	102,000.00	102,000.00	
Cloración	SG	1	30,000.00	30,000.00	
Prueba Hidráulica	SG	1	10,200.00	10,200.00	
E) Separación de Aguas Lluvias-negras	SG	1	420,000.00		420,000.00
F) Compra de Terreno	mz	5	25,000.00	125,000.00	125,000.00
G) Supervisión: Estudio, Diseño y Construcción	mes	20	5,000.00	100,000.00	100,000.00
H) Capacitación	mes	3	5,000.00	15,000.00	15,000.00
TOTAL					2,666,586.75

El principal objetivo de la evaluación del estimado de costo fue entender los grandes rubros de construcción. En general, los costos presentados en la tabla son producto de un pre-dimensionamiento preliminar de planta que arrojó la volumetría esperada del proyecto y la actualización de costos unitarios. Este costo podría cambiar si los componentes mecánicos se incrementan sustancialmente.

Otro rubro que se deberá calcular después de que se analice la información que la Alcaldía tiene en su poder, es el del costo de desconectar los sistemas de aguas lluvias y negras. La provisión de \$420,000 podría ser suficiente si el trabajo de desconexión se limita a instalar tubería a los lados de las bóvedas de drenaje pluvial, pero cualquier opinión al respecto quedará pendiente hasta que se analice la información en detalle.

Finalmente, el presupuesto de diseño excluye lo siguiente:

- 1) Ingeniería relacionada a la desconexión de sistemas
- 2) Diseño de obras de disposición de efluente que no sea descarga al Río San José
- 3) Diseño de obra de disposición de lodos adicional a los patios de secado
- 4) Diseño de la generación de electricidad a base de gas metano

En conclusión, los costos del proyecto aparentan ser suficientes para cubrir el alcance del proyecto.

5.11 COMO LA ACTIVIDAD SE AJUSTA A CRITERIOS ESTABLECIDOS POR EL CÓDIGO DE BIODIVERSIDAD DE USAID

Las conclusiones de este “Estudio de Pre-factibilidad Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Metapán, El Salvador”, así como las actividades a realizar para la implementación de estas, se ajustan a los criterios establecidos por el código de Biodiversidad de USAID.

Primero, el proyecto se enmarca bajo un objetivo explícito de biodiversidad. El proyecto, que ha sido auspiciado por Holcim a través de una alianza público-privada y que da seguimiento al estudio preliminar preparado por Holcim titulado: “Mejorando la conservación de la biodiversidad a través de la construcción de una planta de tratamiento primario de aguas residuales en Metapán”, se enfoca específicamente a mejorar el estado de la biodiversidad en la región; el proyecto también tiene como resultados esperados mejorar la salud pública y el crecimiento económico de la región.

Segundo, las actividades a realizar deben ser identificadas basándose en un análisis de riesgos a la biodiversidad. La Universidad Centro Americana (UCA) realizó un estudio ambiental de los humedales en Metapán y confirmó el fuerte impacto negativo que tienen las descargas de aguas residuales en el Río San José. El Río San José se conecta al Río Chimalapa, el cual se convierte a su vez en el Río Trapichito; el cual es el único tributario de la Laguna de Metapán. La UCA midió los niveles de contaminación en la Laguna de Metapán, encontrando altos niveles de materia orgánica, lo cual genera un impacto negativo al ecosistema y en particular a la biodiversidad de la región. Los problemas detectados debido a las descargas de aguas residuales domesticas en la zona de Metapán fueron los siguientes:

1. Deterioro de la calidad de agua.
2. Alto nivel de coliformes.
3. Alto contenido de nutrientes en el agua debido a uso agrícola de tierras aledañas y las descargas de agua residuales domesticas de Metapán, lo que genera a su vez la proliferación de Jacintos de agua.



Fotografía 24: Personas retirando una gran cantidad de Jacintos de agua que ha crecido sin control adentro de la laguna de Metapán. (Foto: Cristian Díaz, El Diario de Hoy, 24-01-2010).

Como parte del estudio de impacto ambiental, requerido para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de Metapán, se deberán determinar y estudiar los riesgos principales a la biodiversidad y evaluar el valor/importancia de los recursos de biodiversidad en la región.

Tercero, el programa debe monitorear indicadores de conservación de la biodiversidad. Como parte del estudio de impacto ambiental requerido para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de Metapán, se deberá identificar y monitorear indicadores que servirán para medir la mejoría en el estado de conservación de la biodiversidad como resultado de la implementación del programa. Posibles indicadores a utilizar por el programa incluyen:

1. Nivel de materia orgánica en las aguas de la Laguna de Metapán, medido como Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno.
2. Nivel de nutrientes (N, P) en las aguas de la Laguna de Metapán.
3. Nivel de coliformes en las aguas de la Laguna de Metapán.
4. Nivel de oxígeno disuelto en las aguas de la Laguna de Metapán.
5. Estado biológico de aguas de la Laguna de Metapán (ej., macro-invertebrados, plantas, poblaciones de peces, algas).

Finalmente, los programas deben tener la intención de impactar la biodiversidad de manera positiva en áreas de significancia biológica. La Laguna de Metapán es parte del Complejo de Guija, el cual fue declarado en El Salvador como el quinto humedal de importancia internacional (bajo el Convenio RAMSAR). El proyecto de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Metapán es entonces un proyecto enfocado a la protección y conservación de la biodiversidad en la Laguna de Metapán y el Lago de Guija.

5.12 EXPERIENCIAS EN EL SALVADOR CON PLANTAS DE TRATAMIENTO QUE FUERON CONSTRUIDAS CON APOYO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE ORGANISMOS INTERNACIONALES

En El Salvador existen varios municipios que cuentan con plantas de tratamiento para aguas residuales de origen doméstico que fueron construidas con el apoyo técnico y económico de organismos internacionales, entre las que podemos mencionar las siguientes:

1. **Distrito Italia, Tonacatepeque:** construida con fondos de la Cooperación Italiana, en 1989.
2. **San Juan Talpa, La Paz:** construida con fondos de ANDA y KFW, en 1996.
3. **San José Villanueva, La Libertad:** construida con fondos de ANDA y KFW, en 1996.
4. **San Pablo Tacachico, La Libertad:** construida con fondos de ANDA y KFW, en 1996.
5. **San José Las Flores, Chalatenango:** construida por La Cooperación Suiza, COSUDE, en 2000.
6. **Nejapa, San Salvador:** construida con fondos de La Cooperación Suiza, COSUDE, en 2001.
7. **Suchitoto, Cuscatlán:** construida con fondos de USAID, FISDL y la Municipalidad, en 2002
8. **Apaneca, Sonsonate:** construida con fondos de ANTEL, FANTEL (fondos nacionales), en 2004.
9. **Juayua, Sonsonate:** construida con fondos de ANDA y el Fondo Contravalor de Desarrollo El Salvador-Canadá, FODEC, en 2008.
10. **Puerto El Triunfo, Usulután:** construida con fondos de la Cooperación Española, ANDA y la Municipalidad, en 2008.
11. **La Laguna, Chalatenango:** fondos de FISDL, la Comunidad Europea y el Municipio, en 2008.

Todas estas plantas de tratamiento funcionaron bien por varios años, y en la actualidad siguen funcionando, pero la mayoría con muchas deficiencias debido a problemas de los siguientes componentes: mal diseño, mala construcción o mínima operación y mantenimiento; este último el más común en todas las plantas de tratamiento. En ninguno de estos municipios se cobra por el tratamiento de las aguas residuales debido a que no hay una ley u ordenanza municipal para hacerlo y los operadores de los sistemas cargan con los costos de operación y mantenimiento. A manera de ejemplo, y para ser tomado en cuenta en el diseño del nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales de la Ciudad de Metapán, describiremos solo algunas plantas para explicar sus cualidades y deficiencias.



Fotografía 25: Personal de ANDA, dando mantenimiento (poda de grama), en la zona del sedimentador secundario.

5.12.1 Planta de Tratamiento del Municipio de San Juan Talpa, Depto. de la Paz

Esta planta se construyó con fondos de ANDA y KFW de Alemania, y fue diseñada por una empresa Alemana. Es operada y mantenida por ANDA e inició funcionamiento en 1996. Esta planta trabaja por gravedad y consta de un pre-tratamiento, dos sedimentadores, un filtro percolador y tratamiento de lodos. Este Sistema, por su buen funcionamiento, ubicación y cercanía a la capital fue tomado por ANDA como referencia para ser mostrada como un sistema de tratamiento exitoso, con buena calidad de agua tratada y de bajo costo en su operación y mantenimiento.

En mucho tiempo se le proporcionó mantenimiento preventivo y correctivo; finalmente comenzó a deteriorarse debido a que no aplicaron pintura anticorrosiva a todas las estructuras metálicas; es operada por una sola persona.



Fotografía 26: Filtro percolador con distribuidores de caudales en "V" completos.



Fotografía 27: El mismo filtro percolador sin la mayoría de vertederos en "V", destruidos por la corrosión y falta de pintura anticorrosiva.



Fotografía 28: Sedimentador primario no corroído



Fotografía 29: El sedimentador secundario en la misma planta ya corroído por falta de pintura anticorrosiva.

5.12.2 Planta de Tratamiento del Municipio de San Pablo Tacachico, Departamento de la Libertad

Esta planta de tratamiento, al igual que la de San Juan Talpa y San José Villanueva, fue construida con fondos de ANDA y KFW de Alemania y también fue diseñada por una empresa Alemana. Es operada y mantenida por ANDA e inició funcionamiento en 1996. En la parte baja de la ciudad construyeron una estación de bombeo sin pre-tratamiento, sin generador de emergencia y con una sola bomba, lo que ha ocasionado constantes fallos de la bomba por atascamientos y la cisterna rebalsa cuando hay cortes de energía eléctrica. La arena, los plásticos y objetos metálicos obstruyen y desgastan los impulsores.

Este sistema, es similar al de San José Villanueva (operado y mantenido por la Municipalidad), ya que trabaja con bombeo del sedimentador primario al filtro percolador y cuenta con un pre-tratamiento, dos sedimentadores, un filtro percolador y tratamiento de lodos. Este sistema por depender de energía eléctrica y no tener un generador desde el principio dio problemas, pero en condiciones normales de operación la calidad del agua tratada es buena.

Durante varios años le dieron un mantenimiento completo; después empezaron a deteriorarse las estructuras metálicas. Tiene solo un operador que trabaja en la planta y en la estación de bombeo.

La diferencia de nivel del terreno entre el sedimentador secundario y la quebrada a donde descarga la planta es de más de 10.00 mts. El Filtro percolador pudo haberse construido más abajo y así hubiera trabajado por gravedad y por consiguiente mejorado su eficiencia.

Otro problema de construcción fue que a los patios de secado no les dejaron borde superior en el perímetro arriba del nivel del terreno y en invierno se inundaban; para corregirlo se hizo una canaleta perimetral.



Fotografía 30: Cisterna en estación de bombeo en zona baja de Tacachico, donde se observa una sola guía de montaje que corresponde a una sola bomba.



Fotografía 31: Se observa la diferencia de altura entre el sedimentador primario y el filtro percolador, por lo que se utiliza bombeo.



Fotografía 32: Mostrando la cisterna de bombeo y el filtro percolador a una altura superior.



Fotografía 33: De la planta, mostrando al frente el sedimentador secundario y al fondo los patios de secado inundados después de una lluvia.

5.12.3 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de los Municipio de San José Las Flores en Chalatenango y Nejapa en San Salvador

Las plantas de tratamiento de aguas negras de San José Las Flores y Nejapa fueron diseñadas y financiadas por la Cooperación Suiza (COSUDE), la primera en el año 2000 y la segunda en el 2001. Tienen en común que sus unidades principales son un Tanque Imhoff y un humedal. Inicialmente, como la mayoría de plantas que están nuevas, funcionaron bien durante varios años. La planta de San José Las Flores comenzó con problemas de taponamiento en el medio filtrante del humedal a partir del 2005.



Fotografía 34: Operador regando las plantas en la losa del tanque Imhoff.



Fotografía 35: Material flotante (grasas, espumas, etc.), en parte superior del tanque Imhoff.

La planta de tratamiento del Municipio de Nejapa, por ser de mayor capacidad que la de San José las Flores, los problemas han sido más grandes: mal funcionamiento del Tanque Imhoff, los patios de secado son muy pequeños y no los utilizan y el humedal está azolvado. Es operada por la municipalidad.

Por la falta de mantenimiento el tanque Imhoff se puede ver en la parte superior con mucho material flotante, el cual no ha sido retirado por mucho tiempo. Todo el tanque está completamente lleno de lodos, lo cual hace que almacene poca agua y el tiempo de retención hidráulico es mínimo y su eficiencia muy baja. Como se dijo anteriormente, en el humedal el medio filtrante (escoria volcánica) está totalmente azolvado y las aguas residuales que vienen del Tanque Imhoff con un mínimo de tratamiento pasan superficialmente sin ningún tratamiento por el humedal.



Fotografía 36: Humedal azolvado, el agua corre superficialmente; Nejapa.



Fotografía 37: Descarga de agua tratada al final del humedal, planta Nejapa, San Salvador.

5.12.4 Planta de Tratamiento de Aguas Negras del Municipio de Suchitoto, Cuscatlán

La planta de aguas residuales de la Ciudad de Suchitoto fue construida en el 2002 con fondos de USAID, FISDL y la Municipalidad. Al igual que la de San Juan Talpa, esta constituida por pretratamiento, dos sedimentadores, un filtro percolador y tratamiento de lodos. Inicialmente, la calidad del agua tratada fue buena, pero en menos de un año de estar funcionando comenzaron los problemas: el digestor de lodos fue mal diseñado y empezó a rebalsar por no dejarle tubería para purga de agua, lo cual causaba que no podían extraer a diario los lodos de los sedimentadores y depositarlos en el digestor. Estos sedimentadores empezaron a acumular mucho solido que por rebalse se iban del sedimentador primario al filtro percolador y del sedimentador secundario a la descarga final, dando como resultado una baja eficiencia y proliferación de moscas de filtro.



Fotografía 38: Sedimentador primario con acumulación de lodos por falta de purga.

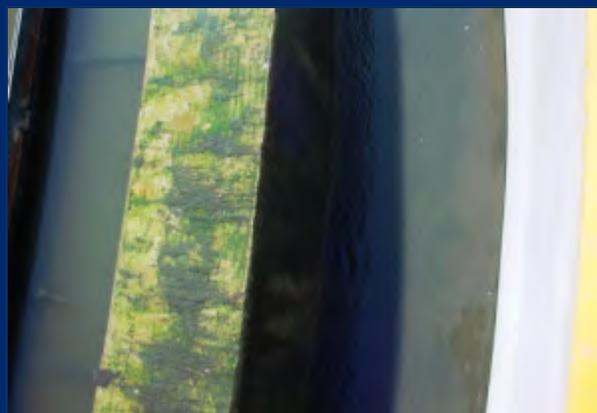


Fotografía 39: Filtro percolador con distribuidores de caudales en "V" iguales a los de San Juan Talpa, ya están deteriorados.

Después de corregido el problema, siguió funcionando con normalidad y la calidad del agua mejoró. Posteriormente en el 2011, en una visita con técnicos de USEPA, se comprobó que a la planta le hace falta mantenimiento preventivo y correctivo. Hoy en día la calidad del agua tratada ha disminuido y todas las estructuras metálicas están corroídas, y al filtro percolador le ha pasado lo de San Juan Talpa que ya no tiene distribuidores de caudales. Los operadores solo hacen limpieza rutinaria en las unidades y hay mucha maleza. Esta planta esta siendo operada y mantenida por la Alcaldía Municipal de Suchitoto a través de la empresa descentralizada de aguas EMASA.



Fotografía 40: Sedimentador secundario con moscas de filtro.



Fotografía 41: Agua tratada a la salida del sedimentador secundario donde se observa el arrastre de solidos y la baja calidad del efluente.

5.12.5 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de los Municipios de Apaneca y Juayua en Sonsonate, Puerto el Triunfo, Usulután y la Laguna, Chalatenango

La Planta de Apaneca fue construida con fondos de ANTEL, FANTEL (fondos nacionales) en 2004, La planta funciona bien porque fue sobredimensionada y el caudal que trata es mínimo; La de Juayua con fondos de ANDA y el Fondo Contravalor de Desarrollo El Salvador-Canadá (FODEC) en 2008; La de Puerto El Triunfo en Usulután con financiamiento de la Cooperación Española y ANDA, en 2008 y La Laguna en Chalatenango construida con fondos de FISDL, la Comunidad Europea y la Municipalidad, en 2008. Todas tienen en común que tomaron como modelo la planta de tratamiento de Suchitoto.

Podemos concluir que el éxito de estas plantas de tratamiento fue que mientras estuvo vigente el periodo contractual del documento de financiamiento internacional, éste obligaba a los operadores a que proporcionaran una buena y continua operación y mantenimiento para garantizar la inversión; en tal sentido estas plantas funcionaron bien por varios años hasta la finalización del periodo establecido.

El fracaso en la mayoría de estas plantas a sido que después de ese periodo contractual, poco a poco se han ido deteriorando por la falta de una completa operación y mantenimiento; no hay un cobro de ley por la prestación de este servicio (tratamiento), por lo tanto ANDA y las alcaldías no pueden cobrar por tratamiento de aguas residuales y por consiguiente los costos de materiales, equipos, herramientas y pago de operadores tiene que ser absorbido por el operador del sistema. Por ese motivo algunas plantas de tratamiento fueron abandonadas totalmente.

Al construir un sistema de tratamiento se debe tomar en cuenta lo siguiente:

a) En el diseño:

- Minimizar el grado de mecanización: si la mecanización es mínima el consumo de energía eléctrica disminuye sustancialmente.
- Diseñarlo por módulos: en funcionamiento, si es una sola planta y falla, esta se detiene completamente. Al hacerla modulada si falla un modulo o hay que hacer reparaciones la planta siempre seguirá funcionando con los otros módulos.

b) La construcción:

- Unidades de tratamiento y dispositivos como están en los planos: al momento de construir se debe hacer según los planos. Cualquier modificación en unidades o niveles se deberá consultar con el diseñador

c) La operación y mantenimiento:

- Según lo indica el manual de operación y mantenimiento, deberá ser continua y de buena calidad, procurando que las unidades de tratamiento y sus dispositivos no se deterioren con el tiempo, para lo cual la institución que se haga cargo del sistema de tratamiento asigne un presupuesto anual para tal fin.
- Deberán hacer análisis de laboratorio periódicos, contratar supervisión y proporcionar capacitación permanente a los empleados de la planta de tratamiento.

6.0 CONCLUSIONES

Con el análisis hecho en este documento llegamos a la conclusión que el proyecto de la planta de tratamiento de aguas residuales de Metapán es factible. Desde el punto de vista técnico, el equipo de trabajo de Tetra Tech concluye que el instalar un proceso de RAFA con filtro percolador es la mejor opción. Se considera primordialmente que la reducción de sólidos en el reactor por digestión anaeróbica minimiza la cantidad subsecuente de disposición de lodos, y que la presencia de la tecnología filtro percolador, con su gran historial de desempeño exitoso en el mundo, ofrece una base sólida para tener confianza en que el tratamiento de aguas negras se dará de forma apropiada.

Se analizaron los factores tradicionales de selección de terreno para la ubicación de la planta, costos relacionados a la distancia a las descargas de aguas negras, a la distancia al punto de descarga del efluente, sus características topográficas, accesos, disponibilidad de energía eléctrica, y análisis de riesgos e impactos a vecinos. Se concluye que el terreno adquirido por la Alcaldía es adecuado y representa la mejor opción entre los terrenos candidatos en el área.

La población de diseño se calculó en base a información de conexiones de agua potable y caudales servidos, en conjunto con los datos poblacionales del censo del 2007. Según el análisis, la capacidad requerida al tiempo de construcción de la planta en el año 2014 es de 3,231 m³/d; para los diez años posteriores (horizonte de planeación 2024) es de 4,169 m³/d; y para el año 2034 de 5,378 m³/d, por lo cual se recomienda la construcción de una planta de 5,500 m³/d.

Idealmente, la planta se construiría de forma modular, pero ya que en este caso se requiere construir de inicio el 60% de la capacidad total, no queda mucho lugar para la modularidad. Sin embargo se podría concebir la construcción de dos módulos equivalentes al 75% de los 5,500 m³/d y un tercer módulo a futuro. Debe observarse que los costos serían más altos ya que la modularidad requiere de volúmenes de construcción mayores a los requeridos en plantas no modulares. Para aprovechar el impulso del proyecto y minimizar costos a largo plazo, el equipo técnico sugiere se construya la capacidad total si existen los fondos.

La disposición del efluente debe darse de inicio al Río San José. Existen actividades agrícolas en el área quienes podrían ser beneficiadas por el efluente en tiempo de verano, si estos sufragaran los costos asociados. En proyectos de reciclaje de efluente es recomendable desarrollar el mercado primero y después hacer las inversiones.

La disposición de lodos deshidratados podría darse de forma local abriendo las puertas a los agricultores para que se lleven los lodos para mejoramiento de terreno. Esta es la experiencia de ANDA en otras plantas, lo cual resulta benéfico para todas las partes ya que se evitan costos de transporte y disposición en rellenos sanitarios por parte del municipio.

El presupuesto operativo mensual de la planta está en un rango de \$8,000 a \$9,000 en los primeros diez años. Esta cifra incluye mano de obra, químicos, electricidad, refacciones, y una reserva contingente para gastos mayores. El estimado de costos se presenta en dólares constantes y su uso presupuestal para años subsecuentes debe incluir factores de ajustes apropiados.

Con respecto a la recuperación de costos, en reunión del 3 de Julio del 2012, la Alcaldía de Metapán expresó su compromiso de cubrir los costos operativos del proyecto. Como factor excepcional de este proyecto se apunta a la contribución tributaria de Holcim a las finanzas del Municipio, lo cual hace posible que el compromiso de la Alcaldía sea factible. Apoyando a la Alcaldía, ANDA proveería asistencia técnica en forma de asesoramiento operativo y apoyo de laboratorio.

Desde el punto de vista institucional, la Alcaldía cuenta con personal comprometido en el proyecto, con excelentes cualidades técnicas y gran voluntad de trabajo, lo cual, con una adecuada capacitación compensará la falta de experiencia en el ramo de tratamiento de aguas negras. La presencia de Holcim en el área facilita dos cosas: 1) un ingreso constante y predecible para la Alcaldía y 2) el desarrollo de un buen nivel de mano de obra capacitada en la zona, la cual será clave para el buen funcionamiento de la planta. El tercer elemento importante es la experiencia de ANDA en el ramo de aguas negras y el compromiso que ha hecho para apoyar a la Alcaldía de Metapán.

Uno de los factores más importantes en la implementación de este proyecto es el conseguir la separación de las aguas lluvias y negras. Si este proyecto se atrasara, la consecuencia sería que el volumen de aguas lluvias usurparía la capacidad hidráulica de la planta y afectaría los procesos por su magnitud. Ya existe una cantidad importante de información recopilada por la Alcaldía y se pre-supone que los trabajos de desconexión se iniciarán en cuanto el proyecto arranque.

Las suposiciones más grandes que se deben constatar son el caudal de diseño, lo cual se podrá afinar con el aforo de las aguas residuales y la caracterización de muestras representativas; esto es invaluable para el correcto dimensionamiento de la planta de tratamiento.

El estimado de costo de construcción de \$ 2,530,000 es aparentemente suficiente para la realización del proyecto. El equipo Tetra Tech estimó una cantidad de \$ 2,666,586, sin contar contingencias o reservas, pero cabe aclarar que el estimado se hizo basado en un pre-dimensionamiento conceptual, con información previamente desarrollada en otros estudios, y suponiendo construcción no modular. Los costos sin duda se refinarán en el Estudio de Factibilidad.

El programa de ejecución del proyecto es muy ambicioso ya que se espera terminar la construcción a mediados del 2014. Para lograr esto se debe concretar la recolección de fondos e iniciar las gestiones ambientales y de diseño de inmediato. Por los elementos previamente mencionados se concluye que el proyecto tiene validez y es factible.

7.0 RECOMENDACIONES

7.1 PASOS PRÓXIMOS

- a. Se recomienda que las instituciones involucradas en el proyecto ejecuten prontamente una carta de entendimiento o carta compromiso que les permita proceder a tomar las acciones inmediatas para poner en marcha el proyecto. Dichas acciones incluyen la definición de atribuciones, responsabilidades y compromisos de las partes; el trámite y recaudación de los fondos para el proyecto; y la contratación de servicios de apoyo al proyecto. Los firmantes de la carta deben ser como mínimo la Alcaldía de Metapán, ANDA, MARN, Plan Trifinio, FISDL y Holcim.
- b. Dado el tiempo requerido para obtener fondos de asistencia, se recomienda iniciar de inmediato la preparación de la solicitud de recursos para USAID. La parte encargada de la preparación del documento debe tener experiencia y capacidad para generar la información de apoyo necesaria.
- c. Contratar los consultores ambientales y de diseño. La preparación del formulario ambiental requiere que los consultores ambientales y de diseño ya estén contratados y puedan generar la información necesaria. Su pronta contratación dará celeridad al proceso.

7.2 RECOMENDACIONES TÉCNICAS

- a. Es importante darle continuidad y profundizar más el tema de separación de conexiones cruzadas de aguas negras y lluvias en la ciudad de Metapán. Se recomienda que la Alcaldía evalúe la conveniencia de contratar un especialista, con experiencia en ingeniería hidráulica sanitaria, para que defina a corto plazo un plan detallado de las acciones a realizar para la separación de aguas lluvias y negras (con costos incluidos), en la ciudad de Metapán.
- b. Iniciar la separación de colectores de inmediato. Un retraso en la separación de las tuberías de aguas lluvias incorporadas al alcantarillado de aguas negras causaría un sobredimensionamiento o perjudicaría directamente a la planta de tratamiento.
- c. Definir localización de estación de pre-tratamiento: se sugiere que la ubicación de esta sea en terreno que está arriba de la descarga N° 2, ya que tiene muchas ventajas en comparación de hacerla en el terreno comprado.
- d. Utilizar el terreno ya adquirido para la construcción de la planta de tratamiento, ya que este terreno tiene muchas ventajas en comparación con otros analizados.
- e. Caracterizar el afluente considerando verano e invierno: para tener otro dato de comparación con los caudales teóricos es necesario hacer aforos de caudales en las dos descargas de aguas negras.
- f. Construir la opción de RAFA con filtro percolador y sedimentación secundaria.
- g. Comenzar con descarga al Rio San José y desarrollar la opción de re-uso de efluente subsecuentemente.
- h. En caso no lograr uso agrícola del agua residual, a mediano o largo plazo, posterior a la implementación del proyecto, la Alcaldía pudiera evaluar la implementación de una pequeña laguna con ninfa controlada, con el fin de reducir el contenido de nutrientes en el agua de descarga hacia la Laguna de Metapán. El estudio de factibilidad podría desarrollar el tema, considerando disponibilidad de terreno y cargas de

bombeo adicionales. Se requiere el tener un ambiente en el que se aproveche el contenido amoniacal del efluente en el crecimiento del hábitat.

- i. Para reducir costos de inversión, la planta puede arrancar con 3 unidades de UASB y Filtro Percolador) en vez de cuatro. Dicha inversión se puede implementar a partir del año 2026, reduciendo así el nivel de inversión en \$239,629.69.
- j. Comenzar con el quemado atmosférico de biogás y luego, dependiendo de la cantidad de biogás generado, pensar en otras alternativas.

7.3 RECOMENDACIONES INSTITUCIONALES

- a. Para poder rescatar poco a poco estos cuerpos de aguas (ríos y lagos), es necesario organizar actividades de limpieza periódicas en coordinación con Organizaciones No Gubernamentales, gobiernos locales y empresas privadas.
- b. El gobierno local e instituciones involucradas deberán de organizar y comprometer a las comunidades que habitan alrededor de los cuerpos de agua (lagos y ríos), para generar la capacidad de las personas en cuanto a educación ambiental, manejo de los desechos sólidos y uso de agroquímicos.
- c. Crear figura legal para sancionar a las personas y/o entidades que contaminen los cuerpos de aguas, ya sean estos lagos o ríos.
- d. Controlar las condiciones de vida de las comunidades que habitan alrededor de estos cuerpos.
- e. Para extender permisos de nuevas construcciones u ampliaciones, el personal de la alcaldía que trabaja en el área de Desarrollo Urbano deberá ser muy cuidadoso en la revisión de planos constructivos y asegurarse en visitas de campo que no harán ninguna acción ilegal de descargas de aguas residuales a quebradas o ríos, colectores de aguas lluvias.

8.0 GLOSARIO

- **Afluente:** Agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento.
- **Aguas Residuales:** Es el agua resultante de cualquier uso ya sea doméstico o industrial, proceso u operaciones de tipo agropecuario, doméstico, comercial e industrial.
- **Alcantarillado Sanitario:** Conjunto o sistema de obras, instalaciones y servicios que tienen por objeto la evacuación y disposición final de las aguas residuales; tal conjunto o sistema comprende: las alcantarillas sanitarias con sus pozos de visita; los colectores primarios, cabezales de descarga y los sistemas de tratamiento.
- **Anaerobio:** Condición en la cual no hay presencia de aire u oxígeno libre.
- **Caudal de infiltración:** Parte del caudal del subsuelo que penetra en las tuberías a través de las juntas.
- **Coliformes:** designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos.
- **Contaminación:** Es la alteración de la calidad física, química, biológica y radiactiva del agua.
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅):** Cantidad de oxígeno necesaria para la estabilización biológica de la materia orgánica biodegradable bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20° C).
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** La cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación química fuerte de sustancias susceptibles, de origen inorgánico y orgánico presentes en el agua.
- **Desarenadores:** Cámara diseñada para reducir la velocidad del agua residual y por la acción de la sedimentación permitir la remoción de sólidos minerales como arenas y otros.
- **Deshidratación de lodos:** Procesos de remoción del agua contenida en los lodos.
- **Descarga:** Es todo tipo de aguas residuales que se vierten o disponen en el Sistemas de Alcantarillado Sanitario.
- **Digestión:** Descomposición biológica de la materia orgánica (lodo), que está contenida en las aguas residuales.
- **Efluente:** La salida o flujos salientes de cualquier sistema que descarga flujos de líquidos.
- **Filtro Biológico o Percolador:** filtro empleado para depuración del agua, consistente en una capa de sustancia porosa a través de la cual pasa el líquido.
- **Reactores UASB o RAFA:** (del inglés Upflow Anaerobic Sludge Blanket) son un tipo de reactor biológico que operan en régimen continuo y en flujo ascendente, es decir, el afluente entra por la parte inferior del reactor, atraviesa todo el perfil longitudinal, y sale por la parte superior. Son reactores anaerobios en los que los microorganismos se agrupan formando biogránulos (manto de lodos).

- **Sólidos Suspendidos o en Suspensión:** Fracción de sólidos que no sedimentan en un tiempo de dos horas en base a marcha analítica estándar como imhoff, constituidos mayormente por materia orgánica.
- **Tratamiento:** Es el proceso o serie de procesos a los que se someten las aguas residuales, con el objeto de disminuir o eliminar características perjudiciales de los contaminantes a la infraestructura de alcantarillado y a los procesos biológicos a los que se sometan, a fin de cumplir con las normas técnicas de calidad ambiental vigentes.
- **Tratamiento primario:** comprende los procesos de sedimentación y tamizado.
- **Tratamiento secundario:** comprende los procesos biológicos aerobios y anaerobios y físico-químicos (floculación) para reducir la mayor parte de la DBO.
- **Tratamiento terciario:** también llamado avanzado, está dirigido a la reducción final de la DBO, metales pesados y contaminantes químicos específicos y eliminación de patógenos y parásitos.

9.0 BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. Metcalf & Eddy, “Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, vertido y reutilización”,1997.
2. Carlos Augusto L. Cherchinaro y Marcilio Dos Reis Cardoso, *Development and evaluation of a partitioned Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactor for the treatment of domestic sewage from small villages*, Water Science Technology, Elsevier Science, 1999.
3. Mois, A; Blyter R, Duran E. y Bukovsky M “Documento Base para un Proyecto de Desarrollo Sostenible en un Área Piloto de la Cuenca de la Laguna de Metapán”, San Salvador, 1994.
4. M. von Sperling, V.H. Freire, y C.A. de Lemos Cherchinaro, *Performance evaluation of a UASB activated sludge system treating municipal wastewater*, Water Science and Technology, Vol 43 IWA Publishing. 2001.
5. El Centro de Protección para Desastres (CEPRODE) y la fundación Volunteers in Overseas Cooperative Assistance (VOCA) “Documento Base para un Proyecto de Desarrollo Sostenible en un Área Piloto de la cuenca de la Laguna de Metapán”, julio de 1994.
6. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)/Centro de Protección para Desastres (CEPRODE), “Complejo de Guija, Metapán, Santa Ana, El Salvador Centroamérica; Propuesta de Sitio RAMSAR”, marzo del 2001.
7. H.H.P. Fang and Y. Liu, *Anaerobic wastewater treatment in sub-tropical regions*, Elsevier, 2001.
8. Vinod Tare, Sandeep Gupta, y Purnendu Bose, *Case Studies on Biological Treatment of Tannery Effluents in India*, Journal of Air and Waste Management Association, 2003.
9. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y el Centro Nacional de Registros, Estudio Ambiental: “Estado de conservación del complejo Lago de Guija”, 2005.
10. Programas Comunitarios para El Salvador, (PROCOSAL), estudio “Diseño de las planta de Tratamiento de las aguas Residuales de Metapán” abril 2006.
11. Ministerio de Economía, Dirección General de Estadísticas y Censos, “VI Censo de Población y V de Vivienda 2007”, abril 2008.
12. Preinforme estudio de valorización de lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas (I.e.d.a.r.u.), Municipio de Las Palmas de g.c., España, 2008.
13. Ministerio de Obras Públicas, (MOP), **Proyectos Y Planificación S.A. (EPYPSA), “Plan de Desarrollo Territorial para la Región del Trifinio”, Anexo Municipal 1, Síntesis Del Plan De Desarrollo Territorial para El Municipio de Metapán Quinto Informe, Junio 2008.**
14. Ayala I., Martínez M., Ramos E, Universidad Nacional de El Salvador, (UES), facultad de ingeniería civil, trabajo de tesis “medidas de saneamiento ambiental para la Protección y conservación de la laguna de Metapán”. Septiembre de 2008.
15. Beatriz María Aguilar, Carlos Alberto Péñate y Wendy Marcela Rodríguez, Universidad José Simeón Cañas (UCA), departamento de Ingeniería y arquitectura, trabajo de graduación para optar al grado de

- Ingeniero químico denominado “Caracterización de la Calidad de la Laguna de Metapán y de las condiciones Climatológicas de la Zona”, sept. de 2008 a abril de 2010.
16. Universidad José Simeón Cañas (UCA), departamento de Tecnología de Procesos y Ciencias Ambientales, “Estimación Preliminar de La Capacidad de una Planta de Tratamiento de Las Aguas Residuales Descargadas al Río San José por la Ciudad de Metapán”, mayo de 2010.
 17. ANDA, “Boletín Estadístico 2010, N° 32”; año 2011.
 18. Fundación CESSA, Klaas Visscher (consultor holandés), estudio “Proyecto de Tratamiento de Aguas Residuales de Metapán”, junio de 2011.
 19. Comité para la construcción de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Metapán, “Pre diseño de Tratamiento de Aguas Residuales de Metapán”. diciembre de 2011.
 20. Silvia C. Oliveira y Marcos von Sperling, *Journal Performance evaluation of different wastewater treatment technologies operating in developing countries* IWA Journal for Water Sanitation and Hygiene for Development, IWA Publishing, 2011.
 21. Veolia Water, technical description of Upthane ® and Biothane ® UASB process, literature, 2012.

U.S. Agency for International Development/El Salvador

U.S. Embassy

Bulevar y Urbanización Santa Elena

Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador

Tel: 011 (503) 2501-2999

Fax: 011 (503) 2501-3401

<http://elsalvador.usaid.gov/>