

Logotipo

BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado

MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

**“DISEÑO DE CUATRO PLANTAS DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA
CIUDAD DE PUEBLA”**

TESIS

**PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

PRESENTA:

MANUEL ANTONIO OSORIO LOPEZ

ASESOR:

DRA. MARTHA PATRICIA GONZALEZ ARAOZ

H. PUEBLA DE ZARAGOZA

SEPTIEMBRE 2014



Oficio No. 0805/2014

C. MANUEL ANTONIO OSORIO LÓPEZ

Pasante de la Maestría en Ingeniería Ambiental
Facultad de Ingeniería, BUAP.
Presente

Por medio del presente, el suscrito Mtro. Edgar Iram Villagrán Arroyo, Director de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a su solicitud de aprobación de Trabajo Profesional Documentado, le autoriza desarrollar el tema intitulado: **Diseño de cuatro plantas de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Puebla.** Para obtener el grado de Maestro en Ingeniería Ambiental. Asignándose como Asesor a la Dra. Martha Patricia González Aráoz

Sin otro particular de momento, reciba un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E

"PENSAR BIEN, PARA VIVIR MEJOR"

H. Puebla de Zaragoza, a 4 de marzo de 2014.

M. I. EDGAR IRAM VILLAGRAN ARROYO
DIRECTOR



C.c.p. Dra. Martha Patricia González Aráoz, Asesor de Trabajo Prof. Doc.

C.c.p. Archivo

GJS/MPGA/sco*

M. I. EDGAR IRAM VILLAGRAN ARROYO
DIRECTOR FACULTAD DE INGENIERIA B. U. A. P.
PRESENTE.

Estimado Maestro:

Por este medio le informo que la tesis titulada "DISEÑO DE CUATRO PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE PUEBLA" elaborada por El **Biol. Manuel Antonio Osorio López**, ha sido debidamente revisada por la abajo firmante, y las correcciones sugeridas ya se realizaron. Por lo anterior le manifiesto que no hay inconveniente para **autorizar la impresión de la misma.**

Agradeciendo su atención quedo a sus órdenes.



ATETAMENTE
H. Puebla de Z., 11 de Julio de 2014.


Dra. Martha Patricia González Aráoz

M. I. EDGAR IRAM VILLAGRAN ARROYO

DIRECTOR DE LA FAC. DE INGENIERIA, B. U. A. P.

PRESENTE

Estimado Director:

El que suscribe MANUEL ANTONIO OSORIO LOPEZ alumna(o) de la_1ª_ generación de la Maestría en Ingeniería Ambiental por este medio solicita le asigne fecha de examen y jurados para defender el tema de tesis denominado "DISEÑO DE CUATRO PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE PUEBLA"

A T E N T A M E N T E

H. Puebla de Z., 11 de Septiembre de 2014

MANUEL ANTONIO OSORIO LOPEZ

970070189

c.c.p. Dra. Martha Patricia González Araoz.- Coordinador de la Maestría en Ingeniería Ambiental.

c.c.p. Interesado.

ÍNDICE

PÁGINA

INTRODUCCIÓN.....	5
Capítulo I.- Protocolo de Estudios	9
I.1 Planteamiento del Problema.....	9
I.2 Justificación	10
I.3 Objetivos	11
I.3.1 Objetivo General.....	11
I.3.2 Objetivos Particulares.....	11
Capítulo II.- Marco de Referencia	12
II.1. Marco Histórico.....	12
II.1.1 Localización.....	12
II.1.2 Planta Barranca del Conde.....	13
II.1.3 Planta Atoyac Sur	13
II.1.4 Planta Alseseca Sur	13
II.1.5 Planta San Francisco.....	13
II.2 Marco Teórico.....	14
II.2.1 Aspectos generales	14
Capítulo III.- Marco Metodológico.....	18
III.1 Pruebas de Tratabilidad.....	18
III.1.1 Operación de los sistemas estabilizados.	22
III.1.2 Obtención de las constantes cinéticas.	23
III.1.3 Ecuaciones cinéticas biológicas.....	27
Capítulo IV.- Análisis y Resultados	38
IV.1 Información general de las cuatro plantas.	38
IV.1.1 Aforos, muestreos análisis de campo y laboratorio	43
CONCLUSIONES.....	95
BIBLIOGRAFIA.....	96

ANEXO A. Tablas de análisis de costos.

ANEXO B. Arreglos de Diseño de conjunto por planta.

ANEXO C. Fotografías.

RESUMEN

Se presenta la evidencia de participación profesional en un estudio para el Diseñode Cuatro Plantas de Tratamiento, que contempló la realización de la ingeniería básica en la cual fueron planteadas las diferentes alternativas de tratamiento mediante la aplicación de las metodologías de evaluación de procesos y tecnologías para el tratamiento de aguas residuales y una simulación a nivel laboratorio de campo que arrojó las constantes biocinéticas para el dimensionamiento de las obras a realizar, este documento está de acuerdo a las técnicas y métodos aprendidos dentro del programa de formación académica en la Maestría en Ingeniería Ambiental.

En este documento se tiene participación en la revisión y supervisión del diseño de cuatro plantas de tratamiento de aguas residuales para llevar de tratamiento primario avanzado a tratamiento secundario de tipo biológico a dichas plantas existentes en la ciudad de Puebla, cuyos trabajos consistieron en la realización de pruebas de tratabilidad para tratamiento biológico para obtener las constantes de diseño para las cuatro plantas de tratamiento obtener el predimensionamiento de las estructuras a construir, así como costos y equipamiento de las mismas.

Con lo anterior se podrá desarrollar el Proyecto Ejecutivo del nuevo Diseño de las Cuatro Plantas de tratamiento y su ampliación a tratamiento secundario biológico y poder alcanzar la calidad de efluentes que establece la normatividad ambiental federal a las cuatro plantas.

Este estudio es la base técnica para cualquier proyecto nuevo o de ampliación en sus procesos de plantas de tratamiento de aguas residuales de tipo municipal o industrial y tiene la validez ante las dependencias de gobierno ya que es un requisito dentro de los lineamientos que establece la CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) para la elaboración de proyectos ejecutivos de Plantas de Tratamiento de aguas residuales a nivel nacional, así como para dar cumplimiento

a la normatividad vigente ambiental establecida en las Normas Oficiales Mexicanas en materia de descargas y Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento

INTRODUCCIÓN

Situación del Tratamiento de las Aguas Residuales en la Ciudad de Puebla.

Actualmente la ciudad de Puebla y zona conurbada cuenta con un sistema integral de saneamiento a base de plantas de tratamiento. De acuerdo con los estudios de planeación del año 1994 se definieron cinco plantas de tratamiento que son: Barranca del Conde, Alseseca Sur, San Francisco, Atoyac Sur y Parque Ecológico. La ubicación de cada una se realizó en función de los factores siguientes: cuencas topográficas que comprende la zona urbana y conurbada de la Ciudad, distribución de la Población dentro de la misma, aportación de aguas residuales de las áreas de influencia, así como las características del agua residual, de manera que cada planta se localizo en las márgenes de los Ríos Atoyac y Alseseca.

Las cuatro plantas de tratamiento de aguas residuales, fueron concebidas para construirse en dos etapas, una primera que arrancó en el año 2002 y la segunda que deberá de iniciar su funcionamiento en el año 2007. Las etapas deberán cumplir en el agua tratada con una calidad específica, siendo de 150 mg/l y 75 mg/l de DBO y SST para la primera y segunda etapa, respectivamente. Desde su inicio de funcionamiento hasta la fecha, las plantas han sido operadas de manera continua contándose con la información generada de por lo menos los últimos tres años, situación que permitirá determinar a partir de los datos disponibles la calidad de agua de diseño de la segunda etapa de tratamiento de los cuatro sistemas.

Dentro de la Planeación se considera que las aguas residuales a tratar corresponden a aguas residuales municipales de origen doméstico, sin embargo, actualmente en algunas de ellas se ha detectado cierta influencia de agua residual industrial, en su mayoría de tipo textil, misma que en un futuro corto ya no ingresará a las plantas. Los efluentes tratados se usan para el riego de zonas agrícolas de Distritos de Riego, previo vertido a los citados cuerpos nacionales. Desde su puesta en marcha hasta la fecha las cuatro plantas a las que

haremos referencia motivo de estudio de un nuevo diseño, han operado de manera continua por lo que se cuenta con información de los años de operación, para el caso de este estudio se utilizó la recopilada en los últimos tres años de operación que fue analizada y evaluada para obtener los criterios de Diseño de las Cuatro Plantas de Tratamiento de la ciudad de Puebla: Barranca del Conde, Alseseca Sur, San Francisco y Atoyac Sur, y alcanzar el tratamiento secundario motivo de este estudio. Con la información disponible de calidad y cantidad de agua residual se realizó un análisis y evaluación de cinco diferentes alternativas para determinar el proceso de tratamiento para cumplir con la nueva calidad del agua tratada de la segunda etapa.

Las cuatro plantas de tratamiento motivo de este estudio tienen prácticamente las mismas unidades en la línea de agua, un pozo de gruesos que esta integrada por una caja de recepción de agua cruda, un cribado grueso que retiene el material voluminoso y el cárcamo de bombeo de agua, los sólidos gruesos son retirados por medio de una cuchara tipo bivalva. Con ayuda de las bombas el agua se envía a la caja derivadora en donde están los canales de cribado, en donde se retiene material más pequeño.

Después de los canales de cribado el agua pasa por un canal en donde se realiza la medición del gasto que entra a la planta, se tiene al final de este canal una sección tipo Venturi para establecer condiciones favorables para la medición. El tirante dentro de este dispositivo de control se mide con ayuda de un sensor ultrasónico que configurado con la sección Venturi nos proporciona lecturas directas del gasto y volumen del agua de entrada. Posteriormente el agua, pasa y se distribuye a las cámaras de desarenado-desgrasado, en donde termina el proceso de pretratamiento.

Una vez realizado el Pretratamiento del agua residual, esta se conduce al tratamiento químico, que está integrado por las unidades de coagulación-floculación y sedimentación, de acuerdo con la tecnología instalada por la empresa francesa que tuvo a su cargo la operación y mantenimiento de Plantas y Colectores "Degremont", este proceso se denomina Densadeg, que tiene una zona de mezclado rápido y una de floculación o mezcla lenta. La adición del

coagulante o sulfato de aluminio se realiza en la salida del canal venturi para tener una mejor coagulación y el polímero o ayudante para la floculación se inyecta en la cámara de mezclado rápido. Con este sistema de coagulación y floculación se llevan a cabo dos procesos que consisten en la desestabilización de partículas que las mantienen separadas y la aglomeración de las mismas para formar flóculos más densos que el agua. Después del proceso químico el agua pasa al sedimentador en donde los sólidos se precipitan por acción de la gravedad, dentro de esta unidad se cuenta con paneles o lamelas para acelerar la sedimentación de partículas o floccs.

Finalmente el agua pasa al tanque de contacto con cloro en donde se le inyecta una solución de gas cloro para la desinfección y remoción de coliformes principalmente. El agua tratada con el proceso antes mencionado es conducida y descargada a dos ríos Atoyac y Alseseca que cruzan la ciudad de Puebla de Norte a Sur.

En lo que respecta al tratamiento de lodos primarios, las dos plantas ubicadas en el Sur de la ciudad Atoyac y Alseseca Sur cuentan con un sistema para el tratamiento y disposición de estos residuos; en la Planta de Atoyac se reciben los lodos de las Plantas de Barranca del Conde y San Francisco y se procesan los producidos de la misma planta de Atoyac; en la Planta de Alseseca Sur se reciben los lodos de la planta Parque Ecológico y se procesan los producidos por la misma planta de Alseseca Sur. Ambas plantas Atoyac y Alseseca Sur cuentan con un sistema completo a base de digestores anaeróbicos para la estabilización y filtros prensa tipo banda para la deshidratación de estos residuos.

Por otro lado, la Comisión Nacional del Agua para efecto de hacer más estricta la calidad de cumplimiento en las descargas vertidas por las plantas de la ciudad de Puebla y de aquellas que son vertidas por plantas de tratamiento dentro de la cuenca Alta del Río Atoyac que abarca desde Sta Rita Tlahuapan con un recorrido de más de 30 km hasta la confluencia con la Presa de Valsequillo, y de todas aquellas descargas directas realizadas por las Industrias y Servicios, la

CONAGUA concluyó un estudio de Reclasificación del Río Atoyac, denominado Declaratoria de Clasificación del Ríos Atoyac y Xochiac o Hueyapan, publicado el 6 de Julio de 2011 en el Diario Oficial de la Federación, mismo que ahora es aplicado por la CONAGUA, cuyos cuerpos receptores es donde descargan las plantas de tratamiento de la Ciudad de Puebla, por lo que la dependencia federal recomendó al Sistema Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Puebla (SOAPAP) que el nivel de tratamiento de la segunda etapa fuera de 20/40 mg/l de DBO/SST.

Capítulo I.- Protocolo de Estudios

I.1 Planteamiento del Problema

Debido al aumento en la contaminación de los cuerpos receptores que atraviesan la ciudad de Puebla y su área conurbada como son: el Río Atoyac y el río Alseseca y sus afluentes y su escasa depuración y nula en algunos tramos de ambos ríos con repercusión en el embalse de la presa de Valsequillo cuyo Distrito de Riego que abastece un área extensa del Valle de Tecamachalco y de los campos de cultivo de riego Atlixco- Izúcar de Matamoros se hace necesario aumentar la capacidad y mejorar la calidad en el tratamiento de las aguas residuales en las Cuatro Plantas de Tratamiento de la ciudad de Puebla. El actual proceso fisicoquímico de tratamiento en éstas es insuficiente para eliminar los contaminantes que impactan negativamente en los cuerpos receptores federales antes mencionados, cuya calidad de cumplimiento que se emitió en sus permisos se considera de base para descargas de tipo municipal, establecida en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-Semarnat-1996, en donde los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST) es de 150/150 mg/l, respectivamente. Por lo que se hace necesario mejorar la calidad y alcanzar calidades de agua residual tratada de 20/30 mg/l de DBO y SST. Esto se logrará mediante tratamiento biológico con remoción de nutrientes como: nitrógeno y fósforo dentro de sus procesos planteados, asimismo, los costos de operación y mantenimiento sostenibles y con recuperación de inversión en el mediano plazo.

I.2 Justificación

Por la forma estratégica en que están ubicadas las cuatro plantas de tratamiento de aguas residuales se hace necesario replantear los nuevos esquemas de procesos de tratamiento secundario para mejorar la calidad de agua vertida a cuerpo receptor federal y su crecimiento a futuro en mayor capacidad de infraestructura de tratamiento.

Coadyuvar a mejorar la calidad de vida de los habitantes de la ciudad de Puebla, con los costos de salud pública implicados, así como proporcionar agua de calidad para riego de cultivos a mas de 13,000 familias que sostiene su economía mediante el riego para uso agrícola con las aguas almacenadas en la Presa de Valsequillo y que hoy representan una baja en su producción en el campo agrícola y riesgo de enfermedades.

I.3 Objetivos

I.3.1 Objetivo General

Diseñar la mejor tecnología de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Puebla y sus costos sostenibles para la operación continua para cuatro plantas de tratamiento.

I.3.2 Objetivos Particulares

- 1) Recopilación de Información de las cuatro plantas existentes.
- 2) Estudio de análisis, revisión y validación de cantidad de aguas residuales tratadas históricos.
- 3) Estudio de análisis, revisión y validación de calidad de aguas residuales históricos, Influyente-Efluente.
- 4) Análisis de alternativas de sistemas de tratamiento y estudios de tratabilidad para identificar y evaluar técnica y económicamente la opción más adecuada y obtener los criterios de diseño para tratamiento biológico de cuatro plantas.
- 5) Estimación de Costos, construcción y equipamiento, así como de operación y mantenimiento.

Capítulo II.- Marco de Referencia

II.1. Marco Histórico

II.1.1 Localización

En la Figura II.1 Se localizan las Plantas de Tratamiento de estudio.



Figura II.1 Ubicación de la Zona de Estudio. Cuatro Plantas

II.1.2 Planta Barranca del Conde

Se localiza en la zona Nor-poniente de la ciudad o en la intersección de la margen derecha del río Atoyac y calle Unidad Habitacional Obreros Independientes de la Volkswagen. El punto de descarga es sobre la misma del río Atoyac mediante una tubería de concreto reforzado de 36" de diámetro.

II.1.3 Planta Atoyac Sur

Se localiza al sur-oeste de la ciudad, dentro del Barrio las Carmelas, en la cuarta sección de San Ramón y cuyo acceso es por la calle prolongación de la 11 sur. El punto de descarga se localiza a la altura del mismo predio de la planta con tubería de 36" de diámetro.

II.1.4 Planta Alseseca Sur

Se localiza al sur-oeste y a la margen derecha del río Alseseca. El efluente o agua tratada es vertida al mismo río a 50 metros aguas abajo, la tubería de descarga vierte el agua a una estructura de concreto para evitar la erosión del terreno de 45" de diámetro.

II.1.5 Planta San Francisco

Se localiza sobre la margen derecha del río Atoyac en el desarrollo Atlixcayotl, entre la calle Kepler S/N y Boulevard Atlixcayotl, dentro de la colonia Sta. Cruz Guadalupe. El punto de descarga se localiza a 200 metros aguas abajo del río Atoyac mediante una tubería de concreto reforzado de 60" de diámetro.

II.2 Marco Teórico

II.2.1 Aspectos generales

Se diseñarán las plantas en su fase biológica para los caudales medios diarios considerados en el proyecto original, debiendo evaluar la sensibilidad de los procesos y operaciones unitarias con una sobrecarga de un 10% sobre los caudales a presentarse en forma permanente; lo anterior también deberá revisarse tomando en cuenta la información que obtengan del registro reportado durante los últimos tres años de operación de las plantas.

Con los caudales a manejar y la calidad de aguas residuales tratadas seleccionada de los Sistemas de Tratamiento de las cuatro plantas, los licitantes también seleccionarán el tipo de Proceso y Operaciones Unitarias, así como el Equipamiento de las Unidades Biológicas más adecuadas, asimismo, para que establezcan el procedimiento para la medición y el control operacional de dichos procesos biológicos. En la **Tabla 1** podemos observar que de acuerdo aun análisis del caudal promedio anual de operación y calidad anual del agua tratada (percentil 75%) de las plantas de tratamiento se determinó una eficiencia de remoción de DBO que oscila entre 36 y 45%, promediando 40%; en el caso de SST la eficiencia varió de 68 y 80%, promediando 76%. Los coliformes fecales han presentado porcentajes de remoción mínimos, no cumpliendo con los niveles normativos establecidos.

Tabla 1. Análisis del caudal promedio anual de operación y calidad anual del agua tratada (percentil 75%) de las plantas de tratamiento. Años 2003-2005 (Mayo)

Planta de Tratamiento	Gasto Promedio Anual (l.p.s.)	Calidad Anual (percentil 75%)		
		DBO5 Tot. (mg/l)	DBO5 Sol. (mg/l)	S.S.T. (mg/l)
Barranca del Conde	232	203	152	94
Alseseca	696	238	170	127
San Francisco	1,348	169	157	126
Atoyac	404	211	170	117
Total	2,680			

El diseño de procesos de las Unidades Biológicas de las Plantas de Tratamiento deben contemplar los caudales de diseño aplicados en la primera etapa del proyecto original y considerando una sobrecarga de aproximadamente un 10%, resultando los valores que se muestran en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Caudales de diseño aplicados en la primera etapa del proyecto original

Planta de Tratamiento	Capacidad Total (l.p.s.)	Sobrecarga en periodos cortos (l.p.s.)	Evaluación con sobrecarga (l.p.s.)
Barranca del Conde	340	35	375
Alseseca	700	70	770
San Francisco	1100	100	1200
Atoyac	400	50	450
Totales	3600	360	3960

Las Unidades Biológicas de las Plantas de Tratamiento se diseñarán hidráulicamente para los caudales que se muestran en la **Tabla 3**, que consideran una sobrecarga de un 10% sobre los caudales de diseño:

Tabla 3. Caudales para el nuevo Diseño.

Planta de Tratamiento	Capacidad Total (l.p.s.)	Sobrecarga en periodos cortos (l.p.s.)	Evaluación con sobrecarga (l.p.s.)
Barranca del Conde	500	50	550
Alseseca	1000	100	1100
San Francisco	1500	150	1650
Atoyac	600	60	660
Totales	3600	360	3960

En resumen, para las condiciones de operación de los sistemas de tratamiento bajo los porcentajes de sobrecarga sobre la capacidad modular, el caudal de

diseño hidráulico, considera un incremento aproximado de un 10% constante al caudal máximo del proyecto original. En lo que respecta la calidad de agua de diseño del proceso, la calidad anual (percentil 75%) arriba citada en DBO y SST, que deberá ser analizada, revisada, podría también considerar un 10 % permanente, además de un 10% adicional en dichos parámetros en periodos no mayores de 4 horas en el curso de un día, durante el periodo de operación de las plantas.

De acuerdo a los resultados de calidad del agua cruda y tratada de las cuatro plantas de tratamiento, registrados durante los últimos tres años de operación de los sistemas, en donde se han encontrado de manera general diferencias sustanciales a la alza en algunos parámetros de calidad, concretamente en lo que se refiere a la DBO y DQO total y soluble, coliformes totales y fecales, SST, nitrógeno amoniacal, etc., debiéndose estos incrementos por un lado a los bajos niveles de calidad de agua residual de algunos parámetros considerados en el proyecto original y segundo, como resultado de las descargas industriales que se incorporan a los diferentes colectores de las plantas, impactando principalmente en los contenidos de materia orgánica suspendida y soluble.

El estudio de Alternativas de Tratamiento de las aguas tratadas de las cuatro plantas de tratamiento, así como los estudios de tratabilidad de las aguas referidas, obedece a los aspectos principales siguientes:

1. Incrementos considerables detectados en las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua residual durante el periodo de 2003 al 2005, los cuales rigen el tipo, tamaño y demás características de los procesos a seleccionar, incluyendo el costo.
2. La propuesta de tratamiento secundario basada en la calidad de agua residual del proyecto original, que se ve limitada por el aumento de la concentración actual de la DBO (total y soluble) y probablemente de otros parámetros.

3. Los contenidos altos de algunos parámetros de calidad del agua cruda y tratada que ejercen una demanda alta de cloro y que impiden la desinfección eficiente del agua producida por las plantas.
4. Conocer la producción real de lodos primarios y consecuentemente los secundarios, de tal forma que se pueda determinar si la capacidad actual instalada de digestores anaerobios y equipos de deshidratación es suficiente para ambas etapas de tratamiento, o si será necesario incrementar el número de estas unidades.
5. De manera general por la posible influencia del agua residual industrial vertida actualmente sin ningún tratamiento a los colectores de las plantas, que de no considerarse en el diseño pudiera afectar el proceso biológico de la segunda etapa de tratamiento,

El estudio mencionado permitirá seleccionar la opción que técnica y económicamente sea más atractiva, procesando el agua tratada actual de cada planta y que cumpla con la calidad del agua efluente de la segunda etapa de tratamiento, arrojando las concentraciones señaladas por la CNA en todos los parámetros contemplados, en donde indica por ejemplo 75 mg/l como promedio mensual para la DBO y SST, y en el caso de coliformes fecales, que éstos no rebasen contenidos de 1000 NMP/100 ml,

Capítulo III.- Marco Metodológico

III.1 Pruebas de Tratabilidad

Las pruebas de tratabilidad se realizaron simulando un proceso biológico de lodos activados, de flujo continuo, con reactor completamente mezclado, alimentando con agua proveniente de los equipos Densadeg o clarifloculadores de cada una de las plantas existentes. Los resultados a obtener se podrán utilizar como base de diseño para un proceso de lodos activados, ya que el agua es sometida a estudio de tratamiento y verificar si es factible tratarla mediante un proceso biológico, para ello se hace un ensayo a escala laboratorio y revisar si existen elementos inhibitorios para el crecimiento de los microorganismos responsables de llevar a cabo el tratamiento, en caso de obtener resultados satisfactorios en esta primer etapa, se procede a la obtención de los coeficientes biocinéticos necesarios para establecer los criterios básicos de diseño para un proceso de tratamiento de agua residual en su modalidad de lodos activados. Con los resultados a obtener se considera calcular, evaluar y en su caso recomendar valores para las constantes de velocidad de remoción de sustrato, generación de sólidos y requerimientos de oxígeno.

A continuación se describe la metodología y procedimientos para establecer una prueba de tratabilidad:

Para la determinación de estas constantes, se montaron cuatro reactores a escala laboratorio tipo celda Eckenfelder, se alimentaron con un flujo continuo, mediante bombas dosificadoras marca Prominent, de agua residual del efluente de DENSADeg, de cada planta de tratamiento, La capacidad de los reactores es de 23 litros, con una cámara de sedimentación de 2.3 litros. Mediante el suministro de aire se proporciona el medio para mantener el contenido del reactor completamente mezclado y la condición aerobia.

Las condiciones de operación y monitoreo de los dispositivos montados se presenta a continuación:

Tiempos de retención hidráulico (θ) y flujos de alimentación a cada reactor se presentan en la siguiente **Tabla 4**.

Tabla no. 4 Tiempos de retención y flujos de alimentación a los reactores (r).

	R1	R2	R3	R4
<i>Volumen del reactor, L.</i>	23	23	23	23
<i>Tiempo de retención hidráulico (TRH), h.</i>	8.0	16.0	24.0	32.0
<i>Flujo de alimentación (Q), L/hr.</i>	2.875	1.44	0.96	0.72

Las condiciones de operación y dimensiones de los reactores, fueron similares para las cuatro plantas de tratamiento, lo que varió fue la calidad de agua alimentada a los sistemas.

Aclimatación de los reactores.

El día 12 de noviembre-05, los cuatro reactores de cada planta, se inocularon con lodos de una planta de tratamiento de agua residual industrial, sin embargo para el 26 del mismo mes no se había logrado incrementar la concentración de lodos en la mayoría de los reactores, por lo que el 27 de noviembre de 2005 se inocularon con lodo de una planta de tratamiento de lodos activados que trata agua de origen doméstico, este inóculo se tomó de la línea de recirculación de la planta de tratamiento de aguas residuales La Gachupina, ubicada en el Municipio de Jiutepec, Mor., por lo que la aclimatación y estabilización de los lodos fue prácticamente inmediata. La inoculación se realizó e día 27-nov-05. El 30 del mismo mes, los efluentes de los reactores, en las cuatro plantas presentaban características muy favorables, obteniendo en el efluente concentraciones de DBO del orden de 40 mg/L.

Para cada uno de los reactores se consideró que el sistema se encuentra aclimatado cuando en el efluente se obtienen resultados con valores de DBO aceptables, y sobre todo cuando el aspecto del licor mezclado presenta características aceptables de sedimentación para cada uno de los reactores. En las pruebas realizadas, la concentración de sólidos antes de considerar que los reactores estuvieran estabilizados se muestra en las siguientes tablas por planta. **Tablas 5, 6, 7 y 8.**

Tabla 5 Concentración de sólidos en los reactores. Inicial

PTAR SAN FRANCISCO				
	C1	C2	C3	C4
SST, mg/L	3960	3960	3550	2900
SSV, mg/L.	2420	2420	2000	1840

Tabla 6 Concentración de sólidos en los reactores. Inicial

PTAR BARRANCA DEL CONDE				
	C1	C2	C3	C4
SST, mg/L	6180	4620	4460	4650
SSV, mg/L.	3450	2680	2390	2680

Tabla 7 Concentración de sólidos en los reactores. Inicial

PTAR ATOYAC SUR				
	C1	C2	C3	C4
SST, mg/L	3400	5120	2860	2880
SSV, mg/L.	2180	2430	1590	1590

Tabla 8 Concentración de sólidos en los reactores. Inicial

PTAR ALSESECA SUR				
	C1	C2	C3	C4
SST, mg/L	3580	4660	3550	4110
SSV, mg/L.	1930	2550	1920	2070

Para el día 30 de noviembre-05 las concentraciones de sólidos suspendidos totales y volátiles para las cuatro plantas se muestran en las siguientes tablas por planta. **Tablas 9,10,11 y 12.**

Tabla 9 Concentración de sólidos en reactores. Final

PTAR SAN FRANCISCO				
	C1	C2	C3	C4
SST, mg/L	4020	3065	3430	2870
SSV, mg/L.	2530	1710	1920	1785

Tabla 10 Concentración de sólidos en reactores. Final

PTAR BARRANCA DEL CONDE				
	C1	C2	C3	C4
SST, mg/L	6130	4540	4330	4500
SSV, mg/L.	3500	2650	2470	2620

Tabla 11 Concentración de sólidos en reactores. Final

PTAR ATOYAC SUR				
	C1	C2	C3	C4
SST, mg/L	3330	5030	2880	2640
SSV, mg/L.	2140	2415	1580	1480

Tabla 12 Concentración de sólidos en reactores. Final

PTAR ALSESECA SUR				
	C1	C2	C3	C4
SST, mg/L	4150	4015	3460	3370
SSV, mg/L.	1190	2185	1930	1855

III.1.1 Operación de los sistemas estabilizados.

Alcanzado el estado estacionario, se inició el programa de muestreo y análisis, el cual se presenta en la **Tabla 13**, este periodo de muestreo se realizó del 30-nov-05 al 10-dic-05, y se hizo de manera intensiva, con el fin de obtener los datos necesarios en el menor tiempo posible, En este periodo se operaron, cada uno de los reactores, con diferentes cargas orgánicas, tiempos de retención y concentración de sólidos suspendidos totales y volátiles.

Tabla 13. Programa de Pruebas y análisis para reactores a escala de Laboratorio, con flujo continuo y completamente mezclado.

ANÁLISIS	ALIMENTACIÓN	LICOR MEZCLADO	EFLUENTE
DBO ₅	4/semana	-	4/semana
pH	Diario	Diario	Diario
SST	4/semana	4/semana	-
SSV	-	4/semana	4/semana
Tasa de consumo de oxígeno, TCO	-	4/semana	-
Oxígeno disuelto	-	Diario	-
Sólidos sedimentables	-	Diario	-
Índice volumétrico de lodo IVL	-	4/semana	-
Velocidad de sedimentación zonal VSZ	-	Diario	-
Flujo	Diario	-	-

III.1.2 Obtención de las constantes cinéticas.

Para la obtención de las constantes cinéticas, así como para la determinación de las cargas orgánicas en la alimentación, los cálculos se realizaron en base a la DBO₅, y se considera que la remoción de sustrato sigue una cinética de primer orden. En este apartado se presenta una descripción más detallada del desarrollo de estas ecuaciones, así como la teoría relacionada con el desarrollo de estas ecuaciones.

Constante de remoción de sustrato “k”, d⁻¹*L/mg.

A partir de la siguiente ecuación (1)

$$\frac{S_0 - S}{X_v * \Theta} = k * S \quad \dots\dots\dots(1) \text{ donde:}$$

S₀ = Concentración de , DBO₅ en la alimentación, mg/L.

S = Concentración de DBO₅, en el efluente, mg/L

X_v = concentración de SSVLM en el reactor, mg/L..

Θ = Tiempo de retención hidráulico, d.

k = constante de remoción de sustrato, d⁻¹*L/mg.

Graficando la ecuación No. 1 se obtiene la pendiente que es el valor correspondiente a “k”, para el agua residual en estudio. El ajuste de la recta se hizo por mínimos cuadrados.

Producción de sólidos

Obtención del coeficiente de producción de biomasa “y”, kg SSV / kg DBO₅ removida, y “k_d”, t⁻¹ coeficiente de decrecimiento endógeno.

De la ecuación:

$$\frac{PX_v/V}{X_v} = y * \left(\frac{(S_o - S)}{X_v * \Theta} \right) - k_d \dots\dots\dots(2) \text{ donde:}$$

PX_v = producción de sólidos suspendidos volátiles, mg/d

V = volumen del reactor, L.

X_v = Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el reactor, mg/L.

S_o = Concentración de , DBO_5 en la alimentación, mg/L.

S = Concentración de DBO_5 , en el efluente, mg/L

θ = Tiempo de retención hidráulico, d.

“ y ”, coeficiente de producción de biomasa, kg SSV / kg DBO_r.

“ k_d ” = coeficiente de de crecimiento endógeno, d^{-1} .

Graficando la ecuación (2) se obtienen los valores correspondiente a la pendiente, que es el coeficiente de producción de biomasa “ y ”, kg SSV / kg DBO_r, y el valor de la intersección a la ordenada “ k_d ”, d^{-1} .

Cálculo de las constantes de requerimiento de oxígeno.

Obtención de las constantes “ a ”, kg O₂ /kg DBO_r, oxígeno requerido para la oxidación de sustrato y el valor de “ b ”, d^{-1} ., oxígeno requerido para el proceso de respiración endógena.

De la ecuación

$$TEUO = a * \left(\frac{(S_o - S)}{X_v * \Theta} \right) + b \dots\dots\dots(3) \text{ donde:}$$

$TEUO$ = tasa específica de utilización de oxígeno, kg O₂/d * kg SSVLM

X_v = Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el reactor, mg/L.

S_o = Concentración de DBO_5 en la alimentación, mg/L.

S = Concentración de DBO_5 , en el efluente, mg/L

θ = Tiempo de retención hidráulico, d.

a = Constante de requerimiento de oxígeno, kg O_2 / kg DBO removida.

b = constante de requerimiento de oxígeno para el proceso de respiración endógena, d^{-1} .

Graficando la ecuación (3) se obtiene la pendiente que es el valor de "a" y la ordenada al origen el valor de "b".

A continuación se presenta una descripción detallada para la obtención de las ecuaciones y teoría utilizada.

Fundamentos del tratamiento biológico, crecimiento y utilización de sustrato.

El objetivo básico del tratamiento biológico es alimentar el sustrato (materia orgánica) a un cultivo de microorganismos para remover esta materia orgánica (medida como demanda bioquímica de oxígeno (DBO) o demanda química de oxígeno (DQO) de la solución (agua residual).

El termino sustrato se utiliza para denotar la materia orgánica, nutrientes y otras sustancias que pueden estar presentes en el agua residual. Así los microorganismos (μs) se utilizan para consumir materia orgánica, nitrificar amoníaco, denitrificar nitratos y liberar y consumir fósforo.

Microbiología: La estabilización del residuo se lleva a cabo por una gran variedad de microorganismos (μs). En un cultivo mixto, el número de especies y su

población depende de las características del agua residual y condiciones ambientales.

Requerimientos básicos: Los μ s en presencia de oxígeno, convierten la materia orgánica biodegradable en CO_2 , agua, material celular y otros productos inertes. Los ingredientes necesarios para un proceso biológico son: 1) población mixta de μ s activos 2) buen contacto entre μ s y residuo, 3) disponibilidad de oxígeno, 4) disponibilidad de nutrientes, y 5) mantenimiento de otras condiciones ambientales favorables, como temperatura, pH, suficiente tiempo de contacto, y otros.

Fases de crecimiento. Las bacterias se reproducen por fisión binaria. El tiempo requerido para cada fisión se llama tiempo de generación. Este puede variar de menos de 20 minutos a varios días. El crecimiento de los μ s en un reactor batch puede expresarse en términos de tiempo vs número de bacterias viables o masa viable. Inicialmente el número de masa de μ s es pequeña tan pronto como el alimento entra en contacto con los μ s se inicia el crecimiento. Al principio el crecimiento es lento, debido a que los μ s se están ajustando a su nuevo medio ambiente. Esta es la fase de adaptación. La fase de adaptación para la masa de bacterias no es tan grande como la correspondiente a la fase de adaptación para el número de bacterias, debido a que la masa comienza a incrementar antes de que la división de células tome lugar. Después de la fase inicial hay un rápido crecimiento en el número o masa, esta fase se le llama fase de crecimiento logarítmico, hay un exceso de alimento. En esta fase, la tasa de crecimiento de las células está limitada por la habilidad de los μ s para procesar el sustrato. Conforme la concentración de alimento se hace limitado se desarrolla una fase de crecimiento declinante. Una disminución en el alimento inhibe el metabolismo de μ s lo que da lugar a una fase estacionaria, seguida de una fase de muerte.

En esta fase la tasa de disminución de bacterias excede a la producción de nuevas células. Durante esta fase los μ s son forzados a metabolizar su propio protoplasma fase endógena.

Requerimientos nutricionales y ambientales.

Para el crecimiento y sobrevivencia de μ s debe haber:

- 1) una fuente de energía
- 2) carbono para la síntesis de nuevas células
- 3) elementos inorgánicos y nutrientes

La energía necesaria para síntesis de nuevas células puede ser suministrada por la luz o reacciones de oxidación química.

III.1.3 Ecuaciones cinéticas biológicas.

En el pasado, el diseño de sistemas de tratamiento biológico de agua residual se basaba en parámetros empíricos de la experiencia: carga orgánica, carga hidráulica, tiempo de reacción.

En la actualidad se utilizan parámetros empíricos así como parámetros racionales basados en ecuaciones cinéticas biológicas. Estas ecuaciones expresan el crecimiento de sólidos biológicos, tasas de utilización de sustrato en términos de coeficientes biológicos, relación de F/M, TRC y otros.

Usando estas ecuaciones, parámetros de diseño tales como volumen de reactor crecimiento de la biomasa, utilización de sustrato y calidad del efluente se pueden calcular.

Tasa de crecimiento celular con sustrato en exceso. La tasa de crecimiento de células bacterianas cuando están en un medio en sustrato en exceso se expresa por

$$r_g = \mu X \quad \text{Crecimiento exponencial} \quad \ln(X - X_0) = \mu t$$

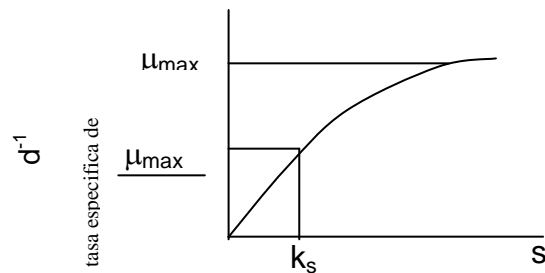
$$r_g = \frac{dx}{dt} = \text{tasa de crecimiento, g/m}^3 \cdot \text{d}$$

μ = tasa específica de crecimiento, d^{-1}

X = concentración de microorganismos o SSV g/m^3

Tasa de crecimiento celular cuando hay sustrato limitante. Cuando existe la situación de un sustrato o nutriente limitante, la tasa de crecimiento de los microorganismos (μ s) es limitada. El crecimiento se define por una expresión propuesta por Monod.

$$\mu = \mu_{max} \frac{S}{K_s + S} \quad \text{-----2}$$



μ_{max} = Tasa máxima específica de crecimiento, d^{-1}

K_s = Constante de velocidad media o la concentración de sustrato a un medio de la tasa máxima específica de crecimiento, g/m^3

S = Concentración del sustrato limitante en solución g/m^3

Sustituyendo el valor de μ de la ec.2 en la ec.1 el crecimiento de microorganismos (μ s) bajo un ambiente de nutrientes o sustrato limitante.

$$r_g = \mu_{max} \frac{XS}{K_s + S} \quad \text{-----3}$$

$$\frac{dx}{dt} = \mu_{max} \frac{XS}{K_s + S}$$

Tasa de utilización de sustrato. En un reactor, conforme los μ_s crecen una parte del sustrato es convertido a nuevas células y una parte del sustrato es oxidado para energía. La relación entre crecimiento de μ_s y utilización de sustrato es

$$Y = -\frac{r_g}{r_{su}} \quad \text{-----4}$$

Y = Coeficiente de producción de células, g de masa de células /g de sustrato utilizado sobre un periodo finito de la fase de crecimiento.

r_{su} = Tasa de utilización de sustrato, g/m³.d

Las ecuaciones 3 y 4 se combinan para expresar la tasa de utilización de sustrato

$$r_{su} = -\frac{\mu_{max}XS}{Y(K_S + S)} \quad \text{-----5}$$

En la ec. 5 el término μ_{max}/Y es sustituido de la ec. 6

$$k = \frac{\mu_{max}}{Y} \quad \text{-----6}$$

$$r_{su} = -\frac{kXS}{(K_S + S)} \quad \text{-----7}$$

k = Tasa máxima de utilización de sustrato por unidad de masa de μ_s , d⁻¹

Metabolismo Endógeno: En cultivo mixto en el crecimiento de la biomasa también se lleva a cabo muerte, predación y decaimiento. Se asume que la

disminución de la masa celular es proporcional a la concentración de la masa presente. Este decrecimiento es llamado decaimiento endógeno.

$$r_d = -k_d X$$

El crecimiento neto de la biomasa y la tasa neta específica de crecimiento se expresan por las siguientes ecuaciones:

$$r_g^1 = \mu_{\max} \frac{XS}{K_S + S} - k_d X \quad \text{-----8}$$

$$r_g^1 = -Y r_{su} - k_d X \quad \text{-----9}$$

$$\mu^1 = \mu_{\max} \frac{S}{K_S + S} - k_d \quad \text{-----10}$$

r_g^1 = Tasa neta de crecimiento de la biomasa, g/m³.d

k_d = Coeficiente de decaimiento endógeno, d⁻¹

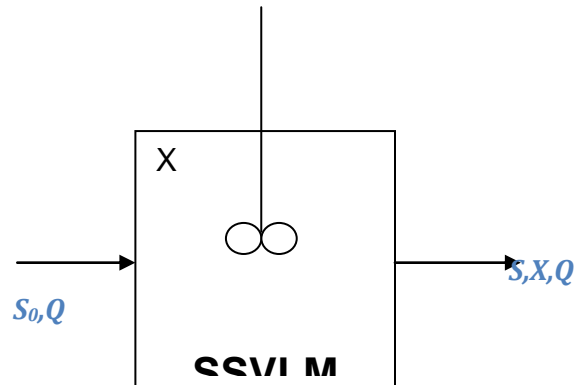
μ^1 = Tasa neta específica de crecimiento, d⁻¹

La respiración endógena tiene un efecto sobre la producción neta de células.

Por lo tanto la producción observada (Y_{obs}) es:

$$Y_{obs} = \frac{r_g^1}{r_{su}} \quad \text{-----11}$$

Relación para el diseño de proceso. En un sistema de alimentación continua de sustrato, considerando que no hay biomasa en la alimentación las condiciones de estado estacionario se alcanzan cuando la concentración de biomasa en el reactor es constante.



Bajo estas condiciones la pérdida de sólidos del sistema es igual al crecimiento neto, y θ es también igual al tiempo de retención de sólidos. Estas relaciones para un sistema sin recirculación de sólidos se expresa por:

$$QX = V(-Y r_{su} - k_d X) \text{ -----12}$$

$$\frac{1}{\theta} = -Y \frac{r_{su}}{X} - k_d \text{ -----13}$$

$$\frac{1}{\theta} = YU - k_d \text{ -----14}$$

Q= Flujo al reactor, m³/d

V= Volumen del reactor, m³

θ = Tiempo de retención hidráulico. (V/Q), d.

U= Tasa específica de utilización de sustrato ($-r_{su}/x$), d^{-1}

La tasa específica de utilización de sustrato U puede expresarse por:

$$U = \frac{Q(S_0 - S)}{XV} = \frac{S_0 - S}{\theta X} \quad \text{-----15}$$

$$U = \frac{kS}{K_s + S} \quad \text{-----16}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{K_s}{kS} + \frac{1}{k} \quad \text{-----17}$$

Donde:

S_0 = Concentración de sustrato en el influente (DBO₅ o DQO), g/m^3

S = concentración de sustrato en el efluente (DBO₅ o DQO), g/m^3

Reactor de flujo continuo con recirculación de sólidos. En un reactor biológico, si los sólidos son recirculados, el TRS ó θ_c en el sistema en el sistema se obtiene de la masa de sólidos mantenida en el reactor dividida por la masa de sólidos producida o removida del sistema por día. Algunas ecuaciones son las siguientes

$$\theta_c = \frac{VX}{Y\theta(S_0 - S)} = \frac{VX}{Q_{wa}X + Q_eX_e} = \frac{XV}{Q_wX_r + Q_eX_e} = \frac{\theta X}{P_x} \quad \text{-----18}$$

$$\frac{1}{\theta_c} = YU - k_d \quad \text{-----19}$$

$$Y_{obs} = \frac{YU - k_d}{U} = \frac{Y}{1 + \theta_c k_d} \quad \text{-----20}$$

$$P_X = Y_{obs} Q (S_0 - S) \quad \text{-----21}$$

$$\frac{P_X}{Q} = p_x = Y_{obs} (S_0 - S) \quad \text{-----22}$$

θ_C = Tiempo medio de retención de sólidos, θ_C , d.

Q_{wa} = Lodo que se retira del reactor m^3/d .

Q_e = Descarga del efluente, m^3/d .

Q_{wr} = Lodo retirado de la línea de recirculación de lodos, m^3/d .

X_r = Concentración de SSVLM en la línea de retiro de lodos, g/m^3

X_e = Concentración de SSV en el efluente, g/m^3

Y = Coeficiente de producción de sólidos g/g .

P_X = Crecimiento de sólidos (SSV) g/d .

p_x = Tasa de crecimiento de lodos por unidad de flujo, g/m^3

Existe un valor de θ_C mínimo. θ_C^{\min} abajo del cual la utilización de sustrato y crecimiento de células no ocurre. El valor de θ_C^{\min} se determina de las ecuaciones 6,16 y 19. En la práctica normalmente S_0 es mucho mayor que K_S . Como resultado $(K_S + S_0) \approx S_0$ y θ_C^{\min} se puede calcular de manera aproximada de la ec.23.

$$\theta_C^{\min} \approx \frac{1}{\mu_{max} - R_d} \quad \text{-----23}$$

Otras ecuaciones de diseño pueden desarrollarse.

$$\frac{F}{M} = \frac{QS_0}{XV} = \frac{1}{Q} \frac{S_0}{X} \text{ -----24}$$

$$U = \frac{(F/M)E}{100} \text{ y } E = \frac{S_0 - S}{S_0} X 100 \text{ -----25}$$

$$X = \frac{\theta_C Y (S_0 - S)}{\theta(1 + \theta_C R_d)} = \frac{\theta_C Y_{obs} (S_0 - S)}{\theta} \text{ -----26}$$

$$S = \frac{K_S (1 + \theta_C R_d)}{\theta_C (YR - R_d)^{-1}} \text{ -----27}$$

F/M = Relación alimento-microorganismos, d⁻¹

E = Por ciento de eficiencia del proceso.

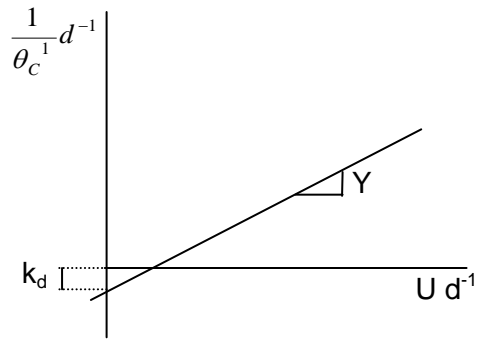
Determinación de coeficientes cinéticos.

Los valores de los coeficientes cinéticos, Y, k, k_d y K_S tiene una gran influencia en el diseño de un proceso biológico. Estos valores dependen de las características del agua residual y por lo tanto deben calcularse para cada tipo de agua (especialmente cuando hay descargas industriales). El procedimiento para obtener los valores de estos coeficientes es el siguiente: operar reactores de flujo continuo a diferentes concentraciones de SSVLM. Una vez que se alcanza el estado estacionario para cada concentración de SSV se determina el valor medio de Q, Q_{wa}, S₀ y S. De estos resultados (Q_{wa} X + Q_e X_e) se obtiene y se calculan los valores de U y θ_C con las ecuaciones:

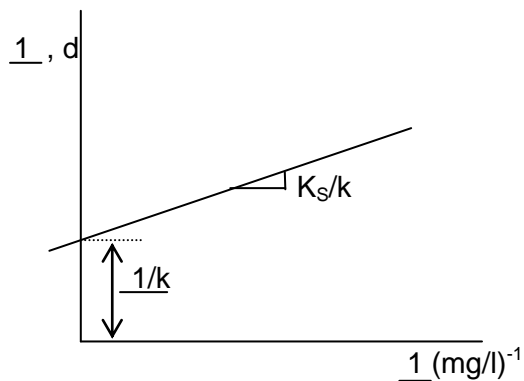
$$U = \frac{Q(S_0 - S)}{XV} = \frac{S_0 - S}{\theta X} \quad \text{Y}$$

$$\theta_c = \frac{VX}{Y\theta(S_0 - S)} = \frac{XV}{Q_{wa}X + Q_eX_e} = \frac{XV}{Q_wX_r + Q_eX_e} = \frac{\theta X}{P_x}$$

Una grafica de $1/\theta_c$ vs U dará una línea recta ec.19 $\frac{1}{\theta_c} = YU - k_d$ la pendiente de la línea es el valor de Y y la intercepción es R_d



Igualmente una grafica de $\frac{1}{U}$ vs $\frac{1}{S}$ ec. 17 $\frac{1}{U} = \frac{K_s}{kS} + \frac{1}{k}$ da una línea recta la pendiente es K_s/k y la intersección a la ordenada es $1/k$



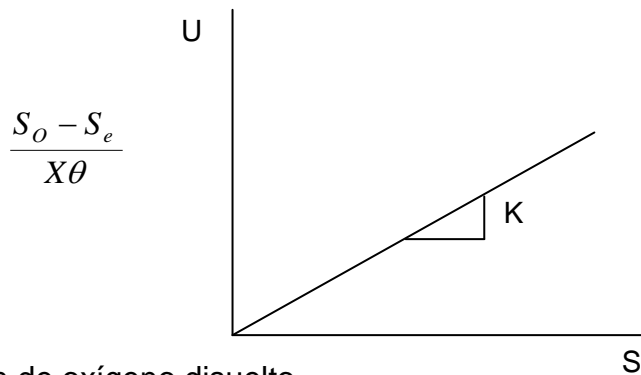
Respecto a la ec. 16 $U = \frac{kS}{K_s + S}$ existen dos casos extremos.

Cuando $S \gg K_s$ K_s puede anularse y en este caso la ecuación se reduce a una expresión de orden cero con respecto a la concentración de sustrato.

Segundo caso cuando $S \ll K_s$ S puede desaparecer del denominador y la ec. Se reduce a una expresión de primer orden con respecto a la concentración de sustrato, que es lo que sucede en los casos donde se trata agua residual de origen doméstico.

$$U = K S \quad \text{donde} \quad K = k/K_s$$

K = cte específica de utilización de sustrato, vol/masa.tiempo



Utilización de oxígeno disuelto.

En un proceso biológico aerobio, el oxígeno se requiere para dos propósitos:

- 1.- Para oxidar el sustrato con objeto de proveer los requerimientos de energía para las células y,
- 2.- para el proceso de respiración endógena.

Oxígeno requerido para la oxidación de sustrato.

$$\text{kgO}_2/\text{día} = a (S_o - S) Q_o \text{ ----- } 28$$

Donde $a = \text{kgO}_2/\text{d}/\text{kg DBOremovida}$

Oxígeno requerido para respiración endógena

$$\text{kgO}_2/\text{día} = b XV \text{ -----} 29$$

$$b = (\text{Kg O}_2 / \text{día}) (\text{kgSSVLM en el reactor})$$

El total de oxígeno requerido será:

$$\text{kgO}_2/\text{día} = a (S_o - S) Q_o + bXV \text{ -----} 30$$

Tomando como base la ecuación el lado izquierdo de la ecuación será la tasa de consumo de oxígeno (TCO).

$$(\text{TCO}) V = a (S_o - S) Q_o + b XV \text{ -----} 31$$

TCO = Tasa de consume de oxígeno, oxígeno utilizado por día por unidad de volumen del reactor, masa/tiempo-Volumen.

V = volumen del reactor

Dividiendo la ecuación 15 por XV y tomando a $\Theta = V/Q$

$$\text{TCO}/X = a (S_o - S) / X\Theta + b \text{ -----} 32$$

O en forma general:

$$\text{TCO} /x = a (ds/dt)u + b \text{ -----} 33$$

TCO /x Es una medida de utilización de oxígeno por día por kg de biomasa en el reactor.

A partir de la ecuación 32 graficando TCO/X contra $S_o - S / X\Theta$ genera una línea recta con pendiente "a" e intersección a la ordenada "b"

Capítulo IV.- Análisis y Resultados

IV.1 Información general de las cuatro plantas.

Actualmente las plantas de tratamiento cuenta con el sistema de tratamiento, “primario avanzado”, el cual básicamente es un proceso fisicoquímico, en el que se adicionan productos químicos para llevar a cabo la remoción de los contaminantes presentes en el agua residual hasta los niveles que proporciona dicho proceso. Las plantas en conjunto ascienden a un caudal de 2,943.82 lps, de los cuales 2,723.89 lps, de agua residual son tratados en las cuatro plantas de tratamiento, localizadas en diferentes puntos de la ciudad de Puebla y presentan las siguientes capacidades operativas: Planta Barranca del Conde con una capacidad máxima de 500 lps. y opera a 206 lps, Planta San Francisco con capacidad máxima de 1,500 lps y opera a 1256 lps, la Planta Atoyac Sur con capacidad para 600 lps y opera a 369 lps, y la Planta de Alseseca Sur con capacidad máxima de 1,000 lps. y opera a 607 lps.

Los sistemas de tratamiento se programaron para construirse en dos etapas; en la primera, se construyeron los sistemas primarios avanzados o fisicoquímicos para el gasto establecido y con los módulos definidos para proporcionar flexibilidad al proceso. Para la segunda etapa se programó complementar el sistema mediante la incorporación de un proceso biológico de tratamiento para mejorar la calidad del agua tratada y cumplir con los límites que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, ahora la Declaratoria de Clasificación de los Ríos Atoyac y Xochiac o Hueyapan.

Los procesos de tratamiento de cada Planta están compuestos todos por:

✓ Línea de agua:

- Cribado grueso o desbaste inicial.
- Cárcamo de bombeo.
- Pretratamiento.

- Cribado fino de limpieza mecánica.

Incluye, a la salida, sondas para la medición de pH, temperatura y conductividad del agua, que envían la señal de la lectura a un tablero central de control.

- ✓ Desarenado – desengrasado.

Unidad con puente móvil y difusión de aire para resuspensión y acumulación de grasas y aceites,, así como un sistema de aspiración de arenas tipo AIR-LIFT con soplador de aire y un clasificador de arenas para los desarenadores.

- ✓ Tratamiento fisicoquímico o primario avanzado.

Compuesto por un tanque reactor de tres cámaras: una de mezcla rápida llamada Flash Mixer, donde se le adiciona al agua sulfato de aluminio para iniciar la formación de los floculos; otra de clarifloculación, de mezcla lenta y adición de polímero; y la tercera de sedimentación y espesamiento de lodos, cámaras que conforman el Densadeg.

- ✓ Desinfección.

Incluye el tanque de contacto con cloro, donde se adicionan dosis establecidas del químico para su desinfección; caseta de cloración; tanques de una tonelada de gas cloro; bombas de ayuda; cloradores y evaporadores. Además, tiene un medidor de flujo.

- Para las Plantas de Alseseca y Atoyac Sur.

- ✓ Línea de lodos.

Los lodos producidos por todas las plantas, incluyendo la de Parque Ecológico, son tratados en las Plantas de Alseseca y Atoyac Sur, y se conducen como sigue: Los lodos producidos por la Planta Barranca del Conde son descargados a un colector marginal (margen derecha del Río Atoyac) que los lleva hasta la Planta

de San Francisco al Cárcamo de Bombeo y pasan por todo el proceso diluidos en el agua cruda residual que llega a esta Planta, una vez procesada el agua y separado los lodos nuevamente junto con los de la planta de San Francisco, son llevados a un Tanque de Transferencia y Bombeados y enviados por una línea de lodos denominada Lododucto de 6" de Diámetro (Polietileno), con una estación de rebombeo intermedia hasta llegar a la Planta de Atoyac Sur, en donde son procesados conjuntamente con los producidos por la planta de Atoyac Sur en el tratamiento Anaerobio (Digestores Anaerobios 2 módulos) y acumulados en tanque de lodo digerido para ser desaguados en las unidades de Filtro Banda, en donde a su vez son cargados y transportados a campos agrícolas en terrenos muy desgastados al sur de la ciudad de Puebla.

Los lodos producidos en una Planta de Tratamiento municipal de tipo secundario localizada al oriente de la ciudad denominada "Ecológico", descarga sus lodos a un colector marginal del Rio Alseseca como parte del sistema integral de saneamiento de la ciudad y son transportados conjuntamente con agua residual cruda hasta el Cárcamo de Bombeo de la Planta Alseseca, pasan por todo el proceso de tratamiento son separados nuevamente y se reúnen con los producidos por la planta de Alseseca y pasan al proceso de Digestión Anaerobia (Reactor Anaerobio 1 Modulo), a su vez pasan al tanque de almacenamiento de lodo digerido para ser bombeados al proceso de desaguado en los Filtros Banda. Estos lodos son transportados y dispuestos en terrenos agrícolas en al Sur de la ciudad de Puebla.

✓ Instalaciones Auxiliares.

Los sistemas de tratamiento cuentan con instalaciones auxiliares como la caseta de cloración, edificio para preparación y dosificación de químicos, cisterna, caseta de almacenamiento de sulfato de aluminio o de cloruro férrico, taller de servicio, CCM, caseta de vigilancia y baño, edificio administrativo, jardinería y vialidades.

✓ Superficie o área disponible de las plantas para las unidades de tratamiento a considerar.

Los predios de las plantas cuentan con área suficiente para la construcción de la segunda etapa. La geometría y disposición de los procesos para la segunda etapa secundaria pueden variar dependiendo de las áreas desocupadas y su topografía, tratando de ocupar y aprovechar todas las áreas para el mejor acomodo de los procesos y evitar bombeo adicional del agua entre procesos, así como del lodo.

- ✓ Cuerpo receptor: Suelos, disposición o infiltración.

El cuerpo receptor de las descargas de agua tratada de las plantas son: el Río Atoyac para las plantas de Barranca del Conde, San Francisco y Atoyac y el Río Alseseca para la planta de Alseseca Sur. Ambos ríos Atoyac y Alseseca son afluentes de la Presa Valsequillo en donde se almacenan las descargas residuales tratadas que sumadas con las aguas broncas producto de escurrimientos naturales son utilizadas en el Distrito de Riego 030 Tecamachalco, y la zona de Riego de Atlixco-Izúcar, cuyas aguas del el río Nexapa reciben una gasto de aportación de la Presa de Valsequillo a través de una obra denominada “Canal de Portezuelos” para riego de alrededor de 30 mil ha. para ambos sistemas de riego.

- ✓ Posible reuso del agua tratada: riego, industria y municipio.

Dentro de la Planeación se considera que las aguas residuales a tratar corresponden a aguas residuales municipales de origen doméstico, sin embargo, actualmente en algunas de ellas se ha detectado cierta influencia de agua residual industrial, en su mayoría de tipo textil, misma que en un futuro corto ya no ingresará a las plantas. Los efluentes tratados se usan para el riego de zonas agrícolas de Distritos de Riego, previo vertido a los citados cuerpos nacionales.

De acuerdo con la información recopilada y obtenida en campo, la mayor cantidad de aguas residuales tratadas son aprovechadas en las zonas agrícolas cercanas al río por donde es conducida hasta descargar finalmente a la Presa Manuel Ávila Camacho o Valsequillo. La superficie regada con las aguas residuales de la zona conurbada de la Ciudad de Puebla no esta determinada exactamente ya que existen mas descargas de otras plantas, la misma aportación del río Atoyac y

Alseseca principalmente. El principal cultivo que se riega actualmente es el maíz y forrajes.

El agua tratada con sus características físico-químicas bacteriológicas se puede utilizar en el riego de cultivos como el maíz, avena forrajera, frijol, cebada, pasto y alfalfa, excepto legumbres y verduras que se consumen crudas.

Debido a que las plantas, dos de ellas, las ubicadas al sur de la ciudad y que prácticamente quedaron inmersas en la zona conurbada de la Ciudad de Puebla, el transporte del agua tratada complica su transporte o entubado de la misma encareciendo su costo unitario, sin embargo, en caso necesario esta agua se podrán aprovechar en lugares cercanos para el riego de áreas verdes cercanas a la planta de tratamiento y que estén a cargo del municipio o del sistema operador de agua potable y alcantarillado del municipio de Puebla. Otra alternativa de reuso es la de tipo industrial, donde se puede utilizar en procesos o servicios generales de limpieza, enfriamiento, lavado, entre otros.

IV.1.1 Aforos, muestreos análisis de campo y laboratorio en las cuatro Plantas de tratamiento.

Calidad del agua cruda y tratada

El agua residual de alimentación tiene una calidad característica a la de las aguas residuales típicas municipales, con concentraciones que varían de medias a altas de contaminantes, de acuerdo con los criterios establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los estados unidos de Norteamérica (USEPA), en la Publicación "Guidelines for WaterReuse". De acuerdo con la evaluación de resultados los datos obtenidos fueron los siguientes:

A partir del 8 de noviembre del 2005, y durante 10 períodos de 24 horas en forma alternada, un día si y otro no, se realizaron monitoreos en las cuatro plantas de tratamiento de aguas residuales denominadas "SAN FRANCISCO", "BARRANCA DEL CONDE", "ATOYAC SUR" Y "ALSESECA SUR".

En cada una de las cuatro plantas de tratamiento (PTARs) antes mencionadas, se realizaron aforos cada cuatro horas en el influente a la planta, en el efluente del DENSADeg y en la salida del tanque de cloración de las mismas.

En el influente a cada una de las plantas, se realizó el aforo tomando los datos registrados en el medidor ultrasónico (aforador Venturi) instalado precisamente en el influente a cada planta de tratamiento. En forma paralela, se utilizó un método adicional y diferente de aforo en cada planta, utilizando, en todos los casos, el método de sección-velocidad y determinando la velocidad del flujo mediante el uso de molinetes y en algunos casos utilizando el método de distancia-tiempo mediante el uso de flotadores.

En la planta San Francisco, los aforos en el Densadeg y en la salida del tanque de cloración, se iniciaron a partir del tercer recorrido del primer periodo de muestreo.

En la planta Barranca del Conde, los aforos en la salida del tanque de cloración, se iniciaron a partir del segundo recorrido del tercer periodo de muestreo.

En la planta Atoyac Sur, los aforos en el Densadeg se iniciaron a partir del sexto periodo de muestreo y en la salida del tanque de cloración, se iniciaron a partir del segundo recorrido del tercer periodo de muestreo.

En la planta Alseseca Sur, los aforos en el Densadeg se iniciaron a partir del sexto periodo de muestreo y en la salida del tanque de cloración, se iniciaron a partir del tercer recorrido del tercer periodo de muestreo.

En los casos de inicios tardíos para el aforo en la salida del densadeg y de la salida del tanque de contacto de cloro, fue debido a que hasta ese momento se recibieron instrucciones de llevarse a cabo aforos en esos sitios, a indefinición del método de aforo a utilizar y/o a problemas de carácter técnico

En las cuatro plantas de tratamiento se realizaron también aforos cada cuatro horas, en la línea de alimentación de sulfato de aluminio, reactivo utilizado para el tratamiento fisicoquímico del agua residual.

En forma adicional, y también cada cuatro horas, tanto en el influente a la planta como en el efluente de ella (efluente del densadeg) y en la salida del tanque de cloración de la misma, se tomaron muestras simples. Una parte del volumen de cada muestra simple se utilizó para determinar en campo sus valores de pH, conductividad y temperatura. Otra porción del volumen se guardó hasta el final de cada período de muestreo de 24 horas para integrar, con las seis muestras simples recuperadas, sendas muestras compuestas, las cuales se conformaron en forma ponderada al gasto de descarga que se presentó al momento de la toma de cada muestra simple.

La preparación de las muestras compuestas se realizó, en todos los casos, excepto en la planta San Francisco y parcialmente en la planta Atoyac Sur,

tomando como base los gastos de descarga registrados en el medidor ultrasónico (aforador Venturi) instalado en el influente a cada una de las plantas de tratamiento. En la planta San Francisco, la preparación de las muestras compuestas se realizó tomando los gastos de descarga medidos en cada sitio de muestreo. En la planta Atoyac Sur, en el efluente del tanque de cloración, a partir del muestreo del 24 y 25 de noviembre, la preparación de las muestras compuestas se realizó tomando los gastos de descarga medidos en ese sitio.

Las muestras compuestas se preservaron y enviaron al laboratorio para someterlas a análisis considerando, **en el caso del influente y efluente de la PTAR**, la determinación de los siguientes parámetros:

• pH	• Arsénico
• Alcalinidad total	• Cadmio
• Sólidos sedimentables	• Cianuros
• Sólidos Suspendidos Totales	• Cobre
• Sólidos Suspendidos Volátiles	• Cromo total
• Sólidos Disueltos Totales	• Mercurio
• Sólidos Disueltos Volátiles	• Níquel
• Nitrógeno total Kjeldhal	• Plomo
• Nitrógeno Amoniacal	• Zinc
• Fósforo total	• Aluminio
• Fosfatos	• Boro
• Detergentes (SAAM)	• Calcio
• Alcalinidad total	• Cromo hexavalente
• Demanda Bioquímica de Oxígeno total	• Cromo trivalente
• Demanda Bioquímica de Oxígeno soluble	• Hierro
• Demanda Química de Oxígeno total	• Manganeseo
• Magnesio	• Plata
• Sulfatos y	• Fenoles

En el caso de las muestras para la determinación de Grasas y Aceites y de coliformes fecales, se tomaron en cada sitio de muestreo, y en forma paralela con la toma de cada muestra simple, una muestra simple para la determinación de estos parámetros, de manera tal que en cada ciclo de muestreo y en cada punto

de muestreo, se tomaron 6 muestras simples para GyA, 6 muestras simples para coliformes fecales y una muestra compuesta. Para el caso de estos dos parámetros, se reporta en los informes presentados, además del valor de cada muestra simple, el valor del promedio ponderado de las 6 muestras simples de GyA y el valor de la media geométrica de los valores de coliformes fecales.

Las muestras compuestas conformadas con muestras simples recuperadas **en la salida del tanque de cloración**, se analizaron considerando la determinación de los siguientes parámetros:

• pH	• Demanda Bioquímica de Oxígeno total
• Alcalinidad total	• Demanda Bioquímica de Oxígeno soluble
• Sólidos Suspendidos Totales	• Demanda Química de Oxígeno total
• Sólidos Suspendidos Volátiles	• Aluminio y
• Sulfatos	

Se tomaron además, en la planta SAN FRANCISCO, muestras simples de lodos crudos, y en las plantas ATOYAC SUR y ALSESECA SUR, lodos crudos, lodos digeridos y lodos deshidratados para someterlos a análisis CRETIB, de concentración de sólidos y de porcentaje de humedad.

Respecto a los resultados obtenidos tanto en campo como en el laboratorio, se presenta lo siguiente:

PLANTA DE TRATAMIENTO “SAN FRANCISCO”

- Gasto de agua residual tratada.

Tomando como base los gastos registrados en el medidor ultrasónico instalado en el influente a la planta de tratamiento, se obtuvo en promedio durante

los diez períodos de 24 horas evaluados, un gasto de agua residual tratada de 1,347 lps., detectándose variaciones diarias que oscilan entre los 1,236 y los 1,401 lps, y variaciones horarias que oscilan entre los 810 y los 1,628 lps.

- Variaciones diarias de gasto de agua residual a tratar:

	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Gasto de agua tratada; lts/seg.	1,347	1,236	1,401

Variaciones horarias de gasto de agua residual a tratar:

	Valor mínimo	Valor máximo
Gasto de agua tratada; lts/seg.	810	1,628

De acuerdo a los métodos de aforo utilizados y los sitios en que se realizaron aforos, se obtienen los siguientes gastos de descarga:

Influyente medido con el medidor ultrasónico (aforador Venturi): 1,347 lts/seg.

Influyente medido con sección-velocidad (método adicional): 1,453 lts/seg.

Arrojando una diferencia del 8% entre ambos métodos, porcentaje aceptable, considerando los factores de error humano en el método adicional utilizado, tales como la medición de tirantes en canales con flujo turbulento, así como a la complejidad presentada para realizar físicamente los aforos.

El gasto medido en el efluente del Densadeg arrojó, en promedio durante los diez días evaluados, un valor de 1,541 lts/seg. Representando un 14.5% superior al gasto medido y/o registrado en el medidor ultrasónico.

Calculando el promedio de los gastos medidos en promedio durante los diez días evaluados en el influente a la planta por el método de sección-velocidad

y el del efluente del densadeg, se obtiene un valor de 1,497 lts/seg. representando un 11% superior al gasto medido y/o registrado en el medidor ultrasónico.

En este aspecto, consideramos conveniente mencionar que no se logró obtener con la empresa encargada de la operación de la planta, la formula para calcular el gasto de descarga mediante el uso del medidor automático instalado.

Tomando como base los resultados obtenidos y los comentarios antes descritos, se considera que el medidor automático instalado esta registrando valores razonablemente confiables.

El gasto medido en la salida del tanque de cloración arrojó, en promedio durante los diez días evaluados, un valor de 936 lts/seg. Representando esto un 30.5% inferior al gasto medido y/o registrado en el medidor ultrasónico como influente a la planta, significando que este 30.5% se está descargando sin pasar por el tanque de contacto de cloro.

- Dosis de sulfato de aluminio:

Se registraron gastos de alimentación de sulfato de aluminio que oscilaron entre los 23.2 y los 81.0 ml/seg., registrándose en algunos casos, sin conocer la dosis recomendada o adecuada, y asumiendo que la concentración del reactivo es siempre la misma, inconsistencias en la dosificación de este en proporción al gasto de agua residual a tratar, es decir, a un diferente gasto de agua residual a tratar, se alimentaba la misma dosis de sulfato de aluminio.

- Variaciones de pH conductividad y temperatura del agua residual influente a la planta.

- Para el influente a la planta de tratamiento:

En cuanto a estos parámetros, se registraron los siguientes valores:

Parámetro	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
-----------	----------------	--------------	--------------

pH; unidades de pH	7.66	7.21	8.05
Conductividad; $\mu\text{S}/\text{cm}$.	1,679	1,431	1,864
Temperatura; $^{\circ}\text{C}$	20.8	18.9	22.5

Las variaciones registradas, principalmente en los valores de conductividad, evidencian la presencia de descargas de aguas residuales cuyo origen puede provenir de empresas del giro industrial, comercial y/o de servicios.

- Para el efluente de la planta de tratamiento:

En cuanto a estos parámetros, se registraron los siguientes valores:

Parámetro	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
-----------	----------------	--------------	--------------

pH; unidades de pH	7.41	7.06	7.73
Conductividad; $\mu\text{S}/\text{cm}$.	1,689	1,456	1,813
Temperatura; $^{\circ}\text{C}$	20.9	18.8	23.2

➤ **Caracterización del agua residual**

Se registraron en promedio durante los diez períodos de 24 horas evaluados y para los principales parámetros, los siguientes resultados:

- Para el influente a la planta de tratamiento:

Parámetro	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Demanda bioquímica de oxígeno total; mg/L.	318.4	255.5	397.5
Demanda bioquímica de oxígeno soluble; mg/L.	123.7	88.3	156.3
Demanda química de oxígeno total; mg/L.	540.2	432.0	688.0
Sólidos suspendidos totales; mg/L.	347	190	490
Sólidos suspendidos volátiles; mg/L.	236	180	300
Nitrógeno total Kjeldhal; mg/L.	42.77	32.48	50.96

Nitrógeno amoniacal; mg/L.	30.07	20.72	38.08
Fósforo total; mg/L.	8.70	4.75	12.62
Detergentes (SAAM); mg/L.	17.71	14.03	23.06
Sulfatos; mg/L.	258.7	231.8	272.4
Grasas y aceites; mg/L.	69.62	56.95	82.08

Para el caso de las muestras simples de grasas y aceites, se registraron variaciones horarias que oscilaron entre los siguientes valores;

	Valor mínimo	Valor máximo
Grasas y aceites; mg/L.	13.93	92.94

Considerando los valores promedios, mínimos y máximos registrados para los parámetros de **DBO total y SST**, y tomando como base la COMPOSICIÓN TIPICA DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA presentada en la literatura de autores norteamericanos (*Metcalf& Eddy*), el agua residual cae dentro de una clasificación de **AGUA RESIDUAL DE CONCENTRACIÓN FUERTE**.

Con respecto a los valores registrados de **DQO, Nitrógeno total, Fósforo total y Grasas y Aceites**, el agua residual cae dentro de una clasificación de **AGUA RESIDUAL DE CONCENTRACIÓN MEDIA**.

La relación de DBO : Nitrógeno : Fósforo, cuyos valores recomendados en la literatura como aceptables para que se lleve a cabo en forma adecuada un proceso biológico de tratamiento de agua residual son **100 : 5 : 1**, se cumplen satisfactoriamente, ya que en este caso, considerando los resultados promedio de los 10 días estudiados, resulta ser de **100 : 13.4 : 2.7**, con variaciones que fluctúan entre **100 : 18.5 : 4.4** y **100 : 9.5 : 2.2** y considerando los valores **mínimos y máximos** reportados, se registran relaciones con valores de **100 : 12.7 : 1.9** y **100 : 12.8 : 3.2**, respectivamente.

Con respecto **la relación de DQO/DBO**, considerando los resultados promedio de los 10 días estudiados, resulta ser de **1.70**, con variaciones que fluctúan entre **1.15 y 2.04** y considerando los valores **mínimos y máximos** reportados, se registran relaciones con valores de **1.69 y 1.73**, respectivamente.

Las concentraciones de **SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES** son considerablemente más altas a las normalmente esperadas inclusive en un **AGUA RESIDUAL DE CONCENTRACIÓN FUERTE**, tomando como base la COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA presentada en la literatura (*Metcalf & Eddy*), en donde indican concentraciones típicas de 250, 500, y 850 mg/L de SDT para descargas de aguas residuales domesticas clasificadas como débil, media y fuerte, respectivamente, siendo que en esta descarga se registran valores promedio, mínimo y máximo de 1,019, 808 y 1,208, respectivamente.

Estas altas concentraciones pueden ser ocasionadas por la presencia de aguas residuales cuyo origen puede provenir de empresas del giro industrial, comercial y/o de servicios, o bien por la concentración de sales disueltas presentes en la fuente misma de abastecimiento de agua.

Para el caso de los **SULFATOS**, se presenta un caso similar y, aunque la literatura referida no establece valores típicos para este parámetro, los valores registrados, 259, 231 y 272, como promedio, mínimo y máximo respectivamente, son mayores a los normalmente esperados en descargas típicas de agua residual doméstica.

De los análisis practicados a las muestras tomadas durante los diez días, se detectó que en tres de los diez días evaluados **el plomo rebasa ligeramente la concentración máxima** recomendable para someter el agua residual a un proceso biológico de tratamiento, registrándose un valor máximo de 0.18 mg/L.. Lo anterior tomando como base lo establecido en la literatura (*Wastewater Treatment Plant Design, WPCF, Manual of Practice N° 8*), misma que se presenta a continuación. Sin embargo, considerando los valores promedio obtenidos en los

diez días, este queda dentro del límite recomendado, además, esta concentración de plomo ligeramente alta se presentó en el influente a la planta, detectándose en el efluente de la misma que ese metal estuvo presente en concentraciones inferiores a las recomendadas. Con lo anterior, se concluye que el proceso fisicoquímico al que es sometido el agua residual, remueve por absorción o adsorción el elemento en cuestión, así como al observar los satisfactorios resultados que se obtuvieron durante el desarrollo y al final de las pruebas de tratabilidad efectuadas con el agua efluente del densadeg de esta planta de tratamiento.

CONCENTRACIONES UMBRALES DE CONTAMINANTES INHIBIDORES A UN PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

Contaminante	Concentración (mg/L.)	
	Valor máximo recomendado para remoción carbonacea	Valor máximo encontrado
Aluminio	15 a 26	1.81
Amoniaco	480	38.08
Arsénico	0.1	0.043
Boro	0.05 a 100	1.65
Cadmio	10 a 100	0.014
Calcio	2,500	355.2
Cromo hexavalente	1 a 10	<0.019
Cromo trivalente	50	<0.04
Cobre	1.0	0.34
Cianuro	0.1 a 5	0.0358
Fierro	1,000	1.06
Plomo	0.1	0.18
Manganeso	10	0.13
Magnesio		45.81
Mercurio	0.1 a 5.0	<0.0003

Níquel	1.0 a 2.5	0.11
Plata	5	<0.04
Sulfatos		272.4
Zinc	0.08 a 10	0.29
Fenoles		
Fenol	200	0.027
Cresol		0.03036
2-4, dinitrofenol		0.000

- Para el efluente de la planta de tratamiento:

Parámetro	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Demanda bioquímica de oxígeno total; mg/L.	231.4	179.5	284.0
Demanda bioquímica de oxígeno soluble; mg/L.	124.5	93.8	151.1
Demanda química de oxígeno total; mg/L.	390.4	296.0	565.2
Sólidos suspendidos totales; mg/L.	191	120	350
Sólidos suspendidos volátiles; mg/L.	145	100	210
Nitrógeno total Kjeldhal; mg/L.	41.08	34.16	48.16
Nitrógeno amoniacal; mg/L.	30.07	24.08	34.72
Fósforo total; mg/L.	6.81	3.39	10.48
Detergentes (SAAM); mg/L.	14.75	11.24	18.09
Sulfatos; mg/L.	259.8	224.9	289.8
Grasas y aceites; mg/L.	38.8	21.85	44.72

Para el caso de las muestras simples de grasas y aceites, se registraron variaciones horarias que oscilaron entre los siguientes valores;

	Valor mínimo	Valor máximo
Grasas y aceites; mg/L.	11.39	80.98

Considerando los valores promedios, mínimos y máximos registrados para los parámetros de **DBO total y Nitrógeno total** y tomando como base la COMPOSICIÓN TIPICA DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA presentada en la literatura de autores norteamericanos (*Metcalf& Eddy*), el agua residual cae dentro de una clasificación de **AGUA RESIDUAL DE CONCENTRACIÓN MEDIA A FUERTE.**

Con respecto a los valores registrados de **DQO, SST, Fósforo total y Grasas y Aceites**, el agua residual cae dentro de una clasificación de **AGUA RESIDUAL DE CONCENTRACIÓN DEBIL A MEDIA.**

La relación de DBO : Nitrógeno : Fósforo, cuyos valores recomendados en la literatura como aceptables para que se lleve a cabo en forma adecuada un proceso biológico de tratamiento de agua residual son **100 : 5 : 1**, se cumplen satisfactoriamente, ya que en este caso, considerando los resultados promedio de los 10 días estudiados, resulta ser de **100 : 17.7 : 2.9**, con variaciones que fluctúan entre **100 : 26.8 : 2.0** y **100 : 12.2 : 2.4** y considerando los valores **mínimos y máximos** reportados, se registran relaciones con valores de **100 : 19.0 : 1.9** y **100 : 17.0 : 3.7**, respectivamente.

Con respecto **la relación de DQO/DBO**, considerando los resultados promedio de los 10 días estudiados, resulta ser de **1.69**, con variaciones que fluctúan entre **1.18 y 2.08** y considerando los valores **mínimos y máximos** reportados, se registran relaciones con valores de **1.65 y 1.99**, respectivamente.

Las concentraciones de **SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES** son considerablemente más altas a las normalmente esperadas inclusive en un **AGUA RESIDUAL DE CONCENTRACIÓN FUERTE**, tomando como base la COMPOSICIÓN TIPICA DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA presentada en la

literatura de autores norteamericanos (*Metcalf& Eddy*), en donde indican concentraciones típicas de 250, 500, y 850 mg/L de SDT para descargas de aguas residuales domesticas clasificadas como débil, media y fuerte, respectivamente, siendo que en esta descarga se registran valores promedio, mínimo y máximo de 1,020, 902 y 1,116, respectivamente. Estas altas concentraciones pueden ser ocasionadas por la presencia de aguas residuales cuyo origen puede provenir de empresas del giro industrial, comercial y/o de servicios, o bien por la concentración de sales disueltas presentes en la fuente misma de abastecimiento de agua.

Para el caso de los **SULFATOS**, se presenta un caso similar y, aunque la literatura referida no establece valores típicos para este parámetro, los valores registrados, 260, 225 y 290, como promedio, mínimo y máximo respectivamente, son mayores a los normalmente esperados en descargas típicas de agua residual doméstica.

En ningún caso se detectaron concentraciones de metales pesados o compuestos orgánicos con valores que pudieran afectar el sometimiento del agua residual a un proceso biológico de tratamiento. Lo anterior, tomando como base lo establecido en la literatura (*WastewaterTreatmentPlantDesign, WPCF, Manual of Practice N° 8*), misma que se presenta a continuación, así como los resultados satisfactorios que se obtuvieron durante el desarrollo y al final de las pruebas de tratabilidad efectuadas con el agua efluente del densadeg de esta planta de tratamiento.

CONCENTRACIONES UMBRALES DE CONTAMINANTES INHIBIDORES A UN PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

Contaminante	Concentración (mg/L.)	
	Valor máximo recomendado para remoción carbonacea	Valor máximo encontrado
Aluminio	15 a 26	2.85
Amoniaco	480	34.72
Arsénico	0.1	0.060

Boro	0.05 a 100	1.26
Cadmio	10 a 100	0.013
Calcio	2,500	281.9
Cromo hexavalente	1 a 10	<0.019
Cromo trivalente	50	<0.04
Cobre	1.0	0.17
Cianuro	0.1 a 5	0.0085
Fierro	1,000	0.79
Plomo	0.1	0.08
Manganeso	10	0.12
Magnesio		45.65
Mercurio	0.1 a 5.0	<0.0003
Níquel	1.0 a 2.5	0.08
Plata	5	<0.04
Sulfatos		289.8
Zinc	0.08 a 10	0.19
Fenoles		0.064
Fenol	200	0.03081
Cresol		0.05616
2-4, dinitrofenol		0.000

- Para el efluente del tanque de cloración de la planta de tratamiento:

Parámetro	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Demanda bioquímica de oxígeno total; mg/L.	198.3	120.0	234.3
Demanda bioquímica de oxígeno soluble; mg/L.	123.6	96.4	157.1
Demanda química de oxígeno total; mg/L.	378.3	280.0	549.2
Sólidos suspendidos totales; mg/L.	178	110	340
Sólidos suspendidos volátiles; mg/L.	125	70	210
Sulfatos; mg/L.	271.5	240.7	334.4

- Eficiencias de remoción de los principales contaminantes

Considerando los valores promedio de los principales contaminantes registrados durante los diez períodos de 24 horas evaluados, se registraron las siguientes eficiencias de remoción de contaminantes:

Parámetro	Eficiencia de remoción (%)
Demanda bioquímica de oxígeno total; mg/L.	27.3
Demanda bioquímica de oxígeno soluble; mg/L.	0.0
Demanda química de oxígeno total; mg/L.	27.7
Sólidos suspendidos totales; mg/L.	45.0
Sólidos suspendidos volátiles; mg/L.	38.6
Nitrógeno total Kjeldhal; mg/L.	4.0
Nitrógeno amoniacal; mg/L.	0.0
Fósforo total; mg/L.	21.7
Grasas y aceites; mg/L.	44.2

PLANTA DE TRATAMIENTO “BARRANCA DEL CONDE”

- Gasto de agua residual tratada

Tomando como base los gastos registrados en el medidor ultrasónico instalado en el influente a la planta de tratamiento, se obtuvo en promedio durante los diez períodos de 24 horas evaluados, un gasto de agua residual tratada de 231 lps., detectándose variaciones diarias que oscilan entre los 196 y los 254 lps, y variaciones horarias que oscilan entre los 103 y los 487 lps.

- Variaciones diarias de gasto de agua residual a tratar:

	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Gasto de agua tratada; lts/seg.	231	196	254

Variaciones horarias de gasto de agua residual a tratar:

	Valor mínimo	Valor máximo
Gasto de agua tratada; lts/seg.	103	487

De acuerdo a los métodos de aforo utilizados y los sitios en que se realizaron aforos, se obtienen los siguientes gastos de descarga:

Influente medido con el medidor ultrasónico (aforador Venturi): 231 lts/seg.

Influente medido con sección-velocidad (método adicional): 250 lts/seg.

Arrojando una diferencia del 7.6% entre ambos métodos, porcentaje aceptable, considerando los factores de error humano en el método adicional utilizado, tales como la medición de tirantes en canales con flujo turbulento, así como a la complejidad presentada para realizar físicamente los aforos.

El gasto medido en el efluente del Densadeg arrojó, en promedio durante los diez días evaluados, un valor de 210 lts/seg. Representando un 9.6% inferior al gasto medido y/o registrado en el medidor ultrasónico.

Calculando el promedio de los gastos medidos en promedio durante los diez días evaluados en el influente a la planta por el método de sección-velocidad y el del efluente del densadeg, se obtiene un valor de 230 lts/seg. Valor prácticamente igual al gasto medido y/o registrado en el medidor ultrasónico.

En este aspecto, consideramos conveniente mencionar que no se logró obtener con la empresa encargada de la operación de la planta, la formula para calcular el gasto de descarga mediante el uso del medidor automático instalado.

Tomando como base los resultados obtenidos y los comentarios antes descritos, se considera que el medidor automático instalado esta registrando valores razonablemente confiables.

El gasto medido en la salida del tanque de cloración arrojó, en promedio durante los diez días evaluados, un valor de 165 lts/seg. Representando esto un 29% inferior al gasto medido y/o registrado en el medidor ultrasónico como influente a

la planta, significando que este 29% se está descargando sin pasar por el tanque de contacto de cloro.

Para efectos de los valores promedio mencionados, en los casos en que por diferentes circunstancias no se realizaron aforos ya sea en el efluente del densadeg o en la salida del tanque de contacto de cloro, se consideraron, para el caso de la salida del densadeg, gastos iguales a los registrados en el medidor ultrasónico y para el caso de la salida del tanque de contacto de cloro, los gastos registrados en el mismo medidor ultrasónico pero restando un porcentaje igual al que, en promedio, se obtuvo como agua descargada sin pasar por este tanque de cloración.

- Dosis de sulfato de aluminio:

Se registraron gastos de alimentación de sulfato de aluminio que oscilaron entre los 4.0 y los 26.7 ml/seg., registrándose en algunos casos, sin conocer la dosis recomendada o adecuada y asumiendo que la concentración del reactivo es siempre la misma, inconsistencias en la dosificación de este en proporción al gasto de agua residual a tratar, es decir, a un diferente gasto de agua residual a tratar, se alimentaba la misma dosis de sulfato de aluminio. Se registraron varios datos con dosis de 0.0 ml/L.

- Variaciones de pH conductividad y temperatura del agua residual influente a la planta:
- Para el influente a la planta de tratamiento:

En cuanto a estos parámetros, se registraron los siguientes valores:

Parámetro	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
pH; unidades de pH	7.55	6.94	8.29
Conductividad; $\mu\text{S}/\text{cm}$.	2,180	1,596	2,673
Temperatura; $^{\circ}\text{C}$	16.2	12.8	19.8

Las variaciones registradas, principalmente en los valores de conductividad, evidencian la presencia de descargas de aguas residuales cuyo origen puede provenir de empresas del giro industrial, comercial y/o de servicios.

- Para el efluente a la planta de tratamiento:

En cuanto a estos parámetros, se registraron los siguientes valores:

Parámetro	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
pH; unidades de pH	7.40	6.99	8.30
Conductividad; $\mu\text{S}/\text{cm}$.	2,198	1,696	3,410
Temperatura; $^{\circ}\text{C}$	16.4	13.8	18.7

- Caracterización del agua residual.

Se registraron en promedio durante los diez períodos de 24 horas evaluados y para los principales parámetros, los siguientes resultados:

- Para el influente a la planta de tratamiento:

Parámetro	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Demanda bioquímica de oxígeno total; mg/L.	376.0	195.1	506.0
Demanda bioquímica de oxígeno soluble; mg/l	186.2	115.8	290.0
Demanda química de oxígeno total; mg/L.	698.9	448.0	968.2
Sólidos suspendidos totales; mg/L.	580	125	950
Sólidos suspendidos volátiles; mg/L.	195	90	290
Nitrógeno total Kjeldhal; mg/L.	57.11	33.04	72.80
Nitrógeno amoniacal; mg/L.	42.47	22.40	42.47
Fósforo total; mg/L.	9.33	5.65	11.92
Detergentes (SAAM); mg/L.	18.81	13.76	31.19
Sulfatos; mg/L.	590.3	492.7	750.1
Grasas y aceites; mg/L.	60.84	41.94	78.87

Para el caso de las muestras simples de grasas y aceites, se registraron variaciones horarias que oscilaron entre los siguientes valores;

	Valor mínimo	Valor máximo
Grasas y aceites; mg/L.	11.62	167.42

Las grandes y erráticas variaciones de las concentraciones registradas de Grasas y Aceites, DBO, DQO, SST, NITRÓGENO Y SULFATOS, entre otros parámetros pueden ser ocasionadas por la presencia de aguas residuales cuyo origen puede provenir de empresas del giro industrial, comercial y/o de servicios, de hecho en esta descarga se tiene detectada la descarga de un rastro municipal.

Considerando los valores promedios, mínimos y máximos registrados para los parámetros de **DBO total, SST, DQO, Nitrógeno total y Grasas y Aceites**, y tomando como base la COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA presentada en la literatura de autores norteamericanos (*Metcalf & Eddy*),, el agua residual cae dentro de una clasificación de **AGUA RESIDUAL DE CONCENTRACIÓN MEDIA A FUERTE**.

Con respecto a los valores registrados de **Fósforo total**, el agua residual cae dentro de una clasificación de **AGUA RESIDUAL DE CONCENTRACIÓN DÉBIL A MEDIA**.

La relación de DBO : Nitrógeno : Fósforo, cuyos valores recomendados en la literatura como aceptables para que se lleve a cabo en forma adecuada un proceso biológico de tratamiento de agua residual son **100 : 5 : 1**, se cumplen satisfactoriamente, ya que en este caso, considerando los resultados promedio de los 10 días estudiados, resulta ser de **100 : 15.2 : 2.5**, con variaciones que fluctúan entre **100 : 27.8 : 4.5** y **100 : 10.2 : 2.2** y considerando los valores **mínimos y máximos** reportados, se registran relaciones con valores de **100 : 16.9 : 2.9** y **100 : 14.4 : 2.4**, respectivamente.

Con respecto **la relación de DQO/DBO**, considerando los resultados promedio de los 10 días estudiados, resulta ser de **1.86**, con variaciones que fluctúan entre **1.22** y **2.42** y considerando los valores **mínimos y máximos** reportados, se registran relaciones con valores de **2.30** y **1.91**, respectivamente.

Estas fluctuaciones fuertes en la relación DQO/DBO, ponen de manifiesto la presencia de **aguas residuales cuyo origen puede provenir de empresas del giro industrial, comercial y/o de servicios**

Las concentraciones de **SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES** son considerablemente más altas a las normalmente esperadas inclusive en un **AGUA RESIDUAL DE CONCENTRACIÓN FUERTE**, tomando como base la COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA presentada en la literatura de autores norteamericanos (*Metcalf & Eddy*), en donde indican concentraciones típicas de 250, 500, y 850 mg/L de SDT para descargas de aguas residuales domesticas clasificadas como débil, media y fuerte, respectivamente, siendo que en esta descarga se registran valores promedio, mínimo y máximo de 1,598, 1,398 y 1,837, respectivamente. Estas altas concentraciones pueden ser ocasionadas por la presencia de aguas residuales cuyo origen puede provenir de empresas del giro industrial, comercial y/o de servicios, o bien por la concentración de sales disueltas presentes en la fuente misma de abastecimiento de agua.

Para el caso de los **SULFATOS**, se presenta un caso similar y, aunque la literatura referida no establece valores típicos para este parámetro, los valores registrados, 590, 493 y 750, como promedio, mínimo y máximo respectivamente, son mayores a los normalmente esperados en descargas típicas de agua residual doméstica.

De los análisis practicados a las muestras tomadas durante los diez días, se detectó, que en tres de los diez días evaluados **el plomo rebasa ligeramente la concentración máxima** recomendable para someter el agua residual a un proceso biológico de tratamiento, registrándose un valor máximo de 0.31 mg/L.. Lo anterior tomando como base lo establecido en la literatura (*Wastewater Treatment Plant Design, WPCF, Manual of Practice N° 8*), misma que se presenta a continuación. Sin embargo, considerando los valores promedio obtenidos en los diez días, este queda dentro del límite recomendado, además, esta concentración de plomo ligeramente alta se presentó en el influente a la planta, detectándose en el efluente de la misma que ese metal estuvo presente en concentraciones inferiores a las recomendadas. Con lo anterior, se concluye que el proceso

fisicoquímico al que es sometido el agua residual, remueve por absorción o adsorción el elemento en cuestión, así como al observar los satisfactorios resultados que se obtuvieron durante el desarrollo y al final de las pruebas de tratabilidad efectuadas con el agua efluente del densadeg de esta planta de tratamiento.

**CONCENTRACIONES UMBRALES DE CONTAMINANTES INHIBIDORES A UN
PROCESO DE LODOS ACTIVADOS**

Contaminante	Concentración (mg/L.)	
	Valor máximo recomendado para remoción carbonacea	Valor máximo encontrado
Aluminio	15 a 26	5.87
Amoniaco	480	53.20
Arsénico	0.1	0.054
Boro	0.05 a 100	2.07
Cadmio	10 a 100	0.018
Calcio	2,500	668.0
Cromo hexavalente	1 a 10	<0.019
Cromo trivalente	50	0.07
Cobre	1.0	0.09
Cianuro	0.1 a 5	0.01
Fierro	1,000	3.23
Plomo	0.1	0.31
Manganeso	10	0.36
Magnesio		94.83
Mercurio	0.1 a 5.0	<0.0003
Níquel	1.0 a 2.5	0.10
Plata	5	<0.04
Sulfatos		750.1
Zinc	0.08 a 10	0.57
Fenoles		0.164
Fenol	200	0.1005
Cresol		0.1921
2-4, dinitrofenol		0.000

- Para el efluente de la planta de tratamiento:

Parámetro	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Demanda bioquímica de oxígeno total; mg/L.	276.3	165.5	357.5
Demanda bioquímica de oxígeno soluble; mg/L.	186.2	128.4	256.0
Demanda química de oxígeno total; mg/L.	469.8	400.0	529.0
Sólidos suspendidos totales; mg/L.	157	80	330
Sólidos suspendidos volátiles; mg/L.	111	70	165
Nitrógeno total Kjeldhal; mg/L.	50.49	39.40	57.12
Nitrógeno amoniacal; mg/L.	38.84	27.92	44.80
Fósforo total; mg/L.	6.39	4.15	9.07
Detergentes (SAAM); mg/L.	15.02	7.71	18.43
Sulfatos; mg/L.	590.2	517.0	667.5
Grasas y aceites; mg/L.	18.17	5.01	35.37

Para el caso de las muestras simples de grasas y aceites, se registraron variaciones horarias que oscilaron entre los siguientes valores;

	Valor mínimo	Valor máximo
Grasas y aceites; mg/L.	3.54	45.28

Las grandes y erráticas variaciones de las concentraciones registradas de Grasas y Aceites, DBO y SST, entre otros parámetros pueden ser ocasionadas por la presencia de aguas residuales cuyo origen puede provenir de empresas del giro industrial, comercial y/o de servicios, de hecho en esta descarga se tiene detectada la descarga de un rastro municipal, así como a posibles inconsistencias o desviaciones en la operación de la planta de tratamiento.

Considerando los valores promedios, mínimos y máximos registrados para los parámetros de **DBO total y Nitrógeno total**, y tomando como base la COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA presentada en la literatura de autores norteamericanos (*Metcalf& Eddy*),, el agua residual cae dentro de una clasificación de **AGUA RESIDUAL DE CONCENTRACIÓN MEDIA A FUERTE**.

Con respecto a los valores registrados de **SST, DQO, Fósforo total y Grasas y Aceites**, el agua residual cae dentro de una clasificación de **AGUA RESIDUAL DE CONCENTRACIÓN MEDIA A DÉBIL**.

La relación de DBO : Nitrógeno : Fósforo, cuyos valores recomendados en la literatura como aceptables para que se lleve a cabo en forma adecuada un proceso biológico de tratamiento de agua residual son **100 : 5 : 1**, se cumplen satisfactoriamente, ya que en este caso, considerando los resultados promedio de los 10 días estudiados, resulta ser de **100 : 18.3 : 2.3**, con variaciones que fluctúan entre **100 : 25.4 : 3.2** y **100 : 11.0 : 2.5** y considerando los valores **mínimos y máximos** reportados, se registran relaciones con valores de **100 : 23.8 : 2.5** y **100 : 16.0 : 2.5**, respectivamente.

Con respecto **la relación de DQO/DBO**, considerando los resultados promedio de los 10 días estudiados, resulta ser de **1.70**, con variaciones que fluctúan entre **1.12 y 2.45** y considerando los valores **mínimos y máximos** reportados, se registran relaciones con valores de **2.42 y 1.48**, respectivamente.

Estas fluctuaciones fuertes en la relación DQO/DBO, ponen de manifiesto la presencia de **aguas residuales cuyo origen puede provenir de empresas del giro industrial, comercial y/o de servicios**, así como a posibles inconsistencias o desviaciones en la operación de la planta de tratamiento.

Las concentraciones de **SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES** son considerablemente más altas a las normalmente esperadas inclusive en un **AGUA RESIDUAL DE CONCENTRACIÓN FUERTE**, tomando como base la COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA presentada en la

literatura de autores norteamericanos (*Metcalf & Eddy*), en donde indican concentraciones típicas de 250, 500, y 850 mg/L de SDT para descargas de aguas residuales domesticas clasificadas como débil, media y fuerte, respectivamente, siendo que en esta descarga se registran valores promedio, mínimo y máximo de 1,561, 1,366 y 1,786, respectivamente. Estas altas concentraciones pueden ser ocasionadas por la presencia de aguas residuales cuyo origen puede provenir de empresas del giro industrial, comercial y/o de servicios, o bien por la concentración de sales disueltas presentes en la fuente misma de abastecimiento de agua.

Para el caso de los **SULFATOS**, se presenta un caso similar y, aunque la literatura referida no establece valores típicos para este parámetro, los valores registrados, 590, 517 y 668, como promedio, mínimo y máximo respectivamente, son mayores a los normalmente esperados en descargas típicas de agua residual doméstica.

En ningún caso se detectaron concentraciones de metales pesados o compuestos orgánicos con valores que pudieran afectar el sometimiento del agua residual a un proceso biológico de tratamiento. Lo anterior, tomando como base lo establecido en la literatura (*Wastewater Treatment Plant Design, WPCF, Manual of Practice N° 8*), misma que se presenta a continuación, así como los satisfactorios resultados que se obtuvieron durante el desarrollo y al final de las pruebas de tratabilidad efectuadas con el agua efluente del densadeg de esta planta de tratamiento.

**CONCENTRACIONES UMBRALES DE CONTAMINANTES INHIBIDORES A UN
PROCESO DE LODOS ACTIVADOS**

Contaminante	Concentración (mg/L.)	
	Valor máximo recomendado para remoción carbonacea	Valor máximo encontrado
Aluminio	15 a 26	1.88
Amoniaco	480	44.80
Arsénico	0.1	0.053
Boro	0.05 a 100	1.95
Cadmio	10 a 100	0.018
Calcio	2,500	375.7
Cromo hexavalente	1 a 10	<0.019
Cromo trivalente	50	0.06
Cobre	1.0	0.05
Cianuro	0.1 a 5	0.0062
Fierro	1,000	0.51
Plomo	0.1	0.08
Manganeso	10	0.29
Magnesio		89.08
Mercurio	0.1 a 5.0	<0.0003
Níquel	1.0 a 2.5	0.08
Plata	5	<0.04
Sulfatos		667.5
Zinc	0.08 a 10	0.16
Fenoles		0.118
Fenol	200	0.0578
Cresol		0.0741
2-4, dinitrofenol		0.000

- **Para el efluente del tanque de cloración de la planta de tratamiento:**

Parámetro	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Demanda bioquímica de oxígeno total; mg/L.	210.4	111.0	282.8
Demanda bioquímica de oxígeno soluble; mg/L.	164.3	87.2	223.0
Demanda química de oxígeno total; mg/L.	406.12	201.3	496.0
Sólidos suspendidos totales; mg/L.	139	75	250
Sólidos suspendidos volátiles; mg/L.	102	60	160
Sulfatos; mg/L.	636.8	503.1	771.0

- Eficiencia de remoción de los principales contaminantes.

Considerando los valores promedio de los principales contaminantes registrados durante los diez períodos de 24 horas evaluados, se registraron las siguientes eficiencias de remoción de contaminantes:

Parámetro	Eficiencia de remoción (%)
Demanda bioquímica de oxígeno total; mg/L.	26.5
Demanda bioquímica de oxígeno soluble; mg/L.	0.0
Demanda química de oxígeno total; mg/L.	32.8
Sólidos suspendidos totales; mg/L.	72.9
Sólidos suspendidos volátiles; mg/L.	43.1
Nitrógeno total Kjeldhal; mg/L.	11.6
Nitrógeno amoniacal; mg/L.	8.5
Fósforo total; mg/L.	31.5
Grasas y aceites; mg/L.	70.1

PLANTA DE TRATAMIENTO “ATOYAC SUR”

- Gasto de agua residual tratada.

Tomando como base los gastos registrados en el medidor ultrasónico instalado en el influente a la planta de tratamiento, se obtuvo en promedio durante los diez

períodos de 24 horas evaluados, un gasto de agua residual tratada de 409 lps., detectándose variaciones diarias que oscilan entre los 374 y los 456 lps, y variaciones horarias que oscilan entre los 190 y los 639 lps.

- Variaciones diarias de gasto de agua residual a tratar:

	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Gasto de agua tratada; lts/seg.	409	374	456

Variaciones horarias de gasto de agua residual a tratar:

	Valor mínimo	Valor máximo
Gasto de agua tratada; lts/seg.	190	639

De acuerdo a los métodos de aforo utilizados y los sitios en que se realizaron aforos, se obtienen los siguientes gastos de descarga:

Influente medido con el medidor ultrasónico (aforador Venturi): 409 lts/seg.

Influente medido con sección-velocidad (método adicional): 402 lts/seg.

Arrojando una diferencia del 1.8% entre ambos métodos, porcentaje aceptable, considerando los factores de error humano en el método adicional utilizado, tales como la medición de tirantes en canales con flujo turbulento, así como a la complejidad presentada para realizar físicamente los aforos.

El gasto medido en el efluente del Densadeg arrojó, en promedio durante los diez días evaluados, un valor de 419 lts/seg. Representando un 2.4% superior al gasto medido y/o registrado en el medidor ultrasónico.

Calculando el promedio de los gastos medidos en promedio durante los diez días evaluados en el influente a la planta por el método de sección-velocidad y el del efluente del densadeg, se obtiene un valor de 410 lts/seg., valor prácticamente igual al gasto medido y/o registrado en el medidor ultrasónico.

En este aspecto, consideramos conveniente mencionar que no se logró obtener con la empresa encargada de la operación de la planta, la fórmula para calcular el gasto de descarga mediante el uso del medidor automático instalado.

Tomando como base los resultados obtenidos y los comentarios antes descritos, se considera que el medidor automático instalado está registrando valores razonablemente confiables.

El gasto medido en la salida del tanque de cloración arrojó, en promedio durante los diez días evaluados, un valor de 257 lts/seg. Representando esto un 37% inferior al gasto medido y/o registrado en el medidor ultrasónico como influente a la planta, significando que este 37% se está descargando sin pasar por el tanque de contacto de cloro.

Para efectos de los valores promedio mencionados, en los casos en que por diferentes circunstancias no se realizaron aforos ya sea en el efluente del densadeg o en la salida del tanque de contacto de cloro, se consideraron, para el caso de la salida del densadeg, gastos iguales a los registrados en el medidor ultrasónico y para el caso de la salida del tanque de contacto de cloro, los gastos registrados en el mismo medidor ultrasónico pero restando un porcentaje igual al que, en promedio, se obtuvo como agua descargada sin pasar por este tanque de cloración..

- Dosis de sulfato de aluminio:

Se registraron gastos de alimentación de sulfato de aluminio que oscilaron entre los 1.5 y los 41.0 ml/seg., registrándose en algunos casos, sin conocer la dosis recomendada o adecuada y asumiendo que la concentración del reactivo es siempre la misma, inconsistencias en la dosificación de este en proporción al

gasto de agua residual a tratar, es decir, a un diferente gasto de agua residual a tratar, se alimentaba la misma dosis de sulfato de aluminio. Se registraron varios datos con dosis de 0.0 ml/L.

- Variaciones de pH conductividad y temperatura del agua residual influente a la planta:

En cuanto a estos parámetros, se registraron los siguientes valores:

Parámetro	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
pH; unidades de pH	7.57	6.82	7.97
Conductividad; $\mu\text{S}/\text{cm}$.	1,777	1,381	2,127
Temperatura; $^{\circ}\text{C}$	19.4	17.0	21.4

Las variaciones registradas, principalmente en los valores de conductividad, evidencian la presencia de descargas de aguas residuales cuyo origen puede provenir de empresas del giro industrial, comercial y/o de servicios.

- Para el efluente a la planta de tratamiento:

En cuanto a estos parámetros, se registraron los siguientes valores:

Parámetro	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
pH; unidades de pH	7.35	6.82	8.14
Conductividad; $\mu\text{S}/\text{cm}$.	1,824	1,383	2,305
Temperatura; $^{\circ}\text{C}$	19.7	17.7	21.2

- Caracterización del agua residual.

Se registraron en promedio durante los diez períodos de 24 horas evaluados y para los principales parámetros, los siguientes resultados:

- Para el influente a la planta de tratamiento:

Parámetro	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Demanda bioquímica de oxígeno total; mg/L.	446.2	347.5	552.5
Demanda bioquímica de oxígeno soluble; mg/L.	192.9	155.6	239.5

Demanda química de oxígeno total; mg/L.	922.6	789.6	1,104.0
Sólidos suspendidos totales; mg/L.	403	230	550
Sólidos suspendidos volátiles; mg/L.	279	180	390
Nitrógeno total Kjeldhal; mg/L.	75.02	51.52	124.36
Nitrógeno amoniacal; mg/L.	59.82	40.88	109.20
Fósforo total; mg/L.	12.71	9.37	15.47
Detergentes (SAAM); mg/L.	28.02	23.28	37.73
Sulfatos; mg/L.	170.9	138.5	196.8
Grasas y aceites; mg/L.	99.96	78.15	120.77

Para el caso de las muestras simples de grasas y aceites, se registraron variaciones horarias que oscilaron entre los siguientes valores;

	Valor mínimo	Valor máximo
Grasas y aceites; mg/L.	43.32	170.27

Las grandes y erráticas variaciones de las concentraciones registradas de Grasas y Aceites, SST y nitrógeno total y amoniacal, entre otros parámetros, pueden ser ocasionadas por la presencia de aguas residuales cuyo origen puede provenir de empresas del giro industrial, comercial y/o de servicios.

Considerando los valores promedios, mínimos y máximos registrados para los parámetros de **DBO total, SST, DQO, Nitrógeno total, Fósforo y Grasas y Aceites**, y tomando como base la COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA presentada en la literatura de autores norteamericanos (*Metcalf & Eddy*),, el agua residual cae dentro de una clasificación de **AGUA RESIDUAL DE CONCENTRACIÓN MEDIA A FUERTE**.

La relación de DBO : Nitrógeno : Fósforo, cuyos valores recomendados en la literatura como aceptables para que se lleve a cabo en forma adecuada un proceso biológico de tratamiento de agua residual son **100 : 5 : 1**, se cumplen satisfactoriamente, ya que en este caso, considerando los resultados promedio de los 10 días estudiados, resulta ser de **100 : 16.8 : 2.8**, con variaciones que

fluctúan entre **100 : 23.8 : 2.2** y **100 : 12.4 : 2.7** y considerando los valores **mínimos y máximos** reportados, se registran relaciones con valores de **100 : 14.8 : 2.7** y **100 : 22.5 : 2.8**, respectivamente.

Con respecto **la relación de DQO/DBO**, considerando los resultados promedio de los 10 días estudiados, resulta ser de **2.07**, con variaciones que fluctúan entre **1.51 y 2.93** y considerando los valores **mínimos y máximos** reportados, se registran relaciones con valores de **2.27 y 2.00**, respectivamente.

Las fuertes fluctuaciones en la relación DQO/DBO, ponen de manifiesto la presencia de **aguas residuales cuyo origen puede provenir de empresas del giro industrial, comercial y/o de servicios**.

Las concentraciones de **SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES** son considerablemente más altas a las normalmente esperadas inclusive en un **AGUA RESIDUAL DE CONCENTRACIÓN FUERTE**, tomando como base la COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA presentada en la literatura de autores norteamericanos (*Metcalf & Eddy*), en donde indican concentraciones típicas de 250, 500, y 850 mg/L de SDT para descargas de aguas residuales domesticas clasificadas como débil, media y fuerte, respectivamente, siendo que en esta descarga se registran valores promedio, mínimo y máximo de 1,132, 892 y 1,230, respectivamente. Estas altas concentraciones pueden ser ocasionadas por la presencia de aguas residuales cuyo origen puede provenir de empresas del giro industrial, comercial y/o de servicios, o bien por la concentración de sales disueltas presentes en la fuente misma de abastecimiento de agua.

Para el caso de los **SULFATOS**, se presenta un caso similar y, aunque la literatura referida no establece valores típicos para este parámetro, los valores registrados, 171, 139 y 197, como promedio, mínimo y máximo respectivamente, son mayores a los normalmente esperados en descargas típicas de agua residual doméstica.

En ningún caso se detectaron concentraciones de metales pesados o compuestos orgánicos con valores que pudieran afectar el sometimiento del agua residual a un proceso biológico de tratamiento. Lo anterior, tomando

como base lo establecido en la literatura (*Wastewater Treatment Plant Design, WPCF, Manual of Practice N° 8*), misma que se presenta a continuación, así como los satisfactorios resultados que se obtuvieron durante el desarrollo y al final de las pruebas de tratabilidad efectuadas con el agua efluente del densadeg de esta planta de tratamiento.

CONCENTRACIONES UMBRALES DE CONTAMINANTES INHIBIDORES A UN PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

Contaminante	Concentración (mg/L.)	
	Valor máximo recomendado para remoción carbonacea	Valor máximo encontrado
Aluminio	15 a 26	4.73
Amoniaco	480	109.20
Arsénico	0.1	0.052
Boro	0.05 a 100	1.31
Cadmio	10 a 100	0.014
Calcio	2,500	248.4
Cromo hexavalente	1 a 10	<0.019
Cromo trivalente	50	<0.04
Cobre	1.0	0.18
Cianuro	0.1 a 5	0.0049
Fierro	1,000	3.32
Plomo	0.1	0.08
Manganeso	10	0.27
Magnesio		58.79
Mercurio	0.1 a 5.0	<0.0003
Níquel	1.0 a 2.5	0.06
Plata	5	0.05
Sulfatos		196.8
Zinc	0.08 a 10	0.53
Fenoles		0.123
Fenol	200	0.062
Cresol		0.523
2-4, dinitrofenol		0.000

- Para el efluente de la planta de tratamiento:

Parámetro	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Demanda bioquímica de oxígeno total; mg/L.	299.2	228.5	509.0
Demanda bioquímica de oxígeno soluble; mg/L.	168.4	106.4	208.2
Demanda química de oxígeno total; mg/L.	556.5	432.0	640.0
Sólidos suspendidos totales; mg/L.	168	80	235
Sólidos suspendidos volátiles; mg/L.	141	70	200
Nitrógeno total Kjeldhal; mg/L.	57.41	43.68	69.44
Nitrógeno amoniacal; mg/L.	46.45	36.40	60.48
Fósforo total; mg/L.	10.42	5.52	16.86
Detergentes (SAAM); mg/L.	21.72	14.36	28.08
Sulfatos; mg/L.	187.2	152.4	232.4
Grasas y aceites; mg/L.	40.39	18.80	58.95

Para el caso de las muestras simples de grasas y aceites, se registraron variaciones horarias que oscilaron entre los siguientes valores;

	Valor mínimo	Valor máximo
Grasas y aceites; mg/L.	12.27	85.64

Las grandes y erráticas variaciones de las concentraciones registradas de Grasas y Aceites, DBO y SST, entre otros parámetros pueden ser ocasionadas por la presencia de aguas residuales cuyo origen puede provenir de empresas del giro industrial, comercial y/o de servicios, así como a posibles inconsistencias o desviaciones en la operación de la planta de tratamiento.

Considerando los valores promedios, mínimos y máximos registrados para los parámetros de **DBO total**, **DQO** y **Nitrógeno total**, y tomando como base la COMPOSICIÓN TIPICA DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA presentada en la literatura de autores norteamericanos (*Metcalf & Eddy*),, el agua residual cae dentro de una clasificación de **AGUA RESIDUAL DE CONCENTRACIÓN MEDIA A FUERTE**.

Con respecto a los valores registrados de **SST, Fósforo total y Grasas y Aceites**, el agua residual cae dentro de una clasificación de **AGUA RESIDUAL DE CONCENTRACIÓN MEDIA A DÉBIL**.

La relación de DBO : Nitrógeno : Fósforo, cuyos valores recomendados en la literatura como aceptables para que se lleve a cabo en forma adecuada un proceso biológico de tratamiento de agua residual son **100 : 5 : 1**, se cumplen satisfactoriamente, ya que en este caso, considerando los resultados promedio de los 10 días estudiados, resulta ser de **100 : 19.2 : 3.5**, con variaciones que fluctúan entre **100 : 30.4 : 4.9** y **100 : 13.5 : 3.3** y considerando los valores **mínimos y máximos** reportados, se registran relaciones con valores de **100 : 19.1 : 2.4** y **100 : 13.6 : 3.3**, respectivamente.

Con respecto **la relación de DQO/DBO**, considerando los resultados promedio de los 10 días estudiados, resulta ser de **1.86**, con variaciones que fluctúan entre **1.26** y **2.37** y considerando los valores **mínimos y máximos** reportados, se registran relaciones con valores de **1.89** y **1.26**, respectivamente.

Estas fluctuaciones fuertes en la relación DQO/DBO, ponen de manifiesto la presencia de **aguas residuales cuyo origen puede provenir de empresas del giro industrial, comercial y/o de servicios**, así como a posibles inconsistencias o desviaciones en la operación de la planta de tratamiento.

Las concentraciones de **SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES** son considerablemente más altas a las normalmente esperadas inclusive en un **AGUA RESIDUAL DE CONCENTRACIÓN FUERTE**, tomando como base la COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA presentada en la literatura de autores norteamericanos (*Metcalf & Eddy*), en donde indican concentraciones típicas de 250, 500, y 850 mg/L de SDT para descargas de aguas residuales domesticas clasificadas como débil, media y fuerte, respectivamente, siendo que en esta descarga se registran valores promedio, mínimo y máximo de 1,195, 992 y 1,638, respectivamente. Estas altas concentraciones pueden ser ocasionadas por la presencia de aguas residuales cuyo origen puede provenir de

empresas del giro industrial, comercial y/o de servicios, o bien por la concentración de sales disueltas presentes en la fuente misma de abastecimiento de agua.

Para el caso de los **SULFATOS**, se presenta un caso similar y, aunque la literatura referida no establece valores típicos para este parámetro, los valores registrados, 187, 152 y 232, como promedio, mínimo y máximo respectivamente, son mayores a los normalmente esperados en descargas típicas de agua residual doméstica.

En ningún caso se detectaron concentraciones de metales pesados o compuestos orgánicos con valores que pudieran afectar el sometimiento del agua residual a un proceso biológico de tratamiento. Lo anterior, tomando como base lo establecido en la literatura (*Wastewater Treatment Plant Design, WPCF, Manual of Practice N° 8*), misma que se presenta a continuación, así como los satisfactorios resultados que se obtuvieron durante el desarrollo y al final de las pruebas de tratabilidad efectuadas con el agua efluente del densadeg de esta planta de tratamiento.

CONCENTRACIONES UMBRALES DE CONTAMINANTES INHIBIDORES A UN

PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

Contaminante	Concentración (mg/L.)	
	Valor máximo recomendado para remoción carbonacea	Valor máximo encontrado
Aluminio	15 a 26	4.07
Amoniaco	480	60.48
Arsénico	0.1	0.047
Boro	0.05 a 100	0.94
Cadmio	10 a 100	0.014
Calcio	2,500	175.3
Cromo hexavalente	1 a 10	<0.019
Cromo trivalente	50	<0.04
Cobre	1.0	0.05
Cianuro	0.1 a 5	0.0043
Fierro	1,000	0.73
Plomo	0.1	0.07
Manganeso	10	0.16
Magnesio		56.49
Mercurio	0.1 a 5.0	<0.0003
Níquel	1.0 a 2.5	<0.04
Plata	5	<0.04
Sulfatos		232.4
Zinc	0.08 a 10	0.24
Fenoles		0.121
Fenol	200	0.0482
Cresol		0.470
2-4, dinitrofenol		0.000

- Para el efluente del tanque de cloración de la planta de tratamiento:

Parámetro	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Demanda bioquímica de oxígeno total; mg/L.	251.5	171.3	389.0
Demanda bioquímica de oxígeno soluble; mg/L.	172.5	139.5	225.0
Demanda química de oxígeno total; mg/L.	543.51	384.0	543.5
Sólidos suspendidos totales; mg/L.	161	100	240
Sólidos suspendidos volátiles; mg/L.	123	90	160
Sulfatos; mg/L.	211.4	140.3	387.2

- Eficiencias de remoción de los principales contaminantes.

Considerando los valores promedio de los principales contaminantes registrados durante los diez períodos de 24 horas evaluados, se registraron las siguientes eficiencias de remoción de contaminantes:

Parámetro	Eficiencia de remoción (%)
Demanda bioquímica de oxígeno total; mg/L.	32.9
Demanda bioquímica de oxígeno soluble; mg/L.	12.7
Demanda química de oxígeno total; mg/L.	39.7
Sólidos suspendidos totales; mg/L.	58.3
Sólidos suspendidos volátiles; mg/L.	49.5
Nitrógeno total Kjeldhal; mg/L.	23.5
Nitrógeno amoniacal; mg/L.	22.4
Fósforo total; mg/L.	18.0
Grasas y aceites; mg/L.	59.6

PLANTA DE TRATAMIENTO “ALSESECA SUR”

- Gasto de agua residual tratada.

Tomando como base los gastos registrados en el medidor ultrasónico instalado en el influente a la planta de tratamiento, se obtuvo en promedio durante los diez períodos de 24 horas evaluados, un gasto de agua residual tratada de 642 lps., detectándose variaciones diarias que oscilan entre los 515 y los 835 lps, y variaciones horarias que oscilan entre los 191 y los 975 lps.

- Variaciones diarias de gasto de agua residual a tratar:

	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Gasto de agua tratada; lts/seg.	642	515	835

Variaciones horarias de gasto de agua residual a tratar:

	Valor mínimo	Valor máximo
Gasto de agua tratada; lts/seg.	191	975

De acuerdo a los métodos de aforo utilizados y los sitios en que se realizaron aforos, se obtienen los siguientes gastos de descarga:

Influente medido con el medidor ultrasónico (aforador Venturi): 642 lts/seg.

Influente medido con sección-velocidad (método adicional): 678 lts/seg.

Arrojando una diferencia del 5.6% entre ambos métodos, porcentaje aceptable, considerando los factores de error humano en el método adicional utilizado, tales como la medición de tirantes en canales con flujo turbulento, así como a la complejidad presentada para realizar físicamente los aforos.

El gasto medido en el efluente del Densadeg arrojó, en promedio durante los diez días evaluados, un valor de 721 lts/seg. Representando un 12.2% superior al gasto medido y/o registrado en el medidor ultrasónico.

Calculando el promedio de los gastos medidos en promedio durante los diez días evaluados en el influente a la planta por el método de sección-velocidad y el del efluente del densadeg, se obtiene un valor de 700 lts/seg., representando un 8.9% superior al gasto medido y/o registrado en el medidor ultrasónico.

En este aspecto, consideramos conveniente mencionar que no se logró obtener con la empresa encargada de la operación de la planta, la fórmula para calcular el gasto de descarga mediante el uso del medidor automático instalado.

Tomando como base los resultados obtenidos y los comentarios antes descritos, se considera que el medidor automático instalado esta registrando valores razonablemente confiables.

El gasto medido en la salida del tanque de cloración arrojó, en promedio durante los diez días evaluados, un valor de 456 lts/seg. Representando esto un 29% inferior al gasto medido y/o registrado en el medidor ultrasónico como influente a la planta, significando que este 29% se está descargando sin pasar por el tanque de contacto de cloro.

Para efectos de los valores promedio mencionados, en los casos en que por diferentes circunstancias no se realizaron aforos ya sea en el efluente del densadeg o en la salida del tanque de contacto de cloro, se consideraron, para el caso de la salida del densadeg, gastos iguales a los registrados en el medidor ultrasónico y para el caso de la salida del tanque de contacto de cloro, los gastos registrados en el mismo medidor ultrasónico pero restando un porcentaje igual al que, en promedio, se obtuvo como agua descargada sin pasar por este tanque de cloración.

- Dosis de sulfato de aluminio:

Se registraron gastos de alimentación de sulfato de aluminio que oscilaron entre los 22.0 y los 100.0 ml/seg., registrándose en algunos casos, sin conocer la dosis recomendada o adecuada y asumiendo que la concentración del reactivo es siempre la misma, inconsistencias en la dosificación de este en proporción al gasto de agua residual a tratar, es decir, a un diferente gasto de agua residual a tratar, se alimentaba la misma dosis de sulfato de aluminio.

- Variaciones de pH conductividad y temperatura del agua residual influente a la planta:

En cuanto a estos parámetros, se registraron los siguientes valores:

Parámetro	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
pH; unidades de pH	7.50	6.68	8.35
Conductividad; $\mu\text{S}/\text{cm}$.	1,849	1,406	2,270
Temperatura; $^{\circ}\text{C}$	19.7	17.0	22.5

Las variaciones registradas, principalmente en los valores de conductividad, evidencian la presencia de descargas de aguas residuales cuyo origen puede provenir de empresas del giro industrial, comercial y/o de servicios.

- Para el efluente a la planta de tratamiento:

En cuanto a estos parámetros, se registraron los siguientes valores:

Parámetro	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
pH; unidades de pH	7.28	6.62	8.28
Conductividad; $\mu\text{S}/\text{cm}$.	1,847	1,302	2,533
Temperatura; $^{\circ}\text{C}$	19.5	15.5	22.5

- Caracterización del agua residual.

Se registraron en promedio durante los diez períodos de 24 horas evaluados y para los principales parámetros, los siguientes resultados:

- Para el influente a la planta de tratamiento:

Parámetro	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Demanda bioquímica de oxígeno total; mg/L.	410.7	323.5	580.5
Demanda bioquímica de oxígeno soluble; mg/L.	183.5	139.5	230.0
Demanda química de oxígeno total; mg/L.	969.6	800.0	1231.8
Sólidos suspendidos totales; mg/L.	402	300	530
Sólidos suspendidos volátiles; mg/L.	298	240	370
Nitrógeno total Kjeldhal; mg/L.	64.95	50.96	85.68
Nitrógeno amoniacal; mg/L.	46.14	28.00	71.12
Fósforo total; mg/L.	12.63	8.79	17.03
Detergentes (SAAM); mg/L.	25.62	15.44	32.69
Sulfatos; mg/L.	229.2	159.0	268.4
Grasas y aceites; mg/L.	94.52	83.42	112.40

Para el caso de las muestras simples de grasas y aceites, se registraron variaciones horarias que oscilaron entre los siguientes valores;

	Valor mínimo	Valor máximo
Grasas y aceites; mg/L.	31.13	145.24

Las grandes y erráticas variaciones de las concentraciones registradas de Grasas y Aceites y nitrógeno total y amoniacal y sulfatos, entre otros parámetros, pueden ser ocasionadas por la presencia de aguas residuales cuyo origen puede provenir de empresas del giro industrial, comercial y/o de servicios.

Considerando los valores promedios, mínimos y máximos registrados para los parámetros de **DBO total**, **SST**, **DQO** y **Nitrógeno total**, y tomando como base la COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA presentada en la literatura de autores norteamericanos (*Metcalf & Eddy*),, el agua residual cae

dentro de una clasificación de **AGUA RESIDUAL DE CONCENTRACIÓN FUERTE**.

Considerando los valores promedios, mínimos y máximos registrados para los parámetros de **Fósforo y Grasas y Aceites**, y tomando como base la COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA presentada en la literatura de autores norteamericanos (*Metcalf & Eddy*), el agua residual cae dentro de una clasificación de **AGUA RESIDUAL DE CONCENTRACIÓN MEDIA A FUERTE**.

La relación de **DBO : Nitrógeno : Fósforo**, cuyos valores recomendados en la literatura como aceptables para que se lleve a cabo en forma adecuada un proceso biológico de tratamiento de agua residual son **100 : 5 : 1**, se cumplen satisfactoriamente, ya que en este caso, considerando los resultados promedio de los 10 días estudiados, resulta ser de **100 : 15.8 : 3.1**, con variaciones que fluctúan entre **100 : 20.4 : 5.3** y **100 : 8.8 : 2.1** y considerando los valores **mínimos y máximos** reportados, se registran relaciones con valores de **100 : 15.8 : 2.7** y **100 : 14.8 : 2.9**, respectivamente.

Con respecto **la relación de DQO/DBO**, considerando los resultados promedio de los 10 días estudiados, resulta ser de **2.36**, con variaciones que fluctúan entre **1.96** y **2.84** y considerando los valores **mínimos y máximos** reportados, se registran relaciones con valores de **2.47** y **2.12**, respectivamente.

Las fluctuaciones en la relación DQO/DBO, ponen de manifiesto la presencia de **aguas residuales cuyo origen puede provenir de empresas del giro industrial, comercial y/o de servicios**.

Las concentraciones de **SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES** son considerablemente más altas a las normalmente esperadas inclusive en un **AGUA RESIDUAL DE CONCENTRACIÓN FUERTE**, tomando como base la COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA presentada en la literatura de autores norteamericanos (*Metcalf & Eddy*), en donde indican concentraciones típicas de 250, 500, y 850 mg/L de SDT para descargas de aguas

residuales domésticas clasificadas como débil, media y fuerte, respectivamente, siendo que en esta descarga se registran valores promedio, mínimo y máximo de 1,113, 900 y 1,304, respectivamente. Estas altas concentraciones pueden ser ocasionadas por la presencia de aguas residuales cuyo origen puede provenir de empresas del giro industrial, comercial y/o de servicios, o bien por la concentración de sales disueltas presentes en la fuente misma de abastecimiento de agua.

Para el caso de los **SULFATOS**, se presenta un caso similar y, aunque la literatura referida no establece valores típicos para este parámetro, los valores registrados, 229, 159 y 268, como promedio, mínimo y máximo respectivamente, son mayores a los normalmente esperados en descargas típicas de agua residual doméstica.

En ningún caso se detectaron concentraciones de metales pesados o compuestos orgánicos con valores que pudieran afectar el sometimiento del agua residual a un proceso biológico de tratamiento. Lo anterior, tomando como base lo establecido en la literatura (*Wastewater Treatment Plant Design, WPCF, Manual of Practice N° 8*), misma que se presenta a continuación, así como los satisfactorios resultados que se obtuvieron durante el desarrollo y al final de las pruebas de tratabilidad efectuadas con el agua efluente del densadeg de esta planta de tratamiento.

**CONCENTRACIONES UMBRALES DE CONTAMINANTES INHIBIDORES A UN
PROCESO DE LODOS ACTIVADOS**

Contaminante	Concentración (mg/L.)	
	Valor máximo recomendado para remoción carbonacea	Valor máximo encontrado
Aluminio	15 a 26	4.97
Amoniaco	480	71.12
Arsénico	0.1	0.047
Boro	0.05 a 100	1.03
Cadmio	10 a 100	0.014
Calcio	2,500	174.7
Cromo hexavalente	1 a 10	<0.019
Cromo trivalente	50	<0.04
Cobre	1.0	0.08
Cianuro	0.1 a 5	0.0075
Fierro	1,000	2.07
Plomo	0.1	0.07
Manganeso	10	0.15
Magnesio		21.92
Mercurio	0.1 a 5.0	<0.0003
Níquel	1.0 a 2.5	0.05
Plata	5	<0.04
Sulfatos		268.4
Zinc	0.08 a 10	0.37
Fenoles		0.194
Fenol	200	0.0824
Cresol		0.250
2-4, dinitrofenol		0.000

- Para el efluente de la planta de tratamiento:

Parámetro	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Demanda bioquímica de oxígeno total; mg/L.	251.9	154.0	303.5
Demanda bioquímica de oxígeno soluble; mg/L.	155.9	71.4	192.5
Demanda química de oxígeno total; mg/L.	614.6	512.0	832.0
Sólidos suspendidos totales; mg/L.	167	110	260
Sólidos suspendidos volátiles; mg/L.	131	90	200
Nitrógeno total Kjeldhal; mg/L.	55.09	45.92	63.28
Nitrógeno amoniacal; mg/L.	41.45	36.96	50.40
Fósforo total; mg/L.	9.06	3.78	15.21
Detergentes (SAAM); mg/L.	20.70	15.64	26.59
Sulfatos; mg/L.	243.7	166.0	318.8
Grasas y aceites; mg/L.	39.04	30.86	51.80

Para el caso de las muestras simples de grasas y aceites, se registraron variaciones horarias que oscilaron entre los siguientes valores;

	Valor mínimo	Valor máximo
Grasas y aceites; mg/L.	11.76	113.46

Las variaciones de las concentraciones registradas de Grasas y Aceites, DBO, SST y sulfatos, entre otros parámetros pueden ser ocasionadas por la presencia de aguas residuales cuyo origen puede provenir de empresas del giro industrial, comercial y/o de servicios, así como a posibles inconsistencias o desviaciones en la operación de la planta de tratamiento.

Considerando los valores promedios, mínimos y máximos registrados para los parámetros de **DBO total**, **DQO** y **Nitrógeno total**, y tomando como base la COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA presentada en la literatura de autores norteamericanos (*Metcalf & Eddy*),, el agua residual cae

dentro de una clasificación de **AGUA RESIDUAL DE CONCENTRACIÓN MEDIA A FUERTE**.

Con respecto a los valores registrados de **SST, Fósforo total y Grasas y Aceites**, el agua residual cae dentro de una clasificación de **AGUA RESIDUAL DE CONCENTRACIÓN MEDIA A DÉBIL**.

La relación de DBO : Nitrógeno : Fósforo, cuyos valores recomendados en la literatura como aceptables para que se lleve a cabo en forma adecuada un proceso biológico de tratamiento de agua residual son **100 : 5 : 1**, se cumplen satisfactoriamente, ya que en este caso, considerando los resultados promedio de los 10 días estudiados, resulta ser de **100 : 21.9 : 3.6**, con variaciones que fluctúan entre **100 : 41.1 : 9.9** y **100 : 17.3 : 3.2** y considerando los valores **mínimos y máximos** reportados, se registran relaciones con valores de **100 : 29.8 : 2.5** y **100 : 20.9 : 5.0**, respectivamente.

Con respecto **la relación de DQO/DBO**, considerando los resultados promedio de los 10 días estudiados, resulta ser de **2.44**, con variaciones que fluctúan entre **1.81** y **3.32** y considerando los valores **mínimos y máximos** reportados, se registran relaciones con valores de **3.32** y **2.74**, respectivamente.

Estas severas fluctuaciones en la relación DQO/DBO, ponen de manifiesto la presencia de **aguas residuales cuyo origen puede provenir de empresas del giro industrial, comercial y/o de servicios**, así como a posibles inconsistencias o desviaciones en la operación de la planta de tratamiento.

Las concentraciones de **SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES** son considerablemente más altas a las normalmente esperadas inclusive en un **AGUA RESIDUAL DE CONCENTRACIÓN FUERTE**, tomando como base la COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA presentada en la literatura de autores norteamericanos (*Metcalf & Eddy*), en donde indican concentraciones típicas de 250, 500, y 850 mg/L de SDT para descargas de aguas residuales domesticas clasificadas como débil, media y fuerte, respectivamente, siendo que en esta descarga se registran valores promedio, mínimo y máximo de

1,126, 936 y 1,236, respectivamente. Estas altas concentraciones pueden ser ocasionadas por la presencia de aguas residuales cuyo origen puede provenir de empresas del giro industrial, comercial y/o de servicios, o bien por la concentración de sales disueltas presentes en la fuente misma de abastecimiento de agua.

Para el caso de los **SULFATOS**, se presenta un caso similar y, aunque la literatura referida no establece valores típicos para este parámetro, los valores registrados, 244, 166 y 319, como promedio, mínimo y máximo respectivamente, son mayores a los normalmente esperados en descargas típicas de agua residual doméstica.

En ningún caso se detectaron concentraciones de metales pesados o compuestos orgánicos con valores que pudieran afectar el sometimiento del agua residual a un proceso biológico de tratamiento. Lo anterior, tomando como base lo establecido en la literatura (*Wastewater Treatment Plant Design, WPCF, Manual of Practice N° 8*), misma que se presenta a continuación, así como los satisfactorios resultados que se obtuvieron durante el desarrollo y al final de las pruebas de tratabilidad efectuadas con el agua efluente del densadeg de esta planta de tratamiento.

**CONCENTRACIONES UMBRALES DE CONTAMINANTES INHIBIDORES A UN
PROCESO DE LODOS ACTIVADOS**

Contaminante	Concentración (mg/L.)	
	Valor máximo recomendado para remoción carbonacea	Valor máximo encontrado
Aluminio	15 a 26	3.88
Amoniaco	480	50.4
Arsénico	0.1	0.047
Boro	0.05 a 100	0.98
Cadmio	10 a 100	0.013
Calcio	2,500	150.2
Cromo hexavalente	1 a 10	<0.019
Cromo trivalente	50	<0.04
Cobre	1.0	0.06
Cianuro	0.1 a 5	0.0058
Fierro	1,000	1.08
Plomo	0.1	<0.04
Manganeso	10	0.09
Magnesio		21.35
Mercurio	0.1 a 5.0	<0.0003
Níquel	1.0 a 2.5	<0.04
Plata	5	<0.04
Sulfatos		318.8
Zinc	0.08 a 10	0.26
Fenoles		0.132
Fenol	200	0.060
Cresol		0.167
2-4, dinitrofenol		0.000

- Para el efluente del tanque de cloración de la planta de tratamiento:

Parámetro	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Demanda bioquímica de oxígeno total; mg/L.	232.0	139.8	267.3
Demanda bioquímica de oxígeno soluble; mg/L.	159.1	114.3	177.0
Demanda química de oxígeno total; mg/L.	531.0	416.0	592.0
Sólidos suspendidos totales; mg/L.	143	115	190
Sólidos suspendidos volátiles; mg/L.	113	90	150
Sulfatos; mg/L.	282.5	207.5	416.1

- Eficiencias de remoción de los principales contaminantes.

Considerando los valores promedio de los principales contaminantes registrados durante los diez períodos de 24 horas evaluados, se registraron las siguientes eficiencias de remoción de contaminantes:

Parámetro	Eficiencia de remoción (%)
Demanda bioquímica de oxígeno total; mg/L.	38.7
Demanda bioquímica de oxígeno soluble; mg/L.	15.0
Demanda química de oxígeno total; mg/L.	36.6
Sólidos suspendidos totales; mg/L.	58.5
Sólidos suspendidos volátiles; mg/L.	56.0
Nitrógeno total Kjeldhal; mg/L.	15.2
Nitrógeno amoniacal; mg/L.	10.2
Fósforo total; mg/L.	28.3
Grasas y aceites; mg/L.	58.7

➤ Análisis CRETIB a muestras de lodos.

De los análisis CRETIB practicados a las catorce muestras tomadas en los siguientes puntos de muestreo:

- LODO CRUDO, PLANTA SAN FRANCISCO (dos muestras)
- LODO CRUDO, PLANTA ATOYAC (dos muestras)
- LODO DIGERIDO, PLANTA ATOYAC (dos muestras)
- LODO DESHIDRATADO, PLANTA ATOYAC (dos muestras)
- LODO CRUDO, PLANTA ALSESECA (dos muestras)
- LODO DIGERIDO, PLANTA ALSESECA (dos muestras)
- LODO DESHIDRATADO, PLANTA ALSESECA SUR (dos muestras)

Se obtienen resultados que identifican, en todos los casos, a los lodos residuales como un residuo:

- **NO CORROSIVO**
- **NO REACTIVO**
- **NO EXPLOSIVO**
- **NO TOXICO Y**
- **NO INFLAMABLE**

CONCLUSIONES

- **El proceso factible es el de lodos activados de tipo Anóxico-Aerobio. En comparación con otros procesos como el de remoción de nutrientes con tres pasos es más costoso por el grado de remoción de contaminantes.**
- **Con el sistema propuesto se tiene la alternativa de construir parcialmente los módulos a fin de cumplir en primera instancia con la calidad requerida 75/75 de DBO y SST y en un futuro construir las unidades completas para llegar a una calidad del agua 20/30.**

Valor de constantes obtenidas para agua residual de efluente de Unidades de Tratamiento Primario avanzado.

	PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES			
	SAN FRANCISCO	ATOYAC SUR	ALSESECA SUR	BARRANCA DEL CONDE
Velocidad de utilización de sustrato "k", d*L/mg	0.016	0.009	0.025	0.021
Producción de lodos "y" kgSSV/kg DBOremovida	0.135	0.455	0.15	0.113
Coefficiente de decaimiento "kd", d ⁻¹ .	0.01	0.019	0.048	0.0017
Requerimientos de oxígeno "a" kgO ₂ /kgDBOr	0.99	1.22	0.83	0.92
Requerimientos de oxígeno para respiración endógena "b", d ⁻¹ .	0.012	0.019	0.021	0.048

Calidad de agua residual a tratar

PARÁMETRO	SAN FRANCISCO		ATOYAC SUR		ALSESECA SUR		BARRANCA DEL CONDE	
	HISTORICO	MONITOREO 2005	HISTORICO	MONITOREO 2005	HISTORICO	MONITOREO 2005	HISTORICO	MONITOREO 2005
Ph (u de pH)	7.86	7.49	7.92	7.68	7.75	7.33	7.72	7.32
DQO Total (mg/l)	496	540	728	922.6	770	969.6	538	698.9
DBO Total (mg/l)	228	318	302	446.2	343	410.7	272	376
DBO Soluble (mg/l)	117	123.7	157	192.9	181	183.5	170	186.2
Grasas y Aceites (mg/l)	55	69.62	64	100	80	94.52	39	60.84
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	313	347	469	403	414	402	420	580
Nitrógeno Total Kjedhal (mg/l)	39	42.77	53	75	56	64.95	52	57.11
Fósforo Total (mg/l)	9.35	8.7	15	12.7	14	12.63	10	9.33
Coliformes Fecales	5.48x10 ⁷	3.80x10 ⁷	3.34x10 ⁷	7.4x10 ⁷	6.23x10 ⁸	8.30x10 ⁷	3.73x10 ⁸	4.20x10 ⁷

BIBLIOGRAFIA

- Metcalf L. & H.P. Eddy. "Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse"; Mc. Graw-Hill, 3rd. Edition, (1991).
- Ramalho, R.S.; "Introduction to Wastewater Treatment Process"; Academic Press, 2nd. Edition, (1983).
- W.W. Eckenfelder ,Water Pollution Control, Pemberton; Principles of Water Quality Management, CTI; Industrial Water Pollution Control, Mcgraw-Hill.
- "Wastewater Treatment Plant Design". Amer. Soc. Civil Engr., Publ. No.36.
- Manual of Practice No.8, Water Pollution Control Federation., Washington, D.C. (1976).
- USEPA, Process Design Manual, Wastewater Treatment Facilities for Sewered Small Communities.
- USEPA, Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal.
- USEPA, Design Manual, Onsite Wastewater Treatment and Disposal Systems.
- Tchobanoglous. Crites, Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones, McGraw-Hill.
- McGhee, Water Supply and Sewerage, McGraw-Hill.
- Babbit, Sewerage and Sewage Treatment, CECSA.

ANEXO

1

Tablas de Análisis de Costos por planta.

TABLA SISTEMA DE TRATAMIENTO LODOS ACTIVADOS CON REMOCION DE NUTRIENTES
COSTO UNITARIO DE AGUA TRATADA
ALSESECA SUR

UNIDAD	GASTO (LPS)	INVERSION (PESOS)					OPERACION Y MANTENIMIENTO (PESOS/AÑO)					AMORT.	COSTO UNITARIO \$/M ³	
		OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMINIST. Y LAB	IND/REC.	TOTAL	ENERGIA ELECTRICA	QUIMICOS	MAT.	MANO DE OBRA DP. Y MAN.	ADMINIST. Y LAB			TOTAL
LINEA DE AGUA	700													
BOMBEO		1,898,460	2,320,340			4,218,800	1,048,340		29,574	47,064		1,124,978		
REACTOR BIOLOGICO		34,153,200	41,742,800			75,896,000	27,454,000		974,140	616,920		29,045,060		
SED. SECUNDARIO		4,479,030	5,474,370			9,953,400	15,794		99,534	111,618		226,946		
SOPLADORES			28,938,000			28,938,000								
LINEA DE LODOS														
ESPESADOR		414,513	506,627			921,140	8,279		9,211	31,694		49,184		
DIGESTOR		13,689,900	16,732,100			30,422,000	223,660		204,580	99,852		528,092		
DESHIDRATACIÓN		1,087,560	1,329,240			2,416,800	1,537,000	1,558,200		140,132		3,235,332		
DIRECTOS		45,829,842				45,829,842								
				346,620	29,789,397	30,136,017					396,000	396,000		
		101,552,505	97,043,477	346,620	29,789,397	228,731,999	30,287,073	1,558,200	1,317,039	1,047,280	396,000	34,605,592	30,627,215	2.96
TASA DE INTERES = 12 %														
VIDA UTIL = 20 AÑOS														
NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO														
TIPO DE CAMBIO 1 DÓLAR = 10.60 PESOS														

TABLA SISTEMA DE TRATAMIENTO CON FILTROS BIOLÓGICOS CON NITRIFICACION-DENITRIFICACION
COSTO UNITARIO DE AGUA TRATADA
ALSESECA SUR

UNIDAD	GASTO (LPS)	INVERSIÓN (PESÓS)					OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (PESÓS/AÑO)					AMORT.	COSTO UNITARIO \$/M ³	
		OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMINIST. Y LAB.	INDIREC.	TOTAL	ENERGIA ELECTRICA	QUIMICOS	MAT.	MANO DE OBRA OP. Y MAN.	ADMINIST. Y LAB.			TOTAL
LINEA DE AGUA	700													
BOMBEO		1,884,150	2,302,850			4,187,000	1,040,920		29,362	47,170		1,117,452		
SEDIMENTADOR P		1,955,700	2,390,300			4,346,000	10,706		43,460	73,458		127,624		
BOMBEO		1,884,150	2,302,850			4,187,000	1,040,920		29,362	47,170		1,117,452		
FILTROS BIOL-NITRIF		28,262,250	34,542,750			62,805,000	1,335,600		294,680	94,022		1,724,302		
SED. SECUNDARIO		4,426,560	4,426,560			8,853,120	15,688		98,368	111,300		225,356		
BOMBEO		1,884,150	2,302,850			4,187,000	1,040,920		29,362	47,170		1,117,452		
FILTROS BIOL-DENIT		37,062,900	45,299,100			82,362,000	4,754,100	4,308,900	303,160	664,620		10,030,780		
SED. SECUNDARIO		4,426,560	4,426,560			8,853,120	15,688		98,368	111,300		225,356		
LINEA DE LODOS														
ESPESADOR		586,710	717,090			1,303,800	10,176		13,038	46,534		69,748		
DIGESTOR		18,459,900	22,562,100			41,022,000	375,240		295,740	152,640		823,620		
DESHIDRATACIÓN		1,464,390	1,789,810			3,254,200	2,883,200	3,074,000		196,312		6,153,512		
DIRECTOS		67,608,072				67,608,072								
				346,620	43,945,247	44,291,867					396,000	396,000		
		169,905,492	123,062,820	346,620	43,945,247	337,260,179	12,523,158	7,382,900	1,234,900	1,591,696	396,000	23,128,654	45,159,138	3.09
TASA DE INTERES = 12 %														
VIDA UTIL = 20 AÑOS														
NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO														
TIPO DE CAMBIO 1 DÓLAR = 10.60 PESOS														

TABLA SISTEMA DE TRATAMIENTO LODOS ACTIVADOS ANOXICO AEROBIO
COSTO UNITARIO DE AGUA TRATADA
ALSESECA SUR

UNIDAD	GASTO (LPS)	INVERSION (PESOS)					OPERACION Y MANTENIMIENTO (PESOS/AÑO)					AMORT.	COSTO UNITARIO \$/M ³	
		OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMINIST. Y LAB	INDJREC.	TOTAL	ENERGIA ELECTRICA	QUIMICOS	MAT.	MANO DE OBRA DP. Y MAN.	ADMINIST. Y LAB			TOTAL
LINEA DE AGUA	700													
BOMBEO		1,936,620	2,366,980			4,303,600	1,070,600		30,210	47,594		1,148,404		
REACTOR BIOLOGICO		17,553,600	21,454,400			39,008,000	24,274,000		628,580	561,800		25,464,380		
SED. SECUNDARIO		4,531,500	5,538,500			10,070,000	15,900		100,700	113,420		230,020		
SISTEMA DE AEREA			29,574,000			29,574,000								
LINEA DE LODOS														
ESPESADOR		658,260	804,540			1,462,800	11,236		14,628	53,424		79,288		
DIGESTOR		19,747,800	24,136,200			43,884,000	419,760		319,060	178,822		917,642		
DESHIDRATACIÓN		2,680,740	3,276,460			5,957,200	3,455,600	3,741,800		229,384		7,426,784		
DIRECTOS		40,277,880				40,277,880								
				346,620	26,180,622	26,527,242					396,000	396,000		
		87,386,400	87,151,080	346,620	26,180,622	201,064,722	29,247,096	3,741,800	1,093,178	1,184,444	396,000	35,662,518	26,922,566	2.84
TASA DE INTERES = 12 %														
VIDA UTIL = 20 AÑOS														
NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO														
TIPO DE CAMBIO 1 DÓLAR = 10.60 PESOS														

TABLA SISTEMA DE TRATAMIENTO LODOS ACTIVADOS NITRIFICACION DENITRIFICACION
COSTO UNITARIO DE AGUA TRATADA
ALSESECA SUR

UNIDAD	GASTO (LPS)	INVERSION (PESOS)					OPERACION Y MANTENIMIENTO (PESOS/AÑO)					AMORT.	COSTO UNITARIO - \$/M ³	
		OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMINIST. Y LAB	INDIREG.	TOTAL	ENERGIA ELECTRICA	QUIMICOS	MAT.	MANO DE OBRA OP. Y MAN.	ADMINIST. Y LAB			TOTAL
LINEA DE AGUA	700													
BOMBEO		2,041,560	2,495,240			4,536,800	1,113,000		31,800	49,184		1,193,984		
REACTOR NITRIF		66,303,000	81,037,000			147,340,000	32,436,000	6,519,000	192,920	628,580		39,776,500		
SED. SECUNDARIO		4,636,440	5,666,760			10,303,200	16,324		103,032	117,978		237,334		
REACTOR DENITRIF		7,345,800	8,978,200			16,324,000	1,855,000	4,738,200	70,490	117,660		6,781,350		
SED. SECUNDARIO		4,426,560	5,410,240			9,836,800	15,688		98,368	125,928		239,984		
SISTEMA DE DOSIFIC		3,677,670	4,494,930			8,172,600			163,240	633,880		797,120		
LINEA DE LODOS														
ESPESADOR		1,163,880	1,422,520			2,586,400	15,158		25,864	111,300		152,322		
DIGESTOR		26,091,900	31,890,100			57,982,000	665,680		267,120	412,340		1,345,140		
DESHIDRATACIÓN		5,103,900	6,238,100			11,342,000	8,681,400	10,112,400		566,782		19,360,582		
DIRECTOS		80,527,140				80,527,140								
				346,620	52,342,641	52,689,261					396,000	396,000		
		201,317,850	147,633,090	346,620	52,342,641	401,640,201	44,798,250	21,369,600	952,834	2,763,632	396,000	70,280,316	53,779,623	5.62
TASA DE INTERES = 12 %														
VIDA UTIL = 20 AÑOS														
NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO														
TIPO DE CAMBIO 1 DÓLAR = 10.60 PESOS														

TABLA SISTEMA DE TRATAMIENTO LODOS ACTIVADOS CON ZANJAS DE OXIDACION
COSTO UNITARIO DE AGUA TRATADA
ALSESECA SUR

UNIDAD	GASTO (LPS)	INVERSION (PESOS)					OPERACION Y MANTENIMIENTO (PESOS/AÑO)					AMORT.	COSTO UNITARIO \$/M ³	
		OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMINIST. Y LAB	IND/REC.	TOTAL	ENERGIA ELECTRICA	QUIMICOS	MAT.	MANO DE OBRA DP. Y MAN.	ADMINIST. Y LAB			TOTAL
LINEA DE AGUA	700													
BOMBEO		1,888,920	2,308,680			4,197,600	1,044,100		29,362	45,474		1,118,936		
REACTOR BIOLOGICO		57,144,600	69,843,400			126,988,000	33,920,000		576,640	315,350		34,811,990		
SED. SECUNDARIO		4,479,030	5,474,370			9,953,400	15,688		99,534	108,544		223,766		
LINEA DE LODOS														
ESPESADOR		339,624	415,096			754,720	7,293		7,547	25,302		40,142		
DIGESTOR		12,115,800	14,808,200			26,924,000	170,660		159,000	80,136		409,796		
DESHIDRATACIÓN		1,087,560	1,329,240			2,416,800	1,040,920	1,020,780		112,254		2,173,954		
DIRECTOS		51,370,356				51,370,356								
				346,620	33,390,731	33,737,351					396,000	396,000		
		128,425,890	94,178,986	346,620	33,390,731	256,342,227	36,198,661	1,020,780	872,083	687,060	396,000	39,174,584	34,324,224	3.33
TASA DE INTERES = 12 %														
VIDA UTIL = 20 AÑOS														
NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO														
TIPO DE CAMBIO 1 DÓLAR = 10.60 PESOS														

**TABLA RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE AGUA TRATADA
ALSESECA SUR**

ALTERNATIVA	AREA (Ha)	GASTO (LRS)	CONSTRUCCION (PESOS)					OPERACION Y MANTENIMIENTO (PESOS/AÑO)					AMORT.	COSTO UNITARIO POR INV.	COSTO UNITARIO OP. Y MTO.	COSTO UNITARIO \$/M ³	
			OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMNISTR. Y LAB	INDIRECTOS	TOTAL	ENERGIA ELÉCTRICA	REACTIVOS	MAT.	MANO DE OBRA	ADMNISTR. Y LAB					TOTAL
LODOS ACTIVADOS REM NUT.		700.0	101,552,505	97,043,477	346,620	29,789,397	228,731,999	30,287,073	1,558,200	1,317,039	1,047,280	396,000	34,605,592	30,627,215	1.39	1.57	2.96
FILTROS BIOLÓGICOS		700.0	169,905,492	123,062,820	346,620	43,945,247	337,260,179	12,523,158	7,382,900	1,234,900	1,591,696	396,000	23,128,654	45,159,138	2.05	1.05	3.09
ANOXICO-AEROBIO		700.0	87,386,400	87,151,080	346,620	26,180,622	201,064,722	29,247,096	3,741,800	1,093,178	1,184,444	396,000	35,662,518	26,922,566	1.22	1.62	2.84
NITRIFICACION-DENITRIFICACION		700.0	201,317,850	147,633,090	346,620	52,342,641	401,640,201	44,798,250	21,369,600	952,834	2,763,632	396,000	70,280,316	53,779,623	2.44	3.18	5.62
ZANJA DE OXIDACION		700.0	128,425,890	94,178,986	346,620	33,390,731	256,342,227	36,198,661	1,020,780	872,083	687,060	396,000	39,174,584	34,324,224	1.55	1.77	3.33
TASA DE INTERES = 12 % VIDA UTIL = 20 AÑOS NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO																	

**TABLA RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE AGUA TRATADA
ALSESECA SUR**

ALTERNATIVA	AREA (Ha)	GASTO (LPS)	INVERSION	OP. Y MANT.	AMORT.	COSTO UNITARIO POR INV.	COSTO UNITARIO OP. Y MTO.	COSTO UNITARIO \$/M3
LODOS ACTIVADOS REM NUT		700	228,731,999	34,605,592	30,627,215	1.39	1.57	2.96
FILTROS BIOLÓGICOS 2 PASOS		700	337,260,179	23,128,654	45,159,138	2.05	1.05	3.09
ANOXICO-AEROBIO		700	201,064,722	35,662,518	26,922,566	1.22	1.62	2.84
NITRIFICACION DENITRIFICACION		700	401,640,201	70,280,316	53,779,623	2.44	3.18	5.62
ZANJA DE OXIDACION		700	256,342,227	39,174,584	34,324,224	1.55	1.77	3.33
TASA DE INTERES = 12 % VIDA UTIL = 20 AÑOS NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO								

TABLA RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE AGUA TRATADA
COSTO UNITARIO DE AGUA TRATADA
ATOYAC SUR

UNIDAD	GASTO (LPS)	INVERSION (PESOS)					OPERACION Y MANTENIMIENTO (PESOS/AÑO)					AMORT.	COSTO UNITARIO \$/M ³	
		OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMINIST. Y LAB	IND/REC.	TOTAL	ENERGIA ELECTRICA	QUIMICOS	MAT.	MANO DE OBRA DP. Y MAN.	ADMINIST. Y LAB			TOTAL
LINEA DE AGUA	400													
BOMBEO		1,359,450	1,661,550			3,021,000	598,900		21,200	38,584		658,684		
REACTOR BIOLOGICO		22,180,500	27,109,500			49,290,000	17,172,000		714,440	495,020		18,381,460		
SED. SECUNDARIO		2,423,160	2,961,640			5,384,800	11,342		53,848	78,758		143,948		
SISTEMA DE AERA			21,518,000			21,518,000								
LINEA DE LODOS														
ESPESADOR		327,222	399,938			727,160	7,208		7,272	25,398		39,877		
DIGESTOR		9,015,300	11,018,700			20,034,000	153,700		116,600	80,242		350,542		
DESHIDRATACIÓN		1,087,560	1,329,240			2,416,800	1,000,640	978,380		110,770		2,089,790		
DIRECTOS		30,717,528				30,717,528								
				265,000	19,966,393	20,231,393					396,000	396,000		
		67,110,720	65,998,568	265,000	19,966,393	153,340,681	18,943,790	978,380	913,360	828,772	396,000	22,060,301	20,532,317	3.38
TASA DE INTERES = 12 %														
VIDA UTIL = 20 AÑOS														
NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO														
TIPO DE CAMBIO 1 DÓLAR = 10.60 PESOS														

TABLA RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE AGUA TRATADA
COSTO UNITARIO DE AGUA TRATADA
ATOYAC SUR

UNIDAD	GASTO (LPS)	INVERSION (PESÓS)					OPERACION Y MANTENIMIENTO (PESÓS/AÑO)					AMORT.	COSTO UNITARIO \$/M ³	
		OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMINIST. Y LAB.	INDIREC.	TOTAL	ENERGIA ELECTRICA	QUIMICOS	MAT.	MANO DE OBRA OP. Y MAN.	ADMINIST. Y LAB.			TOTAL
LINEA DE AGUA	400													
BOMBEO		1,354,680	1,655,720			3,010,400	594,660		21,094	38,796		654,550		
SEDIMENTADOR P		1,058,940	1,294,260			2,353,200	9,710		23,532	51,834		85,076		
BOMBEO		1,354,680	1,655,720			3,010,400	594,660		21,094	38,796		654,550		
FILTROS BIOL-NITRIF		16,671,150	20,375,850			37,047,000	1,144,800		173,840	69,748		1,388,388		
SED. SECUNDARIO		2,399,310	2,932,490			5,331,800	11,236		53,318	78,546		143,100		
BOMBEO		1,354,680	1,655,720			3,010,400	594,660		21,094	38,796		654,550		
FILTROS BIOL-DENIT		23,325,300	28,508,700			51,834,000	2,798,400	2,925,600	196,100	524,700		6,444,800		
SED. SECUNDARIO		2,399,310	2,932,490			5,331,800	11,236		53,318	78,546		143,100		
LINEA DE LODOS														
ESPESADOR		440,271	538,109			978,380	8,607		9,784	33,496		51,887		
DIGESTOR		12,735,900	15,566,100			28,302,000	228,960		185,500	105,258		519,718		
DESHIDRATACIÓN		1,464,390	1,789,810			3,254,200	1,727,800	2,124,240		148,400		4,000,440		
DIRECTOS		43,039,074				43,039,074								
				265,000	27,975,398	28,240,398					396,000	396,000		
		107,597,685	78,904,969	265,000	27,975,398	214,743,052	7,724,729	5,049,840	758,674	1,206,916	396,000	15,136,159	28,754,095	3.48
TASA DE INTERES = 12 %														
VIDA UTIL = 20 AÑOS														
NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO														
TIPO DE CAMBIO 1 DÓLAR = 10.60 PESOS														

TABLA RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE AGUA TRATADA
COSTO UNITARIO DE AGUA TRATADA
ATOYAC SUR

UNIDAD	GASTO (LPS)	INVERSION (PESOS)					OPERACION Y MANTENIMIENTO (PESOS/AÑO)					AMORT.	COSTO UNITARIO \$/M ³	
		OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMINIST. Y LAB	INDJREC.	TOTAL	ENERGIA ELECTRICA	QUIMICOS	MAT.	MANO DE OBRA DP. Y MAN.	ADMINIST. Y LAB			TOTAL
LINEA DE AGUA	400													
BOMBEO		1,368,990	1,673,210			3,042,200	606,320		21,200	38,690		666,210		
REACTOR BIOLOGICO		12,497,400	15,274,600			27,772,000	15,264,000		514,100	434,600		16,212,700		
SED. SECUNDARIO		2,451,780	2,996,620			5,448,400	11,448		54,484	79,606		145,538		
SISTEMA DE AEREA			20,776,000			20,776,000								
LINEA DE LODOS														
ESPESADOR		466,029	569,591			1,035,620	8,851		10,356	34,874		54,081		
DIGESTOR		14,310,000	17,490,000			31,800,000	255,460		201,400	109,392		566,252		
DESHIDRATACIÓN		1,464,390	1,789,810			3,254,200	1,876,200	1,939,800		155,502		3,971,502		
DIRECTOS		27,938,526				27,938,526								
				265,000	18,160,042	18,425,042					396,000	396,000		
		60,497,115	60,569,831	265,000	18,160,042	139,491,988	18,022,279	1,939,800	801,540	852,664	396,000	22,012,283	18,677,977	3.23
TASA DE INTERES = 12 %														
VIDA UTIL = 20 AÑOS														
NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO														
TIPO DE CAMBIO 1 DÓLAR = 10.60 PESOS														

TABLA RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE AGUA TRATADA
COSTO UNITARIO DE AGUA TRATADA
ATOYAC SUR

UNIDAD	GASTO (LPS)	INVERSION (PESOS)					OPERACION Y MANTENIMIENTO (PESOS/AÑO)					AMORT.	COSTO UNITARIO \$/M ³	
		OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMINIST. Y LAB	INDIREG.	TOTAL	ENERGIA ELÉCTRICA	QUIMICOS	MAT.	MANO DE OBRA OP. Y MAN.	ADMINIST. Y LAB			TOTAL
LINEA DE AGUA	400													
BOMBEO		1,397,610	1,708,190			3,105,800	638,120		21,730	40,492		700,342		
REACTOR NITRIF		72,027,000	88,033,000			160,060,000	20,246,000	4,579,200	153,700	481,240		25,460,140		
SED. SECUNDARIO		2,504,250	3,060,750			5,565,000	11,872		55,650	83,846		151,368		
REACTOR DENITRIF		5,819,400	7,112,600			12,932,000	984,740	3,052,800	47,064	97,520		4,182,124		
SED. SECUNDARIO		2,399,310	2,932,490			5,331,800	11,236		53,318	79,394		143,948		
SISTEMA DE DOSIFIC		2,909,700	3,556,300			6,466,000			129,320	513,040		642,360		
LINEA DE LODOS														
ESPEADOR		849,060	1,037,740			1,886,800	12,402		18,868	74,518		105,788		
DIGESTOR		16,742,700	20,463,300			37,206,000	432,480		157,940	261,396		851,816		
DESHIDRATACIÓN		2,680,740	3,276,460			5,957,200	5,268,200	5,893,600		340,684		11,502,484		
DIRECTOS		71,553,180				71,553,180								
				265,000	46,509,567	46,774,567					396,000	396,000		
		178,882,950	131,180,830	265,000	46,509,567	356,838,347	27,605,050	13,525,600	637,590	1,972,130	396,000	44,136,370	47,780,655	7.29
TASA DE INTERES = 12 %														
VIDA UTIL = 20 AÑOS														
NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO														
TIPO DE CAMBIO 1 DÓLAR = 10.60 PESOS														

TABLA RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE AGUA TRATADA
COSTO UNITARIO DE AGUA TRATADA
ATOYAC SUR

UNIDAD	GASTO (LPS)	INVERSION (PESOS)					OPERACION Y MANTENIMIENTO (PESOS/AÑO)					AMORT.	COSTO UNITARIO \$/M ³	
		OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMINIST. Y LAB	INDJREC.	TOTAL	ENERGIA ELECTRICA	QUIMICOS	MAT.	MANO DE OBRA DP. Y MAN.	ADMINIST. Y LAB			TOTAL
LINEA DE AGUA	400													
BOMBEO		1,359,450	1,661,550			3,021,000	595,720		21,094	37,312		654,126		
REACTOR BIOLOGICO		36,538,200	44,657,800			81,196,000	21,178,800		389,020	202,672		21,770,492		
SED. SECUNDARIO		2,423,160	2,961,640			5,384,800	11,342		53,848	76,638		141,828		
LINEA DE LODOS														
ESPESADOR		266,643	325,897			592,540	6,328		5,925	20,013		32,266		
DIGESTOR		8,109,000	9,911,000			18,020,000	119,780		96,142	64,130		280,052		
DESHIDRATACIÓN		1,087,560	1,329,240			2,416,800	669,920	633,880		88,404		1,392,204		
DIRECTOS		33,189,342				33,189,342								
				265,000	21,573,072	21,838,072					396,000	396,000		
		82,973,355	60,847,127	265,000	21,573,072	165,658,554	22,581,890	633,880	566,029	489,169	396,000	24,666,968	22,181,680	3.71
TASA DE INTERES = 12 %														
VIDA UTIL = 20 AÑOS														
NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO														
TIPO DE CAMBIO 1 DÓLAR = 10.60 PESOS														

TABLA RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE AGUA TRATADA
ATOYAC SUR

ALTERNATIVA	AREA (Ha)	GASTO (LRS)	CONSTRUCCION (PESOS)					OPERACION Y MANTENIMIENTO (PESOS/AÑO)						AMORT.	COSTO UNITARIO POR INV.	COSTO UNITARIO OP. Y MTO.	COSTO UNITARIO \$/M ³
			OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMINIST. Y LAB	INDIRECTOS	TOTAL	ENERGIA ELÉCTRICA	REACTIVOS	MAT.	MANO DE OBRA	ADMINIST. Y LAB	TOTAL				
LODOS ACTIVADOS REM NUT		400.0	67,110,720	65,998,568	265,000	19,966,393	153,340,681	18,943,790	978,380	913,360	828,772	396,000	22,060,301	20,532,317	1.63	1.75	3.38
FILTROS BIOLÓGICOS		400.0	107,597,685	78,904,969	265,000	27,975,398	214,743,052	7,724,729	5,049,840	758,674	1,206,916	396,000	15,136,159	28,754,095	2.28	1.20	3.48
ANOXICO-AEROBIO		400.0	60,497,115	60,569,831	265,000	18,160,042	139,491,988	18,022,279	1,939,800	801,540	852,664	396,000	22,012,283	18,677,977	1.48	1.75	3.23
NITRIFICACION-DENITRIFICACION		400.0	178,882,950	131,180,830	265,000	46,509,567	356,838,347	27,605,050	13,525,600	637,590	1,972,130	396,000	44,136,370	47,780,655	3.79	3.50	7.29
ZANJA DE OXIDACION		400.0	82,973,355	60,847,127	265,000	21,573,072	165,658,554	22,581,890	633,880	566,029	489,169	396,000	24,666,968	22,181,680	1.76	1.96	3.71
TASA DE INTERES = 12 % VIDA UTIL = 20 AÑOS NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO																	

**TABLA RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE AGUA TRATADA
ATOYAC SUR**

ALTERNATIVA	AREA (Ha)	GASTO (LPS)	INVERSION	OP. Y MANT.	AMORT.	COSTO UNITARIO POR INV.	COSTO UNITARIO OP. Y MTO.	COSTO UNITARIO \$/M3
LODOS ACTIVADOS REM NUT		400	153,340,681	22,060,301	20,532,317	1.63	1.75	3.38
FILTROS BIOLÓGICOS 2 PASOS		400	214,743,052	15,136,159	28,754,095	2.28	1.20	3.48
ANOXICO-AEROBIO		400	139,491,988	22,012,283	18,677,977	1.48	1.75	3.23
NITRIFICACION DENITRIFICACION		400	356,838,347	44,136,370	47,780,655	3.79	3.50	7.29
ZANJA DE OXIDACION		400	165,658,554	24,666,968	22,181,680	1.76	1.96	3.71
TASA DE INTERES = 12 % VIDA UTIL = 20 AÑOS NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO								

TABLA RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE AGUA TRATADA

COSTO UNITARIO DE AGUA TRATADA
BARRANCA DEL CONDE

UNIDAD	GASTO (LPS)	INVERSION (PESÓS)					OPERACION Y MANTENIMIENTO (PESÓS/AÑO)					AMORT.	COSTO UNITARIO \$/M ³	
		OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMINIST. Y LAB.	INDIREC.	TOTAL	ENERGIA ELECTRICA	QUIMICOS	MAT.	MANO DE OBRA OP. Y MAN.	ADMINIST. Y LAB.			TOTAL
LINEA DE AGUA	340													
BOMBEO		1,264,050	1,264,050			2,528,100	506,680		19,610	36,782		563,072		
SEDIMENTADOR P		958,770	1,171,830			2,130,600	9,455		21,306	46,958		77,719		
BOMBEO		1,264,050	1,264,050			2,528,100	506,680		19,610	36,782		563,072		
FILTROS BIOL-NITRIF		14,882,400	18,189,600			33,072,000	649,780		154,760	64,660		869,200		
SED. SECUNDARIO		2,184,660	2,670,140			4,854,800	10,589		48,548	71,020		130,157		
BOMBEO		1,264,050	1,264,050			2,528,100	506,680		19,610	36,782		563,072		
FILTROS BIOL-DENIT		19,890,900	24,311,100			44,202,000	2,385,000	1,459,620	167,480	497,140		4,509,240		
SED. SECUNDARIO		2,184,660	2,670,140			4,854,800	10,589		48,548	71,020		130,157		
LINEA DE LODOS														
ESPESADOR		491,310	600,490			1,091,800	9,148		10,918	36,782		56,848		
DIGESTOR		14,310,000	17,490,000			31,800,000	257,580		187,620	112,784		557,984		
DESHIDRATACIÓN		1,464,390	1,789,810			3,254,200	2,077,600	2,162,400		164,088		4,404,088		
DIRECTOS		39,853,350				39,853,350								
				246,980	25,904,678	26,151,658					396,000	396,000		
		100,012,590	72,685,260	246,980	25,904,678	198,849,508	6,929,782	3,622,020	698,010	1,174,798	396,000	12,820,610	26,625,949	3.68
TASA DE INTERES = 12 %														
VIDA UTIL = 20 AÑOS														
NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO														
TIPO DE CAMBIO 1 DÓLAR = 10.60 PESOS														

TABLA RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE AGUA TRATADA

**COSTO UNITARIO DE AGUA TRATADA
BARRANCA DEL CONDE**

UNIDAD	GASTO (LPS)	INVERSION (PESOS)					OPERACION Y MANTENIMIENTO (PESOS/AÑO)					AMORT.	COSTO UNITARIO \$/M ³	
		OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMINIST. Y LAB	INDJREC.	TOTAL	ENERGIA ELECTRICA	QUIMICOS	MAT.	MANO DE OBRA DP. Y MAN.	ADMINIST. Y LAB			TOTAL
LINEA DE AGUA	340													
BOMBEO		1,264,050	1,544,950			2,809,000	507,740		19,716	36,464		563,920		
REACTOR BIOLOGICO		18,269,100	22,328,900			40,598,000	12,190,000		578,760	415,520		13,184,280		
SED. SECUNDARIO		2,184,660	2,670,140			4,854,800	10,600		48,548	71,126		130,274		
SOPLADORES			9,200,800			9,200,800								
LINEA DE LODOS														
ESPESADOR		279,045	341,055			620,100	6,455		6,201	21,221		33,878		
DIGESTOR		8,109,000	9,911,000			18,020,000	120,840		93,386	67,734		281,960		
DESHIDRATACIÓN		1,087,560	1,087,560			2,175,120	712,320	678,400		92,220		1,482,940		
DIRECTOS		23,483,346				23,483,346								
				246,980	15,264,175	15,511,155					396,000	396,000		
		54,676,761	47,084,405	246,980	15,264,175	117,272,321	13,547,955	678,400	746,611	704,285	396,000	16,073,252	15,702,764	2.96
TASA DE INTERES = 12 %														
VIDA UTIL = 20 AÑOS														
NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO														
TIPO DE CAMBIO 1 DÓLAR = 10.60 PESOS														

TABLA RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE AGUA TRATADA
COSTO UNITARIO DE AGUA TRATADA
BARRANCA DEL CONDE

UNIDAD	GASTO (LPS)	INVERSION (PESOS)					OPERACION Y MANTENIMIENTO (PESOS/AÑO)					AMORT.	COSTO UNITARIO \$/M ³	
		OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMINIST. Y LAB	INDJREC.	TOTAL	ENERGIA ELECTRICA	QUIMICOS	MAT.	MANO DE OBRA DP. Y MAN.	ADMINIST. Y LAB			TOTAL
LINEA DE AGUA	340													
BOMBEO		1,268,820	1,550,780			2,819,600	513,040		19,822	36,570		569,432		
REACTOR BIOLOGICO		9,492,300	11,601,700			21,094,000	10,462,200		399,620	357,220		11,219,040		
SED. SECUNDARIO		2,213,280	2,705,120			4,918,400	10,600		49,184	71,550		131,334		
SISTEMA DE AEREA			9,381,000			9,381,000								
LINEA DE LODOS														
ESPESADOR		364,428	475,728			840,156	7,961		8,650	29,468		46,078		
DIGESTOR		10,971,000	13,992,000			24,963,000	189,740		152,640	92,750		435,130		
DESHIDRATACIÓN		1,087,560	1,329,240			2,416,800	1,356,800	1,356,800		129,850		2,843,450		
DIRECTOS		19,929,887				19,929,887								
				246,980	12,954,426	13,201,406					396,000	396,000		
		45,327,275	41,035,568	246,980	12,954,426	99,564,249	12,540,341	1,356,800	629,916	717,408	396,000	15,640,464	13,331,653	2.70
TASA DE INTERES = 12 %														
VIDA UTIL = 20 AÑOS														
NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO														
TIPO DE CAMBIO 1 DÓLAR = 10.60 PESOS														

TABLA RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE AGUA TRATADA
COSTO UNITARIO DE AGUA TRATADA
BARRANCA DEL CONDE

UNIDAD	GASTO (LPS)	INVERSION (PESOS)					OPERACION Y MANTENIMIENTO (PESOS/AÑO)					AMORT.	COSTO UNITARIO - \$/M ³	
		OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMINIST. Y LAB	INDIREG.	TOTAL	ENERGIA ELÉCTRICA	QUIMICOS	MAT.	MANO DE OBRA OP. Y MAN.	ADMINIST. Y LAB			TOTAL
LINEA DE AGUA	340													
BOMBEO		1,311,750	1,603,250			2,915,000	552,260		20,458	38,584		611,302		
REACTOR NITRIF		59,148,000	72,292,000			131,440,000	18,232,000	2,893,800	145,220	452,620		21,723,640		
SED. SECUNDARIO		2,318,220	2,833,380			5,151,600	10,812		51,516	76,108		138,436		
REACTOR DENITRIF		4,913,100	6,004,900			10,918,000	895,700	2,204,800	45,792	95,294		3,241,586		
SED. SECUNDARIO		2,184,660	2,670,140			4,854,800	10,589		48,548	71,762		130,899		
SISTEMA DE DOSIFIC		2,151,270	2,629,330			4,780,600			95,506	387,960		483,466		
LINEA DE LODOS														
ESPEADOR		882,450	1,078,550			1,961,000	13,780		19,610	78,016		111,406		
DIGESTOR		16,742,700	20,463,300			37,206,000	454,740		157,940	275,918		888,598		
DESHIDRATACIÓN		3,892,320	4,757,280			8,649,600	5,586,200	6,285,800		361,142		12,233,142		
DIRECTOS		62,362,980				62,362,980								
				246,980	40,535,937	40,782,917					396,000	396,000		
		155,907,450	114,332,130	246,980	40,535,937	311,022,497	25,756,081	11,384,400	584,590	1,837,404	396,000	39,958,475	41,645,912	7.61
TASA DE INTERES = 12 %														
VIDA UTIL = 20 AÑOS														
NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO														
TIPO DE CAMBIO 1 DÓLAR = 10.60 PESOS														

TABLA RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE AGUA TRATADA

COSTO UNITARIO DE AGUA TRATADA
BARRANCA DEL CONDE

UNIDAD	GASTO (LPS)	INVERSION (PESOS)					OPERACION Y MANTENIMIENTO (PESOS/AÑO)					AMORT.	COSTO UNITARIO \$/M ³	
		OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMINIST. Y LAB	INDJREC.	TOTAL	ENERGIA ELECTRICA	QUIMICOS	MAT.	MANO DE OBRA DP. Y MAN.	ADMINIST. Y LAB			TOTAL
LINEA DE AGUA	340													
BOMBEO		1,264,050	1,544,950			2,809,000	505,620		19,610	35,298		560,528		
REACTOR BIOLOGICO		26,521,200	32,414,800			58,936,000	15,073,200		285,140	185,924		15,544,264		
SED. SECUNDARIO		2,184,660	2,670,140			4,854,800	10,600		48,548	69,218		128,366		
LINEA DE LODOS														
ESPESADOR		157,410	192,390			349,800	5,713		3,498	16,790		26,002		
DIGESTOR		7,775,100	9,502,900			17,278,000	102,396		91,478	54,908		248,782		
DESHIDRATACIÓN		1,087,560	1,329,240			2,416,800	490,780	452,620		74,613		1,018,013		
DIRECTOS		25,993,320				25,993,320								
				246,980	16,895,658	17,142,638					396,000	396,000		
		64,983,300	47,654,420	246,980	16,895,658	129,780,358	16,188,309	452,620	448,274	436,752	396,000	17,921,955	17,377,590	3.29
TASA DE INTERES = 12 %														
VIDA UTIL = 20 AÑOS														
NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO														
TIPO DE CAMBIO 1 DÓLAR = 10.60 PESOS														

**TABLA RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE AGUA TRATADA
BARRANCA DEL CONDE**

ALTERNATIVA	AREA (Ha)	GASTO (LRS)	CONSTRUCCION					OPERACION Y MANTENIMIENTO						AMORT.	COSTO UNITARIO POR INV.	COSTO UNITARIO OP. Y MTO.	COSTO UNITARIO \$M3
			OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMNISTR. Y LAB	INDIRECTOS	TOTAL	ENERGIA ELECTRICA	REACTIVOS	MAT.	MANO DE OBRA	ADMNISTR. Y LAB	TOTAL				
LODOS ACTIVADOS REM NUT		340.0	54,676,761	47,084,405	246,980	15,264,175	117,272,321	13,547,955	678,400	746,611	704,285	396,000	16,073,252	15,702,764	1.46	1.50	2.96
FILTROS BIOLOGICOS		340.0	100,012,590	72,685,260	246,980	25,904,678	198,849,508	6,929,782	3,622,020	698,010	1,174,798	396,000	12,820,610	26,625,949	2.48	1.20	3.68
ANOXICO-AEROBIO		340.0	45,327,275	41,035,568	246,980	12,954,426	99,564,249	12,540,341	1,356,800	629,916	717,408	396,000	15,640,464	13,331,653	1.24	1.46	2.70
NITRIFICACION-DENITRIFICACION		340.0	155,907,450	114,332,130	246,980	40,535,937	311,022,497	25,756,081	11,384,400	584,590	1,837,404	396,000	39,958,475	41,645,912	3.88	3.73	7.61
ZANJA DE OXIDACION		340.0	64,983,300	47,654,420	246,980	16,895,658	129,780,358	16,188,309	452,620	448,274	436,752	396,000	17,921,955	17,377,590	1.62	1.67	3.29
TASA DE INTERES = 12 % VIDA UTIL = 20 AÑOS NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO																	

**TABLA RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE AGUA TRATADA
BARRANCA DEL CONDE**

ALTERNATIVA	AREA (Ha)	GASTO (LPS)	INVERSION	OP. Y MANT.	AMORT.	COSTO UNITARIO POR INV.	COSTO UNITARIO OP. Y MTO.	COSTO UNITARIO \$/M3
LODOS ACTIVADOS REM NUT		340	117,272,321	16,073,252	15,702,764	1.46	1.50	2.96
FILTROS BIOLÓGICOS 2 PASOS		340	198,849,508	12,820,610	26,625,949	2.48	1.20	3.68
ANOXICO-AEROBIO		340	99,564,249	15,640,464	13,331,653	1.24	1.46	2.70
NITRIFICACION DENITRIFICACION		340	311,022,497	39,958,475	41,645,912	3.88	3.73	7.61
ZANJA DE OXIDACION		340	129,780,358	17,921,955	17,377,590	1.62	1.67	3.29
TASA DE INTERES = 12 % VIDA UTIL = 20 AÑOS NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO								

TABLA RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE AGUA TRATADA
COSTO UNITARIO DE AGUA TRATADA
SAN FRANCISCO

UNIDAD	GASTO (LPS)	INVERSION (PESOS)					OPERACION Y MANTENIMIENTO (PESOS/AÑO)					AMORT.	COSTO UNITARIO \$/M ³	
		OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMINIST. Y LAB	INDJREC.	TOTAL	ENERGIA ELECTRICA	QUIMICOS	MAT.	MANO DE OBRA DP. Y MAN.	ADMINIST. Y LAB			TOTAL
LINEA DE AGUA	1,500													
BOMBEO		4,517,190	5,521,010			10,038,200	2,226,000		70,278	58,936		2,355,214		
REACTOR BIOLOGICO		58,194,000	71,126,000			129,320,000	45,050,000		1,388,600	767,440		47,206,040		
SED. SECUNDARIO		9,253,800	11,310,200			20,564,000	24,486		205,640	177,656		407,782		
SOPLADORES			38,796,000											
LINEA DE LODOS														
ESPESADOR		519,930	635,470			1,155,400	9,476		11,554	39,432		60,462		
DIGESTOR		25,233,300	30,840,700			56,074,000	345,560		355,100	126,246		826,906		
DESHIDRATACIÓN		1,464,390	1,789,810			3,254,200	2,321,400	2,427,400		174,794		4,923,594		
DIRECTOS		77,760,540				77,760,540								
				558,620	44,724,951	45,283,571					444,000	444,000		
		176,943,150	160,019,190	558,620	44,724,951	382,245,911	49,976,922	2,427,400	2,031,172	1,344,504	444,000	56,223,998	51,182,727	2.27
TASA DE INTERES = 12 %														
VIDA UTIL = 20 AÑOS														
NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO														
TIPO DE CAMBIO 1 DÓLAR = 10.60 PESOS														

TABLA RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE AGUA TRATADA

COSTO UNITARIO DE AGUA TRATADA
SAN FRANCISCO

UNIDAD	GASTO (LPS)	INVERSIÓN (PESOS)					OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (PESOS/AÑO)					AMORT.	COSTO UNITARIO \$/M ³	
		OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMINIST. Y LAB	INDIREC.	TOTAL	ENERGÍA ELECTRICA	QUIMICOS	MAT.	MANO DE OBRA DP. Y MAN.	ADMINIST. Y LAB			TOTAL
LINEA DE AGUA	1,500													
BOMBEO		4,498,110	5,497,690			9,995,800	2,215,400		69,960	59,466		2,344,826		
SEDIMENTADOR P		4,044,960	4,943,840			8,988,800	16,324		89,888	117,766		223,978		
BOMBEO		4,498,110	5,497,690			9,995,800	2,215,400		69,960	59,466		2,344,826		
FILTROS BIOL-NITRIF		59,243,400	72,408,600			131,652,000	2,819,600		619,040	147,976		3,586,616		
SED. SECUNDARIO		9,253,800	11,310,200			20,564,000	24,380		205,640	179,034		409,054		
BOMBEO		4,498,110	5,497,690			9,995,800	2,215,400		69,960	59,466		2,344,826		
FILTROS BIOL-DENIT		72,265,500	88,324,500			160,590,000	9,730,800	5,326,500	576,640	927,500		16,561,440		
SED. SECUNDARIO		9,253,800	11,310,200			20,564,000	24,380		205,640	179,034		409,054		
LINEA DE LODOS														
ESPESADOR		834,750	1,020,250			1,855,000	12,296		18,550	73,670		104,516		
DIGESTOR		36,347,400	44,424,600			80,772,000	685,820		604,200	258,322		1,548,342		
DESHIDRATACIÓN		2,680,740	3,276,460			5,957,200	5,109,200	5,702,800		448,592		11,260,592		
DIRECTOS		138,279,120				138,279,120								
				558,620	89,881,428	90,440,048					444,000	444,000		
		345,697,800	253,511,720	558,620	89,881,428	689,649,568	25,069,000	11,029,300	2,529,478	2,510,292	444,000	41,582,070	92,344,077	2.83
TASA DE INTERES = 12 %														
VIDA UTIL = 20 AÑOS														
NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO														
TIPO DE CAMBIO 1 DÓLAR = 10.60 PESOS														

TABLA RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE AGUA TRATADA
COSTO UNITARIO DE AGUA TRATADA
SAN FRANCISCO

UNIDAD	GASTO (LPS)	INVERSION (PESOS)					OPERACION Y MANTENIMIENTO (PESOS/AÑO)					AMORT.	COSTO UNITARIO \$/M ³	
		OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMINIST. Y LAB	IND/REC.	TOTAL	ENERGIA ELECTRICA	QUIMICOS	MAT.	MANO DE OBRA DP. Y MAN.	ADMINIST. Y LAB			TOTAL
LINEA DE AGUA	1,500													
BOMBEO		4,564,890	5,579,310			10,144,200	2,247,200		71,020	59,572		2,377,792		
REACTOR BIOLOGICO		28,095,300	34,338,700			62,434,000	37,418,000		811,960	710,200		38,940,160		
SED. SECUNDARIO		9,396,900	11,485,100			20,882,000	24,592		208,820	179,458		412,870		
SISTEMA DE AEREA			39,432,000			39,432,000								
LINEA DE LODOS														
ESPESADOR		758,430	926,970			1,685,400	11,766		16,854	66,144		94,764		
DIGESTOR		35,345,700	43,200,300			78,546,000	608,440		570,280	228,218		1,406,938		
DESHIDRATACIÓN		2,680,740	3,276,460			5,957,200	4,494,400	4,960,800		293,726		9,748,926		
DIRECTOS		65,724,240				65,724,240								
				558,620	42,720,756	43,279,376					444,000	444,000		
		146,566,200	138,238,840	558,620	42,720,756	328,084,416	44,804,398	4,960,800	1,678,934	1,537,318	444,000	53,425,450	43,930,503	2.06
TASA DE INTERES = 12 %														
VIDA UTIL = 20 AÑOS														
NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO														
TIPO DE CAMBIO 1 DÓLAR = 10.60 PESOS														

TABLA RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE AGUA TRATADA
COSTO UNITARIO DE AGUA TRATADA
SAN FRANCISCO

UNIDAD	GASTO (LPS)	INVERSION (PESOS)					OPERACION Y MANTENIMIENTO (PESOS/AÑO)					AMORT.	COSTO UNITARIO - \$/M ³	
		OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMINIST. Y LAB	INDIREG.	TOTAL	ENERGIA ELÉCTRICA	QUIMICOS	MAT.	MANO DE OBRA OP. Y MAN.	ADMINIST. Y LAB			TOTAL
LINEA DE AGUA	1,500													
BOMBEO		4,817,700	5,888,300			10,706,000	2,353,200		74,730	62,858		2,490,788		
REACTOR NITRIF		91,584,000	111,936,000			203,520,000	55,332,000	3,582,800	251,220	851,180		60,017,200		
SED. SECUNDARIO		9,587,700	11,718,300			21,306,000	25,228		213,060	187,196		425,484		
REACTOR DENITRIF		19,318,500	23,611,500			42,930,000	3,911,400	5,808,800	145,220	173,840		10,039,260		
SED. SECUNDARIO		9,253,800	11,310,200			20,564,000	24,380		205,640	179,458		409,478		
SISTEMA DE DOSIFIC		2,475,630	3,025,770			5,501,400			110,240	443,080		553,320		
LINEA DE LODOS														
ESPESADOR		1,936,620	2,366,980			4,303,600	20,564		43,036	168,010		231,610		
DIGESTOR		50,085,000	61,215,000			111,300,000	1,048,340		491,840	661,440		2,201,620		
DESHIDRATACIÓN		7,536,600	9,211,400			16,748,000	14,522,000	17,596,000		892,520		33,010,520		
DIRECTOS		131,063,700				131,063,700								
				558,620	85,191,405	85,750,025					444,000	444,000		
		327,659,250	240,283,450	558,620	85,191,405	653,692,725	77,237,112	26,987,600	1,534,986	3,619,582	444,000	109,823,280	87,529,456	4.17
TASA DE INTERES = 12 %														
VIDA UTIL = 20 AÑOS														
NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO														
TIPO DE CAMBIO 1 DÓLAR = 10.60 PESOS														

TABLA RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE AGUA TRATADA
COSTO UNITARIO DE AGUA TRATADA
SAN FRANCISCO

UNIDAD	GASTO (LPS)	INVERSION (PESOS)					OPERACION Y MANTENIMIENTO (PESOS/AÑO)					AMORT.	COSTO UNITARIO \$/M ³	
		OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMINIST. Y LAB	IND/REC.	TOTAL	ENERGIA ELECTRICA	QUIMICOS	MAT.	MANO DE OBRA DP. Y MAN.	ADMINIST. Y LAB			TOTAL
LINEA DE AGUA	1,500													
BOMBEO		4,502,880	5,503,520			10,006,400	2,226,000		70,066	56,922		2,352,988		
REACTOR BIOLOGICO		95,209,200	116,366,800			211,576,000	55,968,000		921,140	520,672		57,409,812		
SED. SECUNDARIO		9,253,800	11,310,200			20,564,000	24,486		205,640	173,416		403,542		
LINEA DE LODOS														
ESPESADOR		427,392	522,368			949,760	8,480		9,498	32,330		50,308		
DIGESTOR		20,034,000	24,486,000			44,520,000	241,680		271,360	101,654		614,694		
DESHIDRATACIÓN		1,464,390	1,789,810			3,254,200	1,653,600	1,674,800	0	144,160		3,472,560		
DIRECTOS		87,261,108				87,261,108								
				558,620	56,719,720	57,278,340					444,000	444,000		
		218,152,770	159,978,698	558,620	56,719,720	435,409,808	60,122,246	1,674,800	1,477,704	1,029,154	444,000	64,747,904	58,301,373	2.60
TASA DE INTERES = 12 %														
VIDA UTIL = 20 AÑOS														
NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO														
TIPO DE CAMBIO 1 DÓLAR = 10.60 PESOS														

**TABLA RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE AGUA TRATADA
SAN FRANCISCO**

ALTERNATIVA	AREA (Ha)	GASTO (Lfs)	(PESOS)					OPERACION Y MANTENIMIENTO (PESOS/AÑO)					AMORT.	COSTO UNITARIO POR INV.	COSTO UNITARIO OP. Y MTO.	COSTO UNITARIO \$/M3	
			OBRA CIVIL	EQUIPO	ADMINIST. Y LAB	INDIRECTOS	TOTAL	ENERGIA ELÉCTRICA	REACTIVOS	MAT.	MANO DE OBRA	ADMINIST. Y LAB					TOTAL
LODOS ACTIVADOS REM NUT.		1500.0	176,943,150	160,019,190	558,620	44,724,951	382,245,911	49,976,922	2,427,400	2,031,172	1,344,504	444,000	56,223,998	51,182,727	1.08	1.19	2.27
FILTROS BIOLÓGICOS		1500.0	345,697,800	253,511,720	558,620	89,881,428	689,649,568	25,069,000	11,029,300	2,529,478	2,510,292	444,000	41,582,070	92,344,077	1.95	0.88	2.83
ANOXICO-AEROBIO		1500.0	146,566,200	138,238,840	558,620	42,720,756	328,084,416	44,804,398	4,960,800	1,678,934	1,537,318	444,000	53,425,450	43,930,503	0.93	1.13	2.06
NITRIFICACION-DENITRIFICACION		1500.0	327,659,250	240,283,450	558,620	85,191,405	653,692,725	77,237,112	26,987,600	1,534,986	3,619,582	444,000	109,823,280	87,529,456	1.85	2.32	4.17
ZANJA DE OXIDACION		1500.0	218,152,770	159,978,698	558,620	56,719,720	435,409,808	60,122,246	1,674,800	1,477,704	1,029,154	444,000	64,747,904	58,301,373	1.23	1.37	2.60
TASA DE INTERES = 12 % VIDA UTIL = 20 AÑOS NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO																	

**TABLA RESUMEN DE COSTOS UNITARIOS DE AGUA TRATADA
SAN FRANCISCO**

ALTERNATIVA	AREA (Ha)	GASTO (LPS)	INVERSION	OP. Y MANT.	AMORT.	COSTO UNITARIO POR INV.	COSTO UNITARIO OP. Y MTO.	COSTO UNITARIO \$/M3
LODOS ACTIVADOS REM NUT.		1,500	382,245,911	56,223,998	51,182,727	1.08	1.19	2.27
FILTROS BIOLOGICOS		1,500	689,649,568	41,582,070	92,344,077	1.95	0.88	2.83
ANOXICO-AEROBIO		1,500	328,084,416	53,425,450	43,930,503	0.93	1.13	2.06
NITRIFICACION DENITRIFICACION		1,500	653,692,725	109,823,280	87,529,456	1.85	2.32	4.17
ZANJA DE OXIDACION		1,500	435,409,808	64,747,904	58,301,373	1.23	1.37	2.60
TASA DE INTERES = 12 % VIDA UTIL = 20 AÑOS NO SE CONSIDERA EL COSTO DE TERRENO								

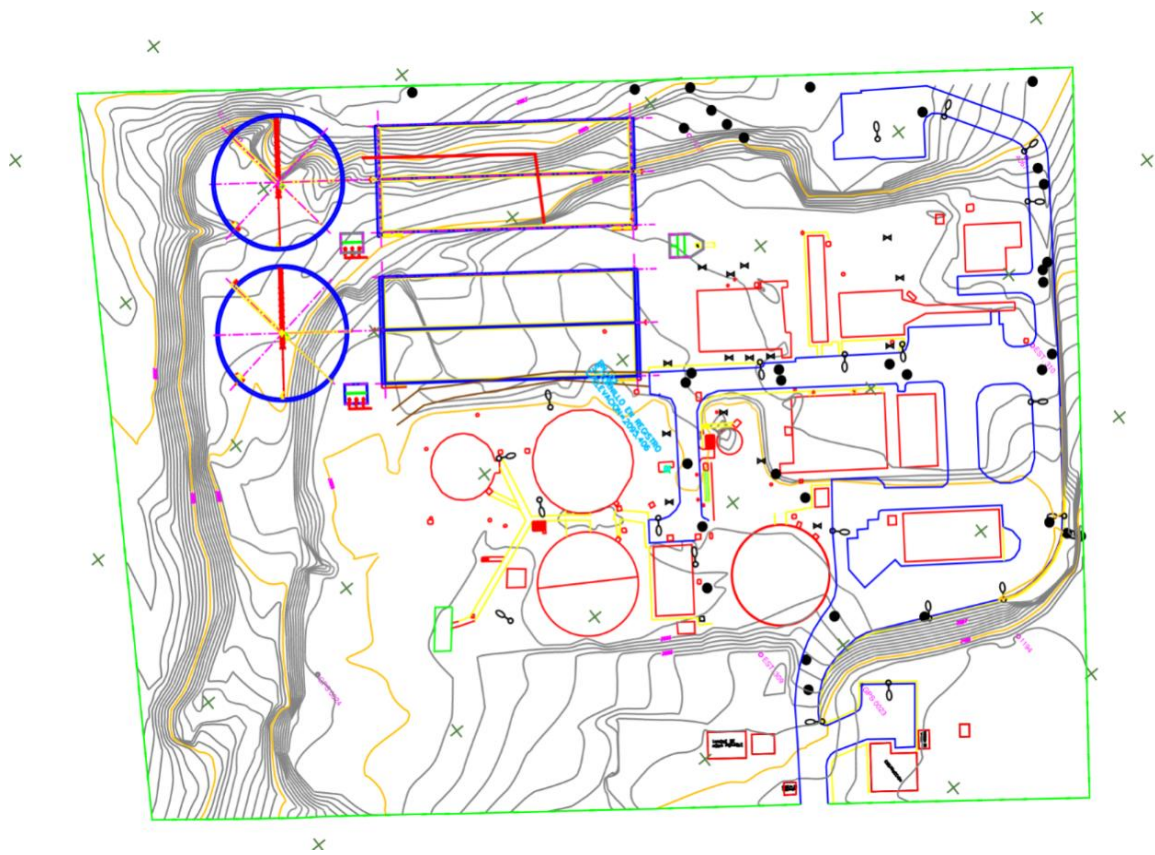
ANEXO

2

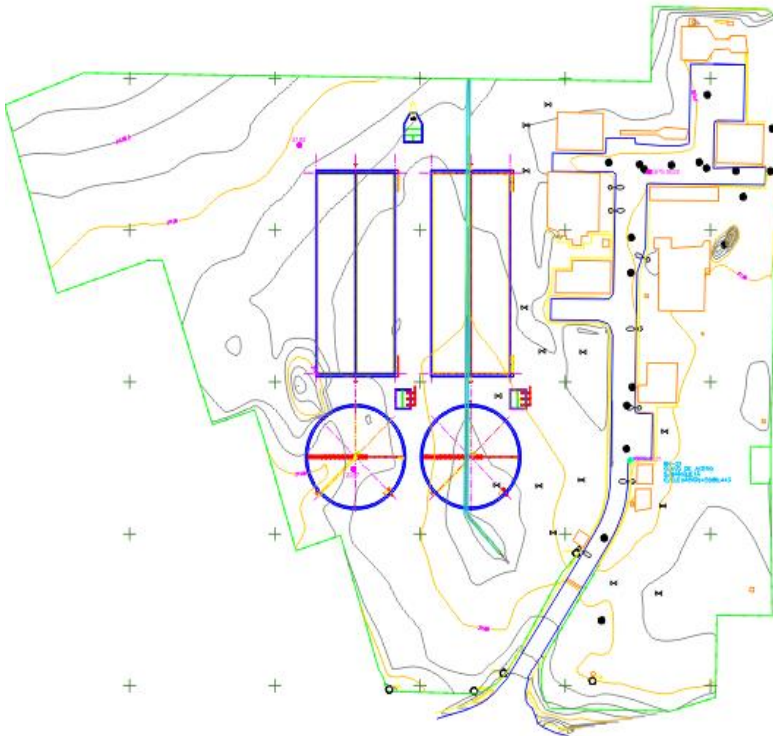
Arreglos de Diseño de Conjunto finales por Planta.



Arreglo de conjunto. Propuesta de Tratamiento Biológico Alseseca Sur.



Arreglo de conjunto. Propuesta de Tratamiento Biológico. Atoyac Sur.



Arreglo de conjunto. Propuesta de Tratamiento Biológico Barranca el Conde



Arreglo de conjunto. Propuesta de Tratamiento Biológico San Francisco.

ANEXO

3

Evidencia fotográfica.

**EVIDENCIA FOTOGRAFICA DEL ESTUDIO DE TRATABILIDAD
PARA EL DISEÑO DE CUATRO PLANTAS DE TRATAMIENTO DE
LA CIUDAD DE PUEBLA**



Revisión de Pruebas de Tratabilidad-Diseño de Cuatro Plantas



Vista de Reactores en una de las Instalaciones donde se construirán las plantas nuevas (4)



Revisión de Reactores (Tiempos de Residencia)



Elementos necesarios para el estudio de tratabilidad, Celdas de Eckenfelder, Bombas de aire, cubetas y alimentación de agua



Muestras en plantas existentes para el nuevo Diseño de las Plantas Biológicas



Medición de Parámetros de campo:pH, Conductividad, Temperatura.

**EVIDENCIA FOTOGRAFICA DEL ESTUDIO DE TRATABILIDAD
PARA EL DISEÑO DE CUATRO PLANTAS DE TRATAMIENTO DE
LA CIUDAD DE PUEBLA**



Vista de reactores de tratabilidad (cuatro reactores)



Reactores de lodos activados aireados



revisión de medición de parámetros en Estudio de Tratabilidad



Toma de muestras para Laboratorio del Estudio de Tratabilidad



Vista de un Reactor



Registro de datos de Campo de Laboratorio acreditado del Estudio

