

“ASISTENCIA TÉCNICA EN MUESTREO Y ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO, DISEÑO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO POR LODOS ACTIVADOS Y EVALUACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”

CONVENIO ESPECÍFICO DE COLABORACIÓN N° - 000047

INFORME FINAL 2016



M.I. Antonio Ramírez González
Mtro. Juan Leodegario García Rojas
Dr. Edson Baltazar Estrada Arriaga

1. ANTECEDENTES	5
2. OBJETIVOS	5
3. ENTREGABLES	6
4. METODOLOGÍA	6
4.1 INFORME DE LA ASISTENCIA TÉCNICA Y RECOMENDACIONES EN EL MUESTREO Y DETERMINACIONES ANALÍTICAS DE LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS.	7
4.2 INFORME DE LA ASISTENCIA TÉCNICA Y RECOMENDACIONES EN EL DISEÑO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS.	14
4.3 INFORME DE LA ASISTENCIA TÉCNICA Y RECOMENDACIONES EN LA EVALUACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, <i>IN SITU</i>.	23
5 ANEXO	65

FIGURAS

Figura 1. Vista aérea de la planta de tratamiento “El Naranjo”.....	23
Figura 2. Panorámica de la planta.....	23
Figura 3. Equipo de deshidratación en pésimas condiciones.	24
Figura 4. Bombas de agua cruda fuera de servicio.	24
Figura 5. Reservorio de agua residual tratada en campos de cultivo.....	25
Figura 6. Cultivo de flores regadas con aguas residuales tratadas.....	25
Figura 7. Campos de flores.	26
Figura 8. Área de trabajo en la producción de flores de exportación.	26
Figura 9. Auditoría Energética “El Naranjo”.....	27
Figura 10. Desarenador fuera de servicio y en pésimo estado.....	28
Figura 11. Bombeo de agua cruda, con menos del 50% de su capacidad.....	28
Figura 12. Filtros banda a punto de salir de operación.	28
Figura 13. Estado crítico del sistema de deshidratación.	28
Figura 14. Sedimentador colmatado fuera de servicio.....	29
Figura 15. Cloradores, funcionando al mínimo.	29
Figura 16. Cilindros de cloro, faltan los de reserva.	29
Figura 17. Tanque de almacenamiento de lodos.....	30
Figura 18. Mezcla de lodos con material del terreno y disposición in situ.....	30
Figura 19. Aeración no uniforme.....	31
Figura 20. Sopladores	31
Figura 21. Cárcamo “El Ciprés” en pésimas condiciones.	31
Figura 22. Bombas de agua cruda fuera de servicio.	31
Figura 23. Descuido de materiales tirados en “El Naranjo”.	32
Figura 24. Rejillas en mal estado.....	32
Figura 25. Tolva de lodos.	32
Figura 26. Oxidación en diversas estructuras.	32
Figura 27. Diagrama de flujo de PTAR El Naranjo.....	37
Figura 28. Pretratamiento en “El Ciprés”.	40
Figura 29. Cárcamo de agua cruda.	40
Figura 30. Múltiple de descarga.....	40
Figura 31. Equipos de bombeo en pésimo estado.....	40
Figura 32. Centro de Control de motores.....	41
Figura 33. Cableado expuesto.....	41
Figura 34. Planta generadora de energía eléctrica de emergencia.	41
Figura 35. Deslizamiento del terreno.....	42
Figura 36. Pretratamiento y cárcamo de agua cruda.....	42
Figura 37. Pipa descargando agua cruda en la entrada.	42
Figura 38. Válvula de aire fuera de servicio.	42
Figura 39. Plano del cárcamo “El Ciprés”	43
Figura 40. Caja de recepción.	44
Figura 41. Rejillas manuales.....	44
Figura 42. Zanjales de oxidación.....	45
Figura 43. Zona aireada.	45
Figura 44. Sedimentadores secundarios.....	47
Figura 45. Sedimentador colmatado, rastras fuera de operación.....	47

Figura 46. “Espesador”/Tanque de almacenamiento de lodos.....	48
Figura 47. “Espesador” con aireación.....	48
Figura 48. Tanque de sobrenadantes y agua de lavado.....	48
Figura 49. Deshidratación de lodos.	49
Figura 50. Tolla de lodos y llenado de camiones.....	49
Figura 51. Centrífuga deshidratadora de lodos.	49
Figura 52. Filtros en funcionamiento.....	50
Figura 53. Filtro fuera de operación.	50
Figura 54. Válvulas fuera de operación.	50
Figura 55. Tanques gas cloro de 907 kg.	52
Figura 56. Bombas de ayuda de cloración.	52
Figura 57. Rotámetros en cloradores.	52
Figura 58. Báscula.	52
Figura 59. Efluente de agua tratada.	52
Figura 60. Punto de dosificación de cloro.	52
Figura 61. Gráfica de desempeño potencial PTAR “El Naranja”.	54
Figura 62. Reúso agrícola.	62
Figura 63. Reservorio con agua residual tratada.....	62
Figura 64. Zonas de cultivo en Maneadero.....	62
Figura 65. Invernadero regado con agua residual tratada.....	62
Figura 66. Reunión con usuarios de riego de Maneadero.....	63
Figura 67. Reservorio de agua tratada para riego agrícola.	63
Figura 68. Flores de exportación.	64
Figura 69. Girasoles de exportación.	64
Figura 70. Área de terminado y empaçado de producto.	64
Figura 71. Cuarto frío con cajas para exportación.....	64

TABLAS

Tabla 1. Resultados de los análisis del agua residual, para el diseño de la PTAR El Naranja, realizados de febrero a marzo de 1996.....	37
Tabla 2. Requerimientos de calidad del efluente, con las que debe cumplir el diseño.....	38
Tabla 3. Estructuras que integran la PTAR “El Naranja”.	39
Tabla 4. Datos de diseño del reactor biológico.....	39
Tabla 5. Gastos que podrían ingresar a las zanjas de oxidación (2).....	45
Tabla 6. Reporte de septiembre 2016 de los principales parámetros del proceso.	53
Tabla 7. Priorización de los factores limitantes de desempeño	56

1. ANTECEDENTES

El IMTA ha trabajado continuamente a lo largo de varios años con la Comisión Estatal del Agua de Baja California CEABC y su Instituto Estatal del Agua, además con los organismos paraestatales operadores de los sistemas de agua y saneamiento en todos los municipios del estado, en diversos temas del agua. Actualmente se cuenta con el Convenio de Colaboración General, firmado por los Directores Generales de ambas Instituciones en septiembre de 2013, siendo por tiempo indefinido. Dentro de este marco de colaboración, la CEABC, a través del Instituto Estatal del Agua (IEA) solicitó al IMTA la asistencia técnica en varios temas del conocimiento como son el muestreo y determinaciones analíticas de parámetros microbiológicos, el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales por lodos activados y la evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales, fungiendo el IMTA como guía y conductor de tres eventos para lograr una mejora en los sitios de trabajo por el personal encargado de estos temas en la propia CEABC y los organismos paraestatales operadores de agua y saneamiento en los municipios del Estado.

2. OBJETIVOS

Se realizó la asistencia técnica en materia de muestreos y determinaciones analíticas de parámetros microbiológicos. Diseño de plantas de tratamiento por lodos activados y evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales *in situ*, hacer las recomendaciones pertinentes derivadas de la asistencia, para que en el corto, mediano y largo plazos, sean aplicadas en los sitios de trabajo por los participantes, en cada tema mencionado.

3. ENTREGABLES

Los entregables son los siguientes:

- ✚ Informe de la Asistencia técnica y recomendaciones en el muestreo y determinaciones analíticas de los parámetros microbiológicos.
- ✚ Informe de la Asistencia técnica y recomendaciones en el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales por el proceso de lodos activados.
- ✚ Informe de la asistencia técnica y recomendaciones en la evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales, *in situ*.

4. METODOLOGÍA

El IMTA brindó asistencia técnica a la Comisión Estatal del Agua de Baja California a través del Instituto Estatal del Agua en diversos temas de interés para la CEABC. Proporcionando una semana de tiempo efectivo para cada tema:

Se brindó la asistencia técnica al personal de la CEABC y de los Organismos Operadores de Agua y Saneamiento en el Estado, sobre muestreo y determinaciones analíticas de parámetros microbiológicos en las instalaciones que sean definidas por la CEABC.

Se llevó a cabo un taller de intercambio de experiencias y recomendaciones en el diseño de plantas de tratamiento de lodos activados, incluyendo los procesos de uso de materiales de soporte y membranas en los biorreactores.

El IMTA fungió como moderador del tema con la participación de diferentes instituciones del estado de Baja California, principalmente de la CEABC y organismos operadores del estado.

Se evaluó una planta de tratamiento de aguas residuales, con la participación del Grupo Evaluador de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (GEPTAR), integrado por personal de la CEABC y de los Organismos Operadores de Agua y Saneamiento del Estado. El IMTA fungió como conductor en la evaluación de la planta de tratamiento El Naranjo, de Ensenada Baja California.

Con los resultados de la asistencia técnica en cada tema se realizaron las recomendaciones pertinentes para lograr mejoras en las labores diarias del personal participante en los eventos.

4.1 INFORME DE LA ASISTENCIA TÉCNICA Y RECOMENDACIONES EN EL MUESTREO Y DETERMINACIONES ANALÍTICAS DE LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS.

Del 27 de junio al 01 de julio de 2016, se impartió el curso Teórico Práctico de Aspectos microbiológicos de Calidad del Agua al personal de laboratorio de las ciudades de Tecate, Tijuana y Mexicali en las instalaciones del laboratorio del CEA de Mexicali Baja California de acuerdo al siguiente programa:

Aspectos Microbiológicos de Calidad del Agua
Semana del lunes 27 de junio al 01 de julio del 2016
Lugar: Laboratorio de la Potabilizadora Núm. 2 de la Ciudad de Mexicali, B.C.

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
8:30 a 9:00	APERTURA y DIAGNÓSTICO				
9:00	Fundamentos NMP	Fundamentos FM	Fundamentos Métodos rápidos	Fundamentos HH	Códigos raros NMP
A	Para determinación de Coliformes	Para determinación de Coliformes	Enterococos		Aclaración de dudas
11:00	Fecales, totales y E. coli	Fecales y totales	Fecales y totales		
11:00 a 11:20	RECESO	RECESO	RECESO	RECESO	RECESO
11:20	Continuación PRÁCTICA	Continuación PRÁCTICA	Continuación PRÁCTICA	PRÁCTICA	EVALUACIÓN
14:00	(preparación de medios de cultivo para NMP y FM)	(preparación de medios de cultivo para FM) Siembra de muestras	(preparación de medios de cultivo para métodos rápidos (siembra de muestra de agua de mar)	Lectura y cálculos Enterococos	y
14:00 a 15:30	COMIDA	COMIDA	COMIDA	COMIDA	COMIDA
15:30	PRÁCTICA	PRÁCTICA	PRÁCTICA	PRÁCTICA	
A	Siembra de Coliformes, presuntiva	Lectura presuntiva 24 hrs NMP	Lectura de 48 hrs NMP y siembra de tubos positivos	Lectura y cálculos de NMP	
16:30			Lectura y cálculos FM		

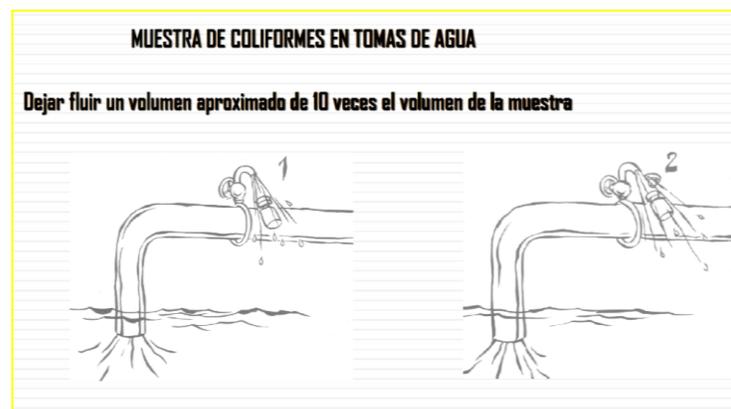
En secuencia, se trataron principalmente los aspectos teórico – práctico, normativos y de fundamentos para el procedimiento y cálculos en la determinación de Coliformes fecales, Coliformes totales y Escherichia coli termotolerante.

Simultáneamente se abordaron los aspectos teórico – práctico, normativos y de fundamentos para el procedimiento y cálculos en la determinación de Coliformes fecales, Coliformes totales fundamentos mediante filtración por membrana.

Así mismo se trataron los aspectos teórico – práctico, normativos y de fundamentos para el procedimiento y cálculos en la determinación de Enterococos, Coliformes y Escherichia coli mediante métodos alternos también llamados métodos rápidos.

En todos los temas de los aspectos microbiológicos de la calidad del agua, se procedió una vez conocidos los lineamientos normativos y de procedimiento, desde la preparación de los medios materiales y equipos que se emplearon en el desarrollo de las prácticas. Para el desarrollo de la sección práctica los integrantes de los diferentes laboratorios fueron agrupados en dos equipos para facilitar tanto el uso de equipos como el aprendizaje basado en competencias.

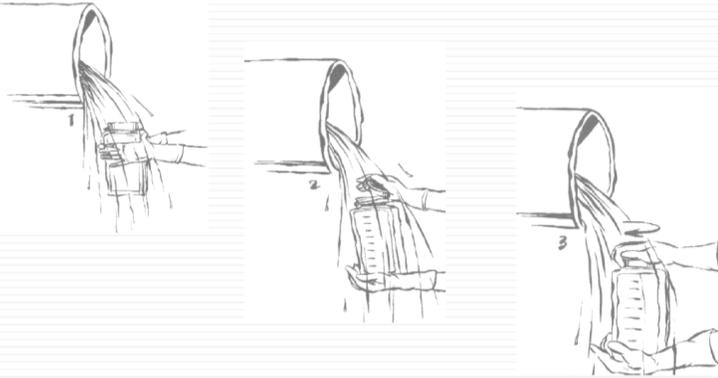
Como conclusión, se puede afirmar que se cumplió el objetivo de capacitación – actualización del personal de la CEA-BC en los procedimientos para aspectos principales que tienen que ver con determinación de la calidad del agua en términos bacteriológicos.



MUESTRO DE COLIFORMES EN DESCARGAS LIBRES



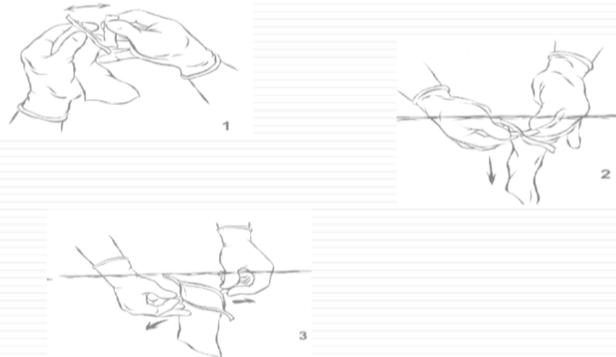
MUESTRO DE HUEVOS DE HELMINTO EN DESCARGAS LIBRES

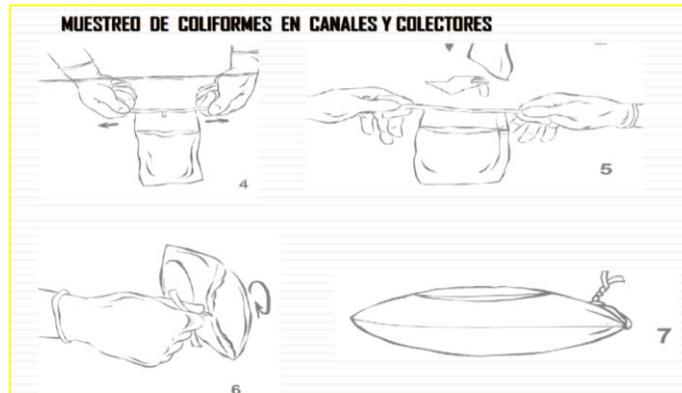


MUESTRO DE COLIFORMES EN CUERPOS DE AGUA



MUESTRO DE COLIFORMES EN CANALES Y COLECTORES





- Tubos múltiples (NMP) *TUBOS MULTIPLES***
- Membrana filtrante
- Substrato cromogénico
- Métodos rápidos (convencionales y especiales)
- Organismos estresados
- Presencia-Ausencia (P-A) API-20E

NMX-AA-042-1987, Calidad del Agua. Determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* presuntiva

Esta norma establece el método microbiológico para estimar el número de coliformes presentes en todo tipo de agua, incluyendo aquellas que contengan una cantidad apreciable de materia en suspensión por medio del cálculo del número más probable (NMP), después de la incubación presuntiva a 35 ° C y confirmativa a 44 ° C de la muestra en un medio líquido.

■ [NOM-AA-042-1987](#)

[nmx-aa-042-scfi-2015.pdf](#)

Coliformes : Bacilos Gram negativos, no esporulados, aerobios o anaerobios facultativos, fermentan lactosa a 35 ° C (producción de gas y ácido)

Coliformes Totales: Fermentan Lactosa a 35 ° C (24-48 horas)
Escherichia , Klebsiella, Citrobacter y Enterobacter

Coliformes Fecales: También conocidos como termotolerantes debido a que fermentan Lactosa a 44.5 ° C (24 horas)
Escherichia Klebsiella

PRUEBAS PRESUNTIVAS

Caldo lactosado.

Medio de doble concentración:

Peptona	10.0 g
Lactosa	10.0 g
Extracto de carne	6.0 g
Agua para llevar a	1000 mL

Disolver los componentes en agua hirviendo. Si es necesario ajustar el pH de modo que al terminar la esterilización sea de 6.7. Preparar el medio de simple concentración diluyendo el medio de doble concentración con un volumen igual de agua.

Distribuir el medio de simple concentración en volúmenes de 5 mL. y la doble concentración en volúmenes de 10 mL., Cada tubo o matraz debe contener un tubo de fermentación invertido (Durham). Esterilizar en autoclave a 121 ± 1 ° C durante 15 min.

Caldo EC:

<i>Triptosa o tripticasa</i>	20.0 g
<i>Lactosa</i>	5.0 g
<i>Mezcla de sales biliares</i>	1.5 g
<i>Fosfato dibásico de potasio (K₂HPO₄)</i>	4.0 g
<i>Fosfato monobásico de potasio (KH₂PO₄)</i>	1.5 g
<i>Cloruro de sodio (NaCl)</i>	5.0 g
<i>Agua para llevar a</i>	1000 mL.

Disolver los componentes por separado y agregarles agitando suavemente. El pH debe ser de 6.9 después de la esterilización. Antes de esterilizar, distribuir en tubos de fermentación con suficiente medio para que el tubo invertido quede cubierto cuando menos parcialmente después de la esterilización.

Como medio confirmativo para coliformes totales, el más generalizado es el caldo de bilis lactosa verde brillante (BLVB). Para confirmar la presencia de coliformes fecales se utilizan tanto el BLVB como el caldo EC.

AGUA DE DILUCIÓN

Solución amortiguadora de fosfato:

<i>Fosfato monobásico de potasio (KH₂PO₄)</i>	42.5 mg
<i>Cloruro de magnesio (MgCL₂)</i>	190.0 mg
<i>Agua para llevar a</i>	1000 mL.

Solución de fosfato.

Disolver 34 g de fosfato en 500 mL. de agua. Ajustar a pH 7.2 ± 0.5 con solución de hidróxido de sodio 1mol/L y aforar a 1000 cm³ con agua.

Solución de cloruro de magnesio.

Disolver 38g de cloruro de magnesio en 1000mL. de agua.

Para usarla, añadir 1.25 mL. de solución de fosfato (6.5.4.1) y 5.0 mL. de solución de cloruro de magnesio (6.5.4.2) a 1000 mL. de agua. Distribuir en volúmenes convenientes y esterilizar en autoclave a 121 ± 1 ° C durante 15 min.

PRUEBAS CONFIRMATIVAS

Para confirmar la presencia de organismos coliformes, incubar un tubo de Caldo Lactosa Verde Brillante o Caldo EC a 37 ° C y examinarlo para ver si hay producción de gas dentro de un período de 48 horas.

Para confirmar la presencia de organismos coliformes termotolerantes, incubar otro tubo de Caldo Bilis Lactosa Verde Brillante o Caldo EC a 44 ° C durante 24 horas para ver si hay producción de gas.

Para confirmar la presencia de E. coli. presuntiva, incubar un tubo de Caldo Lactosa Verde Brillante o Caldo EC en agua de triptona para detectar la formación de indol a 44 ° C durante 24 horas. Después añadir de 0.2 a 0.3 mL. de reactivo de Kovacs al tubo de agua de triptona; El desarrollo de un anillo de color rojo después de agitar suavemente denota la presencia de indol.

NOTA *.-La detección de E. coli presuntiva se considera una evidencia satisfactoria de contaminación fecal. Sin embargo, pueden efectuarse mayores pruebas para la confirmación de E. coli si se considera necesario.*

El método se basa en la inoculación de alícuotas de la muestra, diluida o sin diluir, en una serie de tubos de un medio de cultivo líquido conteniendo lactosa.



La prueba asume que las bacterias presentes en una muestra pueden ser separadas a partir de una solución homogénea, dando por resultado una suspensión de células bacterianas, uniformemente distribuidas en la muestra.

PRUEBA PRESUNTIVA



INOCULACIÓN EN CALDO LACTOSADO

4.2 INFORME DE LA ASISTENCIA TÉCNICA Y RECOMENDACIONES EN EL DISEÑO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS.

Se realizaron algunos ejemplos de los procedimientos de diseño como:

Potencia requerida, cálculo de la temperatura en el reactor, efectos de la temperatura del reactor aerobio sobre los parámetros biocinéticos, se realizaron casos de estudio para calcular tiempo de retención hidráulico, la relación alimento de microorganismos, volumen del reactor etc.



PASO	ECUACIÓN
1. Potencia Requerida	$HP = \frac{Q (S - S_e)}{20 a 22}$
2. Cálculo de la temperatura en el reactor biológico	$T_a = \frac{41.66667 Q T + 1134HP T_{amb}}{41.66667 Q + 1134HP}$
3. Efecto de la temperatura del reactor aerobio sobre los parámetros biocinéticos.	<p>k:</p> $k_{T_a} = k_{20} \theta^{T_a - 20} \quad (1.0 < \theta < 1.135)$ <p>k_d:</p> $k_{d, T_a} = k_{d, 20} \theta^{T_a - 20} \quad (1.03 < \theta < 1.06)$ <p>b:</p> $b_{T_a} = b_{20} \theta^{T_a - 20} \quad (1.03 < \theta < 1.06)$ <p>Se supone que los parámetros Y y a son independientes de la temperatura</p>

4. Cálculo del tiempo de retención hidráulico (TRH).	<p>Caso 1: Para consumo de DBO</p> $TRH = \frac{(S - S_e)}{k SSVLM S_e}$ <p>Caso 2: Para floculación óptima</p> $TRH = \frac{S}{SSVLM \frac{A}{M}}$
5. Cálculo de la relación alimento microorganismos (A/M)	$\frac{A}{M} = \frac{S}{SSVLM TRH}$
6. Cálculo de la concentración de sustrato en el efluente (S _e)	$S_e = \frac{S}{1 + k SSVLM TRH}$
7. Cálculo del volumen del reactor	$V = Q TRH$
8. Producción neta de biomasa	$\Delta X = \frac{QY(S - S_e)}{1 + k_d TRMC} + \frac{QY(S - S_e)TRMC f_d k_d}{1 + k_d TRMC}$ $\Delta X = \frac{QY(S - S_e)}{1 + k_d TRMC} + \frac{QY(S - S_e)TRMC f_d k_d}{1 + k_d TRMC} + \frac{QY_n(N - N_e)}{1 + k_{dn} TRMC}$
9. Necesidades de oxígeno	$\frac{kg O_2}{d} = Q(S - S_e) - 1.42 \Delta X$ $\frac{kg O_2}{d} = Q(S - S_e) - 1.42 \Delta X + 4.33 Q(N - N_e)$
10. Cálculo de la relación de recirculación r	$r = \frac{Q SSVLM - \Delta X - Q SSV}{Q (SSV_R - SSVLM)}$

Coefficientes biocinéticos típicos para el proceso de lodos activados para remover materia orgánica de aguas residuales municipales.

Coefficiente	Unidades	Rango	Valor típico
μ_{mn}	g SSV/g SSV d	0.20 - 0.90	0.75
K_n	$\frac{g NH_4 - N}{m^3}$	0.50 - 1.00	0.74
Y_n	$\frac{g SSV}{g NH_4 - N}$	0.10 - 0.15	0.12
K_{dn}	g SSV/g SSV d	0.05 - 0.15	0.08
K_o	$\frac{g}{m^3}$	0.40 - 0.60	0.50
Y	g SSV/g DBO	0.40 - 0.80	0.60
K_d	g SSV/g SSV d	0.06 - 0.15	0.10
μ_m	g SSV/g SSV d	3.00 - 13.2	6.00
K_s	$\frac{g DBO}{m^3}$	25 - 100	60.00
f_d		0.08 - 0.20	0.15

Efecto de la temperatura sobre los parámetros biocinéticos:

La temperatura del agua tiene un efecto sobre el desarrollo y metabolismos de los microorganismos.

Los parámetros biocinéticos son sensibles a los cambios de temperatura, y son determinados a una temperatura de 20 °C. Esto hace imprescindible realizar correcciones por temperatura cuando sean utilizados para los cálculos de diseño u operación.

La aplicación de la ecuación de Arrhenius lleva a la conclusión de que la constante de velocidad biocinética k se dobla aproximadamente por cada aumento de 10°C de la temperatura.

$$k_{T_a} = k_{20} \theta^{(T_a - 20)}$$

Donde:

T_a = Temperatura del agua residual en el reactor

$\theta = 1.03$

Para el caso del coeficiente de descomposición microbiana k_d , también se puede describirse aproximadamente mediante una relación de tipo Arrhenius, esto es:

$$k_{d,T_a} = k_{d,20} \theta^{(T_a - 20)}$$

Donde:

θ = Comprendido entre 1.03 y 1.06

Ya que los parámetros b y k_d están teóricamente relacionados entre sí:

$$b / k_d = 160/113 = 1.42$$

es de suponer que la dependencia de b con T_a pueda estimarse a partir de :

$$b_{T_w} = b_{20} \theta^{T_a - 20}$$

Las relaciones **Y** y **a** parecen ser mucho menos sensibles a los cambios de temperatura.

La cantidad de datos disponibles sobre el efecto de la temperatura en los parámetros **Y** y **a** es insuficiente para el desarrollo de modelos matemáticos adecuados.

Es probable que no sean aplicables en este caso ecuaciones del tipo Arrhenius.

Como estos parámetros son relativamente insensibles a los cambios de temperatura y teniendo en cuenta la dificultad para estimar este efecto, el desarrollo del proceso de diseño de plantas de lodos activados se hará suponiendo que estos parámetros **son básicamente independientes de la temperatura.**

I. Datos de la alimentación inicial

1. Caudal de entrada (Q)
2. Materia orgánica biodegradable en la entrada (S, DBO)
3. Sólidos suspendidos volátiles en la entrada (SSV)
4. Alcalinidad de la entrada (Alc)
5. Nitrógeno y fósforo total en la entrada (N y P).
6. Temperatura de la entrada (T) (temperaturas críticas de verano e invierno).

II. Datos sobre la calidad del efluente

1. Materia orgánica biodegradable en la salida (Se, DBOe)
2. Sólidos en suspensión volátiles en el efluente (SSVe), (criterios de diseño del sedimentador secundario).

Durante el curso se impartieron los siguientes temas: fundamentos de los procesos biológicos, cinética de crecimiento microbiana, pruebas de tratabilidad, determinación de coeficientes bio-cinéticos, nitrificación-desnitrificación, fundamentos de los biorreactores con membranas, ejercicios de diseño biorreactores con membranas, fundamentos de los reactores de lecho móvil y ejercicios de diseño de reactores de lecho móvil. En el curso se mencionó los fundamentos teóricos de los temas mencionados. Además se realizaron ejercicios prácticos sobre el diseño de los sistemas de tratamiento.

Procesos microbiológicos

1. Crecimiento celular: $S \xrightarrow{X} X' + P + \text{Energía}_{(\text{síntesis})}$
2. Mantenimiento celular: $S \xrightarrow{X} P + \text{Energía}_{(\text{mantenimiento})}$
3. Metabolismo endógeno: $X \xrightarrow{X} P + \text{Energía}_{(\text{mantenimiento})}$
4. Muerte o Lisis celular: $X \longrightarrow S_x$
5. Hidrólisis extracelular: $S_x \xrightarrow{X} S$

Cinética microbiana

Velocidad de crecimiento celular

Etapas de crecimiento exponencial

- Cinética del proceso de crecimiento:

$$(r_x)_{\text{crec}} = \frac{dX}{dt} = \mu X$$

μ : velocidad específica de crecimiento, (t^{-1})

Influencia de la concentración del sustrato

- Ecuación de Monod

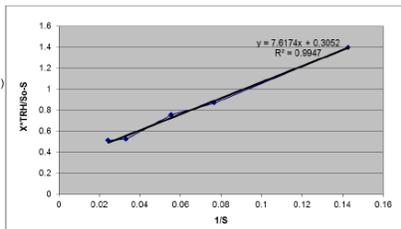
$$\mu = \mu_{\text{max}} \frac{S}{K_s + S}$$

K_s es la constante de saturación para el sustrato

Cálculo de los coeficientes cinéticos (k y K_s)

$$\mu = \frac{k * SSV * S}{K_s + S} = \frac{S_o - S}{TRH}$$

Donde:
 μ = Tasa de crecimiento específico de los microorganismos (d⁻¹)
 k = Tasa máxima de utilización del sustrato (mg DGO. mg SSV. d⁻¹)
 K_s = Constante de saturación (mg.L⁻¹)
 SSV = Concentración de SSV (mg.L⁻¹)
 S = Concentración final del sustrato (mg.L⁻¹)
 S_o = Concentración inicial del sustrato (mg.L⁻¹)
 TRH = Tiempo de residencia hidráulica (d)



Dividiendo la ecuación por la concentración de SSV se obtiene la siguiente ecuación

$$\frac{k * S}{K_s + S} = \frac{S_o - S}{TRH * SSV}$$

$$b = 1/k = 0.3052 \quad k = 1/0.3052 = 3.27 \text{ d}^{-1}$$

Linealizando la ecuación

$$\frac{TRH * SSV}{S_o - S} = \frac{K_s}{k} * \frac{1}{S} + \frac{1}{k}$$

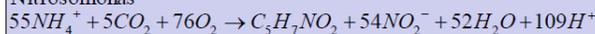
$$m = K_s/k = 7.61$$

$$K_s = m * k = 3.27 * 7.61 = 24.95 \text{ mg/L}$$

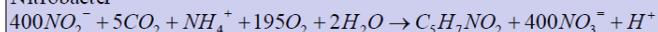
$$Y = m * x + b$$

Si se considera el crecimiento celular, las ecuaciones anteriores se transforman en:

Nitrosomonas

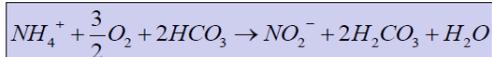


Nitrobacter



Producción celular de nitrificantes es mucho menor que producción de heterótrofas (aprox. 10%)

Alcalinidad

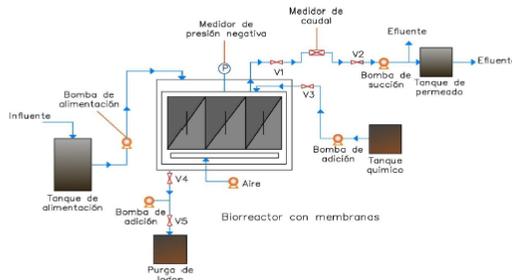


Oxidación de cada mg/l de NH₄-N reducirá la alcalinidad en 7,14 mg/l de CaCO₃



Biorreactores con membranas

Un biorreactor con membranas se define como una combinación de dos procesos: un reactor biológico responsable de la biodegradación de la materia orgánica a través de microorganismos y un módulo de membranas ya sea de microfiltración o ultrafiltración para la separación física sólido-líquido del licor mezclado.





Consideraciones de diseño en los biorreactores de membrana

- Parámetros de operación

$$\text{Área de filtrado} = (\text{área del módulo de membranas})(\text{número de módulos por cassette})$$

Donde:

Área de filtrado (m²)

Área del módulo de membranas (m²)

El gasto del módulo se obtiene del área total de filtrado del módulo y del flux de las membranas (L/m² h)

$$Q_{\text{filtrado}} = (\text{Flux})(\text{área filtrado})(\text{número de cassette})$$

Q_{filtrado} = Gasto de agua que pasa a través del módulo de las membranas (m³/d)

Elección membrana

ZeeWeed 500D products

GE Water & Process Technologies Foot Sheet

ZeeWeed* 500D Module

Immersed Hollow-Fiber Ultrafiltration Technology

Dimensiones del módulo (cm)	Altura: 219.8 Ancho: 84.4 Grosor: 4.9
Área de filtración (m²)	31.6
Flux (L/m²h)	20 (por debajo del flujo crítico)

Module Type	WW	DW
Application	Membrane Bioreactor	As Other
Normal Membrane Surface Area	34m ² (3,6 m ²)	34m ² (3,6 m ²)
Module Dimensions		
Height	2,198 mm (86.5 in)	
Width	844 mm (33.2 in)	
Depth	49 mm (1.9 in)	
Module Weight		
Net Operating Weight	28 kg (62 lbs)	28 kg (62 lbs)
Gross Weight	29 kg (64 lbs)	29 kg (64 lbs)
Membrane Properties		
Material	PP	PP
Membrane Pore Size	0.1µm (10µm)	0.1µm (10µm)
Surface Properties	Non-fouling, hydrophilic	Non-fouling, hydrophilic
Flow Direction	Flow from CW to FW	Flow from CW to FW
Flow Rate	Variable	Variable
Operating Specifications		
TRF Range	~ 25 to 35 LPH	50 to 30 LPH
Flow Operating Temperature	5 to 35°C (41 to 95°F)	5 to 35°C (41 to 95°F)
Operating Range	1.5 to 3.0 MPa	1.5 to 3.0 MPa
Cleaning Specifications		
Chemical Cleaning	Yes	Yes
Non-Chemical Cleaning	Yes	Yes
Cleaning pH Range	2.0 - 10.0	2.0 - 10.0
Max. Cl ₂ Concentration	3,000 ppm	3,000 ppm

© Product of ecomagination

GE logo and contact information for various regions.

Reactores de lecho móvil

Los reactores de lecho móvil es una variante de los lodos activados y los filtros percoladores



Lodos activados



Filtros percoladores



Medios de soporte comerciales

Kaldnes (Noruega)



Aqwise (Israel)



Linpor (Alemania)



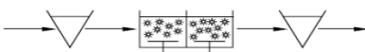
Hydroxil (Texas)



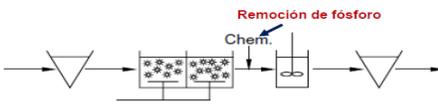
Remoción de DBO/DQO

- Altas cargas orgánicas (4-5 kg BDO/m³.d.
- Condiciones completamente mezcladas.
- SSV hasta 75,000 mg/L.
- Simple pre-tratamiento.
- No hay recirculación de lodos.
- Operación similar a la de los lodos activados.
- Buena sedimentación de los lodos.
- Bajas concentraciones de DBO < 15 mg/L. TRH 0.5-4 h (80-90%)
- < 10 mg DBO/L (después de la sedimentación).

a)

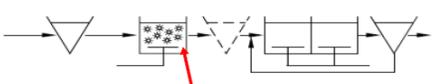


b)



Remoción de fósforo
Chem.

c)



Pretratamiento 50% al 80 % de remoción de materia orgánica en 30-90 minutos



Criterios de diseño

PARA REMOCIÓN DE DBO

- Un reactor (remoción 50-90%) COS_{DBO} 5-15 g/m².d
- Dos reactores (remoción > 90%) COS_{DBO} Reactor 1 = 10-20 g/m².d
Reactor 2 = 5-7.5 g/m².d
- Tres reactores (< 5 mg/L) COS_{DBO} Reactor 1 = 10-20 g/m².d
Reactor 2 = 5-7.5 g/m².d
Reactor 3 = 1-5 g/m².d

PARA REMOCIÓN DE NH₄ (OD 5-8 mg/L)

- Un reactor (remoción 50-90%) COS_{NH4} 0.5-0.7 g NH₃/m².d
- Dos reactores (remoción > 90%) COS_{NH4} Reactor 1 = 1-1.5 g NH₃/m².d
Reactor 2 = 0.25-0.75 g/m².d
- Remoción de DBO y NH₃ (OD > 3 mg/L) COS_{NH4} Reactor 1 = 6 g/m².d

4.3 INFORME DE LA ASISTENCIA TÉCNICA Y RECOMENDACIONES EN LA EVALUACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, *IN SITU*.

Se evaluó la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) “El Naranjo” con un gasto de diseño de 500 L/s, y espacio para crecer otro módulo de igual tamaño, es la más importante de la Ciudad de Ensenada BC, cumpliendo con varias funciones como son el saneamiento de las aguas residuales y disminución de su impacto en la Bahía de todos Santos, y la reutilización de las aguas residuales tratadas en riego agrícola para productos de exportación(flores) y la rehabilitación de suelos salinos, todo en la zona de Maneadero.

El gasto promedio de operación actual, es de 340 L/s, gasto aún menor que la capacidad total de diseño de 500 L/s, y una carga de materia orgánica de 369 mg/L, medida como DBO, concentración cercana a la de diseño de 400 mg/L.



Figura 1. Vista aérea de la planta de tratamiento “El Naranjo”.



Figura 2. Panorámica de la planta.

La Environmental Protection Agency (EPA) en su metodología de evaluación de plantas de tratamiento de aguas residuales clasifica a las mismas en plantas tipo 1 (con pocos problemas); plantas tipo 2 (con funcionamiento al tope) y plantas tipo 3, aquellas que requieren de un proyecto de rehabilitación mayor o una reingeniería total ya que presentan grandes problemas ya sea que hayan rebasado su capacidad o tengan serios problemas de mantenimiento y operación, este es el caso de la Planta “El Naranja” que ha sido evaluada con la metodología de la EPA, como planta tipo 3.

El resultado de la evaluación indica la existencia de serios problemas en las unidades de pretratamiento, bombeo de aguas crudas, cárcamo de recepción, mediciones de flujo, sedimentadores, filtración en arena y cloración en el tren de agua y lo mismo sucede en el tren de lodos, con lodos sin estabilizar, equipos de deshidratación en estado crítico y disposición inadecuada de lodos. En pocas palabras, las condiciones actuales, tanto del cárcamo “El Ciprés” como de la propia PTAR “El Naranja”, se encuentran en alto riesgo de que la continuidad de la operación se vea afectada, y en cuanto a la calidad, el riesgo de afectación es mayor.



Figura 3. Equipo de deshidratación en pésimas condiciones.

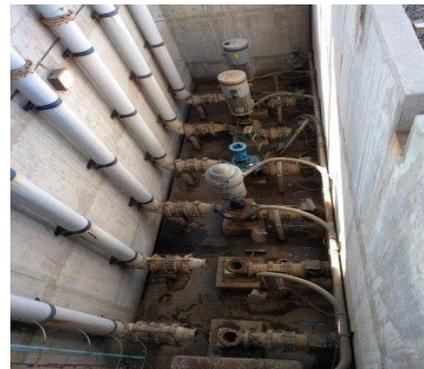


Figura 4. Bombas de agua cruda fuera de servicio.

Además de la problemática, de que el bypass del cárcamo de bombeo “El Ciprés”, descarga muy cerca de la obra de toma de la planta desaladora (actualmente en construcción), cuyo propósito es el abastecimiento de agua potable para la ciudad de Ensenada. Es muy importante pensar en la realización de un nuevo proyecto o estudio de reingeniería que contemple de forma integral el cárcamo “El Ciprés” y la PTAR “El Naranja”, teniendo como premisas la continuidad en la operación y la reubicación o alejamiento de la descarga de demasías del sitio actual de descarga.

La metodología EPA recomienda que al evaluar una planta, y resulta ser tipo 3, ya no se hace necesario detallar las actividades por realizar, dado que al tener una problemática

más severa, lo que se requiere es un nuevo proyecto de reingeniería, donde se busquen alternativas de solución adecuadas al sistema existente, bajo las condiciones actuales del sitio donde se ubica el sistema de tratamiento (cárcamo “El Ciprés” y PTAR “El Naranja”).

La gran problemática que representa el tener una planta evaluada como tipo 3, nos enfrenta principalmente a la difícil tarea de gestionar recursos financieros que permitan atender de forma expedita las acciones necesarias para corregir su funcionamiento pero a la vez se crea también una gran oportunidad, ya que mediante la implementación de las obras y acciones, que resulten pertinentes en el proyecto de reingeniería para la optimización de la operación y mantenimiento, tanto del cárcamo “El Ciprés” como de la PTAR “El Naranja”, se cumpla consistentemente con la función de depuración, evitando así, la contaminación de la Bahía de todos Santos y el área de influencia de la obra de toma de la planta desaladora. Asimismo, la optimización de los costos relativos a la operación y mantenimiento (tratamiento) necesario, para obtener como mínimo la calidad establecida en la normatividad ambiental, o en su caso la calidad requerida que pudiesen convenir con los usuarios actuales de las aguas residuales que se reúsan en el medio agrícola u otros usuarios potenciales de estas aguas tratadas. Una acción integral de este tipo da seguridad y certeza para la promoción del reúso, abre también posibilidades de obtener estímulos económicos de diversa índole al estar siempre en cumplimiento constante y continuo en la calidad de su efluente.



Figura 5. Reservorio de agua residual tratada en campos de cultivo.



Figura 6. Cultivo de flores regadas con aguas residuales tratadas.



Figura 7. Campos de flores.



Figura 8. Área de trabajo en la producción de flores de exportación.

Para el nuevo proyecto o reingeniería de la planta de tratamiento de aguas residuales “El Naranjo”, se recomienda plantear alternativas viables de solución, considerando prioritariamente la ampliación de la capacidad de tratamiento, ya que la nueva planta desaladora aumentará la oferta de agua potable en la ciudad, generando el aumento correspondiente en el caudal de aguas residuales, y por tanto aumentará también el caudal de aguas residuales que se bombean hacia la PTAR “El Naranjo”.

Por otro lado, la tendencia actual es que se consideren ahorros energéticos en los procesos de tratamiento así como acciones para disminuir las emisiones de CO₂ de efecto invernadero que afectan al cambio climático, para ello la COCEF realizó una “Auditoría Energética” de la planta “El Naranjo” en 2013 donde se plantea una serie de recomendaciones que deberán tomarse en cuenta en el nuevo proyecto.



Figura 9. Auditoría Energética “El Naranjo”.

También se recomienda el planteamiento de reconvertir el sistema de lodos activados de aeración extendida a un proceso convencional en el cual se generará mayor cantidad de lodos que a su vez producirán mayor cantidad de energía que se utilizará en la propia planta de tratamiento, mediante un digestor anaerobio y facilidades de cogeneración, además del ahorro de energía en sopladores con el cambio de modalidad. Esta es una alternativa muy atractiva con bajo costo de inversión y alto rendimiento energético y con control de emisiones de CO₂. En estudios recientes, se estima que una planta de lodos activados convencional produce el doble de energía que una planta de lodos activados de aeración extendida.

Por último, hacemos un resumen sobre el resultado de la evaluación al considerarse planta tipo 3, a reserva de que en el informe se detallen las serias deficiencias que se observaron en la planta y que nos llevaron a esta conclusión, a continuación mencionamos los problemas más importantes que se encontraron.

Principales factores, que hacen de la PTAR “El Naranjo”, una planta tipo 3:

Cárcamo de Ciprés

Todo el pretratamiento está fuera de operación así como algunas bombas, el cárcamo se inunda, las demasías de van hacia la toma de la desaladora en construcción (agua para consumo humano), el terreno presenta hundimientos severos. En resumen, el cárcamo de bombeo “El Ciprés” se encuentra en estado crítico, en cualquier momento pueden presentarse problemas severos que afectarían a la población por no tener la

capacidad de desalojo del agua residual y/o aguas combinadas (residual más lluvia). Se requiere alta inversión para rehabilitar este cárcamo, tanto para el pretratamiento como para asegurar el bombeo hacia la PTAR “El Naranja”.



Figura 10. Desarenador fuera de servicio y en pésimo estado.



Figura 11. Bombeo de agua cruda, con menos del 50% de su capacidad.

Filtros banda

Dos filtros banda se encuentran en estado crítico, aunque recién se instaló una centrífuga para el secado de lodos, no es suficiente ya que los filtros banda existentes están a punto de salir de la operación, de ser así y no extraer los lodos, la planta se colmatará y los lodos saldrán por el efluente de agua tratada. Se requiere un reemplazo de equipos para el deshidratado, actividad de alto costo y tiempo de instalación.



Figura 12. Filtros banda a punto de salir de operación.



Figura 13. Estado crítico del sistema de deshidratación.

Sedimentadores

Uno de los sedimentadores está fuera de servicio, lo que implica que se sobrecargue el sedimentador en operación, eso también nos lleva a efluentes con alto contenido de sólidos suspendidos. Alto costo para la reparación o reemplazo de equipos de rastras y desnatadores en ambos sedimentadores.



Figura 14. Sedimentador colmatado fuera de servicio.

Cloración insuficiente

El sistema de desinfección con cloro gas presenta serias deficiencias y escasa atención, lo que se traduce en bajas dosificaciones y altos riesgos en el manejo del cloro, es necesario hacer una reingeniería del proceso de desinfección.



Figura 15. Cloradores, funcionando al mínimo.



Figura 16. Cilindros de cloro, faltan los de reserva.

Lodos sin digestión

Los tanques en donde se descargan los lodos de los sedimentadores no cumplen la función de un digestor, por lo tanto no se cumple con la reducción requerida de SSV, situación crítica en el tren de lodos. No cumple con la Norma de calidad de disposición de lodos (NOM-004). Se requiere instalar un digestor de lodos (Se recomienda un

digestor anaerobio para recuperación de energía), actividad de alto costo de inversión y mantenimiento y con controles estrictos de operación.



Figura 17. Tanque de almacenamiento de lodos (Espesadores, mal llamados digestores).

Disposición de lodos en el predio

Esta situación se ha tornado crítica, aunque actualmente se buscan alternativas de solución, la problemática de disponer los lodos en el predio prevalece. Su solución implica un nuevo permiso de disposición o un tratamiento de lodos para uso en aplicaciones agrícolas, acciones de alto costo.



Figura 18. Mezcla de lodos con material del terreno y disposición in situ.

Aeración no uniforme en reactor

Se requiere revisión y reemplazo de difusores de burbuja fina en tanque de aeración, actividad de alto costo. También se debe revisar el sistema completo de aeración principalmente los sopladores.



Figura 19. Aeración no uniforme.



Figura 20. Sopladores

Falta de mantenimiento general en todo el sistema

Se observa un deterioro significativo en gran parte de las instalaciones ya con casi 20 años de servicio y escasos mantenimientos a lo largo de este periodo, lo que se traduce en una planta que da un mal aspecto y con algunas instalaciones en mal estado y otras fuera de servicio.



Figura 21. Cárcamo “El Ciprés” en pésimas condiciones.



Figura 22. Bombas de agua cruda fuera de servicio.



Figura 23. Descuido de materiales tirados en “El Naranjo”.



Figura 24. Rejillas en mal estado.



Figura 25. Tolva de lodos.



Figura 26. Oxidación en diversas estructuras.

Conclusiones:

Se requiere un análisis de alternativas para la reingeniería de la Planta “El Naranjo” ya que se clasifica tipo 3 con la metodología de la EPA. Una vez decidida la alternativa correcta considerando las nuevas tendencias en ahorros energéticos, uso de energías renovables y control de emisiones de CO₂ a la atmósfera, se procederá a la gestión de recursos para lograr tan importante inversión que nos llevará al cumplimiento de las normas de descarga y reúso, con ello se evitará la contaminación en la Bahía de Todos Santos, principalmente en la obra de toma de la nueva planta desaladora para abastecimiento de agua potable, con la reubicación o alejamiento de la descarga de demasías del cárcamo “El Ciprés”, evitando así riesgos mayores. Se podría también entregar agua de excelente calidad para reúso en actividades altamente productivas como son los cultivos de exportación, por un largo periodo de al menos 20 años.

Evaluación integral de desempeño operativo de la planta de tratamiento de aguas residuales “El Naranja”.

La ausencia de una política pública nacional en materia de agua potable y saneamiento integral, se traduce en el caso de los organismos públicos, en la falta de continuidad en las políticas y acciones que se aplican en los sistemas de agua y saneamiento. Entre la diversidad de problemas que enfrentan los organismos operadores de agua en México, para ser autosuficientes en la operación, uno de los más relevantes consiste en la vulnerabilidad en la que se encuentran por falta de un tratamiento adecuado y consistente de las aguas residuales, que permita su reúso y/o aprovechamiento de sus efluentes y biosólidos producidos. Esta debilidad está presente en todo tipo y tamaño de organismos operadores, incluso en aquellos que se pudieran considerar más eficientes a nivel nacional.

Para el adecuado funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales, es necesario realizar una planeación integral y detallada, que no omita aspectos relevantes, que considere de forma prioritaria, caudales y calidad del agua a tratar, reúso o aprovechamiento que se le dará al agua tratada, el uso o destino que tendrán los lodos biológicos producidos en el tratamiento, el tipo de planta (proceso) a diseñar y construir, la selección del sitio, etc. Por consiguiente, la información base utilizada para el diseño, deberá ser revisada y validada; asegurando de esta forma que la planta de tratamiento construida y puesta en operación, sea capaz de soportar las variaciones previstas en el diseño, principalmente en cuanto al caudal y calidad del agua residual a tratar, facilitando así, tanto el tratamiento como el cumplimiento en la calidad del efluente, de acuerdo con los parámetros establecidos para el reúso o por la normatividad aplicable.

El Estado de Baja California tiene un número importante de plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales en su mayoría son relativamente nuevas o rehabilitadas, sin embargo existen algunas con serios problemas operativos, por lo cual en búsqueda de la optimización de sus procesos y de implantar un programa de mejora continua, se hace necesario realizar en ellas una evaluación integral operativa, con el propósito de optimizar sus procesos de tratamiento.

Con el objeto de atender lo planteado en el párrafo anterior, se formó el; Grupo Evaluador de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (GEPTAR), integrado por personal profesional, relacionado directamente con el tratamiento de aguas residuales de cada una de las cuatro Comisiones Estatales de Servicios Públicos (CESPE, CESP, CESM, CESN).

CESPT y CESPTE) y coordinados por la Comisión Estatal de Agua de Baja California. El grupo se encuentra en proceso de consolidación. Como expertos dedicados específicamente a evaluar la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Como parte de las actividades planteadas por el grupo evaluador en el año 2016, se planteó la evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) “El Naranja”, ubicada en la ciudad de Ensenada. Para tal motivo la CEABC contrató los servicios del IMTA, como asesor en la aplicación de la metodología de evaluación de desempeño de la PTAR, debiendo generar un documento final que identifique y analice la principal problemática y que emita las recomendaciones pertinentes derivadas de la evaluación.

Objetivo de la evaluación

Realizar la evaluación integral de desempeño operativo, por medio del grupo evaluador de plantas de tratamiento de aguas residuales (GEPTAR), a la PTAR “El Naranja” y hacer las recomendaciones pertinentes derivadas de la evaluación, para que en el corto y mediano plazo, sean programadas y ejecutadas para su realización a través del área correspondiente de la CESPE, buscando con esto la corrección de las desviaciones encontradas en los procesos operativos y la optimización de los mismos, asegurando consecuentemente el cumplimiento de la normatividad ambiental, así como de las metas internas de operación y mantenimiento establecidas.

Descripción general de la PTAR “El Naranja”

Durante décadas la ciudad de Ensenada sufrió de una contaminación severa en algunas zonas de la Bahía de Todos Santos (BTS). Para abatir ese problema, se construye la PTAR “El Naranja”, iniciando su operación en 1999, y tuvo como finalidad el tratamiento de las aguas residuales de Ensenada y, con esto, lograr el saneamiento de la Bahía Todos Santos.

La tecnología de tratamiento es de lodos activados con zanjas de oxidación de tipo carrusel (la Figura 27, presenta el diagrama de flujo de la planta), diseñada para tratar 1000 L/s en dos módulos de 500 L/s, actualmente solo se encuentra construido y en operación un módulo, con un gasto aproximado de operación de 347 L/s.

a) Datos generales

Localización de la PTAR	
Coordenadas	31°48'33.34"N, 116°34'36.33"O
Dirección	Av. Ávila Camacho (pasando calle cedros)
Municipio	Ensenada
Estado	Baja California
Temperatura media ambiente	
Verano	30°
Invierno	8°
Responsable PTAR	Ing. Carlos Valverde E.
Teléfono	646 218-28-20
Correo electrónico	Carlos.valverde@cespe.gob.mx
Modalidad de lodos activados AERACIÓN EXTENDIDA/ZANJA	

Condiciones de operación de la PTAR

Parámetro	2014	2015
Q diseño (L/s)	500	500
Q operación (L/s)	340	340
DBOafluente (mg/L)		465
SST afluyente (mg/L)		453
SSVafluente (mg/L)		180
SSTLM (mg/L)		7000
SSVLM (mg/L)		4000
Recirculación (%)		30
Lodo Primario		N/A
Volumen diario de lodo (m3/d)		30000
Lodo Secundario		
Q de lodo Secundario (m3/d)(purga)		600
Sistema de tratamiento de lodos		
Espesamiento		
Tipo de espesamiento		Decantación
Caudal de lodo espesado		450 m3
Qué lodo se espesa		Lodo secundario
Lodo espesado		
SST		30,000 PPM
SSV		22,000 PPM
Estabilización		
Tipo de estabilización		Aerobia
Qué lodo se estabiliza		Secundario, parcialmente
Deshidratación de lodos		
Q de lodo deshidratado		450 m3
Tipo de deshidratación		Filtro banda
Tipo de lodo deshidratado		Secundario
Uso final del lodo		Disposición in situ
Volumen dispuesto (m3/d)		70

Tratamiento de lodos mediante digestión aerobia

Descripción del digestor	Aerobio
Volumen del digestor	5000 m ³
Tiempo de retención hidráulico (TRH)	10 D
Consumo de energía: 649 kWh, 5, 685,240 kWh al año.	

Diagrama de flujo del proceso

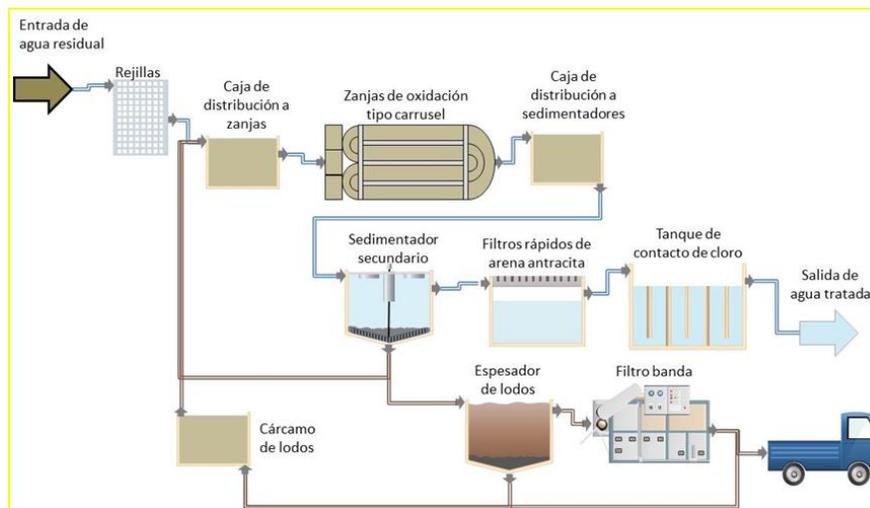


Figura 27. Diagrama de flujo de PTAR El Naranjo

El pretratamiento está considerado para que se lleve a cabo en la planta de bombeo El Gallo, sin embargo la planta también recibe aguas residuales provenientes de otras fuentes. Como parte de los estudios básicos de diseño, se realizaron aforos cada hora en cuatro sitios: en el afluente de la planta de tratamiento El Gallo, en el cárcamo de bombeo Esmeralda, en la descarga denominada Conalep y en la descarga industrial denominada Dr. Pedro Loyola; de estas descargas, se realizaron mediciones analíticas de campo.

Los muestreos y aforos se realizaron durante un período de siete días alternados a partir del día 28 de febrero y hasta el 13 de marzo de 1997.

Tabla 1. Resultados de los análisis del agua residual, para el diseño de la PTAR El Naranjo, realizados de febrero a marzo de 1996.

Parámetro	Pedro Loyola	Cárcamo Esmeralda	Descarga Conalep	PTAR El Gallo	Media ponderada
DBO5 total; mg/L	4311	309	294	281	328
DBO5 soluble; mg/L	2718	168	135	131	164

DQO total; mg/L	12757	867	640	639	798
DQO soluble; mg/L	7214	378	250	282	368
SAAM; mg/L	1.1	27.1	43.0	26.0	26.7
SST; mg/L	3708	295	224	279	316
SSV; mg/L	3092	232	185	196	231
Alcalinidad; mg/L CaCO ₃	2359	473	422	428	454
Nitrógeno orgánico; mg/L	462.5	16.9	13.4	18.5	22.8
Nitrógeno amoniacal; mg/L	490.5	56.6	65.8	43.4	50.9
Nitrógeno orgánico soluble; mg/L	242.0	3.4	2.9	3.3	5.8
Nitrógeno amoniacal soluble; mg/L	112.8	13.6	13.0	12.5	13.7
Nitrógeno total; mg/L	953.0	73.5	79.2	61.9	73.7
Nitritos; mg/L	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Nitratos; mg/L	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00
Fosfatos totales; mg/L	126.4	11.3	11.7	9.4	11.0
Coliformes fecales; NMP/100 ml	5.81E+07	1.52E+08	2.84E+07	3.12E+07	4.68E+07
Coliformes totales; NMP/100 ml	1.35E+08	1.58E+08	4.05E+07	3.60E+07	5.29E+07
pH; unidades de pH	6.5	7.0	7.3	7.2	7.2
Grasas y aceites; mg/L	1135.5	44.5	35.3	50.1	60.4
Conductividad; microhoms/cm	10439	2646	2264	2227	2370
Sólidos totales; mg/L	11540	2398	2049	2027	2178
Sólidos totales volátiles; mg/L	5139	643	503	573	628
Sólidos totales fijos; mg/L	6405	1755	1546	1454	1550
Sólidos disueltos totales; mg/L	7832	2103	1803	1741	1855
Sólidos disueltos volátiles; mg/L	2045	411	307	372	392
Sólidos disueltos fijos; mg/L	5787	1692	1496	1369	1463

Tabla 2. Requerimientos de calidad del efluente, con las que debe cumplir el diseño.

Parámetro	Concentración (mg/L)
DBO5	30
SST	30
N-total	15
P-total	15
G y A	15
SS	1 (mL/L)
Coliformes fecales	1000 NMP/100mL
Huevos de Helminto	1 huevo/L

Ahora bien, la planta está integrada por las siguientes estructuras Tabla 3, cabe mencionar que se construyó el primer módulo de 500 L/s y que falta la construcción del segundo módulo de tratamiento de 500 L/s.

Tabla 3. Estructuras que integran la PTAR “El Naranja”.

Estructura	Número de unidades
Rejillas y caja de distribución a zanjas	1
Zanjas de oxidación	2 (4)
Caja de distribución a sedimentadores	1
Sedimentadores secundarios	2 (4)
Filtros y cárcamo de efluentes	12 y 1
Edificio de sopladores para zanjas	2
Edificio de cloración	1
Tanque de recuperación de agua de lavado de filtros	1
Edificio de sopladores de filtros y espesadores	1
Espesadores	2
Edificio de filtros banda	1
Cárcamo de recirculación de agua recuperada de lodos	1
Edificio central	1
Caseta de vigilancia	1
Sub-estación eléctrica	1
Lechos de secado de natas y retenido	1

Nota: con paréntesis se presentan el número de unidades considerando la construcción del siguiente módulo de 500 L/s.

La Tabla 4, presenta los datos, que se utilizaron para el diseño de las zanjas de oxidación, éstos son indispensables para la revisión de las principales unidades de tratamiento.

Tabla 4. Datos de diseño del reactor biológico

Parámetro	Unidad	Afluente	Efluente
Gasto	L/s	1000	1000
DBO5	mg/L	400	30
SST	mg/L	350	30

Pretratamiento y bombeo

Pretratamiento

El pretratamiento del agua residual se realiza en el Cárcamo de Bombeo de Aguas Residuales “El Ciprés” que se localiza al suroeste de la Ciudad de Ensenada, con 6 equipos de bombeo radiales del tipo cárcamo seco para cubrir una carga dinámica de 79.73 metros con una capacidad de diseño de 1350 L/s.

El equipamiento del cárcamo consiste en un Desarenador, Cárcamo Húmedo, Centro de control de motores, Generador de energía de emergencia, Bodega, Oficinas, Caseta de Vigilancia, Obra exterior, Instalaciones Hidrosanitario-pluvial, Obras e instalaciones mecánicas y Eléctricas.

No existe una compuerta para regular o seccionar el flujo de entrada. Solo se cuenta con parillas de retención de sólidos de limpieza manual pero se dificulta el acceso debido a que el área de pretratamiento se encuentra normalmente inundada. El desarenador está dañado y fuera de servicio.



Figura 28. Pretratamiento en "El Ciprés".



Figura 29. Cárcamo de agua cruda.

Bombeo

En el sistema de bombeo existen problemas de baja eficiencia de los equipos debido al desgaste prematuro de partes internas en bombas, debido a la presencia de arenas en el agua bombeada. Los equipos se operan de forma manual y sin protecciones por lo que es común que se trabaje una bomba abajo del nivel mínimo de sumergencia, ocasionando con esto posible cavitación. Por otro lado, solo se tienen dos bombas en funcionamiento el resto está fuera de servicio, esto significa un alto riesgo de inundación del cárcamo de bombeo como ya ha sucedido.



Figura 30. Múltiple de descarga.

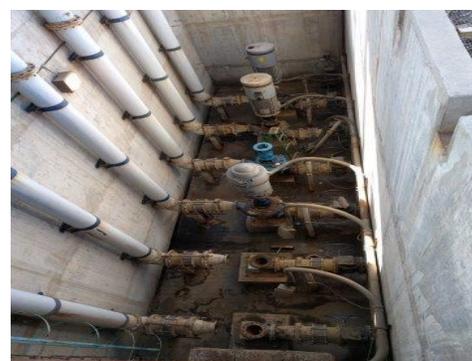


Figura 31. Equipos de bombeo en pésimo estado.

Centro de Control de Motores

Los componentes del Centro de Control de Motores (CCM'S) se encuentran sensibles a falla por recalentamiento (bobinas recalentadas) y falsos contactos (corrosión del cableado). No se cuenta con variadores de frecuencia o arreglo con arrancadores suaves (soft-start) y un variador como equipo modulante. No es posible mantener un clima controlado ya que el cuarto de controles no está sellado.



Figura 32. Centro de Control de motores.



Figura 33. Cableado expuesto.

Planta de Emergencia

Se observan goteras en el techo del cuarto de la planta de emergencia, causando daños en componentes del generador. Existen fugas en las líneas de diésel, y también señales de fugas de aceite en el generador. El radiador no presenta fugas pero ya existe corrosión en el panel. El tanque de diésel presenta corrosión y fuga en las conexiones.



Figura 34. Planta generadora de energía eléctrica de emergencia.

Subestación

Se observa en buenas condiciones. Sin embargo no tienen un programa de mantenimiento general. No se cuenta con restricción en el área.

Infraestructura

Tanto el cárcamo húmedo como el seco, se encuentran con espacios poco accesibles para maniobras, trabajos de mantenimiento, limpieza y recepción de pipas. Se puede observar un talud con asentamientos y riesgo de colapso de la infraestructura superior como son las banquetas, barandales y registros eléctricos.

Debido a que la válvula de expulsión de aire no está funcionando, la inserción del múltiple donde está instalada presenta fuga permanente. El múltiple es de hierro dúctil.

La cubierta del cárcamo seco presenta un alto grado de corrosión. Se observan recubrimientos y polines dañados.



Figura 35. Deslizamiento del terreno.



Figura 36. Pretratamiento y cárcamo de agua cruda.



Figura 37. Pipa descargando agua cruda en la entrada.



Figura 38. Válvula de aire fuera de servicio.

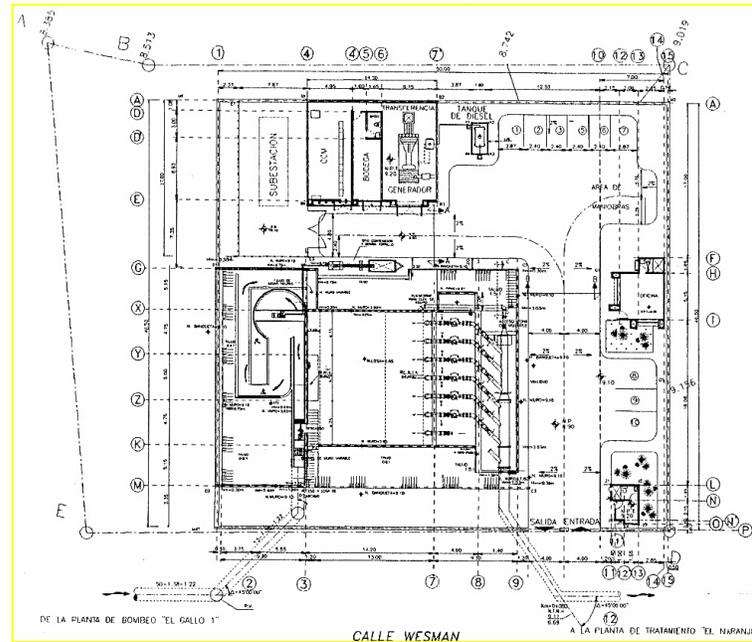


Figura 39. Plano del cárcamo “El Ciprés”

Descripción de las principales unidades de proceso en la PTAR

Caja de llegada a la planta El Naranjo

Esta estructura recibe el gasto de entrada, y permite que pueda ser desviado hacia el canal de drenaje pluvial y excedencias, en aquellos casos que se requiera sacar de operación la planta, o cuando el gasto que llega (bombeo) supere la capacidad de la misma. En esta estructura se marcan cuatro zonas diferentes: (1) de recepción, desvío de excedentes y descarga de emergencia; (2) de rejillas; (3) de llegadas de lodos de recirculación, sobrenadantes de espesadores y drenaje de filtro banda; (4) de vertedores de repartición a zanjas.

Solamente se utilizan rejillas finas, debido a que las rejillas gruesas se encuentran en el sistema de bombeo de El Gallo. Los principales problemas, encontrados en este sistema se enlistan a continuación:

- a. Control de olores.
- b. Operación de demasías.
- c. Remoción de basura y arenas.
- d. Distribución de gastos.

- e. Mantenimiento general (barandales de protección, limpieza, etc.).
- f. Rehabilitación de compuertas.
- g. Ubicación de la tubería de recirculación de lodos.
- h. Medición del afluente.



Figura 40. Caja de recepción.



Figura 41. Rejillas manuales.

Zanjas de oxidación tipo carrusel

Las zanjas de oxidación es una variante de los procesos de lodos activados con aireación extendida, con una adecuación a la forma del reactor, de tal manera que interactúan dos formas de aireación: hidráulica e inducida. Generalmente se omite en estos procesos los sedimentadores primarios, haciendo las consideraciones pertinentes en el pretratamiento, considerando que se requiere una buena eficiencia en el sistema de pretratamiento.

La planta cuenta con dos zanjas de oxidación, cada una diseñada para un gasto medio de 250 L/s, y un tiempo de residencia hidráulica de 20.3 h.

El manual de operación menciona que también le llegarán 250 L/s de los lodos de recirculación y cuando se presente el gasto máximo de aguas residuales le podrán llegar hasta 450 L/s, por lo que la unidad debe soportar todos estos cambios en el gasto de entrada al sistema.

Tabla 5. Gastos que podrían ingresar a las zanjas de oxidación (2)

Líneas de flujo y total	Gasto	Cantidad, L/s
-------------------------	-------	---------------

Aguas residuales	Q medio	250
	Q máximo	450
Lodos de recirculación	Q lodos recirculación	250
Sobrenadante	Q sobrenadante	25.7
Total	A Q medio	525.7
	A Q máximo	725.7

*Equivalente al volumen diario

Tal como indica el manual de operación y mantenimiento de la PTAR “El Naranja”, el diseño de las zanjas de oxidación tipo carrusel, se llevó a cabo considerando los parámetros que se muestran en la Tabla 4. Las observaciones que puntualizó el grupo evaluador se mencionan a continuación:

- Se requiere optimizar el sistema de aireación (difusores dañados, cambio de tres sopladores de desplazamiento positivo a centrífugos, control de O₂).
- Se observaron concentraciones altas de sólidos suspendidos en el tanque de aireación.
- Acumulación de arena.
- Recirculación sin medición, ni control de gasto.

A continuación se presentan varias imágenes que incluyen algunas descripciones observadas por el GEPTAR:



Figura 42. Zanjás de oxidación.



Figura 43. Zona aireada.

Sedimentadores secundarios

La sedimentación secundaria se realiza en dos sedimentadores y tiene por objeto separar los sólidos del efluente de las zanjas de oxidación para recircularlos al reactor biológico y mantener la concentración adecuada de sólidos suspendidos volátiles en el mismo. El licor mezclado llega al centro del tanque y sale a través de los orificios del tubo central que está cubierto con una pantalla deflectora que propicia que los lodos sedimenten; los lodos son barridos hacia la tolva en el centro del tanque, con las rastras de fondo que giran constantemente dentro del tanque.

En la parte superior de la estructura en que se fijan las rastras se tiene una placa (desnatadora) que va recogiendo las natas o grumos de flóculos que flotan y las lleva a una caja recolectora de natas, de ésta salen y van a un contenedor portátil en el que se transportan a los lechos de secado de natas y retenidos.

El agua sale de los sedimentadores superficialmente a través de vertedores dentados en "V" a 90°, éstos se encuentran adosados a los muros y tienen muescas que permiten su nivelación.

El gasto de proyecto para esta estructura es de 250 L/s más el 100% de caudal de recirculación con lo que se obtiene un caudal máximo de 500 L/s, según el manual de operación y mantenimiento. La carga superficial para gasto máximo es de 24 m³/m²-d y el tiempo de residencia hidráulica es de 3.5 h. Más adelante se presenta un cuadro con imágenes de éste sistema.

El mecanismo sedimentador incluye: mecanismo central (que está montado sobre la columna central y consta de tornamesa, base y corona interna), mecanismo de transmisión tipo 16AS (que está sujeto a la base de la tornamesa, alarma de sobrecarga, unidad de movimiento), motor reductor 1750/45 RPM con motor de ½ Hp, pasillo y barandal, columna central, jaula central giratoria, pozo de alimentación, brazos rotarios (rastras), mecanismo desnatador, vertedor del efluente y mampara de natas.

El efluente clarificado sale superficialmente por las placas vertedoras y va a los filtros, el lodo se recircula bombeándolo del fondo a la caja de llegada desde donde se envía a las zanjas de oxidación para mantener la concentración de sólidos suspendidos volátiles (SSVLM), necesarios para el proceso biológico.

Normalmente se recircula el 100% del gasto de entrada de lodos activados, sin embargo como éstos se reproducen aunque lentamente, eventualmente se desecha un volumen;

el gasto de recirculación es de 250 L/s y el desechado es de 365.35 m³/d; todos estos datos obtenidos del manual de operación de la planta El Naranjo.

Las principales observaciones realizadas por el grupo evaluador fueron las siguientes:

- a. Sedimentador fuera de servicio
- b. Acumulación de lodos en la superficie (alta carga de sólidos).
- c. Cárcamo de natas colmatado.
- d. Mantenimiento general estructural deficiente (desnatador fuera de operación, cierre irregular de vertedores, limpieza de vertedores, rastras).

A continuación se presenta el cuadro con las imágenes del sedimentador secundario.



Figura 44. Sedimentadores secundarios.



Figura 45. Sedimentador colmatado, rastras fuera de operación.

Estabilización, espesamiento, deshidratación y disposición de lodos

El lodo de desecho se envía a los espesadores, se cuenta con dos unidades, el manual de operación indica que estos funcionan en forma intermitente y secuencial para el llenado, reposo, desalojo de agua sobrenadante y bombeo de lodos espesados a los filtros banda. Para el suministro del aire necesario para la estabilización de la materia orgánica se utilizan difusores de membranas, y sirve para controlar también la generación de gases responsables de los malos olores. La digestión de lodos no se realiza de manera completa, solo parcialmente.



Figura 46. “Espesador”/Tanque de almacenamiento de lodos.



Figura 47. “Espesador” con aireación.

En el espesador se propicia la sedimentación del lodo de tal forma que en la parte superior se concentra el agua sobrenadante que se descarga superficial y gradualmente se envía al tanque de agua recuperada de los lodos.



Figura 48. Tanque de sobrenadantes y agua de lavado.

La profundidad del lodo a partir del espejo del agua sobrenadante es de 4.5 m; cuando el lodo se concentra en el fondo, se debe hacer una primera descarga, según el manual de operación, y abrir las válvulas para vaciar el primer metro de agua sobrenadante, cuando se aprecie una condición parecida se debe abrir la válvula de en medio para vaciar otro metro. El lodo se extrae del fondo y se envían por bombeo a dos filtros banda (el manual de operación y mantenimiento considera cinco).

Con respecto a los filtros banda, el lodo entra por el floculador en donde se le adiciona un polímero. En el filtro, mediante bandas y rodillos gradualmente se comprime el lodo, expulsándose de ésta forma el agua, ésta se drena y se envía a un tanque de recuperación. El lodo sale en pequeñas tortas de biosólidos que se descargan a la banda transportadora, al final de la cual se tiene un transportador helicoidal con el que se

elevan a la tolva de la que se cargan los vehículos que lo llevan al sitio de disposición final.



Figura 49. Deshidratación de lodos.



Figura 50. Tolva de lodos y llenado de camiones.

En el manual se considera que se tiene la capacidad instalada para la deshidratación de los lodos, pero en la revisión del GEPTAR se observó que las instalaciones de deshidratación de lodos, incluyendo la nueva centrífuga, se encuentran a su máximo, únicamente cuentan con dos filtros banda, aunado a esto la planta de tratamiento recibe pipas con lodos residuales de otras fuentes, provenientes del municipio y empresas privadas, por lo que la estabilización-espesamiento no se lleva a cabo según el procedimiento recomendado y además limitada por las instalaciones de deshidratación de lodos.

Lo anterior tiene implicaciones en toda la planta ya que para el caso de los sedimentadores no se purga con la frecuencia que se debe y esto provoca un incremento en los niveles de lodos, disminuyendo de esta forma la eficiencia del sistema. También provoca que en el biorreactor se incrementen en demasía la concentración de sólidos suspendidos volátiles, incrementando la producción de lodos.



Figura 51. Centrífuga deshidratadora de lodos.

Filtración en arena

La planta cuenta con doce filtros de arena que trabajan por gravedad y son de flujo descendente, actualmente se rehabilitaron seis filtros para atender la demanda de agua de mejor calidad para los usuarios de riego en la zona de Maneadero. Esto mejora en mucho la calidad del agua efluente de la planta, sin embargo se requiere optimizar la operación de los filtros y disminuir los retrolavados de los mismos.

La zona de filtración también se observa en mal estado, existen válvulas de operación mal ubicadas (Figura 54) y que nunca han sido utilizadas y su operación será imposible ya que fueron colocadas en un sitio inaccesible. El módulo que no trabaja se observa descuidado.



Figura 52. Filtros en funcionamiento.



Figura 53. Filtro fuera de operación.



Figura 54. Válvulas fuera de operación.

Desinfección y salida de agua tratada

El sistema de cloración se diseñó para 1,000 L/s con una dosificación máxima de cloro de 5 mg/L. En la PTAR El Naranjo se inyecta cloro en solución, que se obtiene por medio de la extracción de cloro gas de cilindros de 907 Kg de capacidad.

Según el manual de operación y mantenimiento de la planta, el sistema de cloración para la primera etapa (actual) consiste de dos cilindros de 907 kg interconectados en operación y dos cilindros interconectados en reserva y 12 cilindros de reserva para dar tiempo de almacenamiento de 18 días aproximadamente.

El manual también dice, que deben existir dos equipos completos de cloración, seleccionados de acuerdo a los requerimientos de cloro, estando integrados cada uno por un inyector, una bomba de ayuda y los accesorios necesarios para su interconexión. El propósito de tener dos equipos es para asegurar la continuidad de la desinfección, uno operando y otro de reserva. Las dos bombas de ayuda, deben contar con bypass y un manómetro para verificar el gasto (L/s) contra la gráfica.

La cantidad de cloro gas que se extrae de los tanques de 907 kg es medida por medio de un rotámetro que se encuentra en el clorador donde se ajusta la cantidad de cloro requerida para lograr la desinfección.

Cabe mencionar que en el recorrido de revisión, el GEPTAR observó que no se cumplía con lo indicado en el manual, ya que no existe clorador de reserva disponible. Asimismo las condiciones de seguridad de las instalaciones no son las adecuadas.

Las principales observaciones hechas por el grupo evaluador fueron las siguientes:

- a. Falta tanque de contacto de cloro (el tiempo de contacto se hace en la línea de conducción y se estima en 20 min a gasto medio).
- b. Se requiere bomba de ayuda de cloración, y clorador (equipos desinstalados).
- c. Inundación de registros.
- d. Alarma de fuga de cloro fuera de operación.
- e. 30 cilindros de 68 kg de cloro, almacenados donde no se requieren y sin sujetar.
- f. Problemas en la medición del caudal efluente.

A continuación se presenta un cuadro con imágenes del sistema de desinfección, tanto del almacén de cloro, como de la dosificación en la línea de agua (efluente de los sedimentadores secundarios), así como del cárcamo de agua tratada.



Figura 55. Tanques gas cloro de 907 kg.



Figura 56. Bombas de ayuda de cloración.



Figura 57. Rotámetros en cloradores.



Figura 58. Báscula.



Figura 59. Efluente de agua tratada.



Figura 60. Punto de dosificación de cloro.

Análisis de cumplimiento

Aun con esta información que muestra altas eficiencias de remoción, se observó que los filtros reciben concentraciones altas de sólidos y sirven para dar el pulimento necesario al proceso, a cambio de realizar más retrolavados con mayor consumo de agua y energía.

Tabla 6. Reporte de septiembre 2016 de los principales parámetros del proceso.

FECHA	PH		DQO (mg/l)		DQO EF. %	DBO (mg/l)		DBO EF. %	SST (mg/l)		SST EF. %
	E	S	E	S		E	S		E	S	
1-sep.-16	7.42	7.36	733	49	93.3	388	10	97.4	-	-	-
2-sep.-16	7.49	7.56	759	37	95.1	276	6	97.7	233	15	94
5-sep.-16	7.66	7.59	630	37	94.1	276	5	98.2	-	-	-
6-sep.-16	7.58	7.49	540	30	94.4	266	5	98.0	-	-	-
7-sep.-16	7.51	7.43	615	37	93.9	441	10	97.8	-	-	-
8-sep.-16	7.51	7.42	904	42	95.4	372	15	95.9	466	7	99
9-sep.-16	7.55	7.46	984	40	95.9	397	5	98.7	-	-	-
12-sep.-16	7.48	7.42	1539	115	92.5	668	27	96.0	400	25	94
13-sep.-16	7.55	7.48	546	98	82.1	267	7	97.3	133	7	95
14-sep.-16	7.48	7.42	790	64	91.9	374	15	96.0	-	-	-
15-sep.-16	7.48	7.36	774	51	93.4	323	8	97.5	266	13	95
20-sep.-16	7.48	7.40	442	68	84.7	215	11	95.1	-	-	-
21-sep.-16	7.50	7.43	1208	55	95.4	-	9	-	200	7	97
22-sep.-16	7.48	7.38	690	19	97.3	261	15	94.3	-	-	-
23-sep.-16	7.43	7.40	837	44	94.7	502	9	98.3	-	-	-
26-sep.-16	7.53	7.48	769	72	90.7	381	8	98.0	333	10	97
27-sep.-16	7.34	7.76	1413	51	96.4	297	28	90.7	-	-	-
28-sep.-16	7.27	7.45	922	68	92.6	544	42	92.4	-	-	-
29-sep.-16	7.56	7.48	1389	53	96.2	299	9	97.1	433	17	96
30-sep.-16	7.67	7.84	472	55	88.3	469	8	98.3	-	-	-
PROMEDIO	7.50	7.48	848	54	92.9	369	12	96.6	308	12	95.7

Representación gráfica de los parámetros de diseño y operación de las principales unidades de proceso de la PTAR “El Naranja”.

Se muestran caudales de operación y diseño, así como el rango recomendado para los parámetros considerados. Esto indica la capacidad potencial de cada unidad de proceso y su punto de falla.

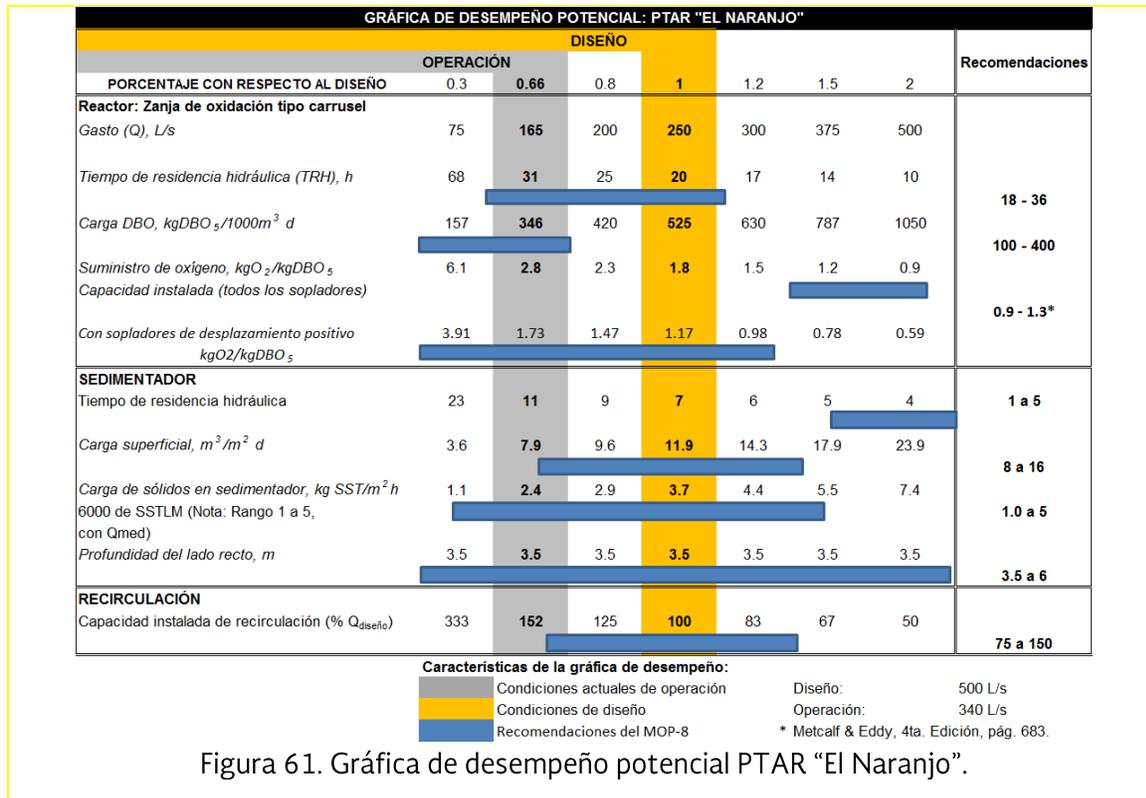


Figura 61. Gráfica de desempeño potencial PTAR "El Naranja".

Factores limitantes de desempeño

Tipo de planta: Lodos activados con aeración extendida (zanjas de oxidación tipo carrusel).

Gasto de diseño: 500 L/s

Gasto promedio de operación: 340 L/s

A continuación se presenta un resumen de los principales factores limitantes de desempeño de la planta de tratamiento de El naranjo:

- ❖ Reingeniería para la implementación de un sistema de pretratamiento dentro de la planta que permita incrementar la eficiencia en la remoción de sólidos, así como la vida útil de los sistemas de bombeo.
- ❖ Rastras en los sedimentadores secundarios: es necesaria la rehabilitación de estos sistemas que permita conservar la eficiencia necesaria para su adecuado funcionamiento.
- ❖ Caseta y almacén de cloración (se observó: una sola bomba de ayuda de cloración y clorador; la alarma de fuga fuera de operación; los cilindros de 68 Kg no estaban

- sujetados; inundación en los registros) por lo que es necesario un mantenimiento general del sistema de desinfección.
- ❖ Digestor de lodos insuficiente (se utiliza como espesador), adecuación de sistema de aeración y rehabilitación de válvulas de los digestores.
 - ❖ Insuficiencia en la deshidratación de lodos (un filtro banda fuera de servicio) y disposición inadecuada de lodos deshidratados en el terreno de la planta.
 - ❖ Medición de gastos en el influente, efluente, recirculación y purga.
 - ❖ Planeación y programación de reemplazos de equipamiento y actividades.
 - ❖ Salida del efluente (tubería de salida con diámetro de 30 pulg., tubería de entrada con 30 y 48 pulg.).
 - ❖ No se cumple a 100% con el programa de mantenimiento preventivo (70% del mantenimiento preventivo, respecto de lo programado al año).
 - ❖ Humedad en los registros eléctricos (como consecuencia se queman los motores y equipos).
 - ❖ Optimización del sistema de aeración (difusores dañados, cambio de tres sopladores de desplazamiento positivo a centrífugos).
 - ❖ Recirculación sin medición ni control de gasto.
 - ❖ Faltan pruebas y equipamientos de control automático, y manuales de operación en plantas de emergencia.
 - ❖ Un solo vehículo para transporte de biosólidos (insuficiente).
 - ❖ Rehabilitación de los caminos de acceso y vialidades internas.
 - ❖ Tiempo largo de espera para el suministro de equipos mayores.
 - ❖ Falta de personal: necesidad de un mecánico y un eléctrico.

En Tabla 7, se enlista los factores limitantes de desempeño, de común acuerdo con el grupo evaluador se asignaron las prioridades para cada uno de los aspectos.

Tabla 7. Priorización de los factores limitantes de desempeño

Rango	Clasificación	Factores limitantes de desempeño
1	A	Descompostura de rastra en sedimentador 1, afecta la calidad de salida del agua sedimentada. Nivelación de vertedores dentados, se observan canalizaciones de agua y generación de corrientes de alta velocidad que arrastran sólidos
2	A	3 bombas de 6 están fuera de servicio, una en funcionamiento intermitente por estar en mal estado y las 2 restantes en riesgo de falla por abrasión, no se tiene control de nivel de arranque y paro de bombas (se hace manualmente), falta 1 válvula de admisión de aire, Mantenimiento a válvula de admisión y expulsión en el múltiple de entrada, amperímetros y voltímetros fuera de servicio, no hay medición de gasto, Alto riesgo de inundación del cárcamo "El Ciprés"
3	A	No hay digestión de los lodos (estabilización). Disposición inadecuada de lodos. Se cuenta con 2 filtros banda en estado crítico
4	A	Suministro de cloro deficiente, baja dosificación
5	A	Aeración no uniforme en reactores (se nota escape de aire)
6	A	No funciona medidor de flujo en la salida de la planta
7	B	Medidores de gasto en caja de llegada de la PTAR fuera de servicio
8	B	No existe programa de mantenimiento
9	B	Conducciones y registros eléctricos en mal estado, falta de protección a tuberías de conducción eléctrica en pasillo de operación (filtros)
10	B	No funciona alarma de detección de cloro, Kits de emergencia dentro del área de riesgo, capacitación para el uso de kits
11	B	Impulsores (2) en reactores fuera de operación
12	B	Medición de gastos de recirculación (un equipo fuera de servicio) y purga (no existe), Una bomba de recirculación de lodos fuera de servicio
13	B	Sistema de banda transportadora de lodos en mal estado
14	B	Aplicación inadecuada de polímero en filtros banda
15	B	Lavado deficiente de filtros de arena
16	B	Vertedor de demasías por debajo de su nivel de operación
17	C	Cárcamo de recepción de retrolavado se derrama
18	C	Alta corrosión en general, pretratamiento y puertas de CCM y planta generadora de energía, falta de climatización en CCM en el cárcamo "El Ciprés", Corrosión en fontanería en caja de llegada, rejillas y barandales en general de la PTAR
19	C	Falta de cumplimiento de prácticas de higiene y seguridad, falta de señalización en general, mantenimiento general en edificios, orden y limpieza
20	C	Medidores de oxígeno disuelto y pH fuera de servicio
21	C	Asentamientos en perímetro de la estructura principal (riesgo de derrumbe y falla de estructuras) en el cárcamo "El Ciprés"
22	C	Banquetas de operación en tanque de agua de recuperación de filtros, No se tienen andadores para operación
23	C	Módulo 2 de filtros de arena fuera de servicio

Actividades de mejora de desempeño recomendaciones:

El GEPTAR recomienda un Estudio de Reingeniería que contenga de forma implícita un proyecto nuevo de ampliación y/o rehabilitación, considerando en todo lo posible las observaciones realizadas en la evaluación, siguiendo la metodología para recomendación del sistema de evaluación de la EPA, para plantas tipo 3.

Aunque se recomienden las acciones para una planta tipo 3, donde ya no es necesario detallar más, El GEPTAR recomienda acciones y actividades por cada uno de los factores limitantes de desempeño, con el objetivo de que si no se hace un nuevo proyecto, se corrijan y se mejoren las deficiencias encontradas en la planta, esperando que estas recomendaciones no queden solo como eso, si no que se conviertan de una manera priorizada, en un Programa Correctivo de Acciones, que figure en los programas de trabajo de la CESPE y del área o áreas responsables de la operación y mantenimiento de la PTAR "El Naranja".

1. Descompostura de rastra en sedimentador 1, afecta la calidad de salida del agua sedimentada. Nivelación de vertedores dentados, se observan canalizaciones de agua y generación de corrientes de alta velocidad que arrastran sólidos.
 - 1.1.Reparación de equipamiento completo del sedimentador 1, principalmente rastra y desnatador, Reparar vertedores dentados y nivelarlos, Realizar mantenimiento preventivo a sedimentadores.
2. 3 bombas de 6 están fuera de servicio, una en funcionamiento intermitente por estar en mal estado y las 2 restantes en riesgo de falla por abrasión, no se tiene control de nivel de arranque y paro de bombas (se hace manualmente), falta 1 válvula de admisión de aire, mantenimiento a válvula de admisión y expulsión en el múltiple de entrada, amperímetros y voltímetros fuera de servicio, no hay medición de gasto, alto riesgo de inundación del cárcamo "El Ciprés"
 - 2.1.Reingeniería integral del pretratamiento y bombeo, incluyendo alternativa de reubicación del cárcamo y/o del punto de descarga de demasías, es importante en lo inmediato colocar sistemas de alarma y/o automatización para control de niveles y reparación de bombas para evitar la inundación del cárcamo seco.
3. No hay digestión de los lodos (estabilización). Disposición inadecuada de lodos. Se cuenta con 2 filtros banda en estado crítico.

- 3.1. Considerar la alternativa de digestión anaerobia de lodos e implementarla en la planta para cumplir con la NOM-04 y considerar la cogeneración de energía, Localizar y tramitar sitio de descarga de lodos, ver alternativas de reúso, Reemplazo de filtros banda, considerando la alternativa de centrifugación (Gestión integral del manejo de lodos).
4. Suministro de cloro deficiente, baja dosificación
 - 4.1. Mejora en la administración para el suministro oportuno del gas cloro
5. Aireación no uniforme en reactores (se nota escape de aire)
 - 5.1. Revisión del sistema de difusión, principalmente los platos difusores
6. No funciona medidor de flujo en la salida de la planta
 - 6.1. Habilitar regleta en vertedores en las compuertas (mínimamente)
7. Medidores de gasto en caja de llegada de la PTAR, fuera de servicio
 - 7.1. Reemplazar medidores de gasto de entrada a la planta
8. No existe programa de mantenimiento
 - 8.1. Elaboración e implementación de programas de mantenimiento, Contar con un stock de equipos y refacciones críticas
9. Conducciones y registros eléctricos en mal estado, falta de protección a tuberías de conducción eléctrica en pasillo de operación (filtros)
 - 9.1. Revisión y reparación de registros eléctricos y cableados
10. No funciona alarma de detección de cloro, Kits de emergencia dentro del área de riesgo, capacitación para el uso de kits
 - 10.1. Habilitación de alarmas, reubicación de kits de emergencia y capacitación de personal para manejo seguro del cloro, Implementar un programa de simulacros de fugas de gas cloro
11. Impulsores (2) en reactores fuera de operación
 - 11.1. Reparación de impulsores y tener en stock
12. Medición de gastos de recirculación (un equipo fuera de servicio) y purga (no existe), Una bomba de recirculación de lodos fuera de servicio
 - 12.1. Reemplazo de medidor de recirculación y colocación de medidor en purga

13. Sistema de banda transportadora en mal estado
 - 13.1. Mantenimiento a rodillos de banda transportadora de lodos
14. Aplicación inadecuada de polímero en filtros banda
 - 14.1. Revisión de aplicación de polímero y optimización
15. Lavado deficiente de filtros de arena
 - 15.1. Revisión y establecimiento óptimo de retrolavado de filtros
16. Vertedor de demasías por debajo de su nivel de operación
 - 16.1. Revisión de hidráulica de la caja de llegada para establecer el nivel de demasías
17. Cárcamo de recepción de retrolavado se derrama
 - 17.1. Implementación de control de nivel en cárcamo de salida de agua filtrada
18. Alta corrosión en general, falta de climatización en CCM en el cárcamo "El Ciprés"
 - 18.1. Incluir en el programa de mantenimiento la rehabilitación de estructuras metálicas y fontanería, Instalación de equipos de refrigeración
19. Falta de cumplimiento de prácticas de higiene y seguridad, señalización, mantenimiento general en edificios, orden y limpieza
 - 19.1. Cumplimiento a las normas de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, Elaboración e implementación de programa de conservación
20. Medidores de oxígeno disuelto y pH fuera de servicio
 - 20.1. Reemplazo de medidores de oxígeno en línea, en zanjas de oxidación
21. Asentamientos en perímetro de la estructura principal en el cárcamo "El Ciprés"
 - 21.1. Revisión de asentamientos diferenciales, Rehabilitación de la estructura dañada
22. Banquetas de operación en tanque de agua de recuperación de filtros, No se tienen andadores para operación
 - 22.1. Construcción de banquetta de operación
23. Módulo 2 de filtros de arena fuera de servicio
 - 23.1. Habilitación de módulo 2 de filtros de arena

Auditoría Energética

En el informe de COCEF, se presentan los resultados de la Auditoría y se describe cada una de las oportunidades identificadas con la finalidad de asegurar que se entienda bien el sistema afectado. También se presentan estimaciones de los ahorros energéticos y los costos de implementación anuales de cada proyecto, así como el tiempo aproximado para lograr la recuperación simple de la inversión. El cálculo de los ahorros y costos se basa en la limitada información que se recabó durante la evaluación y en las posibles modificaciones operativas a las instalaciones, conforme a las recomendaciones que arroja la Auditoría.

En el período auditado, el costo total en materia de energía necesario para operar y mantener El Naranja ascendió a \$9, 567,000 (pesos) anuales. Con un consumo energético total de 6, 669,000 kWh anuales, se puede calcular un costo promedio de \$1.43/kWh para el consumo general de las instalaciones. Para la planificación y elaboración de presupuestos se requieren estimaciones de la demanda y los costos futuros de las instalaciones, las tendencias y la normatividad de la industria, así como los pronósticos regionales en su conjunto.

El objetivo de la Auditoría Energética es ayudar a las instalaciones a identificar su punto óptimo de eficiencia energética, los ahorros derivados de las medidas de conservación de energía, modificación del proceso y energía renovable calculados en forma conservadora e identificados en esta Auditoría permitirían reducir el consumo de energía suministrada por la red eléctrica en aproximadamente un 75 por ciento, y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en aproximadamente 2,950 toneladas de CO₂ al año.

Se estima que los proyectos recomendados tendrían un costo de aproximadamente 116 millones de pesos y un tiempo de recuperación simple de la inversión de alrededor de 10 años.

Producción de energía

La estabilización anaerobia de los lodos producidos durante el tratamiento de las aguas residuales genera biogás como subproducto, el cual puede ser aprovechado para la producción de energía utilizable en el tratamiento aerobio de las aguas residuales, disminuyendo el consumo de energía provista por la red convencional (CFE) y, por ende, los costos de operación.

El aprovechamiento del biogás proveniente del tratamiento de los lodos residuales debe ser visto como una fuente de energía renovable y limpia, pues reduce la emisión de gases de efecto invernadero al disminuir el consumo de las fuentes convencionales de energía.

La generación de energía está directamente relacionada con la carga orgánica que entra al sistema y a la modalidad del proceso de tratamiento. En aquellas plantas con aireación extendida y que operen a un gasto cercano o superior a su gasto de diseño, es conveniente revisar la pertinencia de una reingeniería a modalidad convencional para el aprovechamiento de los lodos residuales generados durante el proceso y determinar el posible costo-beneficio de esta reconversión, sin alterar la calidad del efluente tratado.

El biogás es una alternativa viable para la producción de energía eléctrica y calor en sistemas de cogeneración, para la red eléctrica o para uso como combustible en vehículos.

La factibilidad del aprovechamiento del biogás está dada por la producción del mismo. En este estudio se analizaron las PTARs con un gasto de diseño de al menos 200 L/s. Las plantas de tratamiento revisadas en este trabajo no operan a su gasto de diseño, y en general apenas se utiliza el 65% de la infraestructura instalada. Esto se debe a que muchas de las localidades no cuentan con una red de alcantarillado sanitario que garantice la recolección total y el envío de las aguas residuales hasta la planta de tratamiento, los colectores o drenajes presentan roturas, o están en proceso de construcción y/o rehabilitación.

En lo que respecta a la producción de energía eléctrica y de acuerdo con los fabricantes de sistemas de cogeneración, lo más adecuado es que los motores operen las 24 horas del día. En este sentido, la factibilidad del sistema se planteará en función de la producción del biogás necesario para alimentar al motor para que opere en continuo.

El caso de la planta de tratamiento “El Naranja”, por su producción de lodos y posible producción de biogás, cae en la opción de operar en continuo con motores “Caterpillar” ya que generaría del orden de 2,653 m³/d de biogás.

En estudios recientes se ha visto que la modalidad de lodos activados convencionales produce aproximadamente el doble de energía que la modalidad de lodos activados de aeración extendida, debido a que el proceso de lodos activados, en su modalidad de aireación extendida o zanja de oxidación, tiene tiempos de retención mucho mayores y privilegia la oxidación de la materia orgánica en el reactor biológico.

Reúso de agua tratada

Debido a la escasez de agua en la región, es muy importante reusar agua residual tratada en diferentes actividades, para ello se diseñó la planta de tratamiento de aguas residuales de “El Naranjo”, misma que actualmente opera con la problemática anteriormente descrita, sin embargo, aun así produce agua con la calidad suficiente para el reúso en terrenos de cultivos con restricciones.



Figura 62. Reúso agrícola.



Figura 63. Reservorio con agua residual tratada.

Es práctica actual enviar el agua residual tratada hacia la zona de Maneadero en los terrenos de cultivo que han estado regándose con esta agua, lo que permite el lavado de los suelos, al ser salinos por las prácticas anteriores de riego con agua de pozos con alto contenido de sales, debido a la intrusión salina.



Figura 64. Zonas de cultivo en Maneadero.



Figura 65. Invernadero regado con agua residual tratada.

Los usuarios de esta línea de agua tratada, almacenan el agua en reservorios, proporcionando una calidad adicional al volver a filtrar el agua tratada y en ocasiones

disminuyen el contenido de sales a través del proceso de ósmosis inversa, dependiendo de la calidad requerida por sus cultivos.



Figura 66. Reunión con usuarios de riego de Maneadero.



Figura 67. Reservorio de agua tratada para riego agrícola.

Hace aproximadamente dos años, se inició la práctica de cultivar flores para exportación, utilizando los terrenos existentes en Maneadero. Siempre existió incertidumbre y cierta negativa al uso de agua residual tratada, pensando que las flores no pudieran exportarse, sin embargo, se ha iniciado esta actividad con amplia aceptación comercial.

La asociación de usuarios de riego de la región se ha organizado y cada vez es mayor la demanda de agua tratada, de tal manera que en la actualidad se aprovechan 160 hectáreas y se pretende llegar a las 500 hectáreas en corto plazo, por lo que la PTAR deberá estar rehabilitada y ampliada de acuerdo con el estudio de reingeniería que tendrá implícito el proyecto ejecutivo, para que la PTAR pueda trabajar al máximo de su capacidad de expansión, ya que se contempla utilizar toda el agua tratada (1,000 L/s) en esa zona. Cabe hacer notar que esto ha generado una oferta de trabajo para los pobladores de la zona de Maneadero principalmente, y una derrama económica importante al ser productos de exportación con gran aceptación en varios países.



Figura 68. Flores de exportación.



Figura 69. Girasoles de exportación.



Figura 70. Área de terminado y empaqueo de producto.



Figura 71. Cuarto frío con cajas para exportación.

Por varias razones, como es el reusar las aguas residuales tratadas, disminuir la contaminación en la Bahía de Todos Santos, evitar la descarga de demasías en la obra de toma de la desaladora de Ensenada, es prioritario atender y resolver la problemática que se presenta ahora, hasta lograr la rehabilitación y/o reconversión del cárcamo “El Ciprés” y la PTAR “El Naranja”, de otra manera no se cumplirá con el objetivo de saneamiento y reúso establecidos en la legislación.

Mensaje del grupo

Los integrantes de este grupo evaluador, deseamos que nuestra participación durante los días que permanecemos trabajando en la evaluación integral operativa de esta planta de tratamiento, los comentarios y discusiones técnicas sobre los procesos evaluados, la información generada in situ, y posteriormente la asesoría y seguimiento de las recomendaciones sobre la operación de la planta, logren contribuir en la optimización de las prácticas operativas, así como en la capacitación del personal del Grupo Evaluador de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (GEPTAR); y ahora finalmente con este **INFORME INTEGRAL DE DESEMPEÑO OPERATIVO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL “EL NARANJO”**, de la ciudad de Ensenada, BC, dejar constancia de lo realizado y de lo recomendado.

5 ANEXO

Se anexa la lista de participantes en la Evaluación Integral Operativa de la PTAR Las Arenitas:

No.	NOMBRE	ORGANISMO	TELÉFONO	CORREO ELECTRÓNICO
1	Jesús Roberto Serrano Morales	CESPE	(646) 116-4412	roberto.serrano@cespe.gob.mx
2	Lorenzo Pérez Moya	CESPE	(686) 120-0097	lorenzo.perez@cespe.gob.mx
3	Jesús Iban Leal Moreno	CESPM	(686) 107-1155	jleal@cespm.gob.mx
4	Miguel Cuevas Guerrero	CESPM	(686) 135-1858	mcuevas@cespm.gob.mx
5	Amado Godoy Pérez	CESPM	(686) 190-8089	agodoy@cespm.gob.mx
6	Christian Fernando Manjarrez Jiménez	CESPM	(686) 213-3695	cmanjarrez@cespm.gob.mx
7	Concepción Ramos Quiñonez	CESPTE	(665) 654-5848	cramosq@cespte.gob.mx
8	Cristino Bañuelos Ortiz	CESPTE	(665) 851-2450	-
9	M. Socorro Romero Hernández	UABC	(686) 157-7728	sromero@uabc.edu.mx
10	Luz Estela Salazar Escalante	UABC	(686) 179-0066	estela.salazar@uabc.edu.mx
11	Misael Rodríguez Ramírez	SUEZ Tijuana	(664) 252-3040	misael.rodriguez@degremont.com.mx
12	José de Jesús Meléndez Macías	CEABC	(664) 622-4956	jjesusmm@ceabc.gob.mx
13	Gabriela Ramírez Robledo	CIICAP	(777) 223-6891	ramirezrob.gabriela@gmail.com
14	Antonio Ramírez González	IMTA	(777) 329-3622	tramirez@tlaloc.imta.mx