

Tratamiento y Calidad del Agua

Potabilización

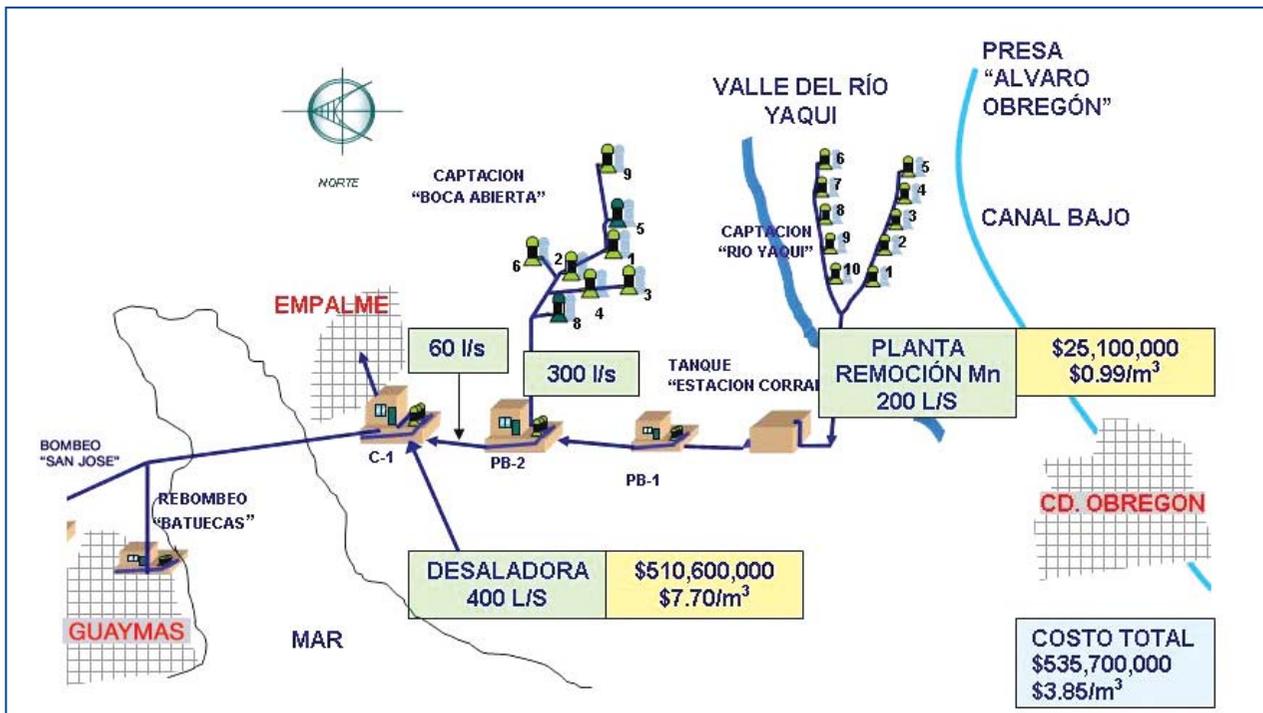
Pemex Refinación solicitó al IMTA el dictamen de factibilidad técnica, económica y ambiental sobre la instalación de una planta desmineralizadora en la refinería Ing. Héctor R. Lara Sosa en Cadereyta, N.L. En este contexto, se revisó la pertinencia de la tecnología propuesta para tratar el agua, los cálculos para el diseño del proceso y las consideraciones para el desarrollo de la infraestructura; se plantearon distintos escenarios para determinar la rentabilidad del proyecto y se analizó la viabilidad de implantar las acciones propuestas en el *Informe preventivo de evaluación del impacto ambiental (IPEIA)*. Se determinó que la tecnología propuesta para procesar el agua y la infraestructura de soporte del proyecto son adecuadas; los flujos de efectivo del proyecto son suficientes para rembolsar el capital invertido y para proporcionar la tasa de rendimiento requerida sobre el capital. Así también se determinó que la afectación al medio ambiente es limitada y que Pemex tiene la capacidad para desarrollar, integrar y ejecutar las acciones ambientales planteadas en el IPEIA, dictaminándose finalmente que el proyecto es técnica, económica y ambientalmente factible.

Por encargo de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Sonora se llevó a cabo un proyecto para determinar la mejor alternativa para potabilizar agua para el suministro de Guaymas, Son. Se analizaron y caracterizaron las fuentes actuales: Sistema Boca Abierta y Acueducto Yaqui-Guaymas; y las potenciales: Canal Principal Bajo y agua de mar. Los resultados de la caracterización muestran agua de buena calidad en Boca Abierta; alto contenido de manganeso en el acueducto Yaqui-Guaymas, y presencia de color, olor y turbiedad en el Canal Principal



PRESENCIA DE MANGANESO EN LOS POZOS DEL VALLE DEL RÍO YAQUI

Bajo. Asimismo, el sitio de muestreo de agua de mar presentó cromo y plomo. Se llevaron a cabo pruebas de tratabilidad para la remoción de manganeso, aplicando tasas de filtración entre 17 y 22 m³/m²/h, encontrando remociones mayores al 95% para manganeso y 94% para turbiedad. Además, se plantearon escenarios con diferentes gastos de aportación de las fuentes para cubrir la demanda de Guaymas y Empalme, Son., hasta el año 2030. Los costos de tratamiento en función del caudal planteado son de 0.65 a 1.00 \$/m³ para remoción de manganeso; de 1.18 a 1.34 \$/m³ para clarificación convencional y de 6.90 a 8.51 \$/m³ para desalación de agua de mar. Se desarrollaron los proyectos conceptuales de las plantas de remoción de manganeso de 200 l/s y desalación de 400 l/s. De siete escenarios analizados, incluyendo factores sociales y económicos, se concluyó que la mejor alternativa es continuar con la extracción de 340 l/s del acuífero de Boca Abierta y desalar 400 l/s de agua de mar, con un costo de tratamiento del agua mezclada de \$3.85/m³, además de trabajar con un



ANÁLISIS DE COSTOS DEL ESCENARIO NÚMERO 4 PROPUESTO PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA CIUDAD DE GUAYMAS, SONORA

programa integral de recuperación de pérdidas en los sistemas de abastecimiento de Guaymas y Empalme.

Con financiamiento del Fondo Mixto Conacyt-Gobierno del Estado de Morelos se llevó a cabo un estudio sobre sistemas para la captación y potabilización de aguas pluviales para uso y consumo humano en comunidades rurales del norte de Morelos. Para el caso de Villa Nicolás Zapata, Totolapan, Mor., se elaboró el proyecto ejecutivo de un sistema de filtración en múltiples etapas modificado y se construyó la planta para dar servicio a 293 habitantes, con una dotación de 50 l/hab/d y un caudal de 0.53 l/s. En las pruebas de tratabilidad se obtuvieron eficiencias promedio de eliminación de turbiedad del 94.5% y color del 93.3%, obteniendo una calidad de agua que cumple con la NOM-127-SSA1-1994 *Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. En Jumiltepec, Mor., a partir del área de captación de agua de lluvia del techo de la iglesia de Sacromonte, se instalaron las líneas de conducción, el filtro de grava-arena sílica y se excavó e impermeabilizó una cisterna de 228 m³, con lo que se abastecerá de agua a una familia y a la propia iglesia, asegurando la disponibilidad de líquido en la época de estiaje.

En relación con la aplicación de la tecnología de remoción de hierro y manganeso, de la cual el IMTA ostenta una patente, se brindó asesoría a la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Camargo, Chih., para el arranque y estabilización de la planta municipal. La eficiencia de remoción de manganeso lograda en esta planta es superior al 99.5%. Para Casas Geo de Acapulco, Gro., se diseñó una planta para el conjunto habitacional Puente de Mar y se brindó asesoría para reconfigurar la planta existente en el conjunto Joyas del Marqués; en ambos casos se efectuaron los trabajos para su arranque y estabilización.

Calidad del agua

Para dar continuidad a las investigaciones sobre la desinfección de agua mediante fotocátalisis heterogénea, se han realizado diversas pruebas aplicando dióxido de titanio depositado en vidrio y en papel. Estas técnicas se ensayaron tanto en un equipo autónomo de desinfección y de remoción de materia orgánica desarrollado en España, como en botellas de agua que son directamente expuestas al sol. En el primer caso se logró la remoción de coliformes fecales y totales tras dos horas de exposición continua al sol.

Se determinó que, cuando la energía es mayor que 800 W/m^2 , no hay recrecimiento de coliformes en el agua tras el tratamiento y que, para energías menores, se presenta un recrecimiento moderado. Por otro lado, el equipo no es capaz de controlar la presencia de *Pseudomona spp*, permitiendo la generación de biopelículas en el interior del sistema. Para el caso de botellas de plástico con agua expuestas a la misma radiación del sol, la eficiencia de reducción de organismos coliformes totales con treinta minutos de exposición es de 100% y no se presenta recrecimiento. En pruebas realizadas para la desinfección de agua contaminada con huevos de helminto, la técnica de fotocatalisis con dióxido de titanio depositado en vidrio redujo la viabilidad de los huevos en 100%. Esto significa que después del tratamiento los parásitos son incapaces de desarrollarse en un organismo huésped. Este resultado contrasta con la viabilidad de los huevos de helminto de 70% en agua sin tratamiento. Dado que actualmente la elaboración de anillos de vidrio con dióxido de titanio es manual y lenta, se han ensayado pruebas para medir la capacidad de desinfección, aplicando el dióxido de titanio en suspensión con concentraciones menores a 1 mg/l . Hasta ahora los resultados no superan al tratamiento con dióxido de titanio depositado en vidrio.

En colaboración con el Instituto de Historia Natural y Ecología de Chiapas se realizó un estudio ambiental en la laguna El Limón, adyacente al Complejo Procesador de Gas Cactus, en Reforma, Chis. En este estudio se realizaron muestreos de agua y sedimento, se efectuaron aforos y muestreos de cinco descargas de

agua residual que vierten a la laguna, así como de su principal afluente. Con esto, se determinó que en la columna líquida de la zona de influencia de la descarga del complejo se presenta anoxia en la superficie y el fondo de la laguna, toxicidad y elevadas concentraciones de nitrógeno amoniacal y sulfuros. En sedimentos se encontraron nitrógeno amoniacal, sulfuros, toxicidad y diversos metales, como cromo, zinc y níquel. Las concentraciones de los dos últimos contaminantes rebasan los límites internacionales para que la biota muestre efectos en el 60% de la población. La modelación de calidad de agua en la laguna mostró que los sedimentos controlan los ciclos de nutrientes en la laguna, de manera que es necesaria una reducción de 50% en la descarga de DQO para reducir la anoxia en la laguna e incrementar la concentración de oxígeno disuelto a 5 mg/l , a fin de cumplir con los Criterios Ecológicos *Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales* (1989) en su rubro de protección de la vida acuática en embalses. Como medidas de rehabilitación, se proponen el establecimiento de condiciones particulares de descarga en las descargas municipal y del Complejo Cactus, la remoción de lirio acuático en zonas específicas, la reducción de nutrientes mediante pesca selectiva de especies acuáticas, el acondicionamiento químico de los sedimentos para reducir la movilidad de los metales y la anoxia, la regulación de la producción de biomasa a través de la modificación de la cadena trófica y la aireación artificial de la zona poniente de la laguna.



DESINFECCIÓN DE AGUA CON ENERGÍA SOLAR Y DIÓXIDO DE TITANIO



EQUIPO AUTÓNOMO DE DESINFECCIÓN DE AGUA MEDIANTE ENERGÍA SOLAR

Como parte de las acciones que el IMTA realiza en la cuenca Lerma-Chapala, se realizó una evaluación de la salud ambiental de 38 embalses de la cuenca, mismos que fueron seleccionados por su tamaño y vulnerabilidad. La evaluación se llevó a cabo mediante tres muestreos de agua y sedimento en 53 sitios y sus correspondientes análisis. Se encontró que 26 embalses presentan condiciones eutróficas. Sobresale que las presas Las Alazanas y Santa Catarina presentaron gran cantidad de sólidos suspendidos, dando origen a una transparencia de la columna de agua nula. Por otro lado, la presa Tepuxtepec muestra deficiencia marcada de oxígeno disuelto en época de lluvias, ya que tuvo sólo 0.8 mg/l en la superficie, muy por debajo de 5.0 mg/l que corresponde al límite establecido en el rubro de protección de la vida acuática en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. Se confirmó la presencia de arsénico en la laguna de Cuitzeo, donde se encontraron valores de 0.58 y 0.14 mg/l en el estiaje y en época de lluvias, respectivamente. Estos valores rebasan el límite de 0.1 mg/l establecido para riego agrícola en los mencionados criterios ecológicos. Del análisis de compuestos orgánicos semivolátiles, se detectó la presencia de atrazina en varias estaciones del lago de Chapala. Se calculó el Índice de Calidad del Agua (ICA) en los embalses, de acuerdo con el uso posible, encontrándose que para abastecimiento de agua, el 11% de los embalses se clasifica como contaminado, el 84% como poco contaminado y sólo el 5% como aceptable. De todos los embalses evaluados, la presa El Mastranzo resultó la más contaminada con alta presencia de metales en sedimentos. Se considera importante formular acciones de seguimiento para el saneamiento y control de los embalses de acuerdo con el tipo de contaminación encontrada. Además, se observó que el ICA es perfectible, ya que embalses con agua y sedimentos contaminados presentan valores de dicho índice que implicarían clasificarlos como de buena calidad.

Tratamiento de aguas residuales

Para contribuir a resolver la problemática de las descargas de aguas residuales de los ingenios azucareros, se desarrolló un proyecto con el Ingenio San Rafael de Pucté en Chetumal, Q.R., para el tratamiento de

sus aguas residuales que le permitiera cumplir con la NOM-001-SEMARNAT-1996 *Que establece los límites máximos de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*. Para ello, se efectuó un diagnóstico y una evaluación del sistema actual de tratamiento, se caracterizaron las descargas y se estudió el manejo del agua en las instalaciones. Así, se determinó que el 91% de la materia orgánica en la descarga se presenta en forma soluble. Se realizaron las pruebas de tratabilidad del agua residual y se determinó que el mejor sistema de tratamiento es el conformado por un reactor anaerobio de flujo ascendente y lecho de lodos, seguido de un proceso de lodos activados, obteniendo con esto una remoción mayor al 80% de la DQO en la etapa anaerobia y una remoción del 98% de la DBO₅ para el sistema completo. Con esta información se desarrolló el proyecto conceptual del tren de tratamiento de la nueva planta que traerá beneficios tangibles, entre los que destacan la mitigación de los impactos al medio ambiente y el reúso de las aguas tratadas en los campos de cultivo.

La refinería Ing. Antonio M. Amor, ubicada en la ciudad de Salamanca, Gto., está conformada por 53 plantas de proceso, las cuales elaboran 42 productos terminados. En el proceso de refinación de petróleo crudo se generan efluentes con un alto contenido de hidrocarburos, grasas, aceites, sulfuros y fenoles que son conducidos hasta un sistema de tratamiento, que actualmente recibe tanto aguas municipales como industriales. Las aguas de desecho provenientes de



SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LA REFINERÍA ANTONIO M. AMOR.
SALAMANCA, GUANAJUATO



PRUEBAS PILOTO DE TRATABILIDAD DE AGUAS CONGÉNITAS

todos los procesos que se efectúan en la refinería se desalojan mediante cinco sistemas de alcantarillado: drenaje aceitoso, drenaje químico, drenaje sanitario, aguas de enfriamiento y drenaje pluvial. El IMTA llevó a cabo un proyecto con la refinería, en el que se determinaron 24 puntos de muestreo con el propósito de calcular la carga contaminante en cada uno de estos drenajes, a fin de determinar cuáles son susceptibles de recibir un pretratamiento antes de incorporarse a la línea general de drenaje y evitar, así, un impacto negativo en el proceso biológico de tratamiento. Se identificaron cuatro descargas que, por sus altos contenidos de grasas y aceites (hasta 1 kg/l), DQO (hasta 1,000 kg/l) y fenoles, deben ser segregadas de manera inmediata. Los valores de toxicidad en el colector final alcanzan las 113 UT. A pesar de las altas cargas de ingreso, el sistema lagunar de pretratamiento logra proporcionar un influente a la planta con una concentración de grasas y aceites promedio de 30 mg/l y una DQO de 200 mg/l. Se revisaron las memorias de cálculo de la planta de tratamiento, el diagnóstico y la evaluación de la misma, de donde se identificaron algunos problemas en la operación, recomendando acciones específicas para su mejor desempeño. Entre éstas, resalta la reingeniería del filtro principal, en el que se propuso la modificación de las estructuras de entrada y salida, y el cambio de medio filtrante.

El agua residual de la desalación del petróleo, llamada agua congénita, contiene minerales en altas concentraciones, además de compuestos orgánicos tales como aceites, hidrocarburos ligeros y aromáticos. Esta agua se puede reutilizar para el desplaza-

miento del petróleo crudo inyectándola en el subsuelo. Para evitar el fenómeno de colmatación, se requiere acondicionar al agua, removiendo los contaminantes precipitables o adsorbibles que pueden perjudicar el funcionamiento de los pozos de inyección y la difusión del agua en el subsuelo. En colaboración con el IIE, se realizó para Pemex un estudio de la tratabilidad físico-química del agua congénita con el fin de seleccionar el mejor sistema para el tratamiento y reúso del agua tratada en los pozos de inyección al subsuelo. Para ello, se hizo la caracterización del agua identificando los principales contaminantes por remover. El estudio de tratabilidad se llevó a efecto con pruebas en laboratorio aplicando procesos de precipitación, coagulación y sedimentación, así como oxidación química, filtración, adsorción, desorción e intercambio iónico. Se determinaron las mejores dosis de los reactivos químicos seleccionados con base en la efectividad de los procesos y se identificaron los mejores materiales de filtración y adsorción, las condiciones de retrolavado, los parámetros de desorción para la remoción de bicarbonatos y las capacidades de las resinas de intercambio iónico. Con base en el análisis de los resultados se seleccionaron las alternativas del tren de tratamiento. A nivel piloto se efectuó la simulación física de dichas alternativas, se optimizaron los procesos y se determinaron los parámetros de diseño del sistema de tratamiento. Los resultados obtenidos en este proyecto permitirán diseñar el tren de tratamiento de las aguas congénitas de la planta de extracción Pemex-Poza Rica, de acuerdo con las características particulares del agua. La implementación de la



AGUA RESIDUAL TRATADA A LA SALIDA DEL HUMEDAL DE SANTA FE DE LA LAGUNA, QUIROGA, MICHOACÁN

tecnología permitirá a Pemex extender la experiencia a otras plantas de extracción, aplicando la misma metodología de diseño de los sistemas de tratamiento.

Como parte del Programa para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro se han ejecutado varias acciones para el saneamiento del lago, utilizando la tecnología de humedales artificiales. En este contexto, se terminó la instalación del humedal que tratará las aguas residuales de la localidad de Santa Fe de la Laguna, en Quiroga, Mich. Este humedal se diseñó para un caudal de 3.0 l/s y da servicio a 3,000 habitantes. La infraestructura es operada por la propia comunidad, para lo cual se capacitó a sus pobladores. También se trabajó en el diagnóstico y propuesta de rehabilitación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la isla de Janitzio. Al respecto, se evaluó su eficiencia de operación y se propusieron las mejoras pertinentes para cumplir con la normatividad de la descarga, especialmente en los casos de nitrógeno y fósforo, principales causantes de la eutroficación del lago. Entre las acciones más importantes figuran la construcción de trampas de grasas y un sedimentador, así como el rediseño de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y lodos, y la mejora en los sistemas de difusión de aire. Adicionalmente, se ofreció el curso-taller *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de lodos activados*, al que asistieron 33 operadores de las plantas de tratamiento de la ribera del lago.

Hidrobiología y evaluación ambiental

Con apoyo del Fondo Sectorial Conacyt-Sagarpa, se desarrolló una formulación micoherbicida para el control del lirio acuático con base en dos hongos patógenos nativos de México, específicos del lirio acuático, un agente de protección de rayos ultravioleta y un agente humectante. Se realizaron análisis de mutagenicidad y de toxicidad a la formulación, determinándose que no produce efectos tóxicos en el ambiente. Se solicitó ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial el registro de patente de esta formulación.

A solicitud de la Gerencia Regional Balsas de la Conagua se llevó a cabo un estudio para el monitoreo biológico de la calidad del agua en ríos caudalosos, en el que se desarrollaron métodos de análisis biológicos



MUESTREO DE INDICADORES BIOLÓGICOS EN EL RÍO AMACUZAC, MORELOS

gicos simplificados con la finalidad de determinar la calidad del agua en los cuerpos de agua. En esta metodología, la comunidad de macroinvertebrados que vive dentro o sobre el sedimento, es utilizada como indicador de la calidad del agua. Los índices de diversidad y bióticos del monitoreo biológico se aplicaron en tres estaciones del río Amacuzac y tres del río Balsas. En el río Amacuzac se colectaron durante el estiaje 2,128 organismos clasificados en 41 familias, y 456 organismos clasificados en 34 familias en la época de lluvias. Por otra parte, en el río Balsas, durante el estiaje se colectaron 126 organismos clasificados en veinte familias, y 53 organismos pertenecientes a 22 familias en la época de lluvias. Se determinó que el agua de la estación Papalutla en el río Balsas y la estación Amacuzac, sobre el río del mismo nombre, tiene una excelente calidad. Asimismo, se concluyó que el monitoreo biológico es una herramienta confiable y útil en la determinación de la calidad del agua en ríos con abundante caudal. Finalmente, la metodología se transfirió, mediante un esquema de asistencia técnica,



VISTA EN MICROSCOPIO ESTEREOSCÓPICO DE UNO DE LOS ORGANISMOS ENCONTRADOS EN EL LECHO DE LOS RÍOS AMCUZAC Y BALSAS, CUYA PRESENCIA INDICA BUENA CALIDAD DEL AGUA

al personal involucrado en la operación de las estaciones de la Red Nacional de Monitoreo de Calidad del Agua, a cargo de la Comisión Nacional del Agua.

También para la Gerencia Regional Balsas de la Conagua, se llevó a cabo el estudio de clasificación del río Atoyac en Puebla y Tlaxcala. Para ello, se realizaron dos campañas de muestreo y aforo en la época de estiaje en 84 estaciones del río, de sus afluentes y de las fuentes puntuales de contaminación. De las 42 descargas industriales monitoreadas, el 35.7% corresponde a la industria textil y el 21.4% a la químico-farmacéutica. Las cargas de contaminantes más relevantes para la subcuenca del río Atoyac son las aportadas por las poblaciones Santa María Xalmimilulco, San Martín Texmelucan, San Miguel Xoxtla y Papalotla de Xicoténcatl. Por otro lado, las principales descargas industriales contaminantes corresponden al Complejo Petroquímico Independencia; Spintex, S.A. de C.V.; la descarga B de CIBA Especialidades Químicas México, S.A. de C.V., y a Ricolino. Se determinó que la capacidad de asimilación del río está sobrepasada por la carga contaminante aportada por las descargas. Los valores de oxígeno disuelto disminuyen desde 7.64 mg/l hasta un nivel de marcada anoxia con 0.13 mg/l, punto a partir del cual el siste-

ma ya no se logra recuperar. La DBO_5 en el arroyo Atenco, afluente del Atoyac, alcanza 1,263 mg/l. Los resultados promedio de toxicidad indican que se presenta mayor toxicidad en las descargas industriales, con un valor promedio de 25.5 UT, seguidas por las descargas municipales, con 19.2 UT. En el estudio se detectaron 31 descargas industriales que incumplen la NOM-001-SEMARNAT-1996 y nueve que la satisfacen. Las diez descargas municipales no cumplen con la norma. Con respecto a las plantas de tratamiento, las seis instalaciones analizadas rebasaron alguno de los parámetros básicos de la norma, principalmente en DBO_5 , coliformes fecales, grasas y aceites, y sólidos suspendidos totales. Con la modelación matemática de la calidad del agua del río, en las seis zonas en que se dividió la corriente, se obtuvo que a partir de la zona aguas abajo del poblado de San Martín Texmelucan, inmediatamente aguas arriba de la presa Valsequillo, la carga de DBO_5 se incrementa hasta 80 t/d, por lo que la materia orgánica no llega a ser degradada, sobrepasando su capacidad de asimilación. Finalmente, con esta información se generó el *Anteproyecto de clasificación del río Atoyac, Puebla-Tlaxcala*, el cual será la base para la asignación de sus condiciones particulares de descarga.