

Mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales de la Industria láctea para cumplir con la normatividad ambiental vigente

Registro asignado por la SIP **20120909**
Tipo de proyecto: **Corto plazo**
Director del proyecto: **Roberto Valencia Vázquez**
Unidad de Adscripción: **CIIDIR-DURANGO**

1. Resumen

La empresa SCP Quesería Holanda SCL, ubicada en el municipio de Nuevo Ideal, Durango, cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales híbrido que no cumple con los estándares de calidad establecidos por la CONAGUA (NOM-001-SEMARNAT-1996). Y cambios recientes a la infraestructura de la planta sugieren que la situación puede agravarse debido a la nueva conexión de los servicios sanitarios (incremento del contenido de coliformes fecales) al sistema de tratamiento. El sistema de tratamiento está compuesto por un desnatador, un digestor anaeróbico, un humedal de flujo superficial y una laguna de maduración. El monitoreo del sistema indica que el digestor anaeróbico no está funcionando debido a los bajos niveles de pH del efluente, lo cual impide la anaerobiosis. El humedal de flujo superficial no ha logrado poblarse en su totalidad y existen muchos compartimentos sin planta, por lo tanto no cumple su función depuradora. La laguna de maduración tiene un TRH muy bajo lo cual impide que los sólidos se precipiten por lo tanto se incumple con la norma en cuestión. El objetivo de investigación es modificar el sistema de tratamiento mediante la cancelación del digestor anaeróbico y cambio de los humedales a flujo subsuperficial para incrementar la superficie de contacto para tratamiento, seguido de una campaña de replantación de 2 especies de plantas semi-acuáticas (*Shoenoplectus americanus*). Sin embargo, estos cambios deben de ser estudiados primero en un prototipo de las mismas características (tirante, TRH, tipo de planta), para después evaluar la posibilidad de implementarse a escala real.

2. Introducción

Los humedales naturales son zonas de superficie terrestre que se encuentran saturadas de agua de manera temporal o permanente y que ayudan a los ecosistemas a llevar a cabo los procesos de purificación del agua en el que influyen factores climáticos, biológicos hidrológicos, geográficos, y la interrelación de los seres vivos que ahí habitan. Dichas cualidades han motivado al hombre a establecer humedales artificiales para llevar a cabo la depuración de aguas residuales. El humedal está formado por soporte, tirante de agua y especies vegetales acuáticas y subacuáticas. Las plantas acuáticas juegan un papel importante dentro de los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales, puesto que contribuyen a que se degraden los contaminantes como la materia orgánica ahí presente. Una variedad de planta acuática utilizada es *Schoenoplectus americanus* que es una especie que ha sido poco estudiada. Los estudios que se han llevado a cabo no muestran realmente que se pueda utilizar en un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria láctea, debido a que en la mayoría de estos estudios se han realizado con otro tipo de efluentes. Por tal motivo es necesario evaluarla a nivel piloto para ver cuál es su desempeño y posteriormente escalarlo a un humedal artificial ya en funcionamiento, como auxiliar en tratamiento.

Esta especie tiene una amplia distribución, se puede encontrar desde el sur de Canadá hasta Venezuela y Chile. En México, desde Baja California hasta Chiapas, encontrándose también en el estado de Durango, por lo que se considera necesario determinar su distribución geográfica y tener un mayor conocimiento de sus características de hábitat, esto mediante el uso de sistemas de información geográfica.

Existen diferentes tipos de humedales (cienegas, pantanos, marismas, manglares, etc.), que son definidos principalmente por la clase de especies de plantas acuáticas que predominan en el mismo (Pérez *et al.*, 2011). Las plantas hidrófilas ahí presentes proporcionan las condiciones para la formación de películas bacterianas, facilitando la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua, permitiendo que haya transferencia de oxígeno a la columna de agua y controlando el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar (Lara, 1999; Pérez *et al.*, 2008).

A estos humedales los podemos encontrar de manera natural o artificial; los naturales son áreas transicionales entre sistemas acuáticos y terrestres frecuentemente inundados o saturados por aguas superficiales y subterráneas (Giacoman, 2010). Cuando la morfología del terreno es plana y carece de un buen drenaje, los humedales suelen ocupar grandes extensiones de terreno, algo contrario a cuando se encuentran en sitios de topografía abrupta (Burciaga, 2008). En cambio, los humedales artificiales son obras de ingeniería civil, diseñados y construidos con base en el funcionamiento de los sistemas naturales, con la finalidad de remover contaminantes del agua y llevar a cabo un manejo adecuado de las aguas residuales (EPA, 1988, citado por Pérez, 2009).

Los humedales artificiales no son más que una simulación de lo que pasa en los sistemas de manera natural, en el que existe una cordial conjugación de las plantas acuáticas, el sustrato y los microorganismos que se desarrollan en el medio filtrante y en las raíces y rizomas de las plantas vasculares (Luna y Ramírez, 2004). De ahí que Lara (1999), considere a los humedales artificiales como sistemas no-mecánicos que dependen de la naturaleza para llevar a cabo su trabajo, a través de la optimización y mejoramiento de la cinética de las reacciones bioquímicas.

Características de la empresa

La comunidad menonita, se localiza en el estado de Durango, la cual se conforma por 32 colonias, 30 de ellas se encuentran ubicadas en el municipio de Nuevo Ideal, y dos más en el municipio de Santiago Papasquiaro. El área se sitúa a 130 km al noroeste de la capital del Estado, entre las coordenadas 24° 57' 04.5" latitud norte y 105° 03' 39.4" longitud oeste, a una altitud de 1981 msnm. Las colonias que se localizan en el municipio de Nuevo Ideal, se encuentran asentadas sobre el Valle de Guatimapé, donde la topografía es plana, con pendiente suave, y se encuentran cerca de la Laguna de Santiaguillo (Figura 1).

La principal fuente de ingresos económicos de la comunidad menonita es la agricultura, la ganadería, comercialización de productos caseros (calentones, moldes de fundidores de aluminio, maquinas perforadoras de pozos y queso). En el municipio de Nuevo Ideal, hay alrededor de 20 queserías, que procesan alrededor de 100,000 L de leche al día para producir queso tipo Cheddar, mejor conocido en la región como "Menonita" (Burciaga, 2008). Una de las empresas más grandes del municipio es la Sociedad Cooperativa de Producción "Quesería Holanda" S.C.L., que elabora el queso marca Excélsior y cuya planta de producción se encuentra localizada en la colonia Jardin de Flores. Entre los desechos que genera la empresa al producir queso se encuentra el lactosuero (aproximadamente 85% del total de la leche que se procesa), con un contenido aproximado del 50-60% de los sólidos originales de la leche; lactosuero salado, obtenido en la formación de la pieza de queso; agua residual generada por el lavado de los moldes y las instalaciones de la planta. Los efluentes generados por la industria menonita tienen una conductividad eléctrica de 4.74 mS cm⁻¹, 5.5 g L⁻¹ de sólidos totales y 2.5 g L⁻¹ de sólidos volátiles. El alto contenido de sólidos, especialmente de sales, hacen que sea una de los efluentes más difíciles y caros de tratar en un sistema de depuración convencional (Burciaga, 2008).

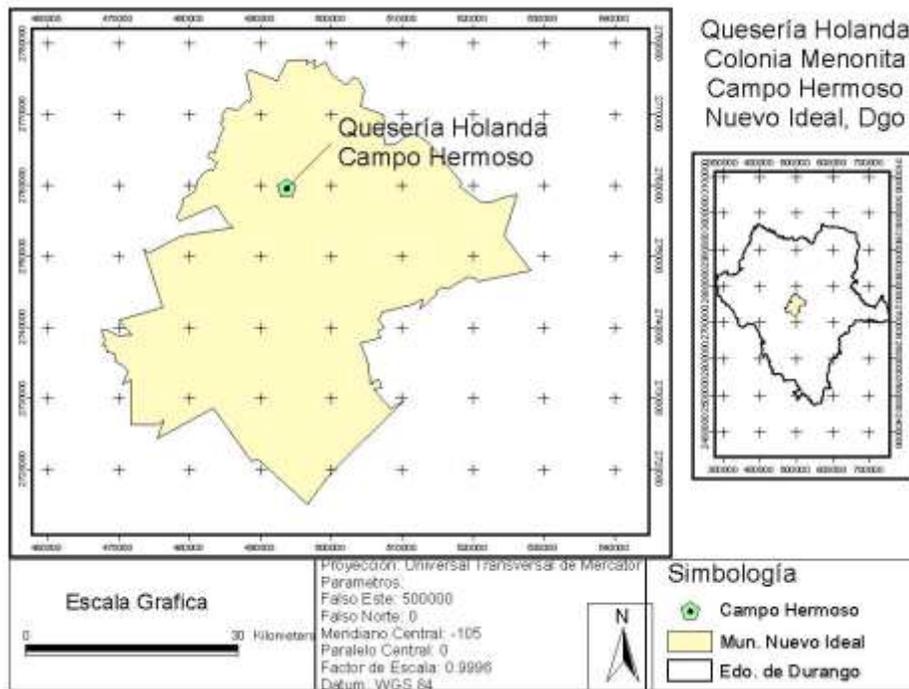


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

JUSTIFICACIÓN

La especie *Schoenoplectus americanus* cuenta con características naturales idóneas para su uso potencial en humedales artificiales como mecanismo de tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria láctea y obtener mejor calidad de agua, por lo que representa una opción importante para ello. Ya se han realizado estudios a nivel escala laboratorio donde encontró que tiene la capacidad de remoción de concentraciones de arsénico (As) en el agua industrial al acumularlo principalmente en su parte aérea y en sus raíces a dosis de 3 a 6 mg L⁻¹ y ser tolerante de concentraciones hasta de 9 mg L⁻¹.

Otro estudio realizado mostro que *Schoenoplectus americanus* utilizado en el tratamiento de aguas residuales domésticas tuvo eficiencias de remoción de 99.88% de fósforo soluble (FS), 95% de N-(NH4+/NH3) y 98.57% de coliformes fecales (CF). Sin embargo, no existe suficiente información en cuanto a su distribución en el Estado de Durango, ni de su efectividad en el uso de humedales artificiales como sistemas auxiliares en el tratamiento de aguas residuales con características de alta conductividad eléctrica como lo es el agua residual de la industria láctea.

3. Objetivo y metas cumplidas

General

Evaluación del uso de *Schoenoplectus americanus* para el tratamiento de efluentes de la industria láctea

Específicos

Caracterización de plantas acuáticas y el agua residual de la industria láctea	Objetivo cumplido
Evaluar el desempeño de <i>Schoenoplectus americanus</i> en un humedal artificial para tratar aguas residuales provenientes de la industria láctea.	Objetivo cumplido
Implementar cambios en el humedal construido de la industria láctea	Objetivo cumplido

4. Métodos y materiales

Distribución geográfica de la especie *Schoenoplectus americanus* en Durango

El proceso a seguir para cumplir con el objetivo planteado, es la revisión de literatura ya existente, referente a los reportes de donde se ha encontrado esta especie en el Estado de Durango. A su vez, tomando en cuenta que esta especie prospera en aguas de baja calidad (aguas residuales, canales de desagüe, etc), se realizarán recorridos de campo de manera cualitativa en los principales cuerpos receptores de las aguas residuales domésticas para ver si podemos encontrarla en los municipios de Nuevo Ideal, Canatlán y Durango (Figura 2), Posteriormente haciendo uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG) se representará su distribución geográfica en los municipios en cuestión.

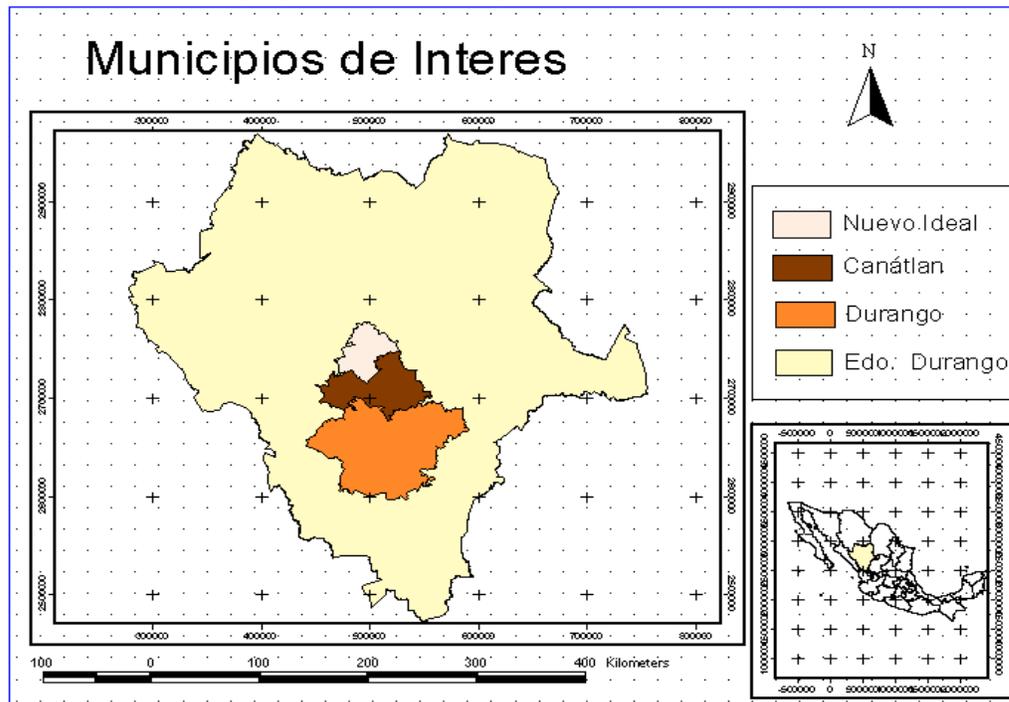


Figura 2. Municipios de interés

Paralelamente de realizar los recorridos en campo, se llevará a cabo la evaluación cualitativa de sobrevivencia de 5 especies con la finalidad de descartar que alguna otra especie acuática nativa, sea capaz de sobrevivir al tipo de aguas residuales provenientes de la industria láctea; estas plantas se extraerán del campo y se estarán probando en microhumedales, donde se estará observando si sobreviven o no a este tipo de efluente.

Para llevar a cabo este estudio se realizó un recorrido en campo en los municipios de Nuevo Ideal, Canatlán, y Durango, visitando principalmente los cauces donde es descargada el agua proveniente de las plantas de tratamiento, para identificar las especies nativas que ahí se encuentran. De dicho recorrido se identificaron y seleccionaron las 5 especies más comunes y/o abundantes: *Schoenoplectus americanus* y *Schoenoplectus tabernaemontani* plantas herbáceas, perennes, pertenecientes a la familia de los juncos (Cyperaceae); *Phragmites australis*, planta acuática perenne, robusta de la familia de las gramíneas (Poaceae); *Eichhornia crassipes*, planta acuática flotante no enraizada, perenne, hojas relucientes y flores azuladas-lilas, perteneciente a la familia de las monocotiledóneas acuáticas (Pontederiaceae) y *Typha dominguensis*, planta acuática helófito, perenne, erecta, de la familia del tule (Typhaceae).

Posteriormente, mediante una revisión de literatura se determinó qué función han desempeñado dichas especies en el tratamiento de aguas residuales domésticas, para tratar de establecer su posible potencial en un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea.

Métodos analíticos

Los parámetros que se medirán, para cumplir con los objetivos establecidos son: pH, conductividad eléctrica (CE), grasas y aceites, sólidos totales, y sólidos totales volátiles, sólidos sedimentables de las aguas residuales provenientes de la industria láctea y tienen su fundamento legal en la NOM-001-SEMARNAT-1996, la cual estipula los límites máximos permisibles de las aguas residuales, dependiendo del lugar al cual van a ser descargadas (ríos, humedales o suelo) y para que van a ser usadas posteriormente. Para la medición de pH se empleó un potenciómetro marca Orión modelo 230A, calibrado con soluciones buffer de pH 4 y 10 marca J. T. Baker; para la CE se utilizó un conductímetro marca Orión modelo 162, calibrado con una solución estándar de 12.88 mS cm⁻¹ marca Hanna Instruments; la calibración de los equipos es de acuerdo a las especificaciones del fabricante. Los sólidos totales, sólidos totales volátiles, sólidos sedimentables, así como grasas y aceites se determinarán según las técnicas descritas en los métodos estándar (APHA, 1995) y la normatividad mexicana (NMX-AA-SCFI-2001). La confiabilidad de los resultados se aseguró a través del uso de estándares y análisis por triplicado.

Diseño de las unidades experimentales

Para llevar a cabo la evaluación de los parámetros antes descritos y a su vez la eficiencia de la planta para disminuir la materia orgánica, se construyó un prototipo de diez unidades experimentales, cada una construido con tubería de PVC de 15 cm de diámetro y 84 cm de alto (Figura 3), montados en una estructura metálica, con base de madera de 1.0 m x 0.50 m. Para obtener el volumen total a una altura 70 cm de cada una de las unidades experimentales después de realizar las operaciones se obtuvo un volumen total del prototipo de 123.7 L.

Para determinar el volumen efectivo o real del prototipo se rellena una unidad experimental con grava y posteriormente se le agregó agua con un vaso de precipitado con capacidad de un litro, obteniéndose finalmente un volumen efectivo de agua de 6 L (48.5% de la unidad experimental), por lo tanto por diferencia se determinó que la grava ocupa 6.37 L (51.5%), teniendo un volumen efectivo del prototipo de 60 L.



Figura 3. Imagen del prototipo de humedal.

Determinación del tiempo de retención

Para determinar el tiempo de retención del efluente lácteo en el prototipo se consideró el volumen efectivo (60 L) del mismo y el gasto volumétrico (21 L día⁻¹) del humedal utilizado en la quesería menonita: De acuerdo a los cálculos se obtuvo un tiempo de retención de 3 días

Análisis de la información

Con este prototipo se evaluará la eficiencia de la planta en la depuración del agua residual de la industria láctea, en comparación con la eficiencia de la grava. Para determinar si los tratamientos fueron estadísticamente diferentes, se aplicará un análisis de ANOVA. Posteriormente, con el objetivo de comparar las medias de los tratamientos y ponderar sus diferencias y saber si son significativas cuando existen variaciones en uno o más de los parámetros se aplicará prueba de medias Newman-Keuls, ambas con un α de 0.05. Todo esto utilizando el software STATISTICA versión 7.

5. RESULTADOS

El objetivo principal de este trabajo fue evaluar el desempeño de *Shoenopectus americanus* en un humedal artificial para tratar aguas residuales provenientes de la industria láctea, por lo que se establecieron 3 sistemas diferentes (planta, agua y grava(PAG); agua y grava (AG); y agua(A)), donde se tuvieron tres entradas (diferentes tiempos) de agua pre-tratada proveniente de la industria láctea y cinco corridas por sistema con cada una de ellas. En cada sistema, al inicio y al final de acuerdo al tiempo de retención calculado de 3 días, se midió pH, conductividad eléctrica, sólidos volátiles totales y el contenido de grasas.

pH del efluente. De acuerdo al análisis estadístico (ANOVA) entre las salidas de los diferentes sistemas (PAG (1), AG (2) y A (3)), se observa (Figura 4a) que no existen diferencias significativas entre el sistemas 1 y 2 pero si entre el sistema 3 respecto al 1 y 2, por lo que se puede deducir que la modificación del pH se debe principalmente al sustrato utilizado (grava) y no a la planta como se esperaba, lo cual concuerda con lo reportado por Burciaga 2008. Esto se puede deber a procesos físicos y/o químicos donde se lleva a cabo un intercambio iónico en la interface sólido-líquido.

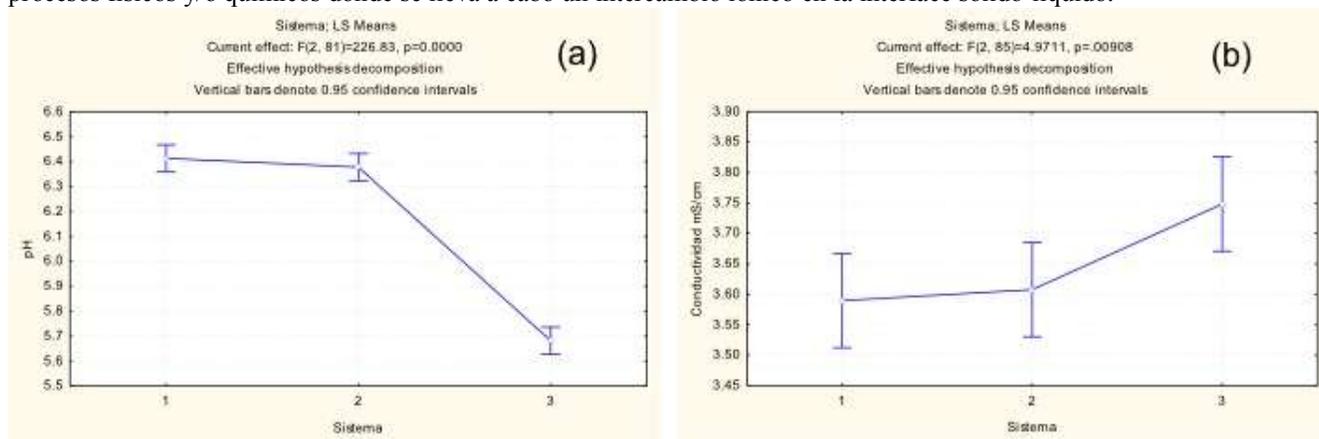


Figura 4. Diferencias entre salidas de los sistemas evaluados (a) pH y (b) Conductividad

Conductividad (CE) del efluente. En cuanto a CE (Figura 4b), el comportamiento en el sistema 1 y 2 es similar, es decir no existen diferencias significativas entre ellos respecto al sistema 3, esta variación, lo que pone de manifiesto que es necesario integrar soporte y planta a los sistemas reales para mejorar su calidad de salida.

Sólidos Volátiles Totales (SVT) (Figura 5a). Se observa que no hay diferencias significativas entre los sistemas 1 y 2 pero si entre el sistema 3 con respecto al 1 y 2. El contenido de SVT incremento en los sistemas piloto, obviamente incumpliendo la norma. Sin embargo, esta situación puede ser beneficiosa siempre y cuando el destino final del efluente sea con la finalidad de utilizarlo en riego agrícola, evitando la degradación del suelo.

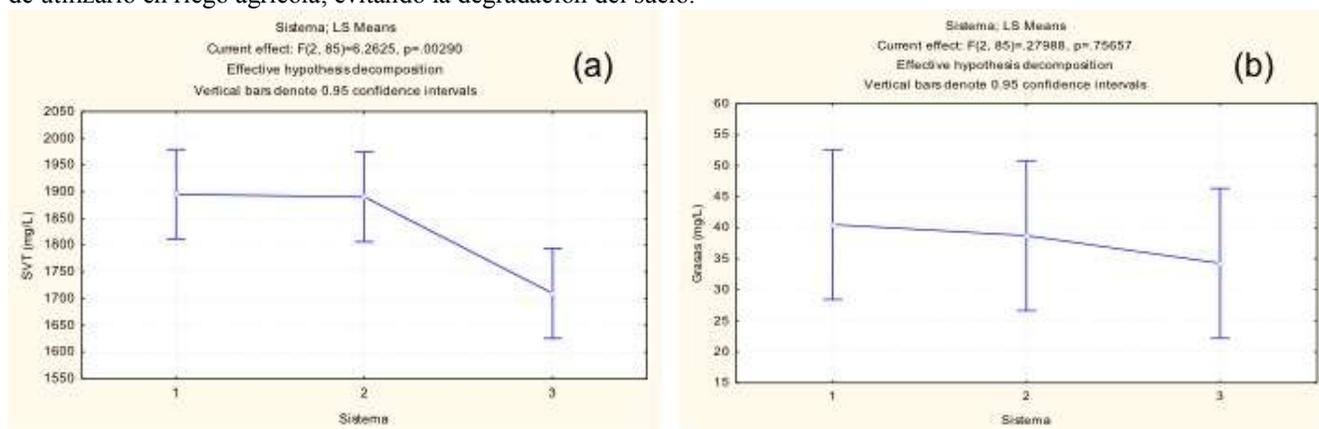


Figura 5. (a) Grafico de resultados del parámetro SVT y (b) Contenido de grasa en el efluente.

Grasas y aceites (Figura 5b). No se encontraron diferencias significativas entre los tres sistemas evaluados, esto se pudo deber a que de acuerdo a los sistemas utilizados y el tiempo de retención hidráulico favoreció la flotación de las grasas o bien que las grasas se quedaron impregnadas a la grava, en las raíces de la planta y en las paredes de los cilindros utilizados, lo que provocó que se redujera el contenido de las mismas en los sistemas, y estar dentro de los límites permisibles establecidos por la **NOM-001-SEMARNAT-1996** para la descarga de aguas tratadas a suelos.

Los resultados de entrada y salida si muestran una disminución de concentración en los parámetros analizados, con excepción de SVT los cuales muestran una tendencia de incremento.

A pesar de que los parámetros medidos en el prototipo no cumplieron con la norma completamente, se implementaron los cambios en los humedales de la industria láctea (Figura 6). Análisis (por laboratorio certificado ordenado por CONAGUA) realizados en el efluente mostraron que si cambiaron positivamente los resultados de salida con respecto a los registros propios de la empresa. Los resultados de dichos análisis mostraron que se cumple la normatividad parcialmente debido a que parámetros como la DBO₅ y el contenido de coliformes fecales están por encima de los valores permisibles por la norma.



Figura 6. Cambios implementados en los humedales construidos de la industria láctea.

6. Conclusiones e impacto de la investigación

Los resultados del prototipo indicaron que es necesario implementar cambios en los compartimientos del humedal construido de la industria láctea los cuales coadyuvaran a mejorar la calidad del agua en los siguientes parámetros: pH, la conductividad eléctrica y el contenido de grasa del efluente. Sin embargo, los resultados también indican que no se cumple completamente con la NOM-001-SEMARNAT-1996 al exceder los valores mínimos permitidos para descarga de materia orgánica.

Los resultados muestran que si hay diferencia significativa entre las entradas y salidas del agua residual en el prototipo de humedal, por lo que se justifica cambiar el humedal de flujo superficial a humedal de tipo subsuperficial. Para poder cumplir con la normatividad vigente se propone incrementar el TRH del sistema de humedal mediante el aumento de área cubierta con grava y planta, sustituyendo parte de la laguna de oxidación por humedal de flujo subsuperficial.

El impacto de esta investigación aplicada se ve reflejado en el mejoramiento de los parámetros de calidad del agua residual tratada generada por la empresa SCP Quesería Holanda SCL, la cual se beneficiara en mejorar la calidad de sus descargas al ambiente y le evitara pagar multas por incumplimiento a la norma. El estudiante de Maestría se beneficia en realizar un trabajo basado en el método científico buscando la resolución de un problema ambiental real, adquiriendo una visión mas amplia de la realidad nacional en materia ambiental.

7. Bibliografía

- Burciaga S.M.E., 2008. Uso de humedales como alternativa en el tratamiento de efluentes de la industria. Tesis de Maestría. CIDIIR-IPN- Durango. Durango, Durango, México. 90 pp.
- Giácoman G.V., Fedro U.T.G. y M.C. Ponce Caballero., 2010. Tecnología Experimental Humedales Artificiales. Revista FomixCampeche. Sin Vol. (5): 6-10 pp.
- González Elizondo, M.S., M. González E., J A. Tena., I., L. López, E., E., A. A. Reznicek., o 42 2007. Sinopsis de Scirpus S.L. (CYPERACEAE) para México. Acta Bot. Méx. 82: 15-41.7
- Lara J. A. B. 1999. Depuración de aguas urbanas mediante humedales artificiales. Tesis de Maestría de la Universidad de Politécnica de Cataluña, España. 114 pp.
- Luna P.V.M. y H. F.Ramírez.C. 2004. Medios de soporte alternativos para la remoción de fosforo en humedales artificiales. Revista Internacional Contaminación Ambiental. 20 (1) 31-38 pp.
- Martínez de la Cruz, Y., 2010. "Efecto de la adición de Nitrógeno y Fósforo en el crecimiento y respuestas fisiológicas de: Schoenoplectus americanus, Typha dominguensis y Phragmites australis. Tesis de licenciatura. Facultad de Biología, U.M.S.N.H. Morelia, Michoacán, México. 59 pp.
- Núñez Montoya, G.O., Alarcón-Herrera, M.T., Melgoza C.A., Rodríguez A. F.A., Royo M. M.H. 2007. Evaluación de tres especies nativas del desierto Chihuahuense para uso en fitorremediación. Terra Latinoamericana. Universidad Autónoma Chapingo. México. 25: 1. 35-41 pp.
- Pérez L.M.E., 2009. Selección de plantas acuáticas para establecer humedales artificiales en el estado de Durango. Tesis de doctorado del Centro de Investigación de Materiales Avanzados de Chihuahua, Chihuahua. México. 135 pp.
- Pérez L, M. E., M.E Burciaga S., A. Martínez P. y E. Rodríguez T. 2008. Humedales, los riñones del planeta. Divulgación del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango. Año, No. 11. 21-22 pp.
- Pérez L, M.E., G. G., Ma. Adriana M.P., 2011. Selección de plantas acuáticas para establecer humedales artificiales. Editorial Academia Española. Alemania. 132 pp.
- Rzedowski, J., 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 pp.
- Secretaría de ambiente y desarrollo sustentable. (9 de Septiembre de 2011) República de Argentina. <http://www2.mediambiente.gob.ar/fac/humedales/default.htm>.
- Simpson, M.G. 2005., Cyperacea. Plant Systematics. Elsevier Inc., 206-211 pp.