

Colegio Alemán Alexander Von Humboldt

TRATAMIENTO DE AGUAS BIOLÓGICAS Y SUS BENEFICIOS

Autores: Aloiz Krisak Soberanes y Rodrigo Nieto Canchola

Asesor: Dr. Alojz Krisak Rehor

Clave de registro del proyecto: CIN2014A10076

Área de conocimiento: Ciencias Biológicas, Químicas y de la Salud

Disciplina: Medio Ambiente

Tipo de investigación: Documental

México D.F. a 4 de febrero de 2014

RESUMEN

La Ciudad de México genera una gran cantidad de agua residual. De ésta salen entre setenta y ochenta metros cúbicos por segundo de agua residual, que si no es tratada, de acuerdo a ciertos parámetros establecidos por el gobierno, puede causar grandes estragos, lo que complicaría la solución del problema principal; el hundimiento de la ciudad debido a la sobreexplotación de los mantos acuíferos. Ya que el costo del tratamiento de agua es bastante alto, la situación se complica, por eso es que una alternativa viable sería tratar el agua con un método distinto; el tratamiento de agua biológico, aeróbico e híbrido es un método con un alto nivel de efectividad, que es más económico que el método de lodos activados. El objetivo de esta investigación es demostrar los beneficios que trae el uso del método de tratamiento aeróbico e híbrido; tanto los beneficios económicos, como los ambientales. Para realizar esta investigación nos sustentaremos en los estudios acerca del hundimiento en la Ciudad de México, así como en las soluciones que se han encontrado y los programas de gobierno que se han creado para contrarrestar el problema del hundimiento y escasez de agua. Adicionalmente nos apoyaremos en el método de tratamiento de agua desarrollado por el Dr. Alojz Krisak Rehor.

Palabras Claves:

SUMMARY

Mexico City is known for generating an enormous amount of waste water. It produces approximately eighty cubic meters of waste water per second. The water must be treated under certain conditions, established by the government, otherwise it would cause serious problems, thus complicating the solution to the main problem; Mexico City is sinking. The water extraction abuse of the aquifer is the main reason the city is sinking. Because of the high costs of today's waste water treatment used, this situation is growing dangerously. A good way to deal with this problem would be the alternative waste water treatment method; the biologic, aerobic and hybrid treatment is an effective process, in which the costs are highly reduced, thus improving the situation. With this investigation we want to demonstrate the effectiveness of the above suggested method and all the advantages it would carry along, not only as seen from an economic point of view, but also the environmental benefits it would cause. To support our research we will use the information provided by Dr. Alojz Krisak Rehor concerning the waste water treatment method he developed; we will also rely on studies which have been made regarding the sinking of the city, as well as the programs created by the government to deal with this issue.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día la ciudad de México se encuentra aproximadamente siete metros debajo de lo que solía estar en mil novecientos treinta y seis, y cada año se hunde entre cinco y diez centímetros, o dependiendo de la zona, podría llegar a un hundimiento de treinta y cinco centímetros, como es el caso de las áreas aledañas a la delegación de Xochimilco (Lesser Illades & Cortés Pérez, 1998). El hundimiento de la ciudad es un resultado de la sobre-explotación de los mantos acuíferos que hay debajo de la misma; al ser extraída tanta agua del manto, los cimientos, sobre los cuales se encuentra la ciudad, se han vuelto inestables.

La solución a este problema consiste en la reinyección de agua al manto acuífero, sin embargo el proceso resulta demasiado costoso y puede llegar a ser poco eficiente. A pesar de que ya hace

varios años se ha reinyectado agua a los mantos, este proceso se ve opacado, ya que la extracción de agua es dos veces mayor que la recarga.

Para que el agua pueda ser reinyectada al manto, ésta tiene que pasar por el tratamiento de agua usado de manera más convencional. El alto costo es consecuencia de la serie de procesos por los que el agua tiene que pasar; al usar el método convencional (de lodos activados en este caso), se incrementan el tiempo de tratamiento, mientras que los materiales y el equipo que tienen que ser utilizados aumentan la cantidad de dinero necesaria para mantener funcional una planta que use este método para purificar. A pesar de este impedimento, hay alternativas que, de ser implementadas a los programas gubernamentales de tratamiento de agua residual, incrementarían la eficiencia y el pragmatismo de los procesos de reinyección a los mantos. La alternativa que proponemos en esta investigación es el método de tratamiento de agua biológico, aeróbico e híbrido.

El tratamiento de agua empezó a surgir en Inglaterra a finales del siglo XIX, y gracias a la aportación de varios científicos se ha ido perfeccionando gradualmente. Para esta investigación nos basaremos en el método de tratamiento de agua modificado del Dr. Krisak Rehor, el cual es utilizado para tratar el agua en el municipio de Lagunillas en Michoacán.

Esta investigación tiene como objetivo demostrar la eficacia del método de tratamiento de agua biológico, aeróbico e híbrido sobre el método convencional. Los beneficios que traería la implementación de este método en plantas de tratamiento grandes que operan actualmente, y en plantas que siguen en construcción, abarcarían no sólo aspectos económicos, sino ambientales de igual forma.

El agua que es reinyectada a los mantos acuíferos tiene que ser tratada de manera adecuada, de lo contrario el agua del acuífero quedaría completamente contaminada. Por eso es que se han establecido normas gubernamentales para el tratamiento, las cuales regulan las medidas que se deben respetar, de modo que el agua que sale de las plantas de tratamiento esté en condiciones adecuadas para ser utilizada.

Bajo estas normas se puede comprobar qué método resulta más efectivo en la eliminación de contaminantes. Adicionalmente, buscamos demostrar que, gracias a los bajos costos del tratamiento de agua aeróbico, híbrido y biológico, éste podría ser una mejor alternativa para la recarga de los mantos acuíferos, y así contribuir a la solución del problema de hundimiento que existe en la Ciudad de México.

Para dar un panorama más amplio de la problemática definiremos, primeramente, cómo es que la Ciudad de México comenzó a hundirse, basándonos en los estudios realizados por los miembros, Juan Manuel Lesser Illades y Miguel Ángel Cortés Pérez, de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica-DDF y en los del gerente de agua y saneamiento en el Distrito Federal, Ernesto Espino de la O.

DESARROLLO

El balance de agua en la ciudad de México es el siguiente; se utilizan más de 2.583 Mm³ (Millones de Metros Cúbicos) de agua al año. La mayor parte de esta agua proviene de los mantos acuíferos (más de 1, 876 Mm³ al año), el resto proviene de Lerma (151 Mm³ al año), Cutzamala (470 Mm³ al año) y

ríos junto con manantiales (85 Mm³). Llueven más de 6.771Mm³ al año, por escurrimiento se van 747Mm³ y se evaporan 5.027M³ anualmente. Tras ser usada el agua (en la industria, entre otras cosas), se generan más de 1.589Mm³ de aguas residuales y la gran mayoría de estas viaja a drenaje abierto, lo que es muy malo para la naturaleza.

Pero el verdadero problema de la Ciudad de México yace en la sobreexplotación de los mantos acuíferos, como ya fue mencionado previamente, se extraen de estos más de 1.876Mm³ de agua anualmente, sin embargo esto está generando un gran desequilibrio, ya que la recarga anual de los acuíferos es de únicamente 997Mm³ de agua.



Originalmente el Gran Canal permitía al agua salir de la ciudad por gravedad y curso natural, lo que le permitía desalojar más de 80 m³ por segundo.

Sin embargo, con el constante hundimiento de la ciudad llegó un momento en el que está pendiente natural se perdió, incapacitando el desagüe de la ciudad, lo que obligó al gobierno a invertir en una planta de bombeo que permitiera el mismo, sin embargo tras esta obra se redujo la capacidad de desagüe de los más de 80m³ por segundo a 45 m³ por segundo, es decir, la capacidad se redujo a casi la mitad, ocasionando inundaciones.



Fotografías que muestran el hundimiento de la ciudad de México en San Juan de Aragón en el periodo de 1936 a 2010.

Inicialmente, el agua con la que la población de la Ciudad de México se daba abasto para el uso cotidiano, provenía de manantiales aledaños a la zona. Conforme creció la población, la cantidad de agua requerida para abastecer la demanda aumentó de igual forma, por lo que se recurrió a la extracción de agua del subsuelo. (Lesser Illades et al. ,1998) Tal como se muestra en la investigación de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica-DDF, por Lesser y Cortés (1998) se asume que el hundimiento comenzó alrededor del año 1886, y medía cinco centímetros por año dependiendo de la zona. A pesar de esto se comenzaron a cavar pozos en la década de los cuarentas, de modo que fuera posible extraer una mayor cantidad de agua del acuífero, y así abastecer a la creciente ciudad.

Durante el periodo de 1936 a 1960 se extrajo agua de los mantos de la zona centro de la ciudad, sin tomar en cuenta las consecuencias que provocaría sobreexplotación de éstos. El año de 1960 disminuyó la extracción de agua en la zona centro de la Ciudad de México, y a su vez, el inicio de la explotación acuífera en el sur, precisamente en la zona de Xochimilco-Chalco (Lesser Illades et al., 1998) A partir de este punto, la extracción de agua en la zona centro de la ciudad disminuyó notablemente, lo cual ha tenido un efecto en el hundimiento de esa zona específica; a pesar de que continúa hundiéndose, la velocidad a la que lo hace, es mucho menor a la que se presenta en las zonas donde se extrae agua constantemente. Como mencionan en su estudio Lesser y Cortés (1998) la extracción en la zona sur de la ciudad no ha sido disminuida desde la década de los sesentas, por lo que actualmente existe una sobreexplotación en esa zona, y el hundimiento es mayor.

El hundimiento de la ciudad consiste en el desplazamiento de los cimientos sobre los cuales se encuentra la ciudad. Éstos consisten en una serie de materiales aluviales, constituidos esencialmente por gravas y arenas, intercalados con productos volcánicos (Lesser Illades et al. ,1998).

Al extraer el agua del medio granular saturado¹, el nivel freático² desciende. Al descender este nivel, el aire llena los espacios intersticiales³ en los lechos granulares, creando una zona vadosa⁴. El agua es drenada de las arcillas, provocando la compresión de éstas. Al ser comprimida la arcilla el suelo se vuelve inestable por lo que las zonas aledañas a los lechos de los ríos y lagos se comienzan a hundir poco a poco, como es el caso de la zona de Xochimilco.

¹ Conjunto de partículas macroscópicas sólidas que tienen el tamaño adecuado para que exista fricción entre ellas; por ejemplo, grava o arcilla.

² Nivel en el que la presión del agua del acuífero equivale a la presión atmosférica.

³ Espacios vacíos entre las diferentes capas del subsuelo

⁴ Zonas del subsuelo que solían estar vacías, posteriormente llenadas con agua



Como es mencionado en la presentación del gerente de aguas y saneamiento del Distrito Federal, el problema del hundimiento ha llamado la atención de las instituciones gubernamentales, por lo que se han creado programas específicos para terminar con el problema. Para remediar estos problemas se creó el Programa de Sustentabilidad Hídrica del Valle de México. Éste tiene como meta el establecimiento de una sustentabilidad hídrica, la cual consiste en revertir la sobreexplotación del manto acuífero. Para lograr esto se tiene pensado construir nuevas plantas de tratamiento de agua y destinar algunas otras que se encuentran en operación actualmente alrededor de la zona del Distrito Federal.

Como informó Ernesto Espino de la O, una de las plantas de tratamiento de mayor importancia en este programa es la PTAR⁵ Atotonilco.

La función principal de esta planta es efectuar el riego agrícola de ochenta mil hectáreas en el Valle del Mezquital. Además de esto se restaura la calidad de los depósitos subterráneos de agua para que éstos puedan ser aprovechados en el futuro para agua potable. Dado que esta planta será de suma importancia en el futuro, ya que en ella se tratará el sesenta por ciento de las aguas residuales de la Ciudad de México, y se enfocará en la recarga de los acuíferos, esta planta será la más grande de América al concluir su construcción, teniendo la capacidad de tratar treinta y cinco metros cúbicos de agua cada segundo, es decir, 35000 litros por segundo.

En esta planta se utilizará un método de lodos activados, la cuál se divide en tres partes: La primera,

⁵ PTAR quiere decir Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

que tiene como resultado el agua efluente⁶ a los ríos y presas, pasa primero por un proceso de desarenado⁷, en el cual se filtra el agua para que proceda a la segunda fase del tratamiento. En la siguiente fase el agua recibe un tratamiento químico, el cual la prepara para la siguiente fase, en ella el agua pasa por un decantado de lamelar⁸ que separa los residuos contaminantes que quedan en el agua. Posteriormente pasa por un segundo tratamiento químico. Por último el agua pasa por un filtrado en tela, es clorada después de esto y la parte final del proceso es la liberación de esta agua en los ríos o presas en los que sea requerida. Otra parte del agua que sale pasa a ser inyectada a los mantos acuíferos. La segunda opción de tratamiento, la cual tiene como resultado que el agua efluente sea usada en el riego agrícola consiste en un tratamiento similar al mencionado anteriormente.

Al igual que en el primer proceso, el agua pasa por un desarenado, filtrando así cualquier tipo de sólido del agua. La segunda fase consiste en dejar sedimentar el agua. Al concluir con esta sedimentación, el agua pasa por un reactor biológico, para ser preparada para la segunda fase de sedimentación. Una vez concluida esta fase de sedimentación, el agua vuelve a pasar por el reactor biológico, sólo que a diferencia de la primera ocasión, el agua pasa a ser clorada en lugar de a otra fase de sedimentación. Por último el agua es liberada para ser usada en el riego agrícola.

A pesar de que se espera que esta planta cumpla con las normas establecidas por el gobierno, el costo del tratamiento es bastante alto.

El tratamiento de aguas residuales híbrido biológico y aeróbico funciona de una manera meramente distinta al método de lodos activados, que es el método usado en la planta de Atotonilco.

Este tratamiento de agua se divide en diferentes fases. Antes que nada, para que pueda existir un tratamiento de agua, tiene que haber una descarga de ella, ya sea de tipo municipal (es tratada con procesos bioquímicos), o también podría ser una descarga de tipo industrial (que es tratada con procesos químicos). Para poder entender el objetivo y la efectividad del tratamiento de agua, primero habrá que definir cuáles son los contaminantes básicos así como los parámetros controlados por las normas vigentes.

En la categoría de contaminantes básicos entran aquellos contaminantes que pueden ser removidos o estabilizados a través de procesos convencionales, los cuáles son: sólidos suspendidos totales, Nitrógeno y Fósforo, la demanda bioquímica de oxígeno, grasas y aceites, coliformes fecales, huevos de helminto y por último el pH.

Los sólidos suspendidos totales son aquellos que al pasar por una filtración son retenidos. Es importante controlar este parámetro, ya que si la filtración no es eficaz, los sólidos suspendidos impiden el paso de la luz a través del agua en pasos posteriores, lo que disminuye la efectividad del tratamiento ya que los procesos fotosintéticos, así como la producción de oxígeno, no se desempeñan correctamente.

El hecho de que el Nitrógeno y el Fósforo se encuentren en el agua es producto de la presencia de excreción humana o animal. Estos componentes forman parte de los parámetros controlados, ya que si el agua (con la presencia de Nitrógeno y Fósforo) alcanza otras fuentes acuíferas tras su descarga, esta generaría el crecimiento de lirios, lo que procede a ir secando el lago, río, manantial, etc.

⁶ Efluente significa un curso que sigue el agua que va de un lugar y se desprende o une a ríos, lagos u otra superficie acuática

⁷ Proceso en el que se separa cualquier tipo de sólidos del agua.

⁸ Pieza de maquinaria utilizada en las plantas de tratamiento de aguas residuales

El DBO5 (Demanda bioquímica de Oxígeno) se refiere a la cantidad de Oxígeno consumida dentro del agua en un plazo de 5 días. Dado que los microorganismos que viven dentro del agua consumen el oxígeno que se encuentra en ella, es posible afirmar que mientras menos oxígeno haya en el agua (más grande sea la demanda), más organismos hay dentro de ella, y mientras menor sea la demanda, menos organismos hay.

Las grasas y aceites también se presentan con frecuencia en aguas residuales. Estas se caracterizan por su baja o nula solubilidad en el agua. Estas forman parte de los parámetros, ya que posteriormente, gracias a su baja solubilidad, si no son tratadas se acumulan y forman una nata en la superficie del agua. Las coliformes fecales y huevos de helminto son contaminantes de heces humanas (contaminantes fecales), así como parásitos que también se encuentran en el agua.

El pH es un parámetro que sirve para medir la acidez o alcalinidad en el agua, es importante controlar este parámetro, ya que si una solución no es neutra (en este caso el agua), esta puede acabar con la vida de las criaturas marinas. El pH a la descarga debe de ser neutro, es decir, entre 6 y 7.

La primera fase, llamada fase preliminar o tratamiento preliminar, tiene el objetivo de separar los sólidos del agua (plantas, bolsas de plástico por ejemplo, todo lo que es filtrable) con la ayuda de procesos físicos sencillos, como lo es la filtración a través de una rejilla mecánica, electromecánica. Los desarenadores también forman parte de un tratamiento preliminar, así como los tanques de homogenización.

La segunda fase del tratamiento, llamada tratamiento primario, tiene la tarea de retirar los sólidos suspendidos (sólidos que no pudieron ser removidos en el tratamiento preliminar) por medio de procesos de sedimentación primaria, flotación, floculación, filtración simple o tanques Imhoff.

El tratamiento secundario es la tercera fase del tratamiento híbrido, biológico y aeróbico. Este tratamiento utiliza procesos biológicos, los cuales funcionan a base de microorganismos que eliminan la materia orgánica biodegradable y los nutrientes (Nitrógeno y Fósforo). En esta fase también se emplean tratamientos tanto aeróbicos (lodos activados, biocontactores rotativos, filtros percoladores) como anaeróbicos (fosas sépticas, bioreactores anaeróbicos).

La cuarta y última fase del tratamiento es denominada tratamiento terciario. Esta fase es más que nada un control final del agua, se utilizan filtros de lecho profundo, carbón activado, desinfección. Se controlan los parámetros como turbiedad, microorganismos nocivos asimismo como olores indeseables.

Para comprobar la efectividad del tratamiento biológico, aeróbico e híbrido se asistió a una planta que se encuentra operando de manera vigente en el municipio de Lagunillas, Michoacán. Se observó todo el ciclo del agua dentro de la planta, desde su entrada, su paso por todas las fases explicadas anteriormente, y su descarga.

Para obtener los resultados de la calidad del agua, fue necesario tomar una muestra de la misma antes de entrar al tratamiento y también después de salir del mismo, esta fue analizada en laboratorios y posteriormente se entregaron los resultados. El Dr. Krisak Rehor nos dio los resultados bioquímicos y de costo de la operación de esta planta. En su entrada el agua contiene entre 330 y 370 mg/l de DBO5, sin embargo, tras el tratamiento los niveles de DBO5 se vieron reducidos y

cumplieron con las normas establecidas por el gobierno (límite de 150mg/l permitido), conteniendo tan solo 30-60 mg/l. La entrada de sólidos suspendidos a la planta fue de 200-300 mg/l, mientras que al salir había de 25-60 mg/l, cumpliendo debidamente con la norma estipulada por el gobierno, que de igual manera el límite permitido es de un máximo de 150mg/l. El agua presentó un pH neutro en su salida y todos los aspectos controlados por las normas gubernamentales fueron cumplidos. Por otro lado, su costo de operación es de 37 centavos por metro cúbico tratado.

Tomando en cuenta que, una vez inaugurada la PTAR en Atotonilco, el costo por metro cúbico tratado va a ser de 1.05 pesos, con la ayuda de matemáticas simples, se obtiene un costo de operación mensual (31 días) de aproximadamente 98 millones de pesos (98.431.200). En cambio, si se empleara el método aeróbico, híbrido y biológico para una PTAR de las dimensiones de la de Atotonilco, el costo, basándonos enteramente en los resultados obtenidos en la PTAR de Lagunillas, Michoacán (donde el metro cúbico tratado costaba 37 centavos), se reduciría hasta casi en un 300%, lo que supondría un gasto de aproximadamente 34 millones mensualmente (34.685.280).

El problema del hundimiento en la ciudad de México no es nada nuevo, y si continúa de esta manera va a pasar a ser un problema progresivamente más grave, a pesar de esto, es un problema con solución, pero se debe de ser cuidadoso al elegir la solución correcta, ya que una mala elección puede ocasionar en el peor de los casos la descarga de agua de mala calidad a los mantos fráticos y posteriormente graves consecuencias ambientales y de sustentabilidad, aparte del malgasto de millones de pesos que podrían ser invertidos en otras cuestiones.

Tras analizar ambos métodos de tratamiento de agua, resulto evidente no únicamente que el método híbrido, aeróbico y biológico cumple de manera satisfactoria con los parámetros establecidos por la ley, lo que hace posible la descarga del agua tratada con este método a los acuíferos, sino que además su costo de operación es relativamente bajo en comparación al de la PTAR Atotonilco. Otrosí, la planta de tratamiento de aguas residual Atotonilco todavía no ha sido inaugurada, por lo que no se sabe aún si el método utilizado vaya a ser eficiente y cumpla con las normas establecidas por el gobierno federal.

Una vez tomados en cuenta los aspectos ya mencionados, podemos concluir que la solución más fiable para futuros proyectos en lo que respecta al tratamiento de aguas y el problema de hundimiento que tiene la Ciudad de México desde hace más de un siglo, es el tratamiento de aguas híbrido, aeróbico y biológico, dado que su costo de operación es casi 3 veces más bajo que el de el método de lodos activados (caso PTAR Atotonilco) y se ahorrarían más de 60 millones de pesos mensualmente, que podrían ser invertidos en otras cuestiones si es necesario. Además, obtenidos los resultados en Lagunillas a través del Dr. Krisak Rehor, se puede confiar ya sea en la posterior descarga de estas aguas a los mantos fráticos o su uso para el riego de campo.

RESULTADOS CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

Crites, Ron. Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones, Colombia, Editorial McGraw-Hill, 2da edición, 2000

De Lora, Federico. Tratamiento de Aguas Residuales, Editorial Reverté, S.A., 2da edición, 2003

Falcó, Cesar. Manual de Tratamiento de Aguas Negras, Editorial Limusa, 13era edición, 1993

Lesser, J.M., Cortés, M.A. (1998). El hundimiento del terreno en la Ciudad de México y sus implicaciones en el sistema de drenajes. *Ingeniería Hidráulica en México*. Vol. XIII (3), 13-18

Metcalf, Eddy, Wastewater Engineering, Estados Unidos, Editorial McGraw-Hill 3era edición, 1991

Spellman, Frank. Water and Wastewater Treatment Plant Operators, Estados Unidos, 3era edición, 2004

Documentos en Internet:

<http://www.lesser.com.mx/esp/pub/981%20Hundimiento%20Cd%20Mexico%20e%20mplicaciones.pdf>

http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/alarchil/MASTER%20ECO/ACUIFEROS.pdf

<http://ksmex-plantasdetratamiento.com.mx/>

http://mimosa.pntic.mec.es/vgarci14/aguas_residuales.htm

<http://www.mejoramientoambiental.com/educacion-ambiental/que-es-un-sistema-de-tratamiento-de-aguas-residuales.html>

http://www.hgm.salud.gob.mx/descargas/pdf/noticias/programa_mercurio/marco/norma_001.pdf

<http://www.aguascalientes.gob.mx/proespa/pdf/NOM-SEMARNAT-002%20DESCARGA%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20AL%20ALCANTARILLADO.pdf>

<http://www.porcimex.org/NORMAS/NOM-003-ECOL-1997.pdf>