

RESEÑA

## TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO Y OZONIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES PARA SU REUTILIZACIÓN EN RIEGO AGRÍCOLA

Eliet Véliz Lorenzo, Investigador Agregado

Departamento de Tecnologías de Tratamiento con Ozono, Dirección de Medio Ambiente.

Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Avenida 25 y Calle 158, Playa, Apartado Postal 6414, Ciudad de La Habana, Cuba. eliet.veliz@cnic.edu.cu

16 de diciembre de 2011

TESIS EN OPCIÓN DEL TÍTULO DE DOCTOR EN CIENCIAS TÉCNICAS

La Organización Panamericana de la Salud señaló que en 2001 menos del 14 % de los 600 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales domésticas colectadas en América Latina recibían algún tratamiento antes de ser dispuestas en ríos y mares y solo el 6 % tenían un tratamiento aceptable. Debido a la escasez de agua, la actividad agrícola se ha visto seriamente afectada y en muchos países se ha optado por el uso de aguas residuales sin tratamiento en el riego agrícola como única alternativa. En América Latina existen más de 500 000 ha agrícolas que son irrigadas directamente con aguas residuales sin tratar. En otras regiones del mundo sobresale China con aproximadamente 1 300 000 ha, Pakistán con alrededor del 26 % de las tierras dedicadas a su producción nacional de vegetales regadas con aguas residuales y Ghana con aproximadamente 11 500 ha.

Las aguas residuales han sido utilizadas desde hace más de doscientos años, para aumentar la productividad del terreno debido a los elevados contenidos en nutrientes que poseen para las plantas. Varios trabajos de investigación refieren que el riego con aguas residuales de cultivos tales como maíz, cebada, tomate, avena para forraje, alfalfa, chile, trigo, frijoles, entre otros, incrementa su producción entre un 67 y 150 %. Sin embargo, otros trabajos demuestran un aumento considerable de las enfermedades gastrointestinales como consecuencia de los patógenos contenidos en este tipo de aguas, que originan problemas de salud pública especialmente en la población infantil. Se plantea que alrededor del 40 % de la población urbana contrae enfermedades infecciosas asociadas al agua y que una décima parte de toda la población mundial consume actualmente productos agrícolas que se riegan con aguas residuales, aunque no siempre de una manera segura, por lo que este problema demanda urgente atención. Se estima que un 70 % del agua que demandará la agricultura mundial en 2040 será obtenida mediante el tratamiento de efluentes.

El valor de los efluentes tratados como fertilizantes es tan importante como el propio valor del agua. Si anualmente se riegan 5000 m<sup>3</sup>/ha, la aportación anual de nutrientes sería aproximadamente de 250 kg/ha de nitrógeno, 50 kg/ha de fósforo y 150 kg/ha de potasio. De esta forma, todo el nitrógeno y la mayor parte del fósforo y el potasio que son necesarios para la producción agrícola podrían ser suministrados por los efluentes. Además, se aportarían otros valiosos micronutrientes y materia orgánica esenciales para las plantas. Un beneficio adicional es que estos nutrientes, una vez absorbidos por los cultivos, no entran en el ciclo del agua por lo que no contribuyen a la eutrofización de los cuerpos receptores. Todos estos factores resaltan las potencialidades del uso controlado de las aguas residuales tratadas.

Las tecnologías de tratamiento necesarias para el cumplimiento de las normas que se establecen cada vez más exigentes para la reutilización de aguas residuales en el riego agrícola, implican el desarrollo de procesos de tratamiento y técnicas de desinfección más eficientes, para lograr una aplicación segura de estas aguas a un costo razonable.

El objetivo general del trabajo fue establecer un esquema de tratamiento de aguas residuales municipales que permitiera obtener aguas con características físico-químicas y microbiológicas que cumplieran con las normas internacionales establecidas para su reutilización en riego agrícola, y conservaran en ellas los nutrientes necesarios para las plantas. Se planteó como hipótesis de trabajo que mediante un esquema de tratamiento de estas aguas residuales, que incluyera la combinación de procesos de coagulación-floculación, filtración y ozonización, sería posible garantizar la calidad exigida para su reutilización en riego agrícola y aprovechar los nutrientes contenidos en ellas para lograr incrementos en los rendimientos de los cultivos, a la vez que reduciría su negativo impacto ambiental.

Para dar cumplimiento a lo anterior, se plantearon objetivos específicos en función de seleccionar un esquema de tratamiento que combinara los procesos de coagulación-floculación, filtración y ozonización, definir los parámetros de operación de las etapas de tratamiento a escala de banco y planta piloto, evaluar la cinética y caracterizar hidrodinámicamente el proceso de ozonización en columna de burbujeo, evaluar la ozonización como una alternativa de tratamiento de los lodos generados en las etapas de coagulación-floculación y filtración, y analizar la factibilidad económica del esquema de tratamiento propuesto a partir del contenido de nutrientes en las aguas tratadas, su calidad en el riego de cultivos en fase de vivero y el ahorro de agua en sí.

La tesis está compuesta por tres capítulos, además de Introducción, Conclusiones y Recomendaciones, Referencias Bibliográficas y Anexos, para un total de 156 páginas. Consta de 28 tablas, 38 figuras, 22 anexos y siete fotos, los cuales ofrecen una visión adecuada de los resultados del trabajo. Se incluyen 160 referencias bibliográficas, cuyo 62 % corresponde a los últimos 10 años y el 30 % a los últimos cinco.

En el capítulo 1 "Antecedentes y Estado del Arte", se realiza un amplio estudio de los temas relacionados con la calidad de las aguas residuales para riego agrícola, las normativas nacionales e internacionales existentes, los tratamientos más utilizados en ellas y se enfatiza en el uso del ozono para tales propósitos. El capítulo 2 "Materiales y Métodos", se centra en describir y explicar las condiciones en las cuales se realizaron las experiencias en las tres escalas de experimentación evaluadas: laboratorio, banco y planta piloto, principales ecuaciones usadas, equipamiento y consideraciones adoptadas. En el proceso de coagulación-floculación,

se evaluaron tres coagulantes: sulfatos de aluminio y hierro así como policloruro de aluminio, en dosis entre 50 y 400 mg/L, a pH 5, 7 y 9 a dos gradientes de agitación. En la etapa de filtración, se evaluaron tres medios filtrantes: arena sílice, antracita y la combinación de ambos en un lecho mixto.

En el estudio de la ozonización, se realizó un diseño experimental factorial 2<sup>3</sup>, en el que se consideraron como variables independientes la concentración de ozono en el gas, el flujo de gas y el tiempo de contacto gas-líquido. Se fijaron como parámetros de medición, la concentración de ozono disuelto y varios indicadores de calidad de las aguas.

Se realizó un estudio hidrodinámico para determinar el efecto de los flujos de gas y líquido en las características hidráulicas de la columna de ozonización. Así mismo se realizaron experimentos de estímulo - respuesta en un diseño experimental factorial 2<sup>2</sup>, utilizando como fluidos agua del acueducto y aire. El trazador empleado consistió en una disolución de cloruro de sodio y el estímulo utilizado fue el salto de escalón. La variable respuesta seleccionada fue la conductividad eléctrica en la corriente de salida de la columna.

En el capítulo 3 "Resultados y Discusión", se ofrecen los resultados experimentales agrupados por escalas de experimentación y al final se aporta el análisis de factibilidad económica de su aplicación en el tratamiento de las aguas residuales para su uso en riego agrícola.

Los resultados alcanzados a escala de planta piloto, permitieron establecer un esquema que consta de un primer proceso de retención de sólidos por cámaras de rejillas seguido de un tanque de homogenización y sedimentación primaria. A continuación se incluyen los procesos de coagulación-floculación con sulfato de aluminio y filtración rápida a presión por arena sílice y por último, un proceso de desinfección por ozonización con dosis de 40 mg/L.

Se determinó la demanda instantánea de ozono que presentaban las aguas residuales evaluadas y los valores de CT concentración de ozono disuelto x tiempo de contacto requeridos. Se obtuvieron modelos estadísticos para estimar las concentraciones de ozono en el líquido y varios parámetros físico-químicos de calidad y microbiológicos.

Las aguas tratadas cumplieron con las normas establecidas y se obtuvo una reducción eficiente de contaminantes físico-químicos (turbidez, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, color, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, detergentes, grasas y aceites y compuestos orgánicos medidos a 254 nm) superior al 85 % y eficiencias de reducción de organismos patógenos (Coliformes fecales, huevos de helmintos, *Pseudomonas*, *Shigella* y *Salmonella*) entre 99,68 y 100 %. El esquema propuesto resultó económicamente factible (VAN = 309 120 pesos y TIR = 81 %) correspondiente a un período de 10 años y un área de riego de una hectárea. La inversión para el riego de viveros y pequeñas extensiones de cultivo es recuperable en dos años aproximadamente.

La contribución científica y económica del trabajo consistió en el establecimiento de un esquema de tratamiento compacto, que combina procesos que permiten la reutilización segura de aguas residuales municipales en riego agrícola, sustituyendo de manera favorable los tratamientos extensivos y complejos que actualmente se emplean para lograr el cumplimiento de exigentes normas de reutilización de las aguas residuales. Su implementación generalizada puede incrementar la producción agrícola, recuperar zonas áridas y forestales, reducir la adquisición y empleo de fertilizantes químicos, liberar grandes volúmenes de agua fresca para otros usos y reducir la contaminación ambiental de estas aguas.

El esquema de tratamiento que se propone, no ha sido reportado, ni registrado como patente en las principales bases de datos internacionales. Este último aspecto fue confirmado por un estudio de patentes sobre el tema realizado por el Departamento de Información Científico-Técnica del Centro Nacional de Investigaciones Científicas.

Los resultados de este trabajo han sido divulgados en seis publicaciones nacionales e internacionales reconocidas por su impacto, una tesis de diploma y en varios eventos internacionales en Cuba y el extranjero. Parte de este trabajo fue seleccionado para conformar un capítulo de un libro (Handbook of Environmental and Waste Management), en publicación por la Universidad del Estado de Cleveland, Ohio, USA.