

Impacto de proyectos

Remoción de protozoarios y parásitos en aguas residuales mediante el proceso de Fenton

En países latinoamericanos, el tratamiento y la reutilización de aguas residuales pueden representar un serio riesgo de salud pública debido a los altos

contenidos de microorganismos patógenos o dañinos que hay en ellas. En el caso de México, Cifuentes *et al* reportaron en 1993 una fuerte relación entre infecciones gastrointestinales y la ingestión de alimentos irrigados con aguas residuales crudas y pretratadas.

Entre los microorganismos patógenos que más interés han suscitado en los últimos tiempos, por su elevada incidencia como causantes de brotes y epidemias, están el protozooario *Giardia lamblia* y el parásito o lombriz *Ascaris lumbricoides*. En México durante 2001, la cuarta causa de mortalidad infantil (0-4 años) y la novena para niños y preadolescentes (5-14 años) fueron las enfermedades infecciosas intestinales causadas por la diseminación, por la vía hídrica común, de estos patógenos. Por otra parte, no ha sido posible eliminar eficientemente a estos microorganismos utilizando los procesos de desinfección convencionales, como la cloración, por lo que es necesario desarrollar procesos alternativos eficientes.

El reactivo de Fenton se considera una buena opción para suprimir estos agentes patógenos, ya que es una mezcla de soluciones de peróxido de hidrógeno y sal de hierro que resulta muy eficiente para eliminar contaminantes orgánicos recalcitrantes y bacterias como los coliformes fecales (Ramírez Zamora *et al*, 2002).

Si bien el reactivo de Fenton permite eliminar contaminantes mediante mecanismos de clarificación (coagulación-floculación) y oxidación, las variantes del reactivo han demostrado eficiencias de eliminación de contaminantes significativamente mayores con respecto al mencionado reactivo (Chen *et al*, 2001).

Las principales variantes del reactivo de Fenton son: reacción foto-Fenton, con luz visible y ultravioleta (Arslan y Balcioglu, 1999), electro-Fenton o generación electroquímica del reactivo de Fenton (Durán Moreno *et al*, 2003, 2004) y reacción Fenton con catalizadores de hierro (Sabhi y Kiwi, 2001).

Sin embargo, ni el reactivo de Fenton ni ninguna de sus variantes han sido utilizados para remover especies resistentes, como *Giardia lamblia*, los huevos de parásitos o helmintos.

Con base en los antecedentes presentados, el objetivo general de este estudio es evaluar la factibilidad de remover huevos de parásitos (*Ascaris suum*) y de protozoarios

(*Giardia lamblia*) presentes en agua mediante la aplicación del reactivo de Fenton y sus variantes, en pruebas de tratamiento realizadas en laboratorio.

Para el estudio sobre parásitos, la metodología experimental aplicada consistió en siete etapas principales: 1) montaje de técnicas analíticas para la cuantificación de huevos de helminto (*Ascaris sum*); 2) obtención de parásitos y preparación de suspensiones de huevos; 3) realización de pruebas de tratamiento con reactivo de Fenton; 4) análisis estadístico de resultados y desarrollo de modelos matemáticos; 5) cálculo de condiciones óptimas de reducción del porcentaje de viabilidad de huevos de helminto, y 6) análisis comparativo de eficiencias de remoción de huevos de helminto, obtenida entre el reactivo de Fenton y los valores reportados en la bibliografía aplicando otros procesos.

Los factores evaluados fueron: 1) acidez (pH), 2) cantidad agregada de oxidante (peróxido de hidrógeno), 3) tiempo de la reacción, y 4) relación másica hierro/oxidante.

Para el estudio de protozoarios, la metodología aplicada se dividió en seis etapas: 1) obtención de muestras positivas de quistes de *Giardia lamblia*, 2) preparación de suspensiones en agua destilada, 3) montaje de técnicas analíticas para la cuantificación de quistes de *Giardia*, 4) realización de pruebas de tratamiento con reactivo de Fenton y con sulfato de aluminio y cal, 5) análisis estadístico de resultados y 6) análisis comparativo de eficiencias de eliminación de quistes entre el reactivo de Fenton y el sulfato de aluminio con cal.

Los resultados obtenidos en las pruebas se utilizaron para desarrollar un modelo matemático que permite calcular la cantidad residual de huevos de parásitos después de un tratamiento con el reactivo de Fenton, en función de los cuatro factores evaluados en este estudio. La fig 1 presenta una curva que relaciona los datos calculados con los valores experimentales obtenidos en las pruebas.

Los resultados de tratamiento de quistes de *Giardia* mostraron que tanto el reactivo de Fenton (coagulación-floculación-oxidación) con cloruro férrico y peróxido de hidrógeno, como la coagulación-floculación con sales de aluminio y cal, eliminan con igual eficiencia los quistes de *Giardia* presentes en aguas residuales crudas. Las mejores condiciones de supresión fueron utilizando 45 mg de hierro/l para el reactivo

Porcentaje de eliminación de
huevos de *Ascaris summ*

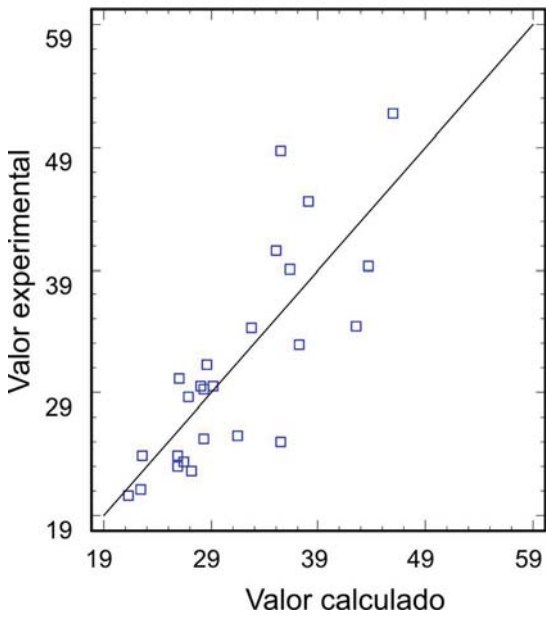


Fig 1. Valores calculados frente a valores experimentales de viabilidad residual de huevos de helminto tratados por oxidación con el reactivo de Fenton bajo diversas condiciones de operación



Fig 1.1 Selección de lombrices (*Ascaris summ*)

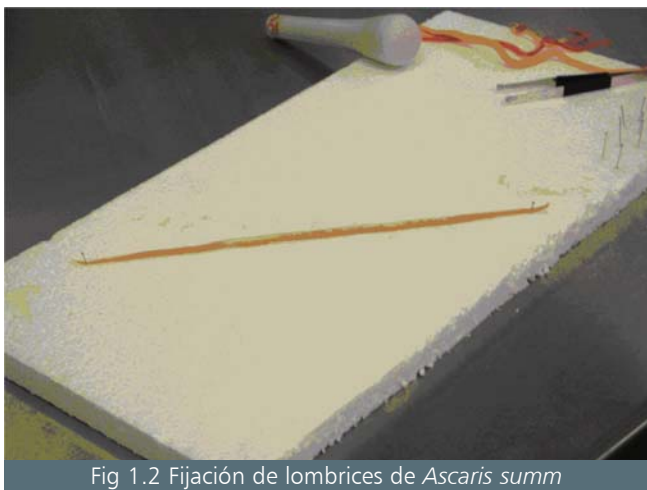


Fig 1.2 Fijación de lombrices de *Ascaris summ*

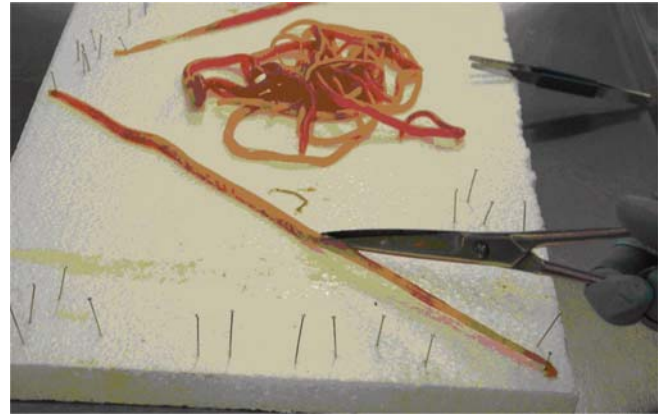


Fig 1.3 Iniciando el corte de la lombriz



Fig 1.4 *Ascaris summ* diseccionada y con los órganos reproductores expuestos

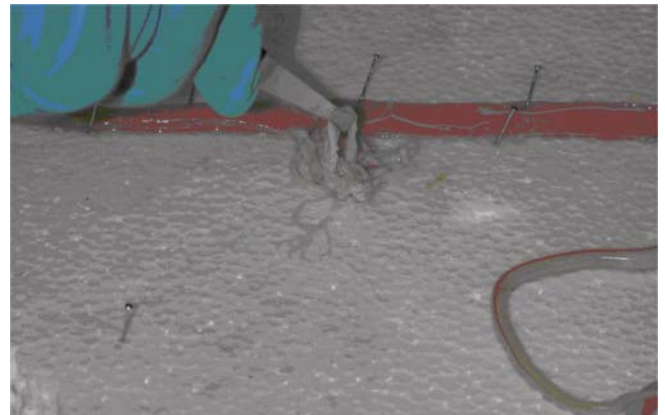


Fig 1.5 Extracción de órganos reproductores de la lombriz *Ascaris summ*

de Fenton y 45 mg/l de aluminio para el sulfato de aluminio con cal. Bajo estas condiciones se eliminó el 100 % de quistes presentes en un agua residual sintética, con una concentración inicial de 52 quistes/l. Los quistes eliminados por estos procesos fueron concentrados en los lodos generados. Sin embargo, debido a que el reactivo de Fenton genera oxidación, se considera que además de eliminarlos de la fase líquida

Uso de la energía solar en la producción de electricidad

La Comisión Federal de Electricidad solicitó al Instituto de Ingeniería de la UNAM la supervisión de los estudios sobre el uso de radiación solar para producir electricidad que hicieron dos empresas: SONOSOLAR de Sonora y Kearney & Associates de Washington, EUA.

México es un país con regiones de alta radiación solar, clima seco, escasez de lluvia y nubosidad, características excelentes para aprovechar la radiación solar en la producción de electricidad.

En Puerto Libertad, Sonora se instaló desde 1985 una planta termoeléctrica que funciona con combustóleo y que genera actualmente un total de 632 MW, con cuatro unidades de 158 MW y cuatro precalentadores de agua para cada una de ellas. La potencia generada cubre parcialmente las demandas agrícolas, domésticas, ganaderas e industriales de la región de Hermosillo, Caborca, Nacozari y el desarrollo turístico de Puerto Peñasco. El combustible que utiliza la planta se transporta por barco, lo que hace más cara la electricidad producida.

Sin embargo, Puerto Libertad se localiza a 250 km al noroeste de Hermosillo y tiene las condiciones climatológicas indicadas anteriormente que lo hacen un lugar ideal para usar la radiación solar en la producción de energía eléctrica. Por ello, la CFE contrató a las empresas mencionadas a fin de que realizaran un estudio de prefactibilidad para aprovechar la radiación solar en el precalentamiento del agua de alimentación de la caldera y con ello reducir el flujo del combustible, mejorando la economía de la planta y disminuyendo las emisiones gaseosas que contribuyen al calentamiento global de la Tierra.

Lo primero que se hizo fue estimar cuánta radiación solar llega durante el día al lugar; para ello se utilizaron datos de satélites y se determinó que de las 11 de la mañana a las 6 de la tarde, durante los meses de marzo a octubre, llega un promedio de 550 a 600 watts por cada m² de área, lo cual confirma el alto nivel de radiación solar. Otros datos interesantes son una temperatura de 21.5°C y 11.6 mm/día de precipitación pluvial (promedios anuales).

Con los datos proporcionados por el personal de la planta termoeléctrica fue posible dimensionar el área

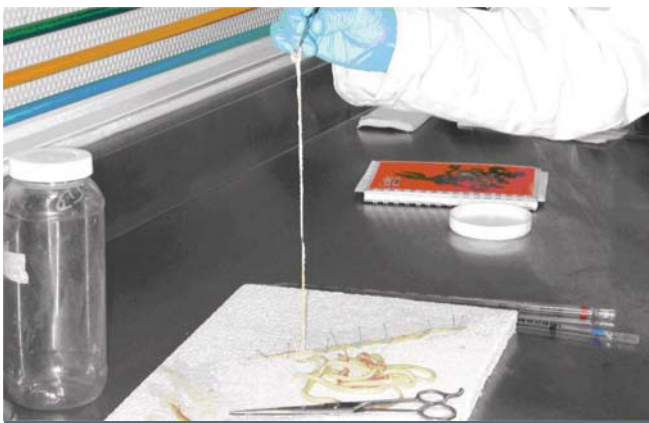


Fig 1.6 Órganos reproductivos extraídos de la lombriz *Ascaris sum*

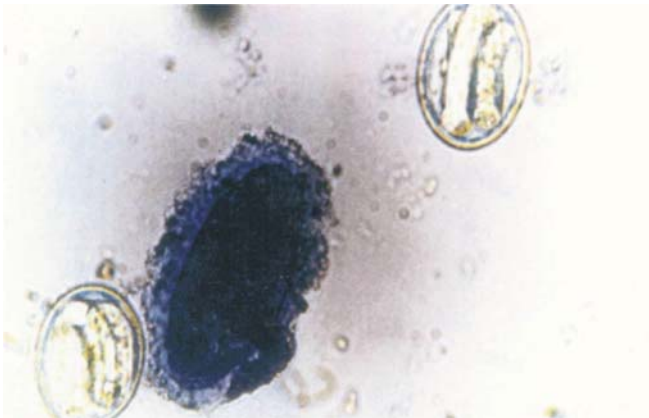


Fig 1.7 Fotografía de huevos de *Ascaris sum* (Victorica y Galván, 2002)

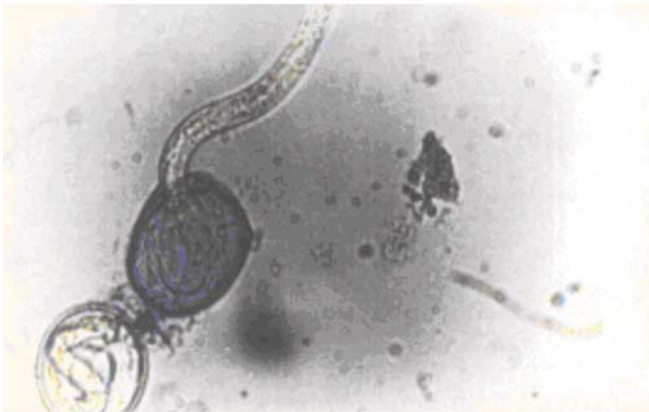


Fig 1.8 Fotografía de eclosión o salida de una larva de *Ascaris sum* (Victorica y Galván, 2002)

da también los inactiva, a diferencia del sulfato de aluminio con cal que sólo los concentra en los lodos. Esta hipótesis deberá comprobarse en otro estudio.

Finalmente, en este trabajo se observó que, en función del coagulante aplicado, deberán aplicarse diferentes técnicas de extracción para quistes presentes en los lodos.

solar necesaria para precalentar el agua. En la tabla 1 aparecen las áreas solares requeridas para uno y cuatro calentadores.

TABLA 1

Variable	Un precalentador	Cuatro precalentadores
Calor necesario, en millones de watts	22	88
Área solar, en m ²	37 622	142 971
Costo total, en millones de dólares americanos	13.21	49.32

En la tabla 2, se muestra el ahorro anual por el uso de la energía solar que implica la utilización de menos combustible, y el tiempo en que se recuperaría el dinero invertido o costo total por los dispositivos que usan la radiación solar.

TABLA 2

Variable	Un calentador	Cuatro calentadores
Ahorro anual, en dólares americanos	1 619 766	6 155 325
Periodo de recuperación, en años	8.6	8.01

La utilización de la energía solar en las plantas termoeléctricas implica disponer de grandes extensiones de terreno cercanas o aledañas para colocar los concentradores que captan la radiación y la transfieren a un fluido orgánico; también es necesario contar con un intercambiador de calor que transfiere el calor captado en el campo solar al agua de la planta termoeléctrica y realizar algunas modificaciones en el interior de la misma. Una ventaja de Puerto Libertad es la disposición de grandes extensiones de terreno.

En México no hay actualmente alguna planta termoeléctrica que use la energía solar; sin embargo, desde hace diez años se han realizado estudios similares al que se reporta y existe un proyecto para instalar un campo solar que proporcione 40 MW a una planta termoeléctrica que se construiría en Cerro Prieto, BC, o en Agua Prieta, Sonora, los dos sitios localizados en la frontera con los EUA.

En este proyecto participó el maestro Felipe Muñoz Gutiérrez, investigador de la Coordinación de Mecánica, Térmica y de Fluidos, del II UNAM.