

Análisis de la actividad agrícola como contaminante del agua, alternativas tecnológicas para la desinfección del agua para consumo humano en comunidades rurales y recursos legislativos para la prevención y su conservación

C. Párraga, R. Espinel

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 Vía Perimetral, Apartado: 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador

mparraga@espol.edu.ec, respinel@espol.edu.ec

Resumen

La falta de agua tratada en las comunidades rurales es una de las principales fuentes de enfermedades. El consumo de diferentes compuestos químicos contenidos en el agua a lo largo de la vida de estos pobladores afecta sus capacidades intelectuales, lo que se convierte en una limitante importante en el desarrollo de estas comunidades. Los Colectores Solares Cilindro Parabólicos (CPCs) es uno de varios modelos de reactores Fotocatalíticos y son considerados la mejor opción para procesos fotocatalíticos basados en el uso de radiación solar. Por lo anterior, el diseño de reactores CPCs con catalizador inmovilizado se adapta a las limitantes y necesidades de las comunidades rurales en lo que a la desinfección de agua se refiere. Esto significa que sea eficiente, de fácil manejo y económico, ya que generalmente hay comunidades apartadas o donde hay una importante dispersión entre las viviendas lo que dificulta la conexión de sistemas de agua potable y energía eléctrica.

Palabras claves: comunidades rurales, agua contaminada, fotocatalisis

Abstract

The lack of treated water in rural communities is the main reason for diseases. The consumption of different chemical contained in water for years by this people causes intellectual deficiency, what becomes a main problem with the development of these communities. The Solar Cylindric-Parabolic Manifolds (CPC) is one of many models of photocatalytic reactors and they are considered the best choice for solar radiation based photocatalytic processes. By this, the design of CPC's with steady catalyst adapts to the boundaries and needs of the rural communities concerning water disinfection. This means it is efficient, easy usable and low cost, due to very far distances from main cities or among them what makes hard to install electric or drinking water networks.

Palabras claves: rural communities, contaminated water, photocatalysis

1. Introducción

En el Ecuador, el 86% de la población es rural, de la cual menos del 40% posee servicios de saneamiento básico, no más del 15% posee alcantarillado y casi la mitad no posee energía eléctrica [1].

La creciente actividad agropecuaria en el país, estimada en una superficie de 12,654.242 hectáreas (FAO), demanda el elevado uso de agroquímicos, que sumada a malas prácticas agrícolas resulta en un excesivo uso de pesticidas que son una de las principales fuentes de contaminación del agua.

Las poblaciones rurales son las que están más propensas a enfermedades por consumo de agua contaminadas, por lo que es necesario el desarrollo de tecnologías económicas y eficientes no sólo en la desinfección microbiológica, sino también en el tratamiento de compuestos orgánicos.

El tratamiento del agua esta comúnmente basado en procesos mecánicos, físicos, químicos y biológicos, pero estos procesos no son efectivos en la degradación de los compuestos bio-recalcitrantes y son requeridos procesos de adsorción de carbón activado, ozono y oxidación.

Los procesos avanzados de oxidación (PAOs) se consideran con alto potencial en el tratamiento de aguas residuales a nivel universal y esta caracterizada por la producción de radicales hidroxilos, que pueden ser generados por medios fotoquímicos (incluida la luz solar) o por otras formas de energía, y posee alta efectividad para la oxidación de materia orgánica.

La fotocatalisis heterogénea es un proceso basado en la absorción directa o indirecta de la energía radiante por un catalizador, que normalmente es un semiconductor de banda ancha, siendo el más investigado el Dióxido de Titanio

(TiO₂) porque reacciona con luz solar y es económicamente asequible.

Los Colectores Solares Cilindro Parabólicos (CPCs) son uno de varios modelos de reactores Fotocatalíticos y son considerados la mejor opción para procesos fotocatalíticos basados en el uso de radiación solar (Ajona y Vidal, 2000; Blanco et al, 2000; Robert et al, 1999).

Entre las cualidades más importantes de los CPCs, esta el aprovechamiento de la energía solar directa y difusa de manera eficiente (Blanco et al, 2000), no produce evaporación de compuestos volátiles ni calentamiento del agua, tiene una alta eficiencia óptica y el flujo es turbulento dentro del reactor, lo que favorece la transferencia de masa y evita problemas de sedimentación del catalizador.

El proceso de detoxificación solar es una alternativa para el tratamiento de aguas contaminadas con compuestos no biodegradables,

2. Definición del problema

La falta de agua tratada y la irregularidad en la distribución de las lluvias ocasiona que los embalses, represas, pozos y "ojos de agua" sean las principales fuentes de consumo humano, principalmente en el área rural. Sin embargo, el uso múltiple de esos cuerpos hídricos en la actividad agrícola favorece, por diversos factores, la contaminación de los mismos, por lo que se hace imprescindible el uso de alternativas tecnológicas para la desinfección de agua para consumo humano en las comunidades rurales y romper la cadena epidemiológica de enfermedades infecciosas de origen hídrico.

3. Metodología

A raíz del análisis de la actividad agrícola y su influencia en la contaminación del agua se buscó implementar medidas de prevención, control y mitigación de la contaminación del agua en zonas agrícolas, especialmente las relacionadas a la actividad bananera. Además de buscar alternativas tecnológicas para la desinfección del agua para consumo humano en comunidades rurales dedicadas a la agricultura, e indagar sobre la legislación ambiental relacionada con la conservación del agua.

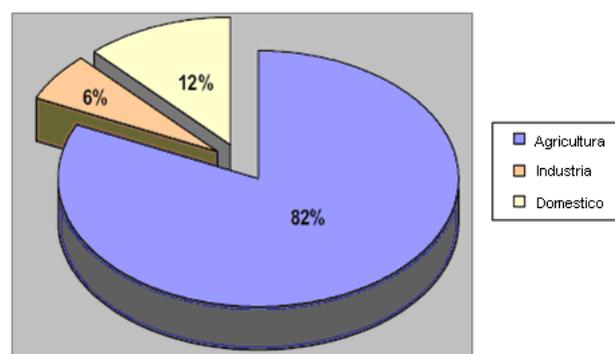
4. La agricultura, los pesticidas y la contaminación del agua

El 82% del uso del agua está destinado a la agricultura, siendo la actividad agrícola una de las principales fuentes de contaminación ambiental.

esta tecnología se basa en colectores térmicos modificados para optimizar la eficiencia óptica en la captación de la radiación solar UV. En los últimos años, este proceso se ha desarrollado ampliamente debido a su gran componente ambiental.

Se estima que actualmente más de 50 millones de personas de América Latina y el Caribe no tienen acceso a agua segura. La situación se agrava en regiones agrícola-ganaderas, donde se usan plaguicidas y fertilizantes químicos de alta, media y baja toxicidad. Por ello, la desinfección solar del agua es una alternativa viable para nuestros países que cuentan con economías inestables incapaces de sostener proyectos de altas implicaciones económicas, pero si de llevar a cabo alternativas tecnológicas de alto impacto social.

Distribución del uso del agua en el Ecuador



Fuente: Herrera et al, 2004

Efectos de los plaguicidas en la salud

Los trabajadores agrícolas están sometidos a especiales riesgos asociados a la inhalación y contacto a través de la piel durante la preparación y aplicación de plaguicidas a los cultivos. No obstante, para la mayoría de la población, un vehículo importante es la ingestión de alimentos contaminados por plaguicidas.

4.1 Factores preponderantes para la contaminación del agua por la actividad agrícola-caso banano

Cultivo del Banano

Cuando se habla de la sostenibilidad del cultivo de banano, existen oportunidades de mejorías en las buenas prácticas agrícolas, por ejemplo en dos aspectos: la aplicación adecuada de pesticidas y el manejo de desechos.

Entre las mayores limitantes para un manejo sostenible de este cultivo están los problemas fitosanitarios, los cuales han sido manejados hasta la actualidad con el uso de plaguicidas, en especial de fungicidas para el control de la Sigatoka Negra.

Impactos de la actividad bananera

Impacto en el terreno

Los suelos donde se siembra el banano son de una excelente textura, entre otras características son muy permeables por lo tanto la erosión es casi nula. La cantidad de agua disponible mediante el sistema de riego por aspersión que mantiene éste cultivo, asegura que éstos terrenos dispongan de nutrientes y permanentemente se acumule materia orgánica proveniente de la dispersión de las hojas y tallos en el terreno.

Impacto en el uso de plaguicidas

Las diferentes densidades en un cultivo de banano comparten un espacio físico y constituyen una comunidad biológica que interactúan entre ellas. El uso de plaguicidas va a alterar estas relaciones y causar impacto ambiental. La actividad agrícola requiere el uso de fungicidas, bactericidas, insecticidas, nematocidas, acaricidas, roenticidas y otros plaguicidas.

En el caso de las plantaciones del banano, los peligros asociados con los plaguicidas son entre otros:

- a) La baja biodegradabilidad hace que su toxicidad, persista largo tiempo en el medio ambiente, especialmente los clorados y los fosforados con peligro de que lo absorba la fruta y por este medio el organismo humano.
- b) Posibilidad de que percolen hasta los acuíferos que pueden servir como agua de consumo humano.
- c) Crean resistencia a las plagas, lo que hace necesario aumentar frecuencias de aplicación.
- d) Destrucción del control biológico y entomopatógenos.
- e) Resurgimiento de plagas ya tratadas y de nuevas plagas y
- f) Afectan la polinización

Impacto debido al uso de fertilizantes

Un exceso en el uso de fertilizantes alteran el Ph y la composición química del suelo la urea mal aplicada origina iones amonio y a un compuesto llamado duret que es fitotóxico. El muriato de sodio puede dar origen a lo que se llama compactación

química o sea la acumulación de sales de sodio en la raíz de la planta. Los elementos no absorbidos por la planta pueden causar contaminación.

Impacto sobre la salud

La mayoría de los herbicidas son de baja toxicidad aunque la exposición prolongada pueda producir efectos severos en los humanos produciendo estupor, somnolencia, náuseas, vómito, convulsiones. Los pesticidas organoclorados son neurotóxicos, algunos muy tóxicos, con DL50 menores a 100 mg/kg. Los síntomas de intoxicación incluyen dolor de cabeza, mareos, náusea, vómito, tembladeras y convulsiones; son cancerígenos. Los carbamatos también inhiben la enzima acetil colinesterasa y por lo tanto su toxicidad es similar a los organofosforados.

Impacto sobre el aire

Cuando se fumiga con productos químicos, tienen olores característicos que persisten durante un tiempo y luego se disipan, durante éste periodo las partículas líquidas del aceite agrícola y gasificadas de los plaguicidas persistirán un corto tiempo en el aire y luego caerán.

Impacto sobre el agua

Los drenajes de las plantaciones de banano están conectados con los ríos, lo que indica que existe un continuo recambio de aguas en las plantaciones, procediendo a su depuración. Lo mismo ocurre con los acuíferos subterráneos cuyas aguas son renovadas constantemente por los nevados y vertientes de la cordillera andina. El agua de las empacadoras contienen mezclas de materia orgánica disuelta y fungicidas las cuales descargan generalmente a los ríos.

Impacto sobre la plantación

La sigatoka negra es la principal enfermedad que ataca al banano la cual es muy virulenta, de igual forma hay presencia de la sigatoka amarilla cuyos efectos son los siguientes: a) retarda la floración; b) los racimos son más pequeños con menor número de manos y c) aparece una madurez prematura, la pulpa de los frutos se ablanda y toma coloración crema. Existen otras enfermedades como la marchitez bacteriana de menor incidencia. En los insectos, el picudo negro produce galerías en las cepas siendo su actividad nocturna. A las hojas atacan el caterpillar, monturita, vaquita, tortuguilla, pulpitos, la cochinilla, trips y los ácaros produciendo baja producción, racimos pequeños y dedos cortos. La presencia de nemátodos en las raíces de las plantas, producen túneles que son la vía de entrada para los hongos y bacterias reduciendo el sistema radicular y

la capacidad de absorción del agua y nutrientes del suelo.

4.2 Medidas de prevención, control y mitigación y plan de manejo ambiental

Medidas de prevención, control y mitigación

Las plantaciones de banano consumen nutrientes del suelo como nitrógeno, fósforo, potasio, hierro, sodio, cobre y otros cationes; éstos nutrientes deberán ser restablecidos con los fertilizantes como la urea, muriato de potasio y otros. El fósforo es aplicado como parte de otros fertilizantes utilizado en menores proporciones. La salud de los trabajadores se puede ver afectada por accidentes de trabajo y por exposición prolongada a los productos químicos. Se tomarán las siguientes medidas de mitigación de estos impactos:

a).- prevención de riesgos de trabajo y b).- manipuleo seguro de plaguicidas.

Los impactos sobre la plantación que se han descrito, pueden ser mitigados por medio de:

a).- control de malezas minimizando el uso de herbicidas y maximizando el uso de maquinaria y el machete; b).- fertilizaciones para restituir al suelo sus nutrientes; c).- evitar que los deshijadores corten yemas, botones, espuelas e hijos de espada antes de que para la planta madre; d).- deshijar únicamente las plantas paridas con hijos mayores a tres meses de edad, el deshije debe ser hecho 4 a 6 veces al año según las condiciones climáticas y las plantas deben tener siempre por lo menos 10 hojas buenas.

Como otras medidas de prevención y control:

a).- se reducirá el uso de productos químicos; b).- los envases de agroquímicos vacíos serán lavados y c).- se sembrará pasto en los taludes de los canales de drenaje para evitar la erosión.

De igual forma se tomarán las siguientes medidas:

a).- se cumplirá con el artículo #42 del reglamento a la ley de control de contaminación del recurso de aguas que en su inciso a) prohíbe la aplicación manual de agroquímicos dentro de una franja de 3 metros y la aplicación aérea de los mismos dentro de una franja de 30 metros, medidos en ambos casos desde la orilla del cuerpo de agua; b).- se exigirá el cumplimiento estricto del reglamento general de plaguicidas y productos afines de uso agrícola; c).- se pedirán a los fabricantes de los productos químicos recomendaciones específicas sobre usos adecuados, frecuencias y manipuleo.

4.3 Tecnología aplicable para la desinfección del agua para consumo humano en sectores rurales.

La cloración por goteo, la cloración por tabletas, y la desinfección solar como alternativas para la desinfección del agua para consumo humano son algunas de las más utilizadas en Latinoamérica. A pesar de ser tecnologías efectivas en la eliminación de microorganismos patógenos del agua no son capaces de asegurar la inocuidad del agua de consumo, ya que tenemos otro agente de contaminación como es el químico, que en nuestro medio proviene especialmente de la actividad agrícola extensiva.

Es entonces cuando las tecnologías fotocatalíticas se presentan como una alternativa a la descontaminación del agua, a continuación se presentan las tecnologías avanzadas de oxidación y sus aplicaciones.

4.3.1 Tecnologías avanzadas de oxidación (TAO's)

Las TAO's se basan en procesos fisicoquímicos capaces de producir cambios fundamentales en la estructura química de los contaminantes. El concepto fue inicialmente establecido por Glaze y colaboradores, quienes definieron las TAO's como procesos que involucran la generación y uso de especies transitorias poderosas, principalmente el radical hidroxilo ($\bullet\text{OH}$). Este radical puede ser generado por medios fotoquímicos (incluida la luz solar) o por otras formas de energía, y posee alta efectividad para la oxidación de materia orgánica. Algunas TAO's, como la fotocatalisis heterogénea, la radiólisis y otras técnicas avanzadas, recurren además a reductores químicos que permiten realizar transformaciones en contaminantes tóxicos poco susceptibles a la oxidación, como iones metálicos o compuestos halogenados.

Las TAO's son especialmente útiles como pretratamiento antes de un tratamiento biológico para contaminantes resistentes a la biodegradación o como proceso de postratamiento para efectuar un pulido de las aguas antes de la descarga a los cuerpos receptores.

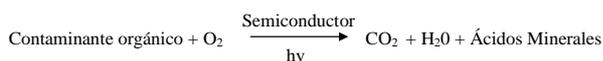
La eficiencia de las TAO's es superior a los métodos convencionales porque los procesos involucrados poseen una mayor factibilidad termodinámica y una velocidad de oxidación muy incrementada por la participación de radicales, principalmente el radical hidroxilo, $\bullet\text{OH}$. Esta especie posee propiedades adecuadas para atacar virtualmente a todos los compuestos orgánicos y reaccionar 10⁶-10¹² veces más rápido que oxidantes alternativos como el O₃.

4.3.2 Fotocatalisis Heterogénea

Cuando se habla de fotocatalisis se hace referencia a una reacción catalítica que involucra la

absorción de luz por parte de un catalizador o substrato [1].

En este caso se habla de fotocatalisis heterogénea porque las fotorreacciones transcurren en la superficie del catalizador (en la interfase líquido-sólido o gas-sólido, respectivamente). La fotocatalisis heterogénea permite la degradación, e incluso la mineralización, de gran variedad de compuestos orgánicos según la reacción global siguiente:



Reacción Global de Fotocatalisis Heterogénea

4.3.3 Tecnología de los colectores solares

Tradicionalmente se han clasificado los diferentes sistemas de aprovechamiento de la radiación solar, o colectores solares, dependiendo del grado de concentración alcanzado con ellos. La relación de concentración (RC) puede ser definida como la relación entre el área de superficie de captación de radiación (o área de apertura) y el área del reactor (área del componente que recibe la radiación solar concentrada, esté completamente iluminada o no). Esta RC influye directamente en la temperatura de trabajo del sistema y, de acuerdo con este criterio, los colectores se clasifican en tres tipos:

1. Sin concentración o baja temperatura, hasta 150° C.
2. Concentración media o media temperatura, desde 150° C hasta 400° C.
3. Alta concentración o temperatura, por encima de 400° C.

4.3.4 Colectores solares para la descontaminación del agua

Los Colectores Solares Cilindro Parabólicos (CPCs) es uno de varios modelos de reactores Fotocatalíticos y son considerados la mejor opción para procesos fotocatalíticos basados en el uso de radiación solar (Ajona y Vidal, 2000; Blanco et al, 2000; Robert et al, 1999). Entre las cualidades mas importantes de los CPCs, esta el aprovechamiento de la energía solar directa y difusa de manera eficiente (Blanco et al, 2000), no produce evaporación de compuestos volátiles ni calentamiento del agua, tiene una alta eficiencia óptica y el flujo es turbulento dentro del reactor, lo que favorece la transferencia de masa y evita problemas de sedimentación del catalizador.

4.3.5 Desinfección solar de aguas en comunidades rurales.

La tecnología DSAUI, Desinfección Solar de Aguas en Unidades Individuales (Solar Water Disinfection, SODIS, desarrollado por el EAWAG – Instituto del agua – de Zurich), es un método eficiente para la eliminación de microorganismos patógenos presentes en agua de consumo humano [2].

Este método tiene la ventaja de ser económico y fácilmente aplicable en cualquier localidad que lo necesite y sólo requiere de la energía solar, apartándose de los métodos convencionales de purificación de agua tales como la cloración y el hervido del agua, cuyo costo es tal vez inaccesible para poblaciones que viven en condiciones precarias.

Los microorganismos son eliminados por la radiación ultravioleta (UV-A), en sinergia con la radiación infrarroja (IR) a partir de determinada temperatura.

4.3.6 Recursos legislativos para la prevención y conservación del agua

El marco legal es la concentración de normas que son usadas para llevar a cabo determinado estudio. De esta manera, se analizarán dentro de la legislación vigente los puntos inherentes a la preservación de los cuerpos hídricos. Los documentos que especifican los criterios para la preservación y conservación del agua son: el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), y el Reglamento de Saneamiento Ambiental Bananero.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Entre los causales más importantes de la contaminación del agua está la actividad minera, hidrocarburífera y agrícola, siendo ésta última la más común, pues al ser éste un país inminentemente agrícola, el uso de insumos como fertilizantes y pesticidas es común es los cultivos como el banano, la palma africana, las rosas, entre otros.

La educación juega un papel importante dentro de los problemas de salud por contaminación del agua, pues los pequeños agricultores desconocen los riesgos de utilizar grandes cantidades de agroquímicos y sus vertidos a las fuentes de agua y más aun los riesgos de consumirla y utilizarla para las actividades diarias sin ningún tratamiento y los grandes agricultores no se rigen a la legislación ambiental competente.

Las opciones que tienen las comunidades rurales para asegurar el consumo de agua segura son limitadas, la más conocida y difundida es la acción de hervir el agua, sin embargo éste mecanismo únicamente es efectivo para la eliminación de microorganismos patógeno, que es cierto que con sólo esta acción se evitan muchas enfermedades, pero no se obtiene un agua inocua, pues aun quedan los contaminantes químicos.

Aunque los efectos en la salud por el consumo de agua contaminada por agroquímicos no es evidente a un corto plazo, hay investigaciones que indican que a largo plazo pueden ocasionar enfermedades del sistema nervioso, problemas reproductivos e incluso cáncer y efectos sobre el feto.

Siendo ya más de 40 años de uso de agroquímicos en el país, ya son visibles los efectos de la contaminación sobre los recursos naturales y la salud, siendo la más preocupante la contaminación del agua pues es el líquido vital, por lo que en diferentes partes del mundo se han innovado en tecnologías sostenibles para su descontaminación.

Como hemos podido ver en el documento, la fotocatalisis heterogénea representa una alternativa ambientalmente amigable, económicamente factible y socialmente viable, pues utiliza como principal fuente de energía la energía solar, los componentes para elaboración de reactores foto catalíticos son de valores accesibles y ya han sido utilizados en ensayos en comunidades rurales en países como México donde han tenido una gran aceptación.

En nuestro país no han sido utilizadas las tecnologías fotocatalíticas, por lo que se recomienda ampliamente su investigación, pues por nuestra ubicación geográfica, contamos significativamente con el insumo más importante de ésta tecnología: luz solar durante 12 horas por día.

Por otro lado, hay que recordar que aunque se encontrara una tecnología ideal para la obtención de agua segura para su consumo, la mejor herramienta es la prevención, por lo que no hay que llegar a contaminar para luego buscar mecanismos de recuperación de los recursos, sino prevenir, y uno de los recursos es la aplicación en toda su extensión de la legislación ambiental.

Recursos legislativos para la prevención de la contaminación han tenido un considerable éxito en países considerados desarrollados, que a demás son los principales destinos de nuestros productos agrícolas, de los cuales cada vez más se exigen certificaciones de buenas prácticas agrícolas y ambientales.

5.2 Recomendaciones

- Investigar las tecnologías fotocatalíticas aplicadas a nuestro medio.
- Implementar un plan de manejo ambiental en plantaciones bananeras para identificar y prevenir los impactos negativos que genera el uso descontrolado de plaguicidas en el recurso agua y por ende en la salud de la población rural involucrada a esta actividad.
- Las normativas vigentes relacionadas a la conservación del ecosistema deben ser difundidas a través de programas de capacitación hacia todos los habitantes de las comunidades rurales que no tienen acceso a este tipo información.

6 Referencias bibliográficas

- [1] Xavier Doménech, Wilson F. Jardim y Marta I. Litter. 2004. Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. Colección Documentos Ciemat. Eliminación de Contaminantes por Fotocatalisis Heterogénea. Pág. 7 – 33.
- [2] Desinfección solar de aguas en comunidades rurales de América Latina. Proyecto OEA AE 141/2001. Disponible en <http://www.cnea.gov.ar/xxi/ambiental/agua-pura/publicaciones/Sodis-2003.pdf>