

Uso en Riego de Aguas Residuales Domésticas Tratadas en Lagunas de Estabilización

Ing. Eduardo Valencia Granada. Msc.
Programa Ingeniería Agrícola.
Universidad Surcolombiana
eduvale@usco.edu.co



Resumen

La presión ejercida por el hombre sobre el agua ha generado escasez del recurso y deficiencias en su calidad, siendo necesario proponer una gestión más integral del mismo; el reuso de aguas residuales tratadas es una de las alternativas. En este trabajo se estudió el potencial de reuso como agua para riego del efluente del sistema de lagunas de estabilización, que trata las aguas residuales domésticas de Ginebra-Valle.

Los resultados obtenidos muestran una alta potencialidad de estos efluentes para su reuso en riego, con unos riesgos bajos de salinidad para los suelos y de toxicidad para los cultivos, así mismo el riesgo para la salud sería equivalente al riesgo actual por regar con agua del río Cauca en el caso de irrigación restringida.

Introducción

Colombia, uno de los países con mayor potencial hídrico, no escapa a la problemática mundial del recurso agua. El aumento de la población, el acelerado proceso de urbanización, la industrialización, la producción agropecuaria moderna y la transformación de sus productos, hacen que se requieran cada vez más grandes cantidades de agua de buena calidad.

Sin embargo el recurso es limitado, siendo preocupante que cada día desaparezcan fuentes superficiales por el inadecuado manejo de las cuencas hidrográficas. La problemática de su calidad no es menos preocupante, las fuentes de agua son sometidas a fuertes descargas de residuos contaminantes: aguas residuales domésticas e industriales, de drenaje de la producción agropecuaria y de los procesos agroindustriales, generalmente son vertidas sin ningún tratamiento, con todos los problemas que a nivel de la salud pública y del medio ambiente generan, máxime que estas aguas deben ser aprovechadas por otras comunidades aguas abajo de las descargas.

Para llevar a cabo una gestión mas integral del recurso hídrico, se proponen alternativas como: La priorización de sus usos, utilizando las de mejor calidad para consumo humano; desarrollar programas de educación con la comunidad, para racionalizar los consumos en las actividades domésticas; mejorar la eficiencia de los usos industriales, recirculando las aguas utilizadas en los procesos de producción y minimizando los consumos; mejorar la eficiencia de los sistemas de irrigación, que en la actualidad apenas alcanza el 30%; el reuso de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Organizaciones como la FAO y la OMS, están fomentando el reuso de las ARD en agricultura para irrigación y fertilización de suelos, y en acuicultura para producción de biomasa con alto valor proteico. Sin embargo, advierten

sobre el riesgo que para la salud pública y el medio ambiente se generarían como consecuencia de una práctica indiscriminada de estas actividades.

El uso agrícola de aguas residuales tratadas constituye una de las herramientas más valiosas que tienen los países en vías de desarrollo para controlar la contaminación y hacer frente al reto de incrementar la producción agrícola con un recurso hídrico escaso (Saenz, 1991); estas aguas también aportan macro y micronutrientes que pueden ser aprovechados para la nutrición de los cultivos irrigados (Mara y Cairncross, 1990).

Los propósitos del presente trabajo fueron: caracterizar como agua para riego el efluente de la laguna facultativa del sistema de tratamiento de ARD de Ginebra Valle; comparar producción al regar con agua del efluente respecto a regar con agua limpia; determinar a nivel exploratorio los riesgos potenciales microbiológicos para la salud pública y la toxicidad para los cultivos, debido al uso del efluente en riego.

Marco Conceptual

La FAO (1987) en el documento «La Calidad del Agua en la Agricultura», presenta las directrices sobre la calidad fisicoquímica para las aguas utilizadas en riego. Los problemas más comunes asociados al suelo y las plantas que deben ser evaluados son: la salinidad, medida con el parámetro CE; la velocidad de infiltración de agua en el suelo, con el parámetro RAS; y la toxicidad para las plantas por iones específicos, siendo los de mayor incidencia Cl^- , Na^+ y B^{+++} . Las ARD suelen tener una calidad fisicoquímica adecuada para irrigación y solo requiere especial atención el contenido de sales, boro y sodio (Mara, 1995).

La OMS (1989), establece las medidas disponibles para la protección de la salud pública que pueden ser aplicadas

individualmente o en combinación en proyectos de reuso de ARD. Se agruparon en cuatro categorías: **a)** tratamiento de aguas residuales, **b)** restricción de cultivos, **c)** métodos de aplicación y **d)** control a la exposición humana y fomento a la higiene.

Así mismo la OMS estableció las Directrices Sanitarias sobre el uso de Aguas Residuales en Agricultura y Acuicultura; cuyo propósito es proteger la salud de quienes trabajan en los campos regados con aguas residuales y de quienes consumen sus productos. Dos son las principales categorías de enfermedades que son importantes: Las causadas por nemátodos intestinales y las causadas por bacterias fecales (Mara, 1995). Respecto al tratamiento de ARD, no debe ser tal que garantice una reducción total del riesgo microbiológico, pues en combinación con las otras medidas mencionadas se puede alcanzar una reducción efectiva del riesgo potencial; esto de hecho responde a un concepto muy importante cual es el tratamiento de ARD por objetivos. La OMS (1989) recomienda las lagunas de estabilización con periodos de retención mayores a 10 días, como el sistema de tratamiento mas apropiado para minimizar los riesgos potenciales para la salud pública.

Actualmente existen planes de reuso a gran escala en muchos países, algunos de ellos son: Argentina, Australia, Chile, Alemania, China, India, México, Perú, Sur Africa, Estados Unidos y muchos países en el norte del Africa y del medio oriente (Mara, 1995). México posee el sistema de reuso agrícola de ARD más grande del mundo, actualmente se riegan 100000 ha, donde se utiliza el ARD de la ciudad de México y su área metropolitana (Mara y Cairncross, 1990)

En Colombia, se utilizan ARD, de la producción pecuaria e inclusive de origen industrial y agroindustrial para el riego de cultivos sin importar su nivel de tratamiento. En la sabana de Bogotá por ejemplo, en el distrito de riego y drenaje de la Ramada, se riega actualmente 3500 ha de cultivos de hortalizas, flores y pastos con aguas del río Bogotá, las cuales se pasan a través de humedales naturales

como forma de tratamiento (CAR, 1992).

Con relación a los rendimientos logrados en cultivos regados con aguas residuales se encuentran diferentes opiniones en la literatura. En la India por ejemplo, experimentos de campo han demostrado que el riego con aguas residuales permite obtener una producción mayor que el riego con agua limpia suplementada con dosis normales de N, P y K (Mara, 1995).

Muñoz (1996), en parcelas experimentales de zanahoria y lechuga en la Sabana de Bogotá con los tratamientos de riego: agua residual cruda, efluente de lagunas de estabilización y agua limpia; encontró que las diferencias entre promedios de producción no son significativas entre los tratamientos efluente y agua limpia; pero si entre estos dos tratamientos con el de agua residual cruda, siendo mayor la producción cuando se riega con esta última.

Metodología

La fase experimental del estudio se realizó en el sistema de lagunas de estabilización de Ginebra-Valle, conformado por una laguna anaerobia y una facultativa operando en serie con un TRH total de 8 días; el ensayo con los cultivos en los invernaderos de La Universidad Nacional sede Palmira.

En Ginebra se tomaron datos y muestras de los siguientes parámetros: caudal, temperatura del agua, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos (SS), coliformes fecales (CF), huevos de *Ascaris lumbricoides*, CE, RAS, N, P y K y los iones Cl^- , Na^+ y B^{+++} . Las pruebas de laboratorio se realizaron de acuerdo a los procedimientos de la AWWA. Para el análisis de los datos se utilizaron los siguientes estadísticos: valor máximo y mínimo, rango de variación, promedio, desviación standard y valor estimado para un intervalo de confianza del 95%.

En Palmira, el ensayo de invernadero se montó en macetas germinadoras, utilizando

como sustrato la mezcla cachaza-carbonilla en proporción de 3 a 1 y como cultivo indicador el rábano. El diseño, completamente al azar con 2 tratamientos y 12 repeticiones; 3 plantas por unidad experimental; 2 tratamientos: riego con efluente y riego con

agua de pozo profundo; y como variables de respuesta: pesos verde y seco de los rábanos, peso verde y seco de la biomasa aérea, área foliar y altura de la planta. Para determinar la significancia estadística entre los promedios de los tratamientos se aplicó el análisis de varianza (ANAVA).

Resultados

De los datos obtenidos, se puede deducir que el sistema de lagunas de estabilización de Ginebra-Valle, está operando adecuadamente. Las remociones de DQO (85%) y SS (83%) están

en el rango esperado de acuerdo al diseño. La remoción del 100% de huevos de helmintos y 99% de CF es la esperada para un sistema anaerobio - facultativo. Ver cuadro 1.

Parámetro	Unidad	Afluente (Af)	Efluente (Ef)	% remoción
DQO	mg/l	439.47	66.98	85
SS	mg/l	276.55	48.09	83
CF	UFC/100 ml	10 ⁹	10 ⁷	99
Huevos	No/l	21	0	100

Cuadro 1. Remociones de DQO, SS, CF y huevos de helmintos

En el cuadro 2, se presentan los valores de los parámetros evaluados en el efluente de la laguna facultativa y los reportados para aguas del río Cauca y de pozos profundos, que son las utilizadas para riego en el Valle del Cauca y que permite comparar sus calidades.

La calidad del efluente es similar a las otras aguas, siendo de la misma clase de las de pozos profundos C2S1, consideradas como de buenas a excelentes para riego; y de inferior calidad a las aguas del río Cauca que pertenecen a la clase C1S1 consideradas como excelentes.

De acuerdo a las directrices de la FAO (1987), el efluente no tendría ningún grado de restricción de uso por su contenido de sales; pero su riesgo potencial de salinización de los suelos a largo plazo es considerado como medio, debiendo preverse medidas como el drenaje. Por su valor de RAS=1.47 y CE=0.54 dS/m, presenta un grado de restricción de uso de ligero a moderado, por los problemas que puede crear a la infiltración del agua en los suelos.

Por su contenido de nutrimentos (N, P, K) el efluente es de mejor calidad que las otras aguas en mención. Estos pueden ser aprovechados por los cultivos reemplazando total o parcialmente los fertilizantes químicos, convirtiéndose el efluente en un valioso recurso Sin embargo el alto contenido de N en el efluente le da una restricción de uso de ligera a moderada (FAO, 1987).

Por su riesgo microbiológico (CF), la calidad del efluente es similar a la de aguas del río Cauca, pero inferior a las aguas subterráneas; haciéndose necesario la práctica de restricción de cultivos; lo que hace preveer que no se aumentarán significativamente los riesgos para la salud pública por su uso en irrigación. El riesgo potencial de toxicidad para las plantas debido a la presencia de los iones Na⁺, Cl⁻ y B⁺⁺⁺ es bajo; siendo similar en este sentido a las aguas del río Cauca y de los pozos. La relación Ca⁺⁺/Mg⁺⁺ en el efluente y en las otras dos aguas es mayor que la unidad, siendo favorable para el suelo al disminuir el efecto nocivo del Na sobre la infiltración del agua.

Parámetro	Efluente	Pozos	Río Cauca
CE (mmhos/cm)	539	507	183
RAS	1.47	0.69	0.45
Clase	C2S1	C2S1	C1S1
N (mg/l)	26.27	0.35	1.04
P (mg/l)	5.32	1.04	0.19
K (mg/l)	9.54	2.61	1.97
CF (UFC/100ml)	10 ⁷	10 ²	10 ⁷
Huevos helmintos (No./l)	≤ 1	-	-
B ⁺⁺⁺ (mg/l)	0.21	0.12	0.34
Cl (mg/l)	41.67	17.25	16.19
Na ⁺ (mg/l)	26.85	23.96	7.87
Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺	1.70	3.38	2.95

Cuadro 2. Comparación de la calidad como agua para riego del efluente con aguas del río Cauca y pozos profundos.

Del ensayo en invernadero, para las variables de respuesta en producción: peso verde (PV) rábano, peso seco (PS) rábano, peso verde (PV) y peso seco (PS) biomasa aérea, así como las de desarrollo biológico: altura promedio de las plantas y área foliar; el análisis de varianza dio como resultado que las diferencias entre los promedios de los tratamientos no son significativas al nivel del 5%, lo que nos indica que las producciones promedio esperadas al regar con el efluente de lagunas facultativas son similares a las esperadas al regar con agua de pozos profundos.

Así mismo, que los efluentes de las lagunas facultativas que tratan ARD, no contienen elementos tóxicos en concentraciones suficientes, que traigan como consecuencia disminución en la producción. Pero también, para el caso del rábano en el ensayo, el mayor contenido de nutrientes (N,P,K) en el efluente no se manifestó en aumentos de la producción.

Conclusiones y Recomendaciones

- El efluente de la laguna facultativa de la P.T.A.R. de Ginebra por su calidad como agua para riego pertenece a la clase C2S1,

considerada de buena a excelente. Su calidad es similar a las aguas de pozos profundos (C2S1) e inferior a las del río Cauca (C1S1), aguas que comúnmente se utilizan para riego en el Valle del Cauca.

- A pesar de que estos efluentes se convierten en un valioso recurso al poder ser reusados esto no implica su uso indiscriminado en riego. Se deben tomar todas las medidas necesarias para que al ser usadas en riego no generen riesgos potenciales al ambiente y la salud pública.
- Las producciones esperadas al regar con efluentes de lagunas facultativas son por lo menos similares a las obtenidas al regar con agua de pozos profundos.
- Reusar los efluentes de plantas de tratamiento de ARD, son una buena alternativa ambiental que colabora al manejo integral y sostenible del recurso hídrico, dándole importancia a este tópico para futuras investigaciones.



Tratamientos: Riego con efluente y con agua de pozo profundo.

Bibliografía

1. **AYERS, R.; WESCOT, D.** La calidad del agua en la agricultura. Estudio FAO Riego y Drenaje 29 Rev. 1. FAO, Roma, 1987.
2. **MARA, Duncan.** Wastewater treatment and re-use in agriculture. En water resources journal, 1995. pp 71-74.
3. **MARA, Duncan; CAIRNCROSS, Sandy.** Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura. OMS, Ginebra, 1990.
4. **MARTINEZ, Juan.** Diagnóstico preliminar de la calidad de aguas para riego en el Valle del Cauca y su impacto en la agricultura Tesis de grado. Universidad del Valle-Universidad Nacional, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira, 1986.
5. **MUÑOZ, Carlos.** Evaluación de dos especies de hortalizas (*Lactuca sativa* y *Daucus carota*) regadas con aguas residuales domésticas Tesis de grado. Universidad Nacional, Facultad de Agronomía. Bogotá, 1996.
6. **Organización Mundial de la Salud.** Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Serie de informes técnicos 778. En REPINDEX No. 53, marzo, 1995. pp 3-16. OMS, Ginebra, 1989.
7. **PEÑA, Miguel.** Waste stabilisation ponds for small urban communities in Colombia Tesis de grado. The University of Leeds. Department of Civil Engineering. Leeds, 1995
8. **VALENCIA, Eduardo,** Potencialidad de reuso del efluente de una laguna facultativa en irrigación. Tesis de grado. Universidad del Valle, Postgrado en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cali, 1998

Introducción

La distribución electrónica de una molécula aislada de agua muestra que la órbita exterior del oxígeno contiene cuatro pares de electrones que se distribuyen en forma tetraédrica. Los núcleos de los átomos de oxígeno e hidrógeno en la molécula del agua se encuentran separados por una distancia aproximada a 0.97 Å, y los núcleos de los átomos de hidrógeno por 1.54 Å, el ángulo formado por el enlace H-O-H es de 104.5° (Pauling, 1948). Debido a que la molécula de agua contiene el mismo número de protones con carga positiva como electrones con carga negativa, es eléctricamente neutra. Como consecuencia de su estructura individual, la molécula de agua posee un momento dipolar anormalmente elevado ($6.13 \cdot 10^{-30}$ C·m), que produce un campo eléctrico en la vecindad de cada molécula, permitiendo que moléculas de agua se agreguen entre sí, con iones disueltos en la solución y con partículas orgánicas y minerales que se encuentran en el suelo.

Revisión Bibliográfica

Actividad del agua en el suelo

El suelo, debido a su carácter granular y coloidal, es capaz de retener el agua aportada por las lluvias y el riego. Por ello, es importante conocer el movimiento y los mecanismos de retención de agua por el suelo, incluyendo factores de distribución del agua de lluvia y/o riego (Robinson, 1960).

La atmósfera del suelo, constituida por los gases contenidos en los poros del mismo, difiere de la composición de la atmósfera exterior debido a la acción de las raíces de las plantas y los organismos que viven en el suelo quienes extraen el oxígeno y desprenden dióxido de carbono: es decir, la atmósfera del suelo es más rica en dióxido de carbono y más pobre en oxígeno que la atmósfera exterior (Wild, 1992).

Además del oxígeno y del dióxido de carbono, una parte relativamente pequeña de la

atmósfera del suelo se compone de vapor de agua en fase gaseosa, (0.012 mg por cm^3) de suelo húmedo, cantidad despreciable en comparación con el agua que el suelo retiene en estado líquido. La importancia del agua en fase de vapor no reside en la cantidad existente en un tiempo dado, sino en los procesos que envuelven el movimiento del agua en estado de vapor y en la energía necesaria para evaporar el agua. La transferencia de agua en fase de vapor hacia las capas profundas del suelo o hacia la atmósfera, es importante en el suministro de pequeñas cantidades de agua a las semillas para su germinación. (Baver, 1991).

Los suelos difieren en la capacidad de retener agua, existiendo distintos criterios para expresar su contenido de agua. Se define la humedad higroscópica como el contenido de agua obtenido por la diferencia de peso de agua entre un suelo seco al aire, y un suelo secado en estufa a $105-110$ °C, expresada en porcentaje referido a peso seco (Fairbridge, 1979). También como la máxima cantidad de agua que pueden absorber las partículas del suelo por medio de las fuerzas de adsorción, al ponerse en contacto con una atmósfera saturada de vapor de agua. El agua queda fijada a la fase sólida por fuerzas eléctricas en una fracción muy pequeña, que es retenida a tensiones que varían entre 30.6 y 10000 atmósferas de forma que no puede ser absorbida por las plantas (Urbano, 1995).

El agua higroscópica se presenta en forma de delgadas capas de agua de espesor aproximadamente molecular. La cantidad de humedad higroscópica en un suelo varía con el porcentaje de saturación de humedad de la atmósfera. Cuando un suelo se encuentra en equilibrio con una atmósfera perfectamente seca, la humedad higroscópica desaparece por completo pero aumenta a medida que se incrementa la humedad relativa (Robinson, 1960).

La adsorción de agua en superficies sólidas es de naturaleza electrostática y se origina cuando se produce condensación capilar debida al descenso de la presión de vapor

dentro de los capilares del suelo. El mecanismo por el que las partículas de arcilla que componen el suelo retienen el agua, es la unión de las moléculas polares de agua a las cargas de las fases sólidas.

La interacción de cargas de las partículas sólidas con las moléculas polares del agua, confiere al agua absorbida una estructura rígida donde el agua dipolar toma una orientación, determinada por la localización de la carga en los sólidos. Según Low (1961) la capa de adsorción, tiene una estructura semejante a una capa de hielo casi cristalina con espesor de 10 a 20 Å.

La adsorción de agua en la superficie de las arcillas es un proceso exotérmico que interfiere en la liberación de una cantidad de calor, denominado calor de humedecimiento. Anderson (1926), encontró una relación lineal entre el calor de humedecimiento y la capacidad de intercambio catiónico; Janert (1934), estableció una relación entre el calor de humedecimiento y la naturaleza de los cationes de cambio, según la cual al incrementar el contenido inicial de agua en el suelo y dependiendo de la forma de los cationes, disminuye el calor de humedecimiento.

Un método para determinar la cantidad de agua que puede ser adsorbida por la superficie de un suelo, consiste en colocar el suelo en una cámara cerrada y saturar la atmósfera de la cámara con la evaporación producida por una solución. De esta forma se establece un equilibrio entre la evaporación, la humedad de la cámara y la humedad adsorbida por el suelo. El Bureau of Soils de Washington, recomienda el uso de ácido sulfúrico para alcanzar la humedad de equilibrio. Robinson (1960), utiliza una disolución del 2% del ácido sulfúrico de densidad de 1.3321 g.cm^{-3} para obtener una saturación del 99%. Winterkorn (1975), encontró que el ácido sulfúrico diluido al 10%, permitía alcanzar una humedad relativa del 90%.

Al considerar la dinámica del agua en el suelo es necesario tener en cuenta la capacidad de absorción de agua por las raíces de las plantas,

y la evaporación del agua a la atmósfera. También es necesario conocer el potencial total de agua, que determina la dirección del proceso y la velocidad del movimiento a (Sánchez, 1986).

El potencial de agua de una muestra de suelo se determina relacionando la humedad de la muestra y la humedad del vapor generado por soluciones salinas cuando se alcanzan situaciones de equilibrio entre ambas. Colocando la muestra de suelo y la solución salina en recipientes herméticamente cerrados se puede determinar el potencial cuando se alcanza una humedad relativa constante en la atmósfera del recipiente. En este punto el contenido de humedad del agua en el suelo alcanza un equilibrio con la presión de vapor generada por la solución salina (Dirksen, 1999). En ambientes cerrados, la forma y el material de la cámara afectan el equilibrio que se presenta entre la humedad del suelo y presión de vapor dentro de la cámara (Brown y Oosterhuis, 1992).

La presión parcial del vapor de agua en un volumen fijo o presión de vapor, depende de la temperatura y del número de moléculas. De igual manera el volumen ocupado por el vapor de agua a temperatura constante es función de la presión de vapor y está determinado con suficiente aproximación por la ecuación de los gases, aunque el vapor de agua no se comporta como un gas perfecto (Baver, 1991).

En una gráfica se puede relacionar el contenido de humedad de un suelo con la humedad relativa, donde el punto de inflexión indica aproximadamente la higroscopicidad del suelo. (Robinson, 1960).

La relación para determinar el potencial del agua de un suelo conociendo la humedad relativa del aire de un sistema en equilibrio, entre las diferentes fases de movimiento de vapor de agua se presenta en la siguiente ecuación:

$$\Psi = -10.62 T \log \left(\frac{100}{a_w} \right)$$