

Validación del potencial agronómico de las aguas residuales domésticas. Aplicación en viveros de papaya en suelo ferralítico rojo

Validation of the agronomic potential of domestic wastewater. Application on papaya nursery in ferralitic red soil

José E. González Ramírez¹, Eliet Veliz Lorenzo², Luis Ruiz Martínez¹, Ángel Mollineda Trujillo³ y Daniel Rodríguez Pérez¹

¹Instituto de Investigaciones en Viandas Tropicales (INIVIT) Apdo 6. CP. 53000. Santo Domingo. Cuba.

²Centro de Investigaciones de Ozono (CIO). Ave. 15 y calle 230, Siboney, Playa, C. Habana, Cuba.

³Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP), Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5½, Santa Clara, Cuba.

E-mail: josee@inivit.cu

RESUMEN. Las aguas residuales domésticas presentan gran carga contaminante y su vertimiento genera serios problemas medioambientales, fundamentalmente a las redes acuíferas. Sin embargo, por su composición bioquímica, representa un alto potencial para su reutilización en el riego agrícola, contribuyendo además a la necesidad de nuevas fuentes de agua para la agricultura. El ozono ha demostrado tener una alta capacidad oxidante, por lo que se ha extendido su empleo a numerosos campos donde se requiere la eliminación de agentes nocivos. La desinfección de aguas es uno de sus principales usos en la actualidad. En el presente trabajo se recuperó el agua residual doméstica de la comunidad del Instituto de Investigaciones en Viandas Tropicales (INIVIT), a través de un tratamiento físico-químico que incluye una desinfección final con ozono, comprobándose que adquiere calidad para riego según la Organización Mundial para la Salud y los aportes nutricionales que trae consigo. El agua obtenida fue utilizada en el riego de posturas de papaya, logrando el desarrollo adecuado de las posturas en suelos de bajo contenido de materia orgánica y el mejoramiento de la fertilidad residual de dichos sustratos.

Palabras clave: Aguas de reuso, papaya, posturas, riego, vivero.

ABSTRACT. Domestic wastewater have great pollution load and its shedding generates serious environmental problems, mainly in aquifers. However, its biochemical composition represents a high potential for reuse in agricultural irrigation, contributing also to the need for new sources of water for agriculture. Ozone has been shown to have high oxidative capacity, so its use has spread too many areas which require the elimination of harmful agents. Disinfection of water is one of its main uses today. In the present work domestic wastewater from the community of INIVIT was recovered, through a chemical treatment that includes a final disinfection with ozone, what proves that water acquires quality for irrigation, according to the World Health Organizations, and that it also brings nutritional contributions. The water obtained was used for irrigation of papaya positions, achieving appropriate development of the seedlings in soils with low levels of organic matter and the improvement of residual fertility of those substrates.

Key words: Treated wastewater, papaya, seedling, irrigation, and nursery.

INTRODUCCIÓN

El término agua residual define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación. (Bau, 1991)

Las aguas servidas contienen un 99 % de agua y un 1 % de sólidos en suspensión y solución, los cuales

se clasifican en orgánicos e inorgánicos. (Gutiérrez, 2003)

El riego agrícola es el uso más extendido de este tipo de agua, fundamentalmente para riego de especies arbóreas con finalidad de producción forestal (FAO, 1999). Santos *et al.* (2003) y Scott *et al.* (2004) señalaron la necesidad de su empleo bajo estrictas precauciones de seguridad para operarios y público en general.

Las principales ventajas y desventajas de la agua residual, frente a otra no contaminada es que la primera aporta nutrientes pero conlleva riesgos de contaminación de acuíferos si no se toman las medidas adecuadas. (Metcalf y Eddy, 2003)

Investigaciones realizadas han demostrado que las aguas residuales aportan todos los nutrientes requeridos por los cultivos, lo que disminuye los costos de fertilización, que muchas veces representan más del 50 % del costo de producción. (Mara, 1996)

La producción agropecuaria ha crecido en el contexto urbano, donde el riego juega un papel importante, sin embargo la disponibilidad de agua de buena calidad para riego es escasa, situación que exige de fuentes alternativas de abasto, incrementando la necesidad del reuso de aguas residuales urbanas. (Bernis y Palies, 2008)

El ozono es una forma de oxígeno, compuesta por tres átomos del mismo y que se representa como O₃, a diferencia del oxígeno normal atmosférico, compuesto por dos átomos de oxígeno y representado por O₂. (Sopher, 2007)

Sus propiedades altamente oxidantes y su capacidad para romper moléculas con doble enlace y anillos aromáticos mediante el mecanismo denominado ozonólisis, le confieren numerosas aplicaciones en la ciencia y la industria. (Bataller *et al.*, 2010)

Su uso se ha ido generalizando en la desinfección de aguas, área donde muestra gran eficacia. Torres *et al.* (2006) lo señalan como una de las alternativas más eficientes en el tratamiento de las aguas residuales. Sus principales ventajas son que no deja residuos químicos y no confiere aromas u olores particulares al producto final, como ocurre con otros desinfectantes como el hipoclorito. (Sopher, 2007)

MATERIALES Y MÉTODOS

Las aguas residuales producidas en la comunidad del INIVIT fueron colectadas después del proceso de decantación a la salida de la fosa Maura. Las mismas fueron tratadas con un proceso de floculación-deposición con el empleo de sulfato de aluminio y posterior desinfección con ozono; para esto se empleó la metodología de Veliz *et al.* (2010). El producto resultante fue caracterizado en el Centro de

Investigaciones de Ozono (CIO), adjunto al Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC).

Para determinar el efecto de los riegos sobre el suelo ferralítico rojo (Hernández *et al.*, 2005) se montó un vivero en bolsos de 500 g, sin el empleo de materia orgánica añadida al sustrato. Se emplearon semillas de la variedad Maradol roja y se siguieron las indicaciones del Instructivo Técnico de la Fruta Bomba. (MINAG, 2011)

Se prepararon tres grupos de 30 plantas las que fueron sometidas a riego controlado en días alternos, en cada ocasión se empleó entre 60 y 70 mL de tres aguas diferentes, donde los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

1. Control (agua del río Sagua la Grande)
2. Agua ozonizada con concentraciones de ozono disuelto en el rango de 1 ppm
3. Aguas residuales domésticas tratadas por un proceso físico-químico de floculación-deposición y posterior desinfección con ozono.

Para el Tratamiento No. 2 se utilizó un generador de ozono AQOZO-221 alimentado con flujo de aire atmosférico con el que se suministraron 15 g de ozono por hora durante 10 minutos a 5 L de agua destilada.

Se realizaron las determinaciones a las posturas siguientes:

- Altura hasta la primera hoja
- grosor promedio del tallo (mm) medido en la base
- peso fresco de las hojas (g)
- peso de los tallos (g)
- peso fresco de las raíces (g)
- peso fresco total de las plantas (g)

Se determinó el peso seco de las plantas, para lo que se sometió al tejido vegetal a tratamientos de 60 °C de calor seco durante 8 h, repitiendo el procedimiento hasta que no se encontraran disminuciones en las medidas de peso. Para estas mediciones se empleó una balanza de platos Harvard Trip. Se calculó la relación entre el grosor del tallo (mm) y la altura (cm) como medida de la calidad de las posturas.

Para la determinación del área foliar se empleó el método del disco, tomando en cada caso 30 discos de 1,2 cm² con sacabocado metálico correctamente afilado. Estos fueron pesados en balanza Sartorius hasta 200 g.

Los datos se analizaron estadísticamente mediante análisis de varianza de clasificación simple y la comparación múltiple de medias según el test de Tukey HSD (Lerch, 1977) con el empleo del paquete STATGRAPHICS Versión 5.1 sobre Windows XP.

Se determinó la presencia de los elementos químicos en los sustratos como potasio, calcio, sodio, magnesio, hierro, manganeso, cobre, níquel, cobalto, zinc, plomo y cadmio en el sustrato de las posturas (a partir de un centímetro cúbico de suelo de la zona de la rizosfera) y en el tejido foliar de las posturas, en los laboratorios del Centro de Investigaciones Agropecuarias, de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, mediante la espectrometría de absorción atómica. Además, se realizaron determinaciones de los contenidos de materia orgánica en los sustratos y se determinó el pH de los mismos en agua y cloruro de potasio.

A partir de la masa seca por planta y los contenidos de nutrientes en cada una se determinó la Extracción o contenido de nutrientes.

El coeficiente de aprovechamiento del sustrato se calculó según la fórmula siguiente:

$$K = A/C \times 100,$$

Donde:

K coeficiente de aprovechamiento de los nutrientes del sustrato (%).

A extracción de los nutrientes del testigo. (mg/mg de peso seco planta).

C contenido de nutrientes del sustrato (mg/gramo).

El coeficiente de aprovechamiento de los nutrientes del sustrato se calculó teniendo en cuenta la fórmula siguiente:

$$K1 = (A1 - A2)/C \times 100$$

Donde:

K1 coeficiente de aprovechamiento de los nutrientes del agua (%)

A1 extracción de nutrientes donde se aplicó el elemento (mg/planta)

A2 extracción de nutrientes donde no se aplicó el elemento (mg/planta)

C dosis del nutriente en el agua (mg/g)

RESULTADOS Y DISCUSION

El agua doméstica residual tratada alcanza los parámetros de calidad que permiten su reutilización en el riego agrícola, (Tabla 1) según las especificaciones de la Organización Mundial de la Salud y de la Agencia para la Protección del Ambiente de los Estados Unidos.

Se constató que contiene niveles de macronutrientes (N, P, K) en orden similar a los aportados por formulaciones comerciales utilizadas en sistemas de fertirriego en Israel, que alcanzan entre 70-90 ppm (Bar-Yosef, 2005). Además de realizar aportaciones de elementos secundarios como calcio, magnesio, sodio, y micronutrientes como hierro, manganeso, cobre, níquel y cobalto. Estos resultados coinciden con Zaidan y Avidan (2007) que plantearon la necesidad de que para sistemas intensivos como invernaderos y/o sustratos artificiales, la solución nutritiva debe incluir calcio, magnesio y micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu, B, Mo).

Otro aporte importante es el de materia orgánica, mostrado por los altos valores de la demanda bioquímica y química de oxígeno lo cual no coincide con lo encontrado por Montero *et al.* (2009) los cuales detectaron bajos niveles de materia orgánica al regar con aguas residuales cultivos de sorgo y maíz con destino a la producción de alimento animal. El contenido de material orgánico que compone el agua de residual es significativo, si se conoce que hasta un 25 % es nitrógeno y fósforo, y ambos elementos son esenciales en procesos como el ciclo de Krebs y la división celular, como parte de enzimas, coenzimas y fuentes energéticas como el ATP (trifosfato de adenosina).

La acción del ozono sobre los compuestos nitrogenados del agua residual doméstica resulta particularmente importante. Este por su alta capacidad oxidativa contribuye a la formación de nitratos, parte importante de las formas asimilables por la planta. Medeiros *et al.* (2005) señalaron la importancia de la acción de la microflora benéfica del suelo sobre los compuestos de este elemento químico en los sustratos dirigida, precisamente, a la formación de cationes y aniones asimilables por el sistema radicular de las plantas. Por lo tanto el ozono realiza similar función que los microorganismos señalados e incrementa la calidad nutricional de estas aguas. Estos resultados coinciden con Sopher (2007), quien señaló que el ozono disuelto en el agua de riego agrícola hace más eficiente la asimilación de los nutrientes por las raíces de las plantas.

Tanto en las determinaciones realizadas en el agua residual tratada como en el sustrato no fue posible detectar la presencia de metales pesados contaminantes como el plomo, zinc y cadmio. En este sentido es vital utilizar

Tabla 1. Comparación de las aguas residuales del INIVIT sin tratar y tratadas por el esquema de coagulación floculación-filtración-ozonización

Parámetro	Unidades	Aguas sin tratamiento	Aguas tratadas	Normas de reuso	
				EPA*	OMS**
pH	-	7,7	7,41	6-9	-
Turbiedad	NTU	121,8	7,2	-	-
Color	U (Pt-Co)	381,2	0	-	-
Compuestos orgánicos a 254 nm	nm	1,263	0,271	-	-
Demanda química de oxígeno (DQO)	mgO ₂ /L	350,1	87,2	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	mgO ₂ /L	173,4	12,7	< 30	-
SAAM (detergentes)	mg/L	0,46	0,01	-	-
Sólidos totales	mg/L	1028,0	516,1	-	-
Sólidos suspendidos	mg/L	263,3	0	< 30	-
Sólidos sedimentables	ml/L	4,8	0	-	-
Grasas y aceites	mg/L	64,4	6,3	-	-
Zinc	mg/L	0,240	N.D	-	-
Plomo	mg/L	0,051	N.D	-	-
Níquel	mg/L	0	N.D	-	-
Cobre	mg/L	0,039	N.D	-	-
Cromo	mg/L	0,011	N.D	-	-
Cadmio	mg/L	0,009	N.D	-	-
<i>Pseudomonas sp.</i>	UFC/mL	3,6 × 10 ³	1	-	-
<i>Shigella/Salmonella</i>	UFC/mL	1,1 × 10 ³	0	-	-
Coliformes fecales	NMP/100 mL	2 × 10 ⁶	11	< 200	< 1000
Nitrógeno total	mg/L	71,5	56,0	-	-
Nitrógeno orgánico	mg/L	31,2	16,8	-	-
Nitrógeno amoniacal	mg/L	44,1	42,4	-	-
Nitrato	mg/L	0,061	0,539	-	-
Fósforo total	mg/L	11,43	2,39	-	-
Carbono orgánico total (TOC)	mg/L	183,6	142,0	-	-

* Normativa de la Agencia de protección ambiental (EE.UU) sobre la reutilización de aguas residuales para uso agrícola

** Normativa de la Organización mundial de la Salud sobre la reutilización de aguas residuales para uso agrícola

N.D: No detectable

*** Número de veces que se incrementa el valor original

solamente aguas provenientes de desechos domésticos y evitar su posible contaminación con aguas residuales industriales donde se podrá cuantificar la presencia de estos metales pesados muy peligrosos para su uso en el riego agrícola. Rice (2007) indicó la necesidad de seleccionar adecuadamente la fuente de agua para evitar la presencia de metales pesados que no son removidos totalmente por los tratamientos con ozono.

La posibilidad de reusar el agua residual doméstica en el riego de diferentes cultivos constituye una alternativa para el ahorro de agua proveniente de ríos, pozos, etc. Con un correcto tratamiento surge una nueva fuente de agua

con alto valor para la agricultura, además de contribuir a la disminución de la carga contaminante generada por grupos humanos.

El vivero en suelo ferralítico rojo mostró desarrollo acelerado cuando se aplicó agua de residual tratada (Figura 1). Este grupo de posturas alcanzó condiciones óptimas para el trasplante alrededor de los 35 días, mientras que las regadas con las otras aguas no alcanzaron los parámetros requeridos.

Las curvas de crecimiento muestran un desarrollo muy similar durante los primeros 20 días, momento a partir

del cual las plántulas regadas con agua residual doméstica comienzan un desarrollo diferenciado debido a la acumulación de nutrientes en las bolsas por el riego sistemático con esta agua. En este momento el desarrollo radicular de las posturas permite una mejor asimilación de los mismos.

Los aportes realizados al suelo ferralítico rojo por el agua residual doméstica recuperada y posteriormente a las posturas, permitieron que estas se desarrollaran según corresponde a esta etapa del cultivo (Figura 2), lo que no ocurre con las posturas regadas con las restantes. Estos resultados coinciden con Medeiros *et al.* (2005), quienes señalaron importantes aportes de materia orgánica y microelementos al suelo al ser regado con agua residual doméstica. También Osorio (2006) resaltó la importancia de considerar a las aguas residuales domésticas tratadas dentro de los recursos acuíferos para el riego agrícola. Las posturas de los grupos 1 y 2 no pueden crecer adecuadamente al no tener disponibilidad de los distintos nutrientes necesarios en un sustrato

deficiente y la inexistencia de aportes exteriores como los que brinda el agua residual doméstica.

El vivero desarrollado en suelo ferralítico rojo indicó la posibilidad de ahorro de las materias orgánicas usualmente empleadas en esta etapa y su sustitución por el riego señalado, con la consiguiente disminución de los costos por la compra y traslado de este componente.

Las posturas regadas con esta agua alcanzan parámetros superiores (Tablas 2, 3 y 4) de masa foliar, masa del tallo y de las raíces, lo que presupone un aumento de la calidad de las posturas que son trasplantadas.

Este resultado constituye una alternativa ante la carencia de otras materias orgánicas usualmente empleadas en esta etapa y sugiere la posibilidad del empleo de esta agua en el riego de otros sistemas tecnificados de producción de cultivo que se desarrollan en pequeños espacios y son altos consumidores de materia orgánica.

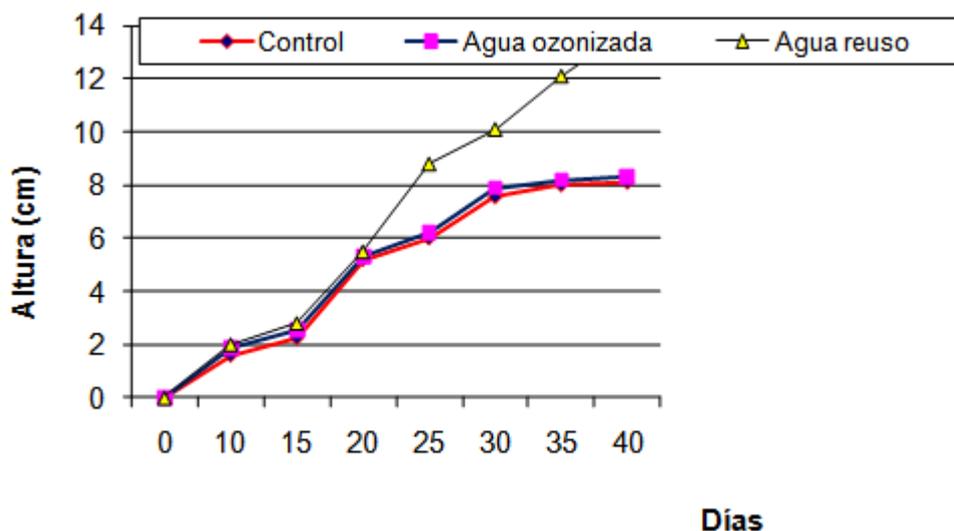


Figura 1. Curvas de crecimiento de las posturas. Sustrato suelo ferralítico rojo



Figura 2. Crecimiento de las posturas con diferentes riegos. Sustrato suelo Ferralítico rojo. A) agua ozonizada. B) agua de río. C) agua de reuso.

Tabla 2. Valores de altura y grosor en el vivero a los 40 días

Grupo	Altura promedio total de las plantas (cm)	Grosor promedio del tallo (mm)	Relación grosor/altura del tallo (mm/cm)
Control	7,5 a	3,6 a	0,48
Agua ozonizada	7,6 a	3,8 a	0,48
Agua reuso	12,5 b	6,4 c	0,51

Medias con letras diferentes en una misma columna difieren según prueba de Mann Whitney a $p \leq 0,05$.

Tabla 3. Determinaciones de peso fresco y área foliar a los 40 días

Grupo	Peso total de la hoja fresca (g)	Área total foliar (cm ²)	Área foliar x planta (cm ²)	Incremento * (%)
Control	24,98 a	1395,5 a	46,5 a	-
Agua ozonizada	27,39 a	1530,0 a	51,0 a	9,6
Agua reuso	90,48 b	5055,0 b	168,5 b	262,3

Medias con letras diferentes en una misma columna difieren según prueba de Mann Whitney a $p \leq 0,05$.

Tabla 4. Determinaciones de peso fresco por órganos a los 40 días

Grupo	Peso de tallos (g)	Peso de raíces (g)	Peso total (g)	Peso promedio (g)	Incremento peso promedio (%)
Control	33,90 a	29,62 a	88,5 a	2,95 a	-
Agua ozonizada	35,10 a	32,00 a	94,5 a	3,15 a	7,0
Agua reuso	89,10 b	82,91 b	262,5 b	8,75 b	196,9

Medias con letras diferentes en una misma columna difieren según prueba de Mann Whitney a $p \leq 0,05$.

Tabla 5. Determinaciones de elementos (mg/g) en tejido vegetal y en el sustrato al momento del trasplante (50 días)

		Control	H ₂ O ozonizada	H ₂ O reuso
Masa Fresca/planta (g)		2,86	3,29	8,95
Masa Seca/planta (g)		1,15	1,32	3,58
pH	H ₂ O	7,9	7,9	7,7
	KCl	7,8	7,8	7,7
Mat. Orgánica		2,95	2,85	3,15
Potasio	suelo	0,8305	0,8227	0,8311
	planta	1,8313	2,0995	2,0951
Calcio	suelo	1,0328	2,2921	2,3233
	planta	4,9477	4,9336	4,5651
Magnesio	suelo	0,4723	0,4802	0,4737
	planta	0,4043	0,4018	0,3324
Sodio	suelo	0,1401	0,1550	0,2343
	planta	1,9588	1,9688	2,2535
Hierro	suelo	1,4745	1,4737	1,4928
	planta	0,6491	0,6491	0,6226
Manganeso	suelo	0,9577	0,9709	0,9239
	planta	0,0904	0,0913	0,0996
Cobre	suelo	0,0615	0,0628	0,0593
	planta	0,0183	0,0182	0,0195
Niquel	suelo	0,0517	0,0519	0,0526
	planta	0,0329	0,0328	0,0333
Cobalto	suelo	0,0142	0,0149	0,0146
	planta	-	-	-

La producción de masa seca por planta se triplica en las posturas irrigadas con aguas residuales domésticas recuperadas. Mientras que los niveles de materia orgánica residual crecen en los sustratos regados con estas aguas (tabla 5). Estos resultados indican un aumento en la fertilidad de los sustratos. No se apreció en ningún momento la presencia de cadmio, plomo y zinc.

Se observa un incremento en la extracción de nutrientes (tabla 6) cuando se utiliza el agua residual tratada para el riego, debido fundamentalmente al propio aporte de dicha agua. Se logra triplicar la extracción de potasio, calcio, magnesio, sodio y hierro. Estos resultados indican el aumento de la eficiencia del proceso de nutrición de las posturas, comprobándose las ventajas del empleo de agua ozonizada para el riego agrícola.

Tabla 6. Extracción de nutrientes y coeficientes de aprovechamiento

Nutrientes	Control		Agua ozonizada		Agua reuso	
	Extracción (mg/pl)	CAS (%)	Extracción (mg/pl)	CAN (%)	Extracción (mg/pl)	CAN (%)
Potasio	2,10	52,5	2,77	81,7	7,88	96,3
Calcio	5,63	54,7	6,55	40,2	17,18	97,8
Magnesio	0,53	14,8	0,54	25,0	1,40	85,1
Sodio	2,24	62,9	2,59	33,3	8,59	76,0
Hierro	0,75	51,0	0,86	75,0	2,36	95,0
* Manganeso	0,17	18,9	0,18	10,0	0,42	53,2
Cobre	0,07	16,6	0,08	16,6	0,21	28,0
* Niquel	0,02	33,3	0,04	28,5	0,20	30,0
* Cobalto	0,02	11,1	0,03	50,0	0,07	50,0

CAS: Coeficiente de Aprovechamiento del Sustrato (%)

CAN: Coeficiente de Aprovechamiento de Nutrientes del Suelo (%)

CONCLUSIONES

1. El agua residual doméstica tratada alcanzó los parámetros de calidad para agua de riego con altos contenidos de nutrientes.
2. El riego con agua residual doméstica tratada permitió el desarrollo de viveros de papaya en sustratos de bajo contenido en materia orgánica.
3. El riego con agua residual doméstica mejoró la fertilidad del suelo ferralítico rojo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bar-Yosef, B: Fertilization under drip irrigation. In: Fluid Fertilizer Science and Technology. Palgrave, D.A. (Ed). Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 285-329, 2005.
2. Bataller, M.; S. Santa-Cruz y M.A. García: El ozono: una alternativa sustentable en el tratamiento poscosecha de frutas y hortalizas. Revista CENIC Ciencias Biológicas, 2010
3. Bau, J.: Investigación sobre la conservación del agua en Portugal. Laboratorio. Memorias del

seminario sobre usos eficientes del agua, México, pp. 736-743, 1991.

4. Bernis, F. y C. Palies: Economía del arroz: variedades y mejora. En: www.eumed.net/libros/2006a/fbbp; consultado: mayo de 2008, 2008

5. EPA (US Environmental Protection Agency): Guidelines for water reuse. Technology Transfer and Support Division, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, Cincinnati, OH, p. 245, 2004.

6. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Wastewater treatment and use in agriculture. Disponible en: www.fao.org/docrep/T0551E/T0551E00.htm; consultado: enero de 2008, 1999.

7. Gutiérrez, J.: Reuso de agua y nutrientes. Centro de información, gestión y educación ambiental (Cigea). En: www.medioambiente.cu/revistama/articulo41.htm; consultado: septiembre de 2006, 2003.

8. Hernández, A.; M.O. Ascanio; D.M. Morales y R.A. Cabrera: Correlación de la nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba

con las clasificaciones internacionales y nacionales: una herramienta útil para la investigación, docencia y producción agropecuaria. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INCA), 58 pp., 2005.

9. Last, J. A.; K. Gohil; V.C. Mathrani and N.J. Kenyon: "Systemic response to inhaled ozone in mice: cachexia and down-regulation of liver xenobiotic metabolizing genes". *Toxicol. Appl. Pharmacol.* (208): 117-126, 2005.

10. Lerch, G.: *La experimentación en las ciencias biológicas y agrícolas*, La Habana, Ed. Científico-Técnica, pp. 302, 1977.

11. Mahalaskshmi, M; N. Kumar y K. Soorianathasundaram: "Efecto de la fertigración e irrigación sobre el rendimiento de las plantaciones del cv, Robusta sembrado a alta densidad". *INFOMUSA* 12(1): 42-44, 2003.

12. Medeiros, S.; A. Soares; P. Ferreira; J. Neves; A. de Matos y J. de Souza: "Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo das alterações químicas do solo". *Revista Eng. Sanit. Ambient* (4): 603-612, 2005.

13. Metcalf A. and K. Eddy: *Waste engineering: treatment and reuse*. 4th ed. McGraw-Hill, Nueva York, p. 1819, 2003.

14. MINAG: Instructivo técnico del cultivo de Fruta bomba. La Habana, Cuba, pp. 1-3, 2011.

15. Naito S.: Ozone Inactivation of Food spoilage acid-producing bacteria. Proceeding of the 19th Ozone World Congress & Exhibition. IOA. August Tokyo. Japan, 2009.

16. Osorio, J.: Estrategia de evaluación de usos conjuntivos del agua, incluyendo reuso para contribuir con la seguridad alimentaria de distritos agroalimentarios proyectados en el Valle del Cauca, Colombia. Tesis de maestría. Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali, 2006.

17. Rice R.G. IOA-PAG. "User success report-commercial applications of ozone in Agri-Food". *Ozone News*. 35 (2): 17-21, 2007.

18. Rodríguez, A.A. y P. Sánchez: Especies de frutales cultivadas en Cuba en la agricultura urbana y suburbana. 4ta ed., INIFAT, La Habana, Cuba, 150 pp., 2009.

19. Santos, C.; V. de Lima; J. de Matos; A. van Haandel y C. Azevedo: "Efeito do uso de água residuária sobre a vazão de microaspersores". *Revista Eng. Sanit. Ambient* 7(3): 577-580, 2003.

20. Scott, C.; N.I. Faruqui y L. Raschid: Wastewater use in irrigated agriculture: confronting the livelihood and environmental realities. IWMI, IDRC, CABI, Sri Lanka, 240 pp., 2004.

21. Sopher, C.D.: Overview of Gaseous and Aqueous Ozone Uses in the Agri-Food Industry. Ozone V Conference, Fresno, CA, USA, 2007.

22. Torres, P.; J. Cerón; R. Pomar y C. Madera: Evaluación de alternativas biológicas para el tratamiento secundario del efluente de la PTAR-C. Proyecto de investigación Empresas Públicas de Cali (Emcali) y Universidad del Valle, Cali, 2006.

23. Véliz, E.; M. Bataller; L.A. Fernández e I. Fernández: Chapter: Municipal wastewater treatment for reuse in agricultural irrigation. Handbook of Environmental and Waste Management. World Scientific Publishing Co. Singapore, 2010.

24. Zaidan, O and A. Avidan: Greenhouses tomatoes in soilless culture. Ministry of Agriculture, Extension Service, Vegetables and Field Service Departments, 2007.

Recibido: 12/02/2012

Aceptado: 09/09/2012