

Reúso de Aguas Residuales Domésticas: Impacto en la Productividad de la Caña de Azúcar Variedad CC 85-92

Domestic Wastewater Reuse: Impact on Productivity of Sugarcane Variety CC 85-92

Carlos Arturo Madera¹, Cristo Facundo Pérez², Andrés Fernando Echeverri³ y Norberto Urrutia⁴

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo estimar el potencial impacto en la productividad (TCH) de un cultivo de caña de azúcar (variedad CC 85-92) regado durante un periodo de 12 meses con agua residual tratada. Se evaluaron tres tratamientos en un predio de 0.65 Ha ubicado en la PTAR-C (Cali-Colombia): efluente PTAR-C (T1), pozo (T2) y pozo más fertilización química (T3); siguiendo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones.

Los resultados obtenidos mostraron que los valores de producción de caña obtenidos estuvieron por encima del promedio regional reportado (120 TCH), no obstante, el análisis de varianza aplicado al modelo matemático asumido indicó que no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$), de tal modo que regar caña de azúcar con agua residual tratada no afecta la productividad en el primer ciclo y genera la misma producción que la fertilizada químicamente.

Palabras Clave: Aguas Residuales; Reúso Agrícola; Caña de azúcar CC 85-92; Productividad (TCH).

Abstract

The present study aimed to estimate the potential impact on productivity (TCH) of sugarcane crop (variety CC 85-92) irrigated for a period of 12 months with treated wastewater. Three (3) treatments were evaluated in an area of 0.65 Ha located at the Cañaveralejo wastewater treatment plant (PTAR-C) based in Cali-Colombia: PTAR-C effluent (T1), well (T2) and well more chemical fertilizer (T3), on experimental design at a randomized complete block with three replications.

The results showed that the values of sugar cane production obtained were slightly above the regional average (120 TCH); however, the variance analysis applied according to the mathematical model indicated that there were no significant differences due to treatment ($p > 0.05$); therefore, it's likely the irrigation with treated wastewater produces the same sugarcane yields than the irrigation with chemical fertilizers.

Keywords: Wastewater; Agricultural reuse; Sugarcane crop CC 85-92; Productivity (TCH).

¹ Ing Sanitario, MSc, PhD Cand., Docente Universidad del Valle, Cali, Colombia. Calle 13 No 100-00 - carlos.a.madera@correounivalle.edu.co

² Ing Agrícola, Grupo REGAR, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Calle 13 No 100-00 - crifep@gmail.com

³ Ing Agrícola, MSc, Est. PhD, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Calle 13 No 100-00 - andres.echeverri@correounivalle.edu.co

⁴ Ing Agrícola, MSc, PhD, docente Universidad del Valle, Cali, Colombia. Calle 13 No 100-00 - norberto.urrutia@correounivalle.edu.co

1. Introducción

El mundo actual se enfrenta a una crisis global de calidad y disponibilidad hídrica como consecuencia del aumento de la descarga irregular o ilegal de agua contaminada, y de la presión que están ejerciendo los sectores productivos (agricultura, doméstico, industrial, entre otros) sobre los cuerpos hídricos (Corcoran et al., 2010). La agricultura, principal usuario, utiliza cerca de 2/3 partes del agua dulce mundial en riego de cultivos (UN-Water, 2009), ello ha permitido aumentar el rendimiento de los cultivos hasta en un 400 % (FAO, 1996 citado por Corcoran et al., 2010) y a la producción mantenerse al día con la demanda alimenticia cada vez mayor en una población en continuo crecimiento (Corcoran et al., 2010).

Para mantener la alta productividad, además de requerir riegos de carácter suplementario, los cultivos (entre ellos la caña de azúcar) precisan extraer grandes contenidos de N, P, K del suelo, motivo por el cual es necesaria una continua fertilización química. Si se emplearan aguas residuales domésticas en el riego agrícola, cumpliendo con criterios internacionales (FAO, 1985; WHO, 2006), se podría suplir parcialmente estas necesidades, obteniendo así beneficios ambientales y ventajas económicas.

Una ubicación privilegiada le permite a Colombia albergar entre otras riquezas, una generosa oferta hídrica natural ($2084 \text{ km}^3 \cdot \text{año}^{-1}$) en relación con los $35 \text{ km}^3 \cdot \text{año}^{-1}$ de demanda (IDEAM, 2010). Sin embargo, en materia de disponibilidad, más del 50% del recurso hídrico no se puede utilizar por alteraciones de su calidad (Castaño, 2011 citado por Beleño, 2011); el génesis de ésta problemática radica en que a la inequitativa distribución hídrica que existe a lo largo del territorio, se le ha aunado el deterioro del recurso como consecuencia de las ineficiencias tecnológicas (se pierden $9 \text{ km}^3 \cdot \text{año}^{-1}$) en el caudal de demanda de las mayores actividades socioeconómicas del país (Beleño, 2011), y la baja cobertura en el sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) municipal, solo el 51% de los STAR ofrecen un funcionamiento satisfactorio (IDEAM, 2010).

Ante este contexto y teniendo en cuenta la alta vocación agrícola del territorio, se podrían mejorar los STAR para aprovechar sus efluentes (dadas sus características N, P, K y MO) en riego de cultivos agrícolas y específicamente en aquellos con alta demanda hídrica e importante impacto socioeconómico, como lo es la caña de azúcar, que en su mayoría se encuentra en el valle geográfico del río Cauca (cerca de 224 mil hectáreas sembradas en el 2012) (Asocaña, 2012).

Entre las experiencias relacionadas con el impacto en la productividad de un cultivo como respuesta de la aplicación de agua residual tratada, se tienen las siguientes: El riego de forrajes (*Brachiaria* y maíz hidropónico) con efluente de sistema UASB+BF (Biofiltro) (Bastos et al., 2005); el desempeño del cultivo de pimentón (*Capsicum annuum L.*) con efluente de lagunas de maduración y reactor UASB (Sousa et al., 2006), el riego de lechuga (*Lactuca sativa L.*) con efluente de lagunas de maduración y TP (preliminar-primario) + UASB (Lima et al., 2005) y riego de café (*Coffea arabica*) con agua residual no tratada (filtro de arena) (de Souza et al., 2005). En algunos casos la productividad no presentó diferencias significativas con el tratamiento convencional (fertilización mineral); sin embargo en conjunto coinciden en que la aplicación del efluente genera impactos positivos en la producción y la economía de los cultivos.

En este sentido, este artículo presenta los resultados de una investigación en la cual se evaluó el impacto en la productividad de un cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*) variedad CC85-92, como consecuencia del riego con efluente de la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales de Cañaveralejo (PTAR-C) de Cali.

2. Materiales y Métodos

2.1. Ubicación

El estudio se llevó a cabo en un predio de 0.65 Ha, dentro de las instalaciones de la PTAR-C ($3^{\circ}28'17''\text{N } 76^{\circ}28'52.8''\text{W}$, 967 m.s.n.m) localizada en el sector nororiental de la ciudad de Cali y sobre la margen izquierda del río Cauca. La PTAR-C es una planta de tratamiento primario que opera bajo las modalidades primario convencional (TPC) o primario avanzado (TPA) con el objetivo de aumentar las eficiencias en eliminación de SST y DBO_5 (Silva, 2008). Actualmente depura un caudal de $5.71 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, aproximadamente un 86% de las aguas residuales generadas en la capital del Valle del Cauca (Moreno, 2010).

2.2. Fuentes hídricas, sistema de riego y muestreo

Se emplearon dos (2) tipos de agua; subterránea extraída por pozo y efluente de la PTAR-C; cuya conducción fue en tubería presurizada (PVC) e independiente, su distribución en tubería de ventanas y riego mediante sistema por surcos (método tradicional en el Valle del Cauca). A través de un balance hídrico se establecieron 5 riegos durante el ciclo vegetativo del cultivo, dos (36.17 mm) en los primeros 4 meses de edad del cultivo (macollamiento) y tres (72.34 mm) entre los 4 - 10 meses (rápido crecimiento). Las muestras de agua (2 litros) fueron recolectadas de la ventana central de cada tratamiento (10 minutos después de haber iniciado cada riego) y analizadas en los Laboratorios de aguas de la Universidad Nacional sede Palmira y del Instituto CINARA de la Universidad del Valle (Tabla 1).

Tabla 1. Características del agua irrigada (Pozo y Efluente).

Parámetros	n	POZO		PTAR-C	
		Media	Rango	Media	Rango
Conductividad eléctrica (dS/m)	4	0.47	0.65 - 0.40	0.64	0.67 - 0.60
Acidez/Basicidad (pH)	4	6.85	7.10 - 6.50	6.75	7.00 - 6.50
Calcio (Ca ⁺⁺ meq/L)	4	1.85	1.98 - 1.47	1.51	1.64 - 1.33
Magnesio (Mg ⁺⁺ meq/L)	4	0.97	1.02 - 0.96	0.88	0.92 - 0.84
Sodio (Na ⁺ meq/L)	4	2.36	2.44 - 2.17	1.60	1.62 - 1.57
Bicarbonato (CO ₃ H ⁻ meq/L)	4	2.79	3.52-2.18	2.29	2.98 - 1.45
Ras ajustado	4	2.13	2.24 - 1.96	1.47	1.52 - 1.32
Nitritos (mg N-NO ₂ /L)	5	0.75	3.41 - 0.03	0.84	3.90 - 0.05
Nitratos (mg N-NO ₃ /L)	5	9.72	33.00 - 0.11	30.17	68.80 - 0.84
Nitrógeno de Amonio (mg N-NH ₄ /L)	5	2.56	5.6 - 0.97	18.57	28.00 - 1.66
Nitrógeno Total Kjendhall (mg N/L)	5	4.03	11.00 - 0.95	15.48	25.59 - 4.41
Nitrógeno Total (mg/L)	5	15.03	36.67 - 3.21	53.48	94.89 - 17.93
Fosfatos (mg P-PO ₄ /L)	5	0.53	2.23 - 0.10	1.92	3.8 - 0.36
Fosforo Total (mg/L)	5	1.00	3.18 - 0.15	4.61	6.0 - 3.12
Potasio (K ⁺ mg/L)	5	6.85	7.04 - 6.65	8.02	8.21 - 7.82

n: Cantidad total de datos muestreados.

2.3. Diseño y Ensayo Experimental

Con el fin de evitar interferencias causadas por la variabilidad espacial de las propiedades químicas del suelo se propusieron bloques completos al azar con tres tratamientos: T1 (Agua Residual Tratada de la PTAR-C), T2 (Agua de Pozo) y T3 (Agua de Pozo + Fertilización Química), y tres repeticiones. Los tres (3) bloques instalados estuvieron separados 12 metros entre sí para evitar efectos de borde originado en el movimiento horizontal del agua de riego (Figura 1). Cada bloque estuvo conformado por 9 surcos experimentales (3 por tratamiento) de 100 m de longitud x 1.5 m de ancho, donde la productividad (TCH) de la caña de azúcar fue la variable de respuesta de cada tratamiento.

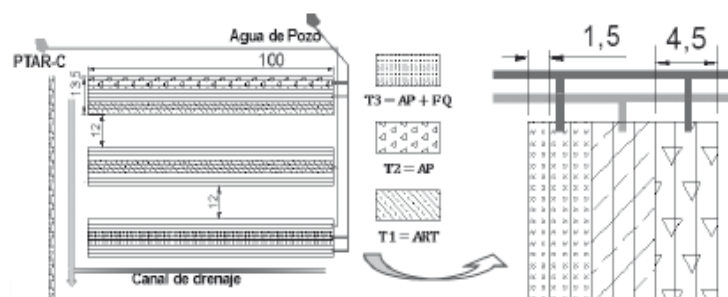


Fig. 1. Esquema general del ensayo experimental en campo.

2.3.1. Fertilización

El diagnóstico nutricional se hizo partiendo de los contenidos iniciales (M.O, P BrayII y K) del suelo (Tabla 2), y con base al “Método de antecedentes agronómicos de respuesta por cultivo” propuesto por Quintero (Cenicña, 1995) para el cultivo de caña; los requerimientos nutricionales (N; P₂O₅, K₂O) establecidos en el plan efectivo de fertilización para el Tratamiento 3 (Tabla 3) fueron convertidos a una de sus equivalencias comerciales (Urea, Superfosfato triple y Cloruro de potasio).

Tabla 2. Propiedades macronutrientes iniciales del suelo.

Bloque	pH	Ce	PSI	MO	P-BrayII	N-NH4	N-NO3	K
	Und	$\mu\text{mho.cm}^{-1}$	%	gr.kg^{-1}		mg.kg^{-1}		cmol.kg^{-1}
I	7.41	274	0.74	35.93	29.46	14.96	13.19	0.33
II	7.42	215	0.82	25.09	6.62	11.21	9.02	0.26
III	7.41	222	0.78	33.74	18.74	8.52	16.17	0.31
Media	7.41	237	0.78	31.59	18.27	11.56	12.79	0.30

Fuente: Laboratorio de suelos del CIAT (2010).

Tabla 3. Requerimiento nutricional y fertilización aplicada por bloque.

Bloque	Requerimiento Nutricional (kg)				Fertilización (kg)	
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Urea 46% N	Superfosfato triple 46% P ₂ O ₅	Cloruro de potasio 60% K ₂ O
I	4.5	0	0	9.8	0	0
II	4.5	2.0	3.4	9.8	4.4	5.7
III	4.5	0	0	9.8	0	0
Total	13.5	2.0	3.4	29.5	4.4	5.7

2.3.2. Labores de preparación y siembra

En el predio se realizó la preparación de terreno involucrando arado, rastrillado, doble nivelado y surcado; posteriormente en cada surco (cada 10 m un paquete entre 50-60 tallos) se sembraron manualmente las plántulas de caña de azúcar variedad CC 85-92 (manera tradicional en el Valle del Cauca), la más sembrada en la zona en el 2010 (71.4% del área total), con rendimiento promedio de 120 toneladas de caña por hectárea (TCH) (Cenicafé, 2010), su principal ventaja en relación con las otras variedades comerciales es ser la más productiva tanto en escasez hídrica como en anegamiento (Victorial et al., 2002). Asimismo, al cultivo se le realizaron las prácticas culturales de control de maleza, efectuadas a los 2, 3, 4, y 5 meses después de la siembra.

2.3.3. Cosecha

Cuando la caña completó su ciclo vegetativo (12 meses), se cosechó mediante el corte manual de la totalidad de los tallos de caña, retirando posteriormente el follaje y apilando los tallos sobre los surcos. El pesaje de la caña se realizó *in situ* inmediatamente después de la cosecha, utilizando una báscula con capacidad máxima de 50 kg \pm 0.1 kg, en la cual se pesó la totalidad de los tallos del surco central de cada tratamiento en cada bloque (posteriormente se extrapola a kg.ha^{-1}).

2.4. Análisis estadístico

La productividad (TCH) entre tratamientos fue analizada con una ANOVA unifactorial, con un nivel predeterminado de significancia de 0.05 y su modelación se realizó en el paquete estadístico Minitab 18 (2007).

3. Resultados y Discusión

3.1. Productividad de la Caña

La Tabla 5 muestra la respuesta del cultivo en términos de TCH; en conjunto los valores de producción obtenidos presentaron baja dispersión (cv 8.2%) y estuvieron ligeramente por encima de los rangos reportados para la región (120 ton. Ha^{-1}) (Asocaña, 2012), indicando que no se impactó negativamente la productividad pero al mismo tiempo hubo una estrecha similitud entre tratamientos. Lo anterior pudo ser influenciado por dos circunstancias: i) al hecho de ser el primer ciclo productivo en el sitio de experimentación (llamado "plantilla" en el valle geográfico del río Cauca) en el cual son mayores las producciones e indicadores de productividad y ii) en el suelo no se habían realizado actividades agrícolas y por tanto los nutrientes estaban disponibles para la planta.

Tabla 5. Productividad (ton.Ha⁻¹) obtenida.

Parámetro	Bloque	Tratamiento			Media	Mediana	Desv. Est.	Coe. Varianza
		T1	T2	T3	ton.Ha ⁻¹	ton.Ha ⁻¹	ton.Ha ⁻¹	%
Productividad ton.Ha ⁻¹	I	137.8	146.1	128.8				
	II	117.7	144.7	123.3	136.9	137.9	11.2	8.2
	III	148.5	147.2	137.9				

Fuente: Rodríguez y Narváez (2011).

Del mismo modo, este resultado pudo obedecer a que hubo una lixiviación de nutrientes (fertilización y efluente), cuyo flujo se generó subsuperficialmente horizontal, como resultado de la baja eficiencia de aplicación del sistema de riego empleado (riego por surco), la taxonomía del suelo (Vertic Endoaquepts con dominancia de la fracción arcillosa en todos sus horizontes) y el estrecho espacio entre tratamientos (4.5 m). Lo cual restó el efecto de los tratamientos. Asimismo, esto se ratifica en la Tabla 6 donde la Anova reveló que no se presentaron diferencias significativas debidas al tratamiento ($p > 0.05$; $F = 2.03$).

Tabla 6. Análisis estadístico de la Productividad.

Tratamiento	ρ	F	Media ton.Ha ⁻¹	Mediana ton.Ha ⁻¹	Desv. Est. ton.Ha ⁻¹	Coe. Varianza %
T1			134.7	137.8	15.6	11.3
T2	0.212	2.03	146.0	146.1	1.3	0.9
T3			130.0	128.8	7.4	5.7

Como se observa en la Tabla 6, el T2 (testigo) con relación a T1 y T3, presentó mayor homogeneidad ($cv < 1\%$) y mayor productividad; ésta inclinación es desproporcional dado que su nutrición estuvo supeditada a los nutrientes disponibles en el suelo y por ende su rendimiento debió ser significativamente inferior a los otros tratamientos en cada bloque. Sousa et al., (2006), señalaron que los tratamientos Fertilización química, Fertilización orgánica y Efluente (reactor UASB) presentaron rendimientos promedio dentro de la franja productiva nacional (20-35 ton.Ha⁻¹) y estos mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) con los tratamiento agua de pozo y laguna de maduración que tuvieron baja productividad. Del mismo modo Santos et al., (2012), observaron para un cultivo de Heliconia (Golden Torch Adrian), que los mayores valores de producción de masa seca total (kg) se presentaron en los tratamientos ARD (tratada en lagunas de decantación) y Mezcla (50% ARD+50% agua de lluvia), y estos sumados al AP (Agua de lluvia+ fertilización química) presentaron diferencias significativas del tratamiento testigo (Agua de lluvia).

Omitiendo la tendencia de T2, se observa que la respuesta en T1 y T3 fue coherente ya que la productividad de T1 (ART) es mayor en los bloques 1, 3; donde T3 (AP+FQ) no recibió fertilización completa (solo N). Con relación a la fertilización completa (N, P, K) de T3 realizada en el bloque dos, el fuente no suplía la totalidad de la demanda nutricional de la Caña, por lo que se explica que su rendimiento fuera inferior a T3. Este análisis es similar al efectuados por de Souza et al., (2005), para cultivos de café; por lo que recomiendan indispensablemente complementar esta actividad con fertilización química para maximizar los rendimientos de cultivos. Asimismo (Bastos et al., 2005), advirtieron que el riego con agua residual (con y sin fertilización química) alcanzó mejor productividad media respecto a los demás tratamientos (Agua y agua+ FQ (N, P, K)). Ellos experimentaron fertirrigación de Maíz con efluente de laguna de estabilización y no encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el rendimiento alcanzado en los diversos tratamientos.

4. Conclusiones

La productividad media alcanzada en el tratamiento con agua residual tratada fue de 134.7 TCH y de acuerdo con el Anova aplicado, no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$), por lo que durante el primer ciclo de la caña, la productividad alcanzada con esta calidad de agua puede ser equivalente a la obtenida con fertilización química.

Como parte de una estrategia para mejorar el manejo integral del recurso hídrico, esta alternativa permite aliviar la presión sobre el recurso fresco (superficial o subterráneo) en esta zona de Colombia. Por lo que es importante continuar estudios a largo plazo (superior a una cosecha) ya que los resultados preliminares dan factibilidad a la proyección de un distrito de riego, empleando agua residual tratada de las principales ciudades del Valle del Cauca.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad del Valle y EMCALI EICE ESP., especialmente a los Ingenieros José Cerón, Roberto Pomar y Juan Moreno, por financiar y facilitar la realización del estudio.

5. Referencias Bibliográficas

1. Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia. – ASOCAÑA. 2012. Informe anual 2011-2012. 104 pág.
2. Bastos, R., Bevilacqua, P., Silva, C. 2005. Tratamiento de esgotos sanitarios e usos múltiples de efluentes. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 164- 170.
3. Beleño I. 2011. El 50% del agua potable es de mala calidad. En: UN periódico, Publicación de la Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. N° 141. Pág. 14.
4. Cenicaña. 2010. Informe anual 2009. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. Cali.
5. Corcoran, E., Nellemann, C., Baker, E., Bos, R., 2010. Sick water?. The central role of wastewater management in sustainable development. A rapid response assessment. Water.
6. Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. 1985. Water quality for agriculture. Irrigation and drainage. Technical paper N° 29.
7. Ideam, 2010. Estudio Nacional del Agua 2010. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C.
8. Lima, S., Henrique, I., Ceballos, B.S.O., Souza, J.T., Araújo, H.W.C. 2005. Qualidade sanitária e produção de alface irrigada com esgoto doméstico tratado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 9, 21-25.
9. Moreno, J.F., 2010. Información actualizada PTAR Cañaveralejo, Cali.
10. Quintero D., R. 1995. Fertilización y nutrición. En: El Cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, CENICAÑA. 153-177.
11. Rodríguez, D., Narváez, J.C. 2011. Respuesta de las Variables de Crecimiento y Productividad en un Cultivo de Caña de Azúcar Regado con el Efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo Ptar-C. Tesis (Ingeniería Agrícola). Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería.
12. Santos, O., Paz, V., Gloaguen, T., Texeira, M., Fadiga, F., & Costa, J. 2012. Crescimento e estado nutricional de helicônia irrigada com água residuária tratada em casa de vegetação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 16 (75), 820-827.
13. Silva L. Jorge A. 2008. Reúso del Efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo Ptar-C en el Riego de Caña de Azúcar. Cali, 138 pág. Tesis (Magister en Ingeniería Sanitaria). Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Escuela EIDENAR.
14. Sousa, J.T.D., Ceballos, B.S.O.D., Henrique, I.N., Dantas, J.P., Lima, S.M.S., 2006. Reúso de água residuária na produção de pimentão (*Capsicum annum* L.). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 89-96.
15. de Souza, J.A.A., Ramos, M.M., Soares, A.A., Neves, J.C.L., Medeiros, S.S. 2005. Efeitos da fertirrigação com água residuária de origem urbana sobre a produtividade do cafeeiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 128-132.
16. Victoria K, J.; Amaya E., A.; Rangel J., H.; Viveros V., C. A.; Cassalett D., C.; Carbonell G., J.; Quintero D., R.; Cruz V., R.; Isaacs E., C. H.; Larrahondo A., J.; Moreno G., C. A.; Palma Z., A.; Posada C., C.; Villegas T., F.; Gómez L., L. A. 2002. Características agronómicas y de productividad de la variedad Cenicaña Colombia (CC) 85-92. Serie técnica N° 30 CENICAÑA. 78 pág.
17. World Health Organization – WHO. 2006. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Vol II. Wastewater Use in Agriculture. 222 pp.
18. World Water Assessment Programme (United Nations); UN-Water; Unesco. 2009. Water in a changing world 3° ed., Paris; London: UNESCO Publishing; Earthscan. 170 pp.