

Comportamiento de especies mediterráneas en cubiertas ajardinadas con uso de aguas jabonosas

J.L. Montero, M.C. Salas, M. Guzmán, N. Pérez

Dpto. Agronomía. Universidad de Almería. Crta. Sacramento s/n, 04120, La cañada de San Urbano, Almería y e-mail: csalas@ual.es

Resumen

En el sudeste español se ha comenzado a implantar cubiertas ajardinadas, siendo el clima y la disponibilidad de agua un reto para ello. El objetivo de este trabajo fue determinar y cuantificar los efectos del riego con agua jabonosa elaborada artificialmente sobre tres especies mediterráneas (*Rosmarinus officinalis*, *Thymus vulgaris* y *Lavandula angustifolia*) plantadas en simulaciones de cubiertas ajardinadas semi-intensivas. Para ello se estudió la conductividad eléctrica (CE), pH, porcentaje de drenaje, porcentaje consumido por el sistema, y parámetros relacionados con las plantas (supervivencia, superficie ocupada por la planta, altura, índice de forma). El experimento está compuesto por dos tratamientos según el agua empleada para el riego: agua limpia (L) y agua jabonosa (J) con una dotación de riego (D1), más otro tratamiento con una dotación doble para las aguas J (D2). El diseño experimental fue un bloque al azar con tres replicas para cada especie tratamiento. La CE y pH de los drenajes de las cubiertas según el tipo agua empleada no muestran diferencias significativas ($P \leq 0,05$), y sí son estadísticamente menores las CE de los drenajes de las cubiertas regadas con la dotación doble. El porcentaje de drenaje y consumido por el sistema presenta diferencias significativas según la dotación empleada. *Thymus vulgaris* fue la planta que mejor se comportó con el agua jabonosa, independientemente de la dosis utilizada, siendo la planta que mejor se adaptaría a las cubiertas ajardinadas en climas mediterráneos. *Lavandula angustifolia* mostró un buen crecimiento con aguas jabonosas aunque con mayores requerimientos hídricos (D2), poniéndose de manifiesto la falta de agua en la dosis menor (D1). Sin embargo, *Rosmarinus officinalis* mostró mejor desarrollo vegetal cuando fue regada con aguas limpias.

Palabras clave: aguas grises, riego, cubiertas vegetales, naturación urbana.

INTRODUCCIÓN

El uso de las cubiertas ajardinadas presenta numerosas ventajas como reducir la escorrentía de las aguas pluviales, el consumo energético de los edificios, el ruido, el dióxido de carbono en la atmósfera y las partículas contaminantes del aire, constituyéndose en una potencial solución de adaptación de las ciudades al cambio climático. Sin embargo, las cubiertas ajardinadas tienen un costo entre dos y cinco veces superior que una cubierta convencional. En España el concepto de *naturación urbana* está comenzando a introducirse con la implantación de sistemas como los jardines verticales y cubiertas ajardinadas (Salas et al., 2010). Tradicionalmente, en las cubiertas ajardinadas se siembran plantas de bajo crecimiento, suculentas y tolerantes a la sequía. Existe un gran interés en aumentar las especies de plantas utilizables, con un enfoque particular en el uso de plantas autóctonas (Montero et al., 2013). En regiones mediterráneas con clima árido y semiárido como el sudeste español la disponibilidad limitada de sustrato y agua, sumado a una elevada demanda climática (temperatura, viento y radiación solar) obligan a incorporar el riego en el diseño constructivo para

asegurar la supervivencia de las plantas (Benvenuti y Bacci, 2010; Montero et al., 2013).

La escasez de agua en estas regiones hace necesario la búsqueda de fuentes alternativas para el riego en cubiertas ajardinadas. Una posible fuente de agua para el riego de las cubiertas ajardinadas en nuestras latitudes son las aguas jabonosas también llamadas aguas grises. Estas se definen como aguas residuales de las viviendas excepto las aguas de los inodoros (Misra et al., 2010). Estas aguas suele contener diversos niveles de sólidos en suspensión, sales, nutrientes, materia orgánica y patógenos (Christova-Boal et al., 1996; Howard et al., 2005). También contienen detergentes para ropa que incluyen surfactantes, agentes blanqueadores y agentes auxiliares o aditivos. Aunque no hay suficiente información que indique cómo el uso de estas aguas pueden afectar al crecimiento, la disponibilidad de nutrientes o producción de signos de toxicidad en las plantas. Algunos trabajos sugieren que los surfactantes modifican la conductividad hidráulica de los suelos significativamente (Abu-Zreig et al., 2003; Shafran et al., 2005), y que las aguas presentan un pH alto (pH > 9) aunque muy variable según la fuente (Tabla 1), altas concentraciones de sodio, boro, zinc y aluminio que pueden reducir el crecimiento de las plantas con efectos sobre las propiedades del suelo (Christova-Boal et al., 1996; Gross et al., 2005).

Tabla 1. pH y CE (dS m⁻¹) de agua jabonosa fabricada según diversos autores.

	Christova-Boal et al. (1996)	EPHC (2006)	Beal et al. (2008)	Diaper et al. (2008)	Stevens et al. (2011)	Turner et al (2013)
pH	6,4-10,0	5-10	5,4-10,3	6,5-8,0	10,4-11,1	7,0-7,4
CE	0,082-1,400	0,08-1,30	0,26-2,50	0,30-0,40	0,95-6,70	0,053-0,640

Existen trabajos que muestran los buenos resultados del uso de aguas jabonosas sin tratar. Misra et al. (2010) llevaron a cabo un experimento para determinar el crecimiento de las plantas del tomate, utilizando aguas grises sin tratar. Determinaron que las aguas grises tiene un potencial prometedor ya que fue escaso el efecto de los tratamientos de riego sobre el crecimiento de las plantas, diversos componentes de la biomasa y el área foliar fueron similar o significativamente más altos y las plantas regadas con esta agua tenían mayor concentración de fósforo, sodio y hierro. Cameron y Berghage (2009) realizaron pruebas a corto plazo de riego con aguas grises en una cubierta ajardinada demostrando que el nivel de oxígeno bioquímico disponible en el agua gris se redujo significativamente al pasarla a través de una cubierta ajardinada antes de su descarga.

Este estudio tiene como objetivo conocer el efecto del riego con agua jabonosa elaborada artificialmente, de composición repetible y no tratada, sobre las características de los drenajes, porcentaje de agua consumido por el sistema y el desarrollo vegetal de romero, tomillo y lavándula en cubiertas ajardinadas.

MATERIAL Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en parcelas de simulación de cubiertas ajardinadas extensivas ubicadas en las instalaciones del IFAPA (Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica) en la Cañada de San Urbano en Almería (España) entre el 21 de febrero al 21 mayo de 2014. Las simulaciones de cubiertas empleadas habían sido instaladas, plantadas y

comenzando con los tratamientos de riego en febrero de 2013 con plantas mediterráneas de las especies romero (*Rosmarinus officinalis*), tomillo (*Thymus vulgaris*) y lavándula (*Lavandula angustifolia*).

Para el ensayo se emplearon 9 simulaciones de cubiertas extensivas de 0,5 m² de superficie cada una y 25 cm de alto. Cada cubierta se encontraba impermeabilizada interiormente con polietileno, encima una lámina de polietileno para facilitar el drenaje y retener agua hasta 10 mm, y sobre esta una capa de lana de roca de 20 mm de grosor. Cada cubierta contaba con un orificio para drenaje y pendiente longitudinal del 1%. El sustrato está compuesto por una mezcla de material de arcilla y sustrato orgánico vegetal para jardinería (Professionnel Terreau mezcla de turbas). La mezcla se realizó según las recomendaciones indicadas en la FLL (2008).

Se evaluaron dos tratamientos, agua limpia (L) y agua jabonosa (J), con riegos de igual dotación e igual frecuencia, utilizando riego por gotero. Mientras que para el J se incluyó una dotación de riego doble manteniendo la frecuencia. El diseño experimental es de bloques al azar con tres replicas constituidas por tres simulaciones de cubiertas y 4 plantas de cada especie. Los resultados con distribución normal fueron sometidos a análisis ANOVA multifactorial, utilizando “Statgraphics centurión XVI, versión 16.2.04” en ambiente Windows. Posteriormente se compararon los diferentes tratamientos y las diferentes dosis con la Diferencia Significativa Mínima (DSM) de Fisher. Los resultados para las discusiones están realizados con las comparaciones entre tratamientos (L y J), y entre las dos dotaciones de agua jabonosa.

El cálculo de la dotación se basó en la evapotranspiración (ET_o) media de los últimos 5 años, y el coeficiente de jardín (WUCOLS) (Costello et al., 2000) obtenido para las condiciones del experimento según las referencias locales, 0,3 (Montero et al., 2013). Las dotaciones varió según mes del año entre 10,2 (enero) y 37,5 (agosto) L m⁻² mes⁻¹, y el doble para el tratamiento con dotación doble. Se regaba con una frecuencia aproximada de 2 riegos/semana y controlando que el drenaje en la dotación mas baja fuera del 20-40%.

Para fabricar las aguas jabonosas empleadas para el riego se encuestaron a 20 personas de Almería para determinar el consumo semanal promedio de los productos de limpieza e higiene personal habitualmente utilizados en hogar. Para la preparación de 100L de agua jabonosa para el riego se emplearon 37,5; 12,5; 10; 30; 30; y 5 mL detergente liquido, suavizante, desinfectante (lejía + detergente), gel de ducha, enjuague bucal, y pasta de dientes, respectivamente. Las características medias del agua de riego limpia era 0,81 dS m⁻¹ y pH 7,71; y las del agua jabonosa de 1,11 dS m⁻¹ y pH 7,85.

Para determinar la influencia de los tratamientos se realizaron medidas en el crecimiento de las plantas, a los 30, 60 y 90 días después del inicio del experimento (DDIE) se cuantificó la altura (cm) y superficie ocupada por las plantas (cm²) según el área de una elipse, mediante el diámetro mayor y menor ocupado por cada planta. Y se determinó a los 90 DDIE el Índice de Supervivencia (%). Se realizaron mediciones semanales de los porcentajes de volúmenes de drenajes (considerando los volúmenes aportados según dotación), pH y conductividad eléctrica (CE) de las aguas de drenaje de cada cubierta. El porcentaje de agua consumido por el sistema (%) se calculó con el volumen de la dotación aplicado menos el volumen de drenaje.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La CE de los drenajes obtuvo resultados estadísticamente significativos ($P \leq 0,05$) entre los dos tipos de aguas y las diferentes dotaciones (D1 y D2) con J, en la mayor parte de los días de muestreo, no reflejándose en el valor medio del ciclo al comparar el tratamiento de aguas jabonosas con agua limpia. La CE en los primeros DDIE obtuvo valores más altos que con el paso de los días que fue disminuyendo (Fig. 1), coincidiendo con los aportes debidos al agua de lluvia. También pueden relacionarse a que el suelo se comporta como un medio para la eliminación de residuos debido a su capacidad para degradar, filtrar y retener contaminantes disueltos en el agua (Misra y Sivongxay, 2009). La CE fue más baja para la dosis más alta de J, posiblemente por una mayor fracción de lavado. En cuanto al pH, los resultados en los diferentes DDIE muestran un comportamiento muy similar entre el L y el J, y las diferentes dosis (Tabla 2, Fig. 1) coincidiendo con los obtenidos por Negahban-Azar et al. (2012).

Tanto el porcentaje consumido por el sistema como el de drenaje varía a lo largo de los muestreos viéndose afectados significativa ($P \leq 0,05$) por la dotación aplicada (Tabla 2, Fig. 2). Para la dotación menor de J se produjo un mayor consumo y un menor drenaje, con una diferencia de consumo del 21% y de drenaje del 23%. Puede deberse a que el J incrementa la conductividad hidráulica del sustrato debido al lavado de partículas muy finas y la reducción de la tensión superficial (Misra y Sivongxay, 2009). El aumento medio de conductividad hidráulica aumenta la capacidad total de transmisión de agua mientras que la capacidad de retención disminuye (Misra y Sivongxay, 2009). Es una de los principales mecanismo por el cual las plantas pueden extraer agua por debajo de la zona de la raíz, pero también es un mecanismo que contribuye a la acumulación de sales en el sustrato (Shafran et al., 2005) por lo que a mayor aporte de J mayor podría ser la acumulación de sales lo que disminuiría el consumo de agua por las plantas.

Tabla 2. Análisis de varianza y prueba múltiple de rangos para pH y CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$) tomando en tratamiento, dosis y su interacción. Letras diferentes entre filas del mismo parámetro indican que existen diferencias significativas ($P \leq 0,05$)

	pH	CE	Drenaje (%)	% consumido por el sistema
Tratamiento	<0,05	<0,05		
Jabonosa	7,71a	2,526a	-	-
Limpia	7,67a	2,272a	-	-
1	7,70a	2,442b	23a	70b
2	7,77a	1,757a	46b	49a
DxD	ns	<0,05	<0,05	□0,05

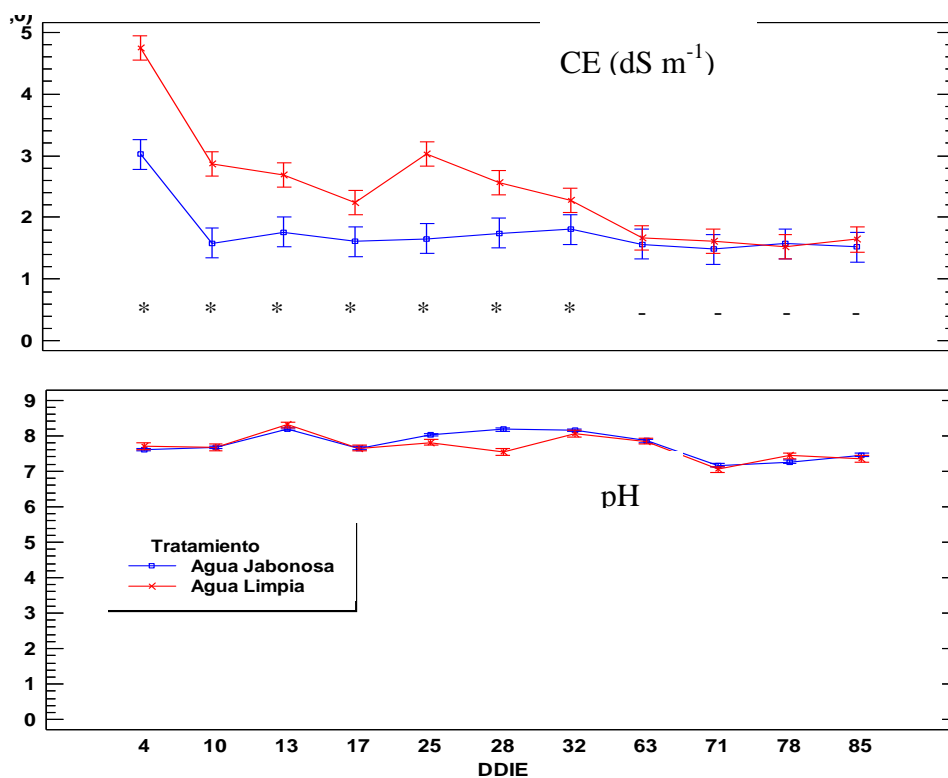


Figura 1. CE y pH de los drenajes en función de los tratamientos de agua aplicados con aguas jabonosas y limpias. * indica diferencia mínima significativa ($P \leq 0,05$).

Las plantas de romero no presentan diferencias significativas en el Índice de supervivencias entre tratamientos y dosis. En tomillo se observa una diferencia significativa ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos, obteniendo mejores resultados con el J independientemente de su dosis. Esto posiblemente esté relacionado al aporte de N por parte del J (Eriksson et al., 2002) ya que el déficit de este es una de las causas del descenso de los rendimientos en el cultivo del tomillo (Burri y Caicedo, 2013). Las plantas de lavándula ven limitada su supervivencia por la dotación de agua, solo sobreviven al aplicar la dotación doble de riego con J; coincidiendo con los resultados de Cermeño et al. (2013) que de los tres géneros de lavándula sometidas a riegos deficitarios, la *Lavandula angustifolia* es la menos eficiente en el uso del agua. El bajo índice de supervivencia de la lavándula con las dosis menores de riego no permite el análisis de los datos.

Algunas de las sales presentes en las J puede ser beneficioso para las plantas, en particular por sus nutrientes (Misra et al., 2010) ya que posee N, P, K (Braga y Varesche, 2014). Esto puede explicar que el tomillo crezca mejor al utilizar J. En cuanto al romero, el mejor crecimiento con el L puede estar relacionado con la salinidad que causa una reducción del crecimiento en esta planta al reducir el contenido de pigmentos fotosintéticos (Kiarostami et al., 2010).

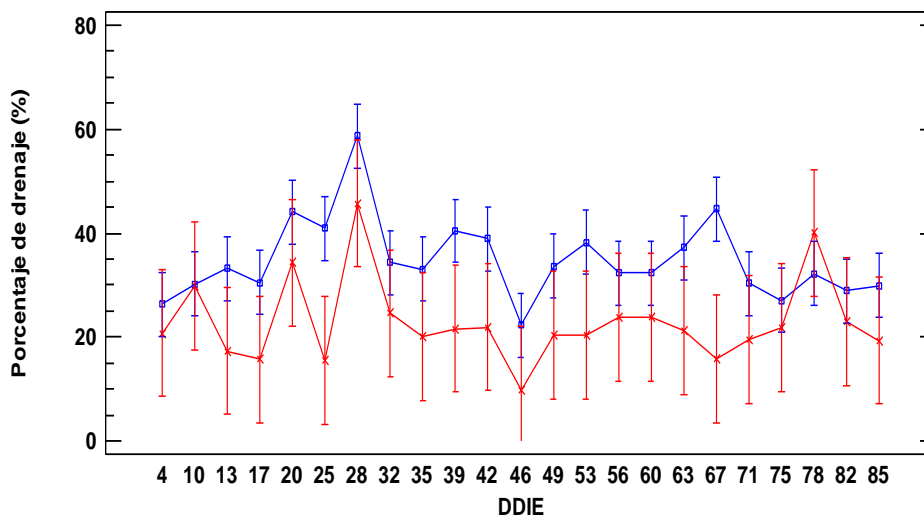
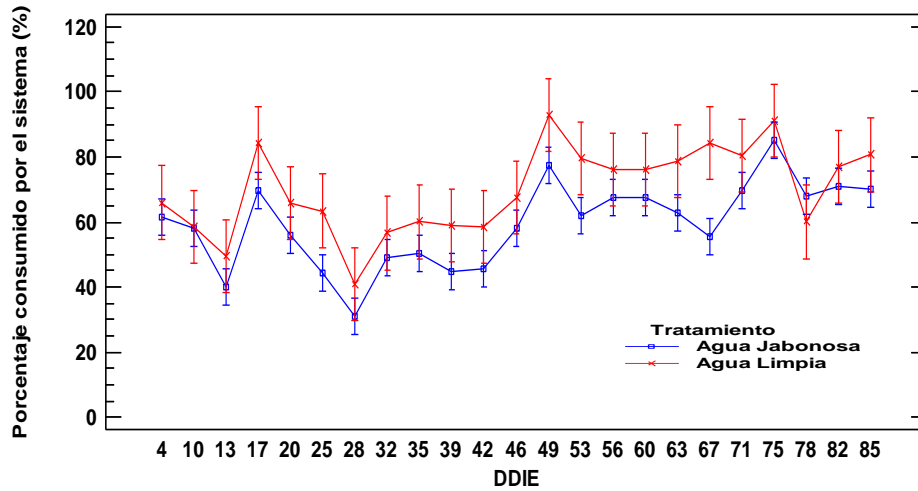


Figura 2. Porcentaje consumido por el sistema (%) y porcentaje de drenaje (%).* indica mínima diferencia estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

Tabla 3. Análisis de varianza y prueba múltiple de rangos para altura (h) (cm) y superficie ocupada por la planta (S) (cm²) e índice de supervivencia (I_s) (%) para las especies considerando tipo de agua y dotación. Letras diferentes entre filas del mismo parámetro indican diferencias significativas (P ≤ 0,05).

		h	I _s	S)
Romero	Tratamiento	<0,05	ns	<0,05
	Jabonosa	23a	0,94a	218a
	Limpia	28b	1,00a	300b
	Dosis	ns	ns	ns
	1	24a	0,94a	232a
	2	24a	0,95a	239a
Tomillo	Tratamiento	<0,05	<0,05	<0,05
	Jabonosa	22b	0,98b	531b
	Limpia	19a	0,89a	358a
	Dosis	ns	ns	ns
	1	21a	0,96a	486a
	2	21a	0,96a	511a
Lavandula	Tratamiento	---	<0,05	<0,05
	Jabonosa	---	0,04b	9b
	Limpia	---	0,07a	0a
	Dosis		<0,05	<0,05
	1	---	0,05a	10a
	2	28	1,00b	288b

La superficie ocupada por la planta es de suma importancia ya que existen estudios que demuestran como la cobertura superior de una planta, calculada mediante la fórmula de elipse, permite hacer estimaciones indirectas de la biomasa. La cobertura superior de la planta está involucrada en la acumulación de agua y detritus y, por ende, en el incremento en biomasa. Para estas variables se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas (P≤0,05) entre tratamientos y especies. El comportamiento diferencial entre romero y tomillo para la superficie ocupada por la planta se explica igual que para la altura. El aporte de nitrógeno del J al tomillo puede influir incrementando el área ocupada promoviendo un mayor tamaño y número de hojas (Vos y Putten, 1998).

Según los resultados, el tomillo fue la planta que mejor desarrollo vegetal tuvo con el agua jabonosa, independientemente de la dotación utilizada, siendo la planta que mejor se adaptaría a las cubiertas ajardinadas mediterráneas. La lavanda mostró un buen crecimiento con aguas jabonosas aunque sus requerimientos hídricos son mayores que los aportados en los tratamientos. Sin embargo, el romero mostró mejor desarrollo vegetal cuando fue regada con aguas limpias.

Agradecimientos

Financiado por la Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo (Junta de Andalucía) con el Proyecto de Excelencia, RNM-6536 (2011-2015) “Monitorización y evaluación de sistemas hídricamente sostenibles en instalaciones de cubiertas ecológicas en arquitectura bioclimática en zonas áridas”.

Referencias

- Abu-Zreig, M., Rudra, R.P., Dickinson, W.T. 2003. Effect of application of surfactants on hydraulic properties of soils. *Biosys. Eng.* 84: 363-372.
- Beal, C., Hood, B., Gardner, E., Lane, J., Christiansen, C. 2008. Energy and Water Metabolism of a Sustainable Subdivision in South East Qld: A Reality Check. *Enviro'08 Melbourne*.
- Benvenuti, S., Bacci, D. 2010. Initial agronomic performances of Mediterranean xerophytes in simulated dry green roofs. *Urban ecosyst.* 13: 349-363.
- Burri, A., Caicedo, O.P. 2013. Evaluación agronómica de tres densidades de siembra en el cultivo de tomillo *Thymus vulgaris*, mediante la aplicación de tres fertilizantes orgánicos, con fines de exportación, en la parroquia de yaruqui, provincia de pichincha. Tesis de grado. Guaranda, Ecuador. pp 17.
- Braga, J. K., Varesche, M. B. A. 2014. Commercial Laundry Water Characterisation. *Am J Agr .Econ.* 5:8-16.
- Cameron, R., Berghage, R. 2009. Integrated biofilters converting wastewater to water resource. Greening rooftops for sustainable cities conference, Atlanta, GA. In: Proc. of 7th North American Greenroof Conference: Greening Rooftops for Sustainable
- Cermeño, P., García, P., Romero, M. J. 2013. Respuesta de Tres Especies del Género *Lavandula* al Riego Deficitario. VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas. Madrid, España.
- Christova-Boal, D., Eden, R.E., McFarlane. S. 1996. An investigation into greywater reuse for urban residential properties. *Desalination.* 106(1-3):391-7.
- Costello, L.R., Matheny, N.P., Clark, J.R. 2000. A guide to estimating irrigation water needs of landscape plantings in California. The landscape coefficient method & WUCOLS III. Univ. California Coop. Extension, Water Resources, U.S. Bureau of Reclamation. California Communities, Baltimore, MD, The Cardinal Group, Toronto.
- Diaper, C., Toifl, M., Storey, M. 2008. Greywater technology testing protocol. CSIRO Water for a Healthy Country National Research Flagship report CSIRO, Australia.
- EPHC (Environment Protection and Heritage Council). 2006. National guidelines for water recycling. Managing health and environmental risks (phase 1). Canberra: Environment Protection and Heritage Council (EPHC).
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., Ledin, A. 2002. Characteristics of grey wastewater. *Urban Water J.* 4: 85-104.
- FLL. 2008. Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing, Forschungs gesell schaft Lands chafts sen twicklung Land-schaftsbaue.V. (FLL), Bonn.
- Gross, A., Azulai, N., Oron, G., Ronen, Z., Arnold, M., Nejidat, A. 2005. Environmental impact and health risks associated with greywater irrigation: a case study. *Water Sci. Technol.* 52:161-169.
- Howard, E., Misra, R.K., Loch, R., Le-Minh, N. 2005. Laundry grey water potential impact on Toowoomba soils - final report. National Centre for Engineering in Agriculture Publication 1001420/2, USQ, Toowoomba, Australia.
- Kiarostami, K., Mohseni, R., Saboora, A. 2010. Biochemical changes of *Rosmarinus officinalis* under salt stress. *J. Stress Physi Bio.* 6(3):114-122.
- Misra, R.K., Sivongxay, A. 2009. Reuse of laundry greywater as affected by its interaction with saturated soil. *J.Hydrol.* 366: 55-61.
- Misra, R.K., Patel, J.H., Baxi, V.R. 2010. Reuse potential of laundry greywater for irrigation based on growth, water and nutrient use of tomato. *J.Hydrol.* 386:95-102.

- Montero, J.L., Salas, M.C., Díaz, J.G., Guzmán, M., Heredia, E. 2013. Evaluación hídrica de cubiertas ajardinadas para su uso en arquitectura bioclimática en zonas mediterráneas de clima árido y semi-árido. Actas VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas.
- Negahban-Azar, M., Sharvelle, S. E., Stromberger, M. E., Olson, C., Roesner, L. A. 2012. Fate of graywater constituents after long-term application for landscape irrigation. **Water Air Soil Poll.** 223: 4733-4749.
- Salas, M. C., Montero, J. L., Moral, J. A. 2010. Hydroponic system for growing ground cover plants on vertical surface. *Acta Hort.* 881: 421-424.
- Shafran, A.W., Gross, A., Rone, n Z., Weisbrod, N. Adar, E. 2005. Effects of surfactants originating from reuse of greywater on capillary rise in the soil, *Water Sc. Tech.*52 (10-11): 157-166.
- Stevens, D., Dillon, P., Page, D., Warne, S.J., Ying, G.G. 2011. Assessing environmental risks of laundry detergents in greywater used for irrigation. *J. Water Reuse Desalin.* 1(2): 61–77.
- Turner, R.D., Will, G.D. Dawes, L.A., Gardner, E.A., Lyons, D.J 2013. Phosphorus as a limiting factor on sustainable greywater irrigation. *Sci. Total Environ.* 456:287–298.
- Vos, J., Van der Putten, P. E. L. 1998. Effect of nitrogen supply on leaf growth, leaf nitrogen economy and photosynthetic capacity in potato. *Field Crops Research.* 59(1):63-72.
- Wiel-Shafran, A., Ronen, Z., Weisbrod, N., Adar, E., Gross, A. 2006. Potential changes in soil properties following irrigation with surfactant-rich greywater. *Ecol.Eng.*26:348–54.