

Mejora en la retención y distribución de agua en muros verdes usando materiales alternativos como medio de crecimiento

Y.A. Rivas-Sánchez^a, M.F. Moreno-Pérez^b, J. Roldán-Cañas^c

University of Córdoba, Department of Agronomy, Campus de Rabanales, 14071 Córdoba, Spain. ^a:z32risay@uco.es, ^b: mfatima@uco.es, ^c: jroldan@uco.es

Línea temática B | Hidrología, usos y gestión del agua.

RESUMEN

Este trabajo muestra como la cascarilla de arroz y la fibra de coco pueden tener características que los convierten en componentes útiles como medios de cultivo en muros verdes, y así buscar alternativas para tratar de reducir el impacto ambiental generado por la explotación de musgo Sphagnum a largo plazo. Por esto, se diseñó un prototipo de muros verdes para analizar la diferencia entre sustratos alternativos, como la cascarilla de arroz mezclada con cascara de coco y el musgo Sphagnum. La escorrentía de los sustratos se analizó mediante sensores de flujo, y la retención se midió mediante sensores de humedad. El sustrato compuesto de cascarilla de arroz y fibra de coco mostró mayor homogeneidad en la distribución del agua de riego que el musgo Sphagnum. El material vegetal tuvo un óptimo desarrollo en los dos tipos de sustratos analizados, siendo así una alternativa viable para el uso en muros verdes.

Palabras clave | Sphagnum; Sustratos alternativos; Muros verdes; Retención y distribución de agua

INTRODUCCIÓN

Los Muros verdes pasivos se clasifican, generalmente en dos tipos de sistemas: modulares y continuos (Manso y Castro-Gomes, 2015). Los sistemas modulares son actualmente los más utilizados comercialmente debido a su fácil instalación y su facilidad para utilizar diferentes tipos de especies vegetales, pero estas requieren sustratos especiales como musgos o materiales sintéticos que exigen un mantenimiento regular (Safikhani et al., 2014). Los sistemas modulares son generalmente, cajas con una capa de vegetación establecida verticalmente. La mayoría de los muros verdes modulares basados en musgo Sphagnum como sustrato, son relativamente costosos de instalar en comparación con otros sistemas como los continuos. En los últimos años, se han realizado diferentes investigaciones sobre los muros verdes mostrando así algunas desventajas especialmente en los materiales utilizados en el medio de crecimiento debido a su alta carga ambiental (Ottelé et al., 2011).

Desde el punto de vista paisajístico, la finalidad de los sustratos alternativos como medio de cultivo es producir una planta de calidad, reduciendo costes de producción y la carga ambiental. En adición, la obtención y eliminación del sustrato, una vez utilizado, no debería provocar un impacto negativo sobre el medio ambiente.

Existe poca investigación sobre la diversidad de muros verdes en España. Actualmente, si existe la necesidad de establecer un muro verde por arquitectos o paisajistas estos instalan muros verdes siguiendo razones no ecológicas, tales como recursos estéticos, los créditos verdes y por el valor económico, y no como aislamiento térmico o para reducir el agua de escorrentía ya que las inundaciones están convirtiéndose en una problemática cada vez mayor debido a la impermeabilidad de las áreas urbanas (Francis y Lorimer, 2011). Por estas razones, se tiende a utilizar comercialmente el muro verde con sustrato de Sphagnum ya hecho en capas muy finas directamente sobre un soporte, lo que no permite, generalmente, la colonización vegetal natural ni ofrece una variedad ambiental. En los últimos años los estudios se han concentrado en los beneficios económicos en

vez de en la biodiversidad (Perini y Rosasco, 2013), pero, no obstante, estas investigaciones son vitales si los muros verdes se convirtieran en parte de la planificación y el desarrollo de las ciudades.

Así nace la necesidad de encontrar nuevos materiales alternativos reciclados que posean cargas ambientales menores para una mayor sostenibilidad del medio ambiente, siendo pues el objetivo de este trabajo usar materiales alternativos tales como cascarilla de arroz, lana de roca y fibra de coco (Larcher et al., 2013), los cuales han mostrado en los últimos años que poseen características fisicoquímicas similares a las de los materiales convencionales como el Sphagnum que es, además, un material costoso (Rose y Haase., 2000; Holman et al., 2005). En este trabajo se analizarán estas alternativas sostenibles, rentables, de fácil adquisición, bajo coste y eficiencia ambiental para su uso como sustrato en muros verdes modulares en el mercado español.

En este estudio, se analizó la naturaleza del sustrato, que es la base de todo el sistema de muro verde. Se han elaborado normas para la industria del techo verde en Alemania, sin embargo, no existen normas especiales para los muros verdes en España y muchas de las normas utilizadas en el extranjero, siguiendo los estándares del Reino Unido, no siempre son compatibles con el mercado (FLL, 2002). Se ha publicado relativamente poco sobre sustratos alternativos para muros verdes, pues para conseguir un muro verde ambientalmente correcto, su sustrato debe ser caracterizado ya que es importante determinar si los materiales alternativos donde estará apoyada la vegetación tendrán éxito en áreas con temperaturas extremas como el sur de España (Mickovski et al., 2013). En este trabajo, se considerarán dos objetivos, primero si pueden utilizarse materiales alternativos como sustrato en las tecnologías de muros verdes en regiones cálidas del sur de España, y segundo, si estos sustratos reciclados son alternativas viables en términos de caracterizaciones de material y costes económicos (Molineux et al., 2009).

Para ello, se diseñó un prototipo de muros verdes para analizar la diferencia entre sustratos alternativos eco-compatibles, como la cascarilla de arroz mezclada con cascara de coco de acuerdo a trabajos preliminares donde se demostró la eficiencia de estos materiales (Rivas et al., 2017a), y el musgo Sphagnum como medio de crecimiento en muros verdes (Vijayaraghavan y Raja, 2014). Se estudiaron las características fisicoquímicas de los dos medios de crecimiento y también se analizaron parámetros como la retención de agua en los sustratos establecidos en el muro verde y la homogeneidad en la distribución del agua dentro de los prototipos por medio de sensores electrónicos. Además, se analizó el desarrollo de las plantas en cada uno de los sustratos.

Los diseñadores de muros verdes están buscando alternativas a muchos de los componentes tradicionales de los medios de cultivo, como el musgo Sphagnum. Debido a que los costos de transporte son un factor importante en el costo de los medios de cultivo, los diseñadores deben considerar más componentes locales, incluyendo la fibra de coco y la cascarilla de arroz.

Para verificar la idoneidad de los sustratos se utilizarán sensores de humedad y de flujo conectados a un microcontrolador que registrara los datos tomados por estos, los cuales fueron instalados en los prototipos para muro verde tanto en los compuestos por la mezcla de fibra de coco y cascarilla de arroz como los de musgo Sphagnum, y para identificar la mejor combinación de planta y sustrato, se utilizaron dos diferentes especies, como planta tapizante *Aptenia cordifolia* y como planta de flor con mayor porte *Lampranthus spectabilis* (Emilsson, 2008).

MATERIAL Y MÉTODOS

Localización y sistemas de muros verdes

El experimento se estableció con orientación sur en 8 prototipos de 1m² x 10cm de espesor instalado en el campus de Rabanales de la universidad de Córdoba (37°54'51.3"N 4°43'28.5"W). Los prototipos de muro verde se componen de una V Jornadas de Ingeniería del Agua. 24-26 de Octubre. A Coruña

estructura de aluminio con una tapa de malla que tiene la función mecánica de soporte, también posee un canal de recolección de agua de PVC que dirige el agua al recipiente contenedor para la recirculación de agua a cada prototipo y tiene un revestimiento de fielto para mantener la humedad (Jørgensen et al., 2014). El módulo de aluminio se fija en una estructura de acero mayor instalada sobre el suelo del edificio dejando 5 centímetros de espacio entre el muro y la cubierta verde. En cada prototipo de muro verde se establecerá una tubería de 16mm flexible para el riego en la parte superior y en la parte media de cada prototipo, en el que se han colocado 96 goteros autocompensantes de la marca ClickTif HD cada 20 centímetros de tubo, proporcionando a través de cada gotero 4 l/h en la Figura 1 se pueden observar los prototipos.



Figura 1 | Prototipos de muros verdes.

Medios de crecimiento

Para este experimento se utilizaron dos tipos de sustrato, el sustrato alternativo compuesto de una mezcla de fibra de coco y cascarilla de arroz con un porcentaje de 50%/50%, el cual se comparó con el sustrato de referencia el musgo Sphagnum, uno de los sustratos comúnmente utilizados para el diseño para muros verdes de sistemas modulares como se observa en la Figura 2. Los sustratos fueron distribuidos en los 8 prototipos, de tal manera que cuatro contenían la mezcla de fibra de coco/cascarilla de arroz y cuatro el musgo sphagnum.

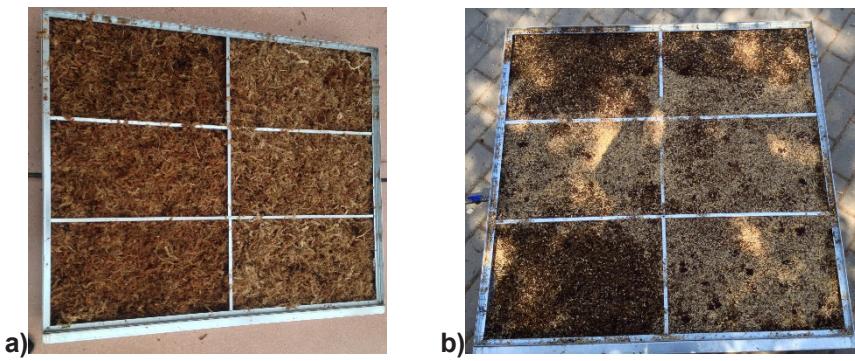


Figura 2 | Sustrato para prototipos de muro verde a) musgo Sphagnum, b) sustrato compuesto de cascarilla de arroz y fibra de coco.

Plantación, Irrigación y fertilización

En este experimento se han utilizado dos diferentes especies de material vegetal *Lampranthus spectabilis* por su cobertura y como planta de flor con mayor porte *Aptenia cordifolia*. Las dos especies fueron seleccionadas teniendo en cuenta la

exposición solar del lugar de establecimiento del prototipo de muro verde y por la fácil adquisición de estas plantas en la región las cuales se pueden observar en la Figura 3. La densidad de siembra de las plantas ha sido de 36 plantas por prototipo, 6 filas \times 6 columnas, espaciadas de forma equidistante entre los bordes del prototipo plantadas en agosto del 2016. Se han ubicado aleatoriamente en cada prototipo, pero cada uno poseerá la misma cantidad de plantas (Egea et al., 2014). Para la irrigación se utilizó una bomba centrifuga horizontal CRI mhb-3/03m con las siguientes características (H 24m, Q 3 m³/h, volt 230V, AMPS 3.6) que suministra agua para cada uno de los prototipos de muro verde. La bomba de agua está conectada a un programador Rain Bird ESP RZX4i, que irrigará los módulos por medio de las tuberías establecidos en cada uno de los prototipos por medio de goteo de 2 a 3 veces por día; la fertilización se realizará por irrigación adicionando el fertilizante comercial orgánico de guano al agua proporcionando N, P, K en cada uno de los prototipos para muros verdes.



Figura 3 | Material vegetal a) *Aptenia cordifolia* y b) *Lampranthus spectabilis*

Crecimiento de plantas

En tanto no se proceda a la recolección del material vegetal, lo que ocurrirá aproximadamente un año después de su implantación, agosto de 2017, el crecimiento de las plantas se ha caracterizado controlando el número de marras que se ha producido en cada prototipo y con cada sustrato, así como observando visualmente el desarrollo de las plantas en cada etapa de su crecimiento.

La escorrentía y la retención de humedad

La escorrentía de los sustratos se analizó mediante sensores de flujo YF-S402, que utilizan un sistema “hall” para su funcionamiento instalados en el sistema de recolección de agua, en tanto que la retención de humedad del sustrato se midió con sensores de humedad FC-28 de bajo coste los cuales miden dicha humedad dependiendo de su conductividad. Estos sensores fueron instalados en diferentes partes del sustrato en los prototipos de muro verde. Los sensores de flujo y humedad estaban conectados a internet los cuales registraban los datos para su posterior análisis (Rivas et al., 2017b).

La calibración del sensor de flujo se realizó mediante el método volumétrico, tomando un volumen de referencia y así poder calibrar la programación para el microcontrolador según cada sensor, también para evitar errores en la toma de datos por medio de los sensores de flujo se tuvo en cuenta la correcta sujeción del sensor al tubo debido a que este puede tener variaciones según la inclinación o las pérdidas de agua por una mala conexión con la tubería de agua. La calibración del sensor de humedad se realizó mediante pruebas de ensayo en los sustratos húmedos, para así determinar el nivel de humedad óptimo para las plantas (Rivas et al., 2017b).

Los dos sensores estaban conectados a un microcontrolador Arduino el cual enviaba los datos a una base de datos por medio de internet, los datos fueron tomados cada 5 minutos durante toda la fase del experimento. Un microcontrolador es un dispositivo electrónico que integra dentro un encapsulado con un gran número de componentes, como resistencias, condensadores, etc., conectados entre sí de forma muy específica que tiene la característica de ejecutar de forma autónoma una

serie de instrucciones previamente definidas por el programador (Rivas et al., 2017b). El microcontrolador es el componente principal del circuito de procesamiento y control (Artero, 2016). En Arduino tanto el hardware como el software son de código abierto (Banzi y Shiloh, 2016).

Análisis estadístico

Las diferencias en el crecimiento y desarrollo de las plantas entre cada uno los tratamientos serán examinados, en su momento, con ANOVA de dos factores después de la prueba de normalidad y homogeneidad de las varianzas. ANOVA de un factor se utilizará para examinar las diferencias en los valores del contenido orgánico, valores de pH, conductividad eléctrica, densidad aparente, porosidad del sustrato, macronutrientes, la escorrentía y la retención hídrica, y se analizarán con el paquete estadístico STATGRAPHICS® (Egea et al., 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para estudiar el sistema de riego se usaron 9 de los 12 goteros por módulo, lo que hace un total de 72 goteros en los 8 módulos analizados. Los resultados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1 | Caudal en función de la presión.

P _i (kPa)	q̃ _i (l/h)
40	3,8
80	3,9
100	4
120	3,9
140	4
q̃ Total	3,92

Siguiendo la norma ISO 9261:2004 se ha calculado la desviación del caudal (ecuación 1) y su coeficiente de variación (ecuación 2).

$$\text{Desviación caudal} = \frac{\bar{q} - q_n}{q_n} \cdot 100 \quad (1)$$

$$C_v = \frac{s_q}{\bar{q}} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

\bar{q} : Caudal medio de la muestra, en litros por hora.

q_n : Caudal nominal, 4 l/h

s_q : Desviación típica de los caudales de la muestra, en litros por hora.

C_v : Coeficiente de variación del caudal.

En nuestro caso resulta una variación de caudal del 2% y un coeficiente de variación de caudal del 2,1 % que cumple con dicha norma, que nos dice que se consideran aceptables si la desviación de caudal no supera $\pm 7\%$ del caudal nominal, y el coeficiente de variación de caudal tampoco excede del $\pm 7\%$.

También se ha calculado la ecuación de gasto del gotero para comprobar si cumple con la condición de autocompensante:

$$q = k \cdot p^x \quad (3)$$

Donde:

k: Coeficiente adimensional que depende de la geometría del gotero

x: Exponente hidráulico adimensional

Usando los datos de la Tabla 1, se obtiene un valor de x igual a 0,045 y un valor de k igual a 3,75.

Los sustratos se analizaron en el laboratorio por medio del fotómetro multiparamétrico hi 83200 de Hanna instruments, tomando una muestra del sustrato y dejándolo 100 ml de agua desionizada por 24 horas. Para su posterior análisis se cogió extracto en saturación de cada uno de los sustratos utilizados para el experimento y los resultados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2 | Propiedades físicas y químicas de los sustratos analizados para muros verdes.

Propiedad	Cascarilla de arroz	Fibra de coco	Mezcla	Sphagnum
Densidad Aparente g/m ³	0,098	0,105	0,108	0,099
Densidad Real g/m ³	0,61	0,35	0,214	0,48
Porosidad total %	84	70,7	86,2	80,2
Retención de humedad %	17	43	36	52
pH	7,245	6,605	7,1	4,2
Conductividad eléctrica dS/m ⁻¹	0,8	3,6	2,7	0,6
N%	0,51	0,43	0,74	0,80
P mgL ⁻¹	3,9	19	13,9	5,2
K mgL ⁻¹	108	582	562	19

La figura 4 muestra la liberación de agua en los dos sustratos estudiados tomando como referencia dos prototipos por cada uno de los sustratos estudiados utilizando la misma cantidad de agua para cada prototipo en la semana del 23/02/2017 hasta el día 01/03/2017, puesto que estos días se reprogramó el sistema de riego para que el sustrato sobrepasara la capacidad de campo y así tener el excedente de agua para el análisis de la liberación de agua por los sustratos. En la gráfica se puede ver como el sustrato de musgo Sphagnum tiene mayor retención que el sustrato compuesto de cascarilla de arroz y fibra de coco el cual puede necesitar ajustes en el riego, como menor tiempo de riego e intervalos más cortos entre riegos.

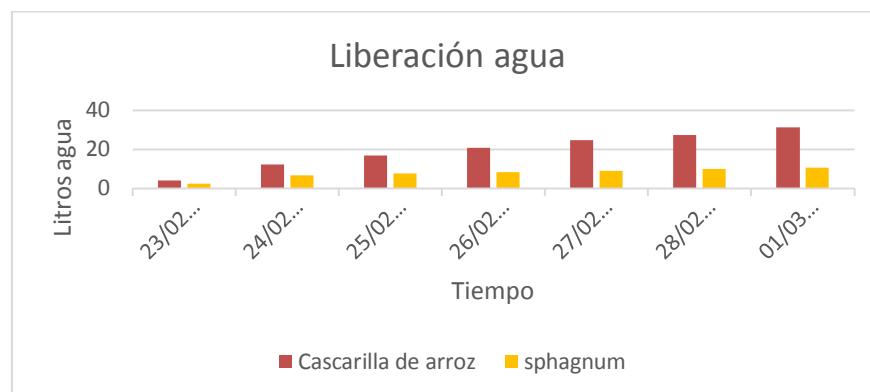


Figura 4 | Liberación de agua de los dos sustratos utilizados en el experimento.

La Figura 5 muestra el tiempo durante el cual cada uno los sustratos liberan el agua retenida en los módulos de experimentación de muro verde. En la gráfica se puede observar como el sustrato de musgo Sphagnum libera el agua más lentamente que el sustrato compuesto de cascarilla de arroz y fibra de coco y en menor cantidad. Las muestras fueron tomadas del día 26 de febrero de 2016, en las horas donde existe mayor incidencia solar.

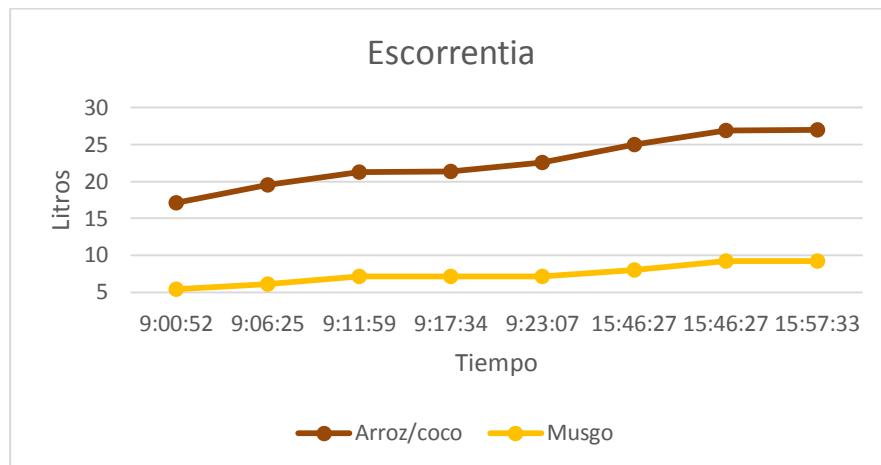


Figura 5 | Escorrentía en los sustratos compuestos de fibra de coco y arroz en comparación con el musgo Sphagnum.

La Figura 6 muestra la homogeneidad del agua contenida en los sustratos tanto en la parte inferior como en la parte superior, observándose que el sustrato compuesto de cascarilla de arroz y fibra de coco posee más homogeneidad en la distribución del agua en todo el módulo, a diferencia de los módulos compuesto de musgo Sphagnum, donde se acumulaba más agua en la parte inferior de los prototipos compuestos de este sustrato, estos datos fueron tomados en los días correspondientes al 01/02/2017 hasta 12/02/2017.

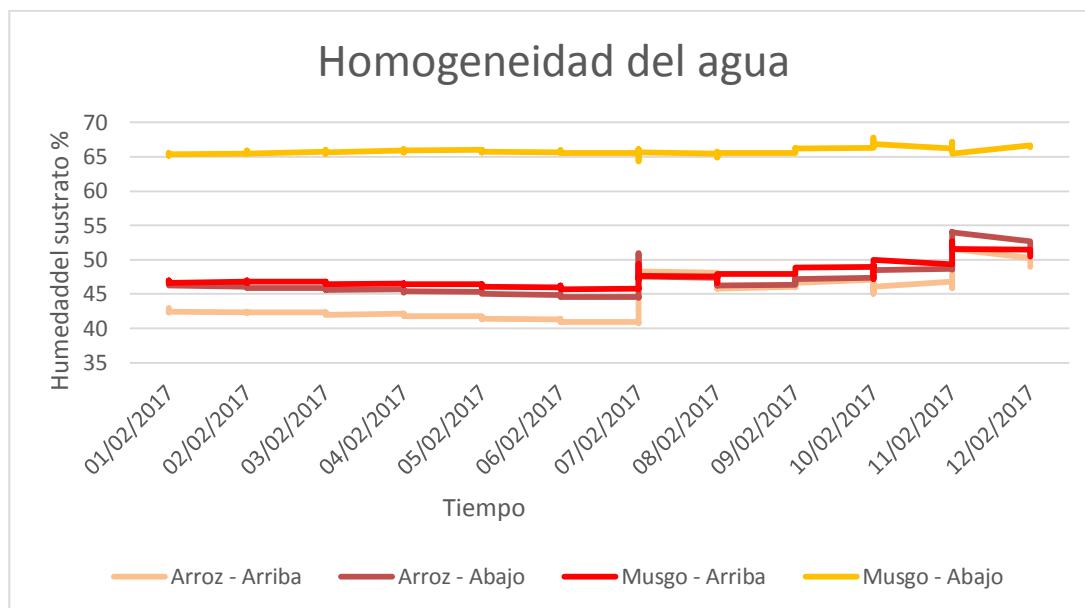


Figura 6 | Homogeneidad de la distribución del agua en la parte superior e inferior de los prototipos con los dos sustratos utilizados como medio de crecimiento para muros verdes.

El material vegetal después de 9 meses de experimento, el cual fue óptimo en los dos sustratos. Tanto la *Aptenia cordifolia* como la *Lampranthus spectabilis* mostraron que pueden ser utilizadas en el establecimiento de muros verdes

modulares. Las plantas soportaron tanto las altas temperaturas de la región que llegaron a 50C° en la época de verano y la exposición directa al sol como las heladas de invierno. El porcentaje de marras de las plantas desarrolladas no superó el 10% en cada uno de los sustratos.

En la figura 7 se puede apreciar la clorosis que presentan los sustratos compuestos de musgo Sphagnum. Esto demuestra que las plantas se adaptaron mejor en el sustrato compuesto por cascarilla de arroz como se ve en la Figura 8, probablemente a que estas plantas necesitan una baja cantidad de agua para su óptimo desarrollo. La acumulación de agua en la parte inferior de los módulos compuestos por musgo Sphagnum puede ocasionar problemas con las raíces afectando esto el aspecto visual de los muros verdes.



Figura 7 | Desarrollo del material vegetal para muros verdes con sustrato de Sphagnum.



Figura 8 | Desarrollo del material vegetal para muros verdes con sustrato de mezcla de cascarilla de arroz y fibra de coco.

DISCUSIÓN

Por la influencia de la gravedad, la mayor parte de agua se acumulaba en la base de los prototipos de muro verde, donde se llenan los espacios porosos, reduciendo la disponibilidad de aire para las raíces. La mezcla de fibra de coco que es un material que posee una fuerte capilaridad, proporcionó unas condiciones de humedad más uniformes para las raíces de la parte inferior del prototipo. El sustrato compuesto de fibra de coco y cascarilla de arroz es capaz de aumentar la aireación en la base del sustrato y reducir el secamiento de la superficie cerca al fielto de los prototipos de muro verde, por esto la gestión de la humedad superficial del sustrato de mezcla de fibra de coco y cascarilla de arroz es mucho más fácil ya que el material tiene la capacidad de extraer la humedad del sustrato en la parte más profunda para reemplazar las pérdidas por evaporación.

El sustrato compuesto por fibra de coco y cascarilla de arroz es un material elástico con una estabilidad física excepcional con respecto al musgo Sphagnum. En este contexto, la estabilidad física se refiere a la capacidad del sustrato para proporcionar aire y humedad a las raíces de las plantas. Un problema que se encontró sobre el musgo Sphagnum fue que sus propiedades físicas cambiaban considerablemente con el contenido de humedad, cuando estaba muy húmedo, tendía a colapsarse, disminuyendo el aire disponible y cuando está seco, se contrae dejando espacios en los prototipos. En comparación con el sustrato compuesto por fibra de coco y cascarilla de arroz que no cambia mucho cuando se moja o se encoge excesivamente cuando se seca. También tuvo una buena estabilidad física a lo largo del experimento, esto asegura que la salud de las plantas no se perjudicará con el tiempo.

CONCLUSIONES

El sustrato compuesto de cascarilla de arroz y fibra de coco mostró mayor homogeneidad en la distribución del agua de riego que el musgo Sphagnum, aunque tuvo poca retención de agua en comparación con el sustrato compuesto de musgo Sphagnum.

El material vegetal tuvo un óptimo desarrollo en los dos tipos de sustratos analizados. De este modo, la cascarilla de arroz mezclada con fibra de coco puede ser un sustituto aceptable del musgo Sphagnum. Los resultados obtenidos demostraron que el medio de crecimiento de arroz mezclado con fibra de coco puede ser utilizado con éxito en la implementación como medio de cultivo en muros verdes.

Las especies *Aptenia cordifolia* y *Lampranthus spectabilis* analizadas en este trabajo que fueron plantadas en el sustrato a base de fibra de coco y cascarilla de arroz, igualan en calidad visual y porcentaje de marras a las plantas desarrolladas en sustratos a base de musgo Sphagnum, por lo que se puede considerar que la mezcla cascarilla de arroz-fibra de coco es una buena alternativa al Sphagnum.

Estos resultados permiten afirmar que la cascarilla de arroz mezclada con la fibra de coco es un sustituto válido para los sustratos convencionales utilizados en muros verdes. El uso de la cascarilla de arroz mezclada con la fibra de coco como material de medio de crecimiento puede dar mejores resultados que los vistos anteriormente, como mezclando diferentes porcentajes de arroz y fibra de coco para aumentar la retención de agua o aumentar el espacio poroso del sustrato según las necesidades hídricas de las plantas, y por tanto pueden reemplazar sustratos menos sostenibles.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación está soportada con fondos propios de la línea de investigación “Sostenibilidad de Recursos Naturales” integrada en el Programa de Doctorado “Recursos Naturales y Gestión Sostenible” de la Universidad de Córdoba.

REFERENCIAS

- Artero, T. O. 2016. El mundo Genuino-Arduino: Curso práctico de formación, RC libros, Madrid.
- Banzi, M, Shiloh, M. (2016). Introducción a Arduino, O'Reilly media, Grupo Anaya s.a. Madrid.
- Egea G, Pérez-Urrestarazu L., González-Pérez J, Franco-Salas A, Fernández-Cañero R. 2014. Lighting systems evaluation for indoor living walls, *Urban Forestry & Urban Greening*, 13, 475-483.
- Emilsson T. 2008. Vegetation development on extensive vegetated green roofs: influence of substrate composition, establishment method and species mix, *Ecological Engineering*, 33 (3–4) 265–277.
- FLL. 2002. Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V, ISBN:393448459x, pp. 99.
- Francis A, Lorimer J. 2011. Urban reconciliation ecology: The potential of living roofs and walls, *Journal of environmental management* 92 (6), 1429-1437.
- Holman J, Bugbee B, Chard J. 2005. A Comparison of Coconut Coir and Sphagnum Peat as Soilless Media Components for Plant Growth, Utah State Univ, Department of Plants, Soils, and Biometeorology.
- Jørgensen L, Dresbøll DB, Thorup-Kristensen K. 2014. Root growth of perennials in vertical growing media for use in green walls, *Scientia Horticulturae* 166, 31–41.
- Larcher F, Fornaris A, Devecchi M. 2013. New Substrates for Living Walls, III International conference on landscape and urban horticulture, *Acta Horticulturae*, V: 999, 277-281.
- Manso M, Castro-Gomes J. 2015. Green wall systems: A review of their characteristics, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, issue C, p. 863-871.
- Mickovski S, Buss K, McKenzie B, Sökmener B. 2013. Laboratory study on the potential use of recycled inert construction waste material in the substrate mix for extensive green roofs, *Ecological Engineering*, 61C, 706–714.
- Molineux C, Fentiman C, Gange A. 2009. Characterising alternative recycled waste materials for use as green roof growing media in the U.K, *Ecological Engineering*, 35 (10), 1507–1513.
- Ottelé M, Perini K, Fraaij LA, Haas EM, Raiteri R. 2011. Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems, *Energy and Buildings* 43 (12), 3419-3429.
- Perini K, Rosasco P. 2013. Cost–benefit analysis for green façades and living wall systems, *Building and Environment* 70, 110–121
- Rivas Y, Moreno-Pérez, M.F, Roldán-Cañas, J. 2017a. Use of the rice husk as an alternative substrate for growing media on green walls drip irrigation. European Geosciences Union General Assembly 2017, 23–28 April, Vienna, Austria, EGU2017-4604
- Rivas Y, Moreno-Pérez, M.F, Roldán-Cañas, J. 2017b. Puesta en marcha de un sistema inteligente de riego por goteo para muros verdes con el uso de microcontroladores y microprocesadores. XXXV Congreso Nacional de Riegos, Tarragona, España, DOI: <http://dx.doi.org/10.25028/CNRiegos.2017.B05>
- Rose R, Haase D. 2000. The use of coir as a containerized growing medium for Douglas fir seedlings. *Native Plants Journal*, 2: 107-111.
- Safikhani, Tabassom, Abdullah, Aminatuzuhariah Megat, Ossen, Dilshan Remaz and Baharvand, Mohammad. 2014. A review of energy characteristic of vertical greenery systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, issue C, p. 450-462.

Vijayaraghavan K, Raja F. 2014. Design and development of green roof substrate to improve runoff water quality: plant growth experiments and adsorption, *Water Research.*, 63, 94–101.