

Sustrato de fibra de palma aceitera (*Elaeis guineensis*) e hidrogel para *Aptenia cordifolia*

Oil palm Fiber (Elaeis guineensis) and Hydrogel Substrate for Aptenia cordifolia

 Anthony Ramírez Juan Juscamaita Alejandro Risco Isabel Montes Giovanna Riveragrivera@lamolina.edu.pe 

Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú

Recibido: 04/07/2025

Revisado: 02/08/2025

Aceptado: 02/12/2025

Publicado: 06/01/2026

RESUMEN

La valorización de residuos agrícolas mediante su uso en soluciones paisajísticas sostenibles representa una alternativa viable frente a la creciente generación de residuos orgánicos. El presente estudio evaluó el desempeño de la fibra de palma aceitera (*Elaeis guineensis*) como componente de sustratos en techos verdes extensivos, así como la incorporación de poliacrilato de potasio como hidrogel retenedor de humedad. Se empleó un diseño en parcelas divididas con ocho tratamientos resultantes de la combinación de dos tipos de sustrato (uno con 60 % de fibra de palma + 40 % compost, y otro con cascarilla de arroz, arena y compost) y cuatro niveles de poliacrilato (0, 100, 150 y 200 g/m²). Se evaluaron variables morfofisiológicas en *Aptenia cordifolia* durante 10 semanas. Los resultados muestran que ambos sustratos son adecuados para el establecimiento de cubresuelos ornamentales; el sustrato con fibra de palma presentó una densidad aparente significativamente menor (0,22 g/cm³), una ventaja crucial para la carga estructural en techos verdes, junto con mayor porosidad y capacidad de retención de agua. La adición de poliacrilato no mostró efectos estadísticos significativos como factor individual, sin embargo, evidenció una interacción positiva al combinarse con el sustrato a base de fibra de palma, lo que resultó en una mejora de la retención hídrica. Se concluye que la fibra de palma aceitera posee un alto potencial como componente de sustratos alternativos en techos verdes extensivos, validando su uso en infraestructura verde urbana para mitigar el efecto de isla de calor.

Palabras clave: Fibra de palma aceitera, techos verdes extensivos, poliacrilato de potasio, *Aptenia cordifolia*, residuo industrial, sustrato techo verde.

ABSTRACT

The valorization of agricultural residues through their incorporation into sustainable landscape systems represents a viable strategy to address the growing generation of

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) International License

Rev. Investigaciones ULCB. Ene - Jul.13(1), 2026; ISSN: 2409 - 1537;52-63

organic waste. This study assessed the performance of oil palm (*Elaeis guineensis*) fiber as a component of substrates for extensive green roofs, as well as the effect of potassium polyacrylate as a water-retaining hydrogel. A split-plot experimental design was implemented, consisting of eight treatments derived from the combination of two substrate types (one composed of 60% oil palm fiber and 40% compost, and another containing rice husk, sand, and compost) and four levels of polyacrylate (0, 100, 150, and 200 g/m²). Morphophysiological traits of *Aptenia cordifolia* were evaluated over a ten-week period. Results indicate that both substrates are suitable for the establishment of ornamental ground covers; however, the palm fiber substrate exhibited a significantly lower bulk density (0.22 g/cm³) a key advantage for reducing structural load in green roof systems along with higher porosity and water-holding capacity. Although the addition of polyacrylate did not produce statistically significant effects as an independent factor, it showed a positive synergistic interaction when combined with the porous palm-fiber substrate, improving overall moisture retention. These findings highlight the strong potential of oil palm fiber as an alternative substrate component for extensive green roofs, validating its use in urban green infrastructure as a sustainable measure to mitigate the urban heat island effect.

Keywords: Peru, grape brandy, chicha, aswa, masato, wine.

INTRODUCCIÓN

El incremento sostenido de residuos sólidos de origen agrícola representa un desafío ambiental a nivel global, en especial en regiones productoras de palma aceitera (*Elaeis guineensis*), cuyo procesamiento genera grandes volúmenes de residuos fibrosos que no reciben manejo adecuado. (Khalil, H. P. S., et al., 2012). La fibra de palma ha sido empleada en compuestos biodegradables y bioenergéticos (Khalil et al., 2012), pero su uso como sustrato hortícola sigue siendo limitado, debido a la falta de estudios que optimicen su procesamiento y formulación para aplicaciones en el campo de las plantas ornamentales. Es importante investigar a fondo la utilización actual y el impacto ambiental de las industrias del aceite de palma en el mundo. (Kaniapan et al., 2021).

En este contexto, el crecimiento urbano ha motivado el uso de techos verdes como solución basada en infraestructura verde, capaz de mitigar islas de calor

y recuperar cobertura vegetal. (Jaffal et al., 2012). Dichas estructuras requieren sustratos con propiedades específicas: peso reducido, aireación adecuada y retención de humedad (Cakar et al., 2023). Además, la inclusión de materiales reciclados o derivados de procesos industriales, como residuos orgánicos estabilizados o derivados de procesos de incineración son considerados potenciales insumos en la elaboración de sustratos para techos verdes (Rowe, 2011). Los residuos orgánicos son en muchos casos insumos ideales para el uso en la elaboración de sustratos (Soobhany, 2019; Kader, 2024). Así, la incorporación de residuos agroindustriales podría contribuir simultáneamente a la sostenibilidad ambiental y a la eficiencia funcional de los techos verdes. El aprovechamiento de residuos agrícolas para la formulación de sustratos representa una estrategia efectiva para promover la economía circular y reducir la carga ambiental, especialmente cuando se

emplean fibras lignocelulósicas de palma u otros subproductos agroindustriales (Ahmad *et al.*, 2018 y Milla, 2021)

La combinación de materiales reciclados con aditivos superabsorbentes, como poliacrilato de potasio representa una opción prometedora para mejorar las propiedades hídricas de los sustratos. (Otorres y Soto, 2017 y Peyrusson, 2021).

El poliacrilato de potasio actúa como polímero superabsorbente que, al incorporarse a sustratos o suelos, incrementa considerablemente su capacidad de retención hídrica, lo que permite liberar agua lentamente hacia las raíces y reducir la frecuencia de riego (Sroka y Sroka, 2024), aunque su aplicación en techos verdes ha sido poco explorada, especialmente en combinación con residuos agroindustriales como la fibra de palma aceitera.

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de dos tipos de sustrato (con y sin fibra de palma) combinados con niveles crecientes de hidrogel, sobre el crecimiento de *Aptenia cordifolia* en condiciones simuladas de techo verde; bajo el supuesto que la fibra de palma y el poliacrilato mejorarían el cre-

cimiento vegetal y la retención hídrica del sistema y contribuiría de manera eficaz en la formación de biomasa, lo cual puede impulsar la difusión de los techos verdes como una solución al contexto de islas de calor urbanas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló entre noviembre de 2023 y febrero de 2024 en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima, Perú. La temperatura promedio osciló entre 20,3 y 24,5 °C, con humedad relativa media de 77 % y una radiación solar promedio de 5,4 kWh/m/día. De otro lado, se utilizó como material de siembra esquejes de *Aptenia cordifolia* de 10 cm.

Se instalaron módulos para techos verdes simulados, mediante el uso de contenedores de plástico, sobre una estructura metálica de 1,4 m por 0,9 m de área, sobre este soporte se colocaron rejillas de parihuela recicladas. Cada módulo fue de 57 cm de largo, 37 cm de ancho y 11 cm de altura, se usó una geomembrana como capa drenante, se colocó una capa de geotextil sobre la base y en lados laterales del módulo como capa filtrante que impide la filtración de partículas del sustrato (Figuras 1 y 2).

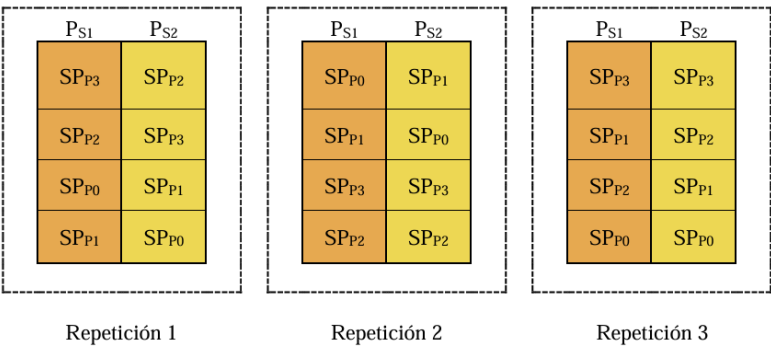


Figura 1: Establecimiento de parcelas



Figura 2: Detalle del techo verde simulado

El diseño experimental fue de Parcelas Divididas (DPD), con arreglo factorial 2 x 4, donde el factor A corresponde a los tipos de sustrato (S1 y S2), que representan las parcelas principales y cada una de estas parcelas están divididas en cuatro (4) subparcelas, en las que se dispone el factor B al porcentaje de poliacrilato de potasio (0, 100, 150 y 200 g/m²), distribuidas aleatoriamente (Figura 3). De ese modo, se evaluaron dos sustratos: El nivel de S1 con (60 % fibra de palma + 40 % compost) y S2 con (33,33 % cascarilla de arroz, 44,44 % arena y 22,22 % compost), y cuatro niveles de poliacrilato, conformando ocho (8) tratamientos, con tres repeticiones y un total de veinticuatro (24) unidades experimentales. Estudios recientes han demostrado que la fibra de mesocarpio de palma presenta baja conductividad térmica y propiedades estructurales adecuadas para su aplicación en cubiertas verdes (Rahardja *et al.*, 2022)



		Subparcela (SP)			
Parcela principal (P)	Tipos de sustrato	Niveles de poliacrilato de potasio			
		0 g/m ² (P0)	100 g/m (P1)	150 g/m ² (P2)	200 g/m ² (P3)
	Sustrato con fibra de palma (S1)	T1	T2	T3	T4
	Sustrato comercial (S2)	T5	T6	T7	T8

Figura 3: Gráfico de distribución experimental

El hidrogel fue hidratado previamente (10 g/L) y aplicado en los 5 cm superiores del sustrato. El riego fue por goteo: diario la primera semana y luego cada 3 días. Las labores agronómicas a lo largo de la experimentación fueron, control manual de malezas, monitoreo semanal de plagas y enfermedades. El uso de hidrogeles de origen biodegradable o formulados a partir de biomasa agrícola ha mostrado mejoras sustanciales en la retención de humedad en suelos y sustratos (Alsubiae *et al.*, 2025).

Las variables evaluadas incluyeron: cobertura vegetal (Figura 01), área foliar (relación peso-área y el procesamiento de imágenes), coloración foliar (CR-400 Minolta), biomasa seca, longitud de tallo, número de hojas y longitud radicular. El análisis estadístico, para estas variables de respuesta, fue mediante ANOVA y con la prueba de Tukey con α de 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados evidenciaron (Tabla 1) que el sustrato S1 (fibra de palma + com-

post) presentó una menor densidad aparente ($0,22 \text{ g/cm}^3$) y una mayor capacidad de retención de agua respecto al sustrato convencional S2 ($0,97 \text{ g/cm}^3$). Estas propiedades físicas representan una ventaja relevante en sistemas de techos verdes extensivos, donde se requiere menor carga estructural (Cakar *et al.*, 2023), asimismo, la disponibilidad hídrica constituye un factor determinante para el establecimiento y desarrollo de la vegetación. La menor densidad observada en S1 puede atribuirse a la naturaleza fibrosa y altamente porosa de la fibra de palma, la cual favorece la formación de espacios porosos y reduce la compactación del medio de crecimiento. Asimismo, la mayor retención de agua estaría relacionada con la elevada superficie específica y capacidad de absorción de este material orgánico. De forma similar, Milla (2021) evidenció que los sustratos compuestos por fibras vegetales como coco o bagazo de caña presentan una menor densidad aparente y una mayor capacidad de aireación, lo que favorece el crecimiento vegetal en techos verdes.

Tabla 1.
Análisis de propiedades físicas de los sustratos.

Sustrato	Densidad real (g/cm^3)	Densidad aparente (g/cm^3)	Drenaje (%)	Retención de humedad (%)	Porosidad (%)
S1: fibra de palma aceitera + compost	0.75	0.22	96	336.18	70.02
S2: cascarilla de arroz + arena de río + compost	2	0.97	62	60.3	51.49

Fuente: Laboratorio de análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes - LASPAF-UNALM

Desde el punto de vista químico, el sustrato S1 presentó una mayor conductividad eléctrica y contenido de materia orgánica, sin comprometer el rango adecuado de pH para plantas ornamentales (Tabla 2).

Además, la relación C/N de 14.14 indica un material estable y balanceado para la liberación de nutrientes lo que concuerda con reportes de sustratos orgánicos estabilizados.

Tabla 2.
Análisis de propiedades químicas de los sustratos.

Sustratos	pH	C.E.	M.O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Hd	Na
		dS/m	%	%	%	%	%	%	%	%
S1: fibra de palma aceitera + compost	6.99	7.89	51.07	1.81	1.2	1.57	3.01	1.5	25.13	0.25
S2: cascarilla de arroz + arena + compost	7.7	5.75	10.75	0.62	0.3	0.79	2.11	1.17	3.3	0.2

Fuente: Laboratorio de análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes - LASPAF-UNALM

Los tratamientos, con sustrato S2, mostraron mayor cobertura vegetal (88,95 %) alcanzando su máximo en S2 con 200 g/m² de poliacrilato de potasio (87,50 %) con respecto a los tratamientos con sustrato S1 que apenas superaron el 76,61 %. Indicativo de un mejor establecimiento inicial y expansión foliar, probablemente asociado a una mayor estabilidad mecánica o mejor establecimiento inicial de *Aptenia cordifolia*. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Cárreres *et al.* (2024), quienes observaron una mayor cobertura vegetal en techos extensivos con mezclas de especies adaptadas a condiciones de alta exposición solar y evaporación. En línea con Getter y Rowe (2006), estos resultados refuerzan la importancia de la estructura física del sustrato para lograr una cobertura rápida, especialmente en techos expuestos a insolación constante. Asimismo, se observó una tendencia al aumento del área foliar y biomasa aérea con el uso de hidrogel, aun-

que sin diferencias estadísticas significativas entre niveles de hidrogel (Priera *et al.*, 2022 y Khater, 2015).

Como se observa en la Figura 4 muestra la variación de la cobertura vegetal de *Aptenia cordifolia* evidenciando que este componente aumentó de forma acelerada durante las primeras semanas, para luego estabilizarse conforme el follaje cubrió gran parte de la superficie disponible. Este patrón sugiere que la especie posee una fase inicial de rápido crecimiento vegetativo, seguida por una etapa de saturación de cobertura, comportamiento típico en especies rastreras utilizadas para techos verdes extensivos. Estos resultados concuerdan con Santamouris (2014) y VanWoert *et al.* (2005), quienes destacan la importancia de la vegetación en la eficiencia térmica y el rápido establecimiento del follaje en techos verdes. La combinación fibra de palma + hidrogel mostró la mejor sinergia en términos de velocidad y estabilidad del cubre-

suelo. Las implicancias de estos hallazgos son relevantes para el diseño y selección de especies en techos verdes urbanos. Una cobertura rápida y uniforme no solo mejora la calidad estética, si no que también contribuye a la regulación térmica, disminuye la erosión superficial del sustrato y reduce

la colonización de especies invasoras. En consecuencia, *Aptenia cordifolia* se perfila como una alternativa promisorio para proyectos de infraestructura verde en regiones con condiciones climáticas similares a las evaluadas en este estudio.

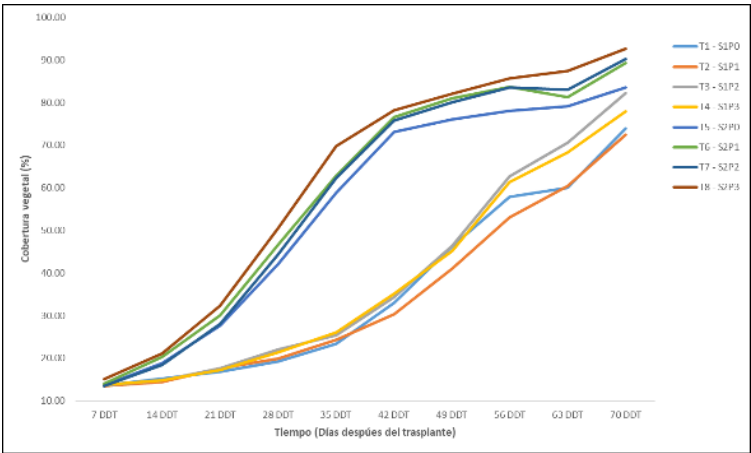


Figura 4: Variación de la cobertura vegetal de *Aptenia cordifolia* de los 8 según tratamientos en el periodo de diez (10) semanas.

El área foliar según que se presenta en la Tabla 3, y la longitud de tallos también fueron superiores en sustratos con fibra. El poliacrilato no generó diferencias

significativas, pero mostró efectos positivos combinados (Rudzinski, 2002 y Rifat y Safdar, 2004).

Tabla 3.
*Efecto de los tipos de sustrato y niveles de hidrogel en el área foliar por planta del cultivo *Aptenia cordifolia*.*

Tratamiento	Área foliar (cm²)
Tipos de sustratos	
S1	810.18 b
S2	1341.14 a
Significancia	*
C.V. (%)	41.03
Niveles de poliacrilato	
P0	945.91 a
P1	1072.23 a
P2	1133.90 a
P3	1150.59 a
Significancia	n. s.
C. V. (%)	16.68

Nota: Tratamientos con letras iguales no son significativamente diferentes entre sí según la prueba de Tukey al 5% n. s., no significativo.

La biomasa foliar (Materia seca de la parte aérea, expresada en %) fue mayor en el sustrato S1 (6,99 %) respecto al convencional S2 (6,09 %). No se observaron diferencias significativas en la biomasa radicular. El hidrogel actuó como estabilizador hídrico en sustratos más porosos (Volder y Dvorak, 2014). Este comportamiento sugiere que la eficacia del polímero no depende únicamente de la dosis aplicada, sino también de las propiedades físicas e hídricas del sustrato en el que se incorpora. Los resultados expuestos coinciden con reportes que promueven el uso de fibras vegetales en sistemas urbanos verdes (Bozorg Chenani *et al.*, 2015; Saadatian *et al.*, 2013), integrando sostenibilidad y economía circular. Bajo estas condiciones, el aporte adicional del hidrogel podría resultar menos evidente debido a que el medio de crecimiento ya proporciona una reserva hídrica suficiente para satisfacer las necesidades de la planta. La combinación de un material altamente poroso con un polímero capaz de almacenar agua podría mejorar la disponibilidad hídrica durante periodos prolongados de estrés, incrementando la resiliencia del sistema frente a condiciones climáticas adversas.

El análisis colorimétrico evidenció que las propiedades ópticas foliares de *Aptenia cordifolia* fueron determinadas de manera significativa por el tipo de sustrato. La coloración foliar, mostró mayor luminosidad ($L^* = 49,90^a$) y saturación amarilla ($b^* = 25,4^b$) en las plantas cultivadas en el sustrato convencional S2 en comparación con las cultivadas en el sustrato con fibra

de palma S1 ($L^* = 45,9^b$; ($b^* = 19,7^a$). Fisiológicamente, este patrón se asocia a la estabilidad matricial y mayor retención de humedad en el sustrato convencional, el cual, al mitigar el estrés hídrico transitorio en el techo verde, propició un desarrollo morfológico vigoroso, caracterizado por una mayor expansión del área foliar ($1\,341,14\text{ cm}^2$) y un incremento en el número de brotes en crecimiento ($5,69^a$), factores que alteran mecánicamente el índice de reflexión de la luz global incidente sobre la cutícula de la hoja. Por el contrario, el mayor porcentaje de materia seca de la parte aérea registrado en S1 (6,99 % vs. 6,09 %) podría reflejar una menor hidratación tisular asociada al alto drenaje libre de la fibra de palma generado por una macro-porosidad intergranular que facilita el drenaje bajo gravedad pasiva. No obstante, el agua residual capturada en la micro-porosidad intraestructural de las fibras lignocelulósicas queda retenida bajo potenciales mátricos marcadamente negativos. Aunque este volumen de agua eleva cuantitativamente el porcentaje de retención total del sustrato, su baja difusividad hídrica y alta energía de succión impiden que sea termodinámicamente accesible para el sistema radicular de *Aptenia cordifolia*., respuesta coherente con las estrategias osmoreguladoras documentadas en suculentas CAM bajo déficit hídrico intermitente (Borland *et al.*, 2009) Esto demuestra que en cubiertas verdes extensivas basadas en materiales fibrosos, el volumen total de agua retenida no es un indicador lineal de la hidratación del tejido, siendo el potencial mátrico el verdadero modulador del vigor vegetativo.

Tabla 4.

Efecto de los tipos de sustrato y niveles de hidrogel en los brotes en crecimiento parámetros de color (L , a^* , b^*), materia seca parte aérea, área foliar, longitud radicular, materia seca radicular en la planta *Aptenia cordifolia*.

Tratamiento	Brotes en crecimiento (und)	Luminosidad	Factor a^*	Factor b^*	Materia seca parte aérea (%)	Área foliar	Longitud radicular (cm)	Materia seca radicular (%)
Tipos de sustrato								
S1	2.40 b	45.94 b	-11.68 b	19.7 a	6.99 a	810.18 b	36.41 b	18.77 a
S2	5.69 a	49.90 a	-13.38 a	25.4 b	6.09 b	1341.14 a	45.73 a	17.73 a
Significancia	*	*	**	**	*	*	*	n.s.
Promedio	4.05	47.92	-12.53	22.55	6.54	1075.66	41.07	18.25
C.V (%)	57.91	4.77	5.24	12.23	9.73	41.03	16.77	11.16
Niveles de poliacrilato								
P0	3.81 a	48.27 a	-12.81 a	23.85 a	6.72 a	945.91 a	34.99 b	18.29 a
P1	3.62 a	47.89 a	-12.18 a	22.09 a	6.33 a	1072.23 a	43.13 ab	18.15 a
P2	4.32 a	47.60 a	-12.31 a	21.74 a	6.60 a	1133.9 a	38.41 b	18.73 a
P3	4.43 a	47.92 a	-12.81 a	22.52 a	6.50 a	1150.59 a	47.77 a	17.82 a
Significancia	n.s.	n.s.	ns	ns	n.s.	n.s.	**	n.s.
Promedio	4.05	47.92	-12.53	22.55	6.54	1075.66	41.07	18.25
C.V (%)	42.45	2.35	6.33	7.79	4.85	16.68	12.81	6.74

Nota: Tratamientos con letras iguales no son significativamente diferentes entre sí según la prueba de Tukey al 5% y 1%. n.s.: no significativo.

CONCLUSIONES

La fibra de palma aceitera (*Elaeis guineensis*) modificó significativamente las propiedades físicas del medio de crecimiento para techos verdes extensivos, reduciendo considerablemente la densidad aparente a 0,22 g/cm³ en comparación con el sustrato convencional (0,97 g/cm³). Esta característica representa una ventaja crítica para minimizar la carga muerta en la infraestructura urbana.

Los resultados obtenidos indican que la aplicación de poliacrilato de potasio no produjo efectos estadísticamente significativos sobre las variables morfofisiológicas evaluadas, (área foliar, biomasa aérea,

coloración foliar y número de brotes). No obstante, la dosis máxima (200 g/m²) incrementó significativamente la longitud radicular (47,77 cm vs. 34,99 cm en el control), lo que sugiere un rol como estabilizador hídrico secundario que favorece la arquitectura radicular y el anclaje en sustratos de alta porosidad. La ausencia de diferencias significativas en la mayoría de variables puede explicarse por la propia naturaleza fisiológica de la especie, caracterizada por una elevada tolerancia a condiciones de déficit hídrico debido a su metabolismo CAM y a su capacidad de almacenamiento de agua en tejidos suculentos.

Se valida la viabilidad técnica en el uso de la fibra de palma aceitera como componente de sustratos ultraligeros para techos verdes extensivos. Su implementación exitosa requiere complementar el diseño del sustrato con estrategias de manejo hídrico —ajuste de frecuencia de riego e incorporación de poliacrilato— para garantizar una cobertura vegetal rápida y uniforme durante el establecimiento. *Aptenia cordifolia* se confirma como una especie adecuada para estas condiciones, dada su adaptabilidad fisiológica y capacidad de colonización en sustratos ligeros.

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación fue desarrollada en el marco del Programa de Investigación de Plantas Ornamentales de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Los autores expresan su agradecimiento por el apoyo técnico, logístico y académico brindado durante la ejecución del estudio, así como por las facilidades otorgadas para el uso de las instalaciones y equipos experimentales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aljuboory, A. (2013). Oil palm biomass residue in Malaysia: Availability and sustainability. *Int. J. Biomass Renew.* 2. 13-18. <https://doi.org/10.61762/ijbrvol2iss1art13850>
- Alsubaie, F. S., Srdar, M., Fayraa, O., Alsulami, F. M., Omran, F., y Alamry, K. A. (2025). Development of Eco-Friendly Date Palm Biomass-Based Hydrogels for Enhanced Water Retention in Soil. *Gels*, 11(5), 349. <https://doi.org/10.3390/gels11050349>
- Ahmad, N., Zakaria, M. R., Mohd Yusoff, M. Z., Fujimoto, S., Inoue, H., Ariffin, H., y Shirai, Y. (2018). Subcritical water-carbon dioxide pretreatment of oil palm mesocarp fiber for xylooligosaccharide and glucose production. *Molecules*, 23(6), 1310. <https://doi.org/10.3390/molecules23061310>
- Borland, A.M. (2009). Exploiting the potential of plants with crassulacean acid metabolism for bioenergy production on marginal lands. *Journal of Experimental Botany*, 60(10), 2879–2896. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp118>
- Cakar, H., Akat Saraçoğlu, Ö., Akat, H., Kılıç, C. C., y Adanacioğlu, H. (2023). The potential for using different substrates in green roofs. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 31(1), 44–51. <https://doi.org/10.3846/jeelm.2023.18487>
- Cáreres, N., Robbiati, F. O., Suárez, M., Hick, E. C., Matoff, E., Jim, C. Y., Galetto, L., y Imhof, L. (2024). Growth performance of multi-species plant mixtures on an extensive vegetated roof: A two-year experimental study. *Urban Ecosystems*, 27: 1207–1223. <https://doi.org/10.1007/s11252-023-01498-7>
- Chenani, S., Lehvävirta, S., y Häkkinen, T. (2015). Life cycle assessment of layers of green roofs. *Journal of Cleaner Production*. 90. 153-162. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.070>

- Getter, K. L., y Rowe, D. B. (2006). The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development. *HortScience*, 41(5), 1276–1285. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.5.1276>
- Jaffal, I., Ouldboukhitine, S. E., y Belarbi, R. (2012). A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. *Renewable Energy*, 43, 157–164. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.12.004>
- Kader, S.A., Spalevic, V., y Dudic, B. (2024). Feasibility study for estimating optimal substrate parameters for sustainable green roof in Sri Lanka. *Environ Dev Sustain* 26, 2507–2533. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02837-y>
- Kaniapan, S., Hassan, S., Ya, H., Patma Nesan, K., y Azeem, M. (2021). The Utilisation of Palm Oil and Oil Palm Residues and the Related Challenges as a Sustainable Alternative in Biofuel, Bioenergy, and Transportation Sector: A Review. *Sustainability*, 13(6), 3110. <https://doi.org/10.3390/su13063110>
- Khalil, H. A., Jawaid, M., Hassan, A., Paridah, M. T., y Zaidon, A. (2012). A review on oil palm empty fruit bunch fiber-reinforced polymer composite materials. *Polymers and Polymer Composites*, 20(7), 579–595. <https://doi.org/10.5772/48235>
- Khater, R. M. (2015). Effect of hydrogel and antitranspirants treatments on the productivity of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) plant. *Egyptian Journal of Desert Research*, 65(2), 193–214. <https://doi.org/10.21608/ejdr.2015.5950>
- Marodin, B., Schafer, G., Armiliato, A., Sodrziecki, P., Demari, E., y Tedesco, M. (2024). Adaptability of different plant species on an extensive green roof. *Ornamental Horticulture*, 30. <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v30.e242691>
- Milla, R. (2021). Construction of green roofs via using the substrates made from humus and green coconut fiber or sugarcane bagasse, *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100477>
- Otorres, A., y Soto, G. M. (2017). Potassium acrylate: a novelty in hydroponic... CONIIN Proceedings. <https://doi.org/10.1109/CONIIN.2017.7968177>
- Peyrusson, F. (2021). Hydrogels improve plant growth... *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*, 8, 729278. <https://doi.org/10.3389/fspas.2021.72978>
- Priera, H. P., Marvin B., Kathleen K. C., Lawren S., y Heather, D. M., (2022). Effects of trehalose and polyacrylate-based hydrogels on tomato growth under drought, *AoB PLANTS*, 14 (4). <https://doi.org/10.1093/aopla/plac030>
- Rahardja, I. B., Rikman, R., y Ramadhan, A. I. (2022). Analysis of heat transfer of fiber mesocarp of palm oil (*Elaeis guineensis* Jacq.) as roof building. *Journal of Applied Sciences and Advanced Technology*, 1(1), 1–8. <https://doi.org/10.24853/jasar.1.1.1-8>

- Hayat, R., y Ali, S. (2004). Water absorption by synthetic polymer (Aquasorb) and its effect on soil properties and tomato yield. *International Journal of Agriculture & Biology*, 6, 998–1002.
- Rowe, D. B. (2011). Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution*, 159(8–9), 2100–2110. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.10.029>
- Rudzinski, W. E., Dave, A. M., Vaishnav, U. H., Kumbar, S. G., Kulkarni, A. R., y Aminabhavi, T. M. (2002). Hydrogels as controlled release devices in agriculture. *Designed Monomers and Polymers*, 5(1), 39–65. <https://doi.org/10.1163/156855502760151580>
- Saadatian, O., Sopian, K., Salleh, E., Lim, C.H., Riffat, S., Saadatian, E., Toudeshki, A. y Sulaiman, M.Y. (2013). A review of energy aspects of green roofs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 155–168. ISSN 1364-0321. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.022>
- Santamouris, M. (2014). Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*. 103: 682–703. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>
- Sroka, K., y Sroka, P. (2024). Superabsorbent hydrogels in the agriculture and reclamation of degraded areas. *Sustainability*, 16(7): 2945. <https://doi.org/10.3390/su16072945>
- Soobhany, N. (2019). Insight into the recovery of nutrients from organic solid waste through biochemical conversion processes for fertilizer production: A review. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118413. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118413>
- VanWoert, N.D., Rowe, D.B., Andresen, J.A., Rugh, C.L., y Xiao, L. (2005). Watering Regime and Green Roof Substrate Design Affect Sedum Plant Growth. *HortScience* 40(3): 659–664. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.3.659>
- Volder, A., y Dvorak, B. (2014). Event size, substrate water content and vegetation affect storm water retention efficiency of an un-irrigated extensive green roof system in Central Texas. *Sustainable Cities and Society*, 10, pp. 59-64. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2013.05.005>.

Declaración de roles de autores:

- Anthony Ramírez: Conceptualización, investigación, curación de datos, redacción del borrador original.
- Juan Juscamaita: Supervisión, análisis formal, redacción.
- Alejandro Risco: Visualización, redacción
- Isabel Montes: Visualización, redacción
- Giovanna Rivera: Conceptualización, metodología, supervisión, administración del proyecto, redacción.