

Acceptance date: 19/09/2024

ESPECIES ORNAMENTALES EN TABASCO PARA EL ESTABLECIMIENTO EN TECHOS VERDES EXTENSIVOS EMPLEANDO LIRIO ACUÁTICO COMO SUSTRATO DE CRECIMIENTO

Erika Escalante-Espinosa

División Académica de Ciencias Biológicas,
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco,
Villahermosa, Tabasco, México

Jennifer López-Arias

División Académica de Ciencias Biológicas,
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco,
Villahermosa, Tabasco, México

Ildefonso, J Díaz-Ramírez

División Académica de Ciencias Biológicas,
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco,
Villahermosa, Tabasco, México

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



Resumen: Los techos verdes son una tecnología ecológica catalogada como estrategia ambiental que ayuda al desarrollo sustentable y a la mitigación del cambio climático. Surgen de la necesidad de implementar vegetación en zonas urbanas donde actualmente se ha notado un crecimiento demográfico precipitado y una urbanización extensa. Se conocen como cubiertas naturadas, eco-techos, cubiertas verdes, azoteas verdes o techos ecológicos. Para obtener los beneficios que prometen los techos verdes, es indispensable la selección adecuada de especies. En este trabajo se evaluó el potencial de especies ornamentales de uso común en Tabasco, México, para su empleo en techos verdes usando lirio acuático como sustrato de crecimiento. Las especies empleadas fueron: *Portulaca grandiflora* Hook, *Zephyranthes sp.* Herbert, *Tradescantia spathacea* y *Tradescantia pallida*, estas fueron propagadas en invernadero, para después aclimatarlas en el sustrato de crecimiento y colocarlas en unidades experimentales de techo verde tipo extensivo en un edificio ubicado en Villahermosa, Tabasco, México. Se determinaron las características físicas y químicas del sustrato al inicio y final de la prueba de crecimiento de condiciones de techo verde (pH, CE, CRA, densidad aparente, densidad real, porosidad). Las variables fenológicas analizadas fueron: altura, número de brotes, número de hojas, número de ramificaciones y número de flores. En las unidades de techo verde se determinó el crecimiento de las diferentes especies a través de la biomasa seca inicial y final para calcular la Tasa Relativa de Crecimiento (TRC). Durante la etapa de propagación las cuatro especies crecieron de manera satisfactoria en condiciones de invernadero así en condiciones ambientales de techo; las plantas presentaron un incremento considerable en su crecimiento en las unidades experimentales en la segunda etapa, encontrando diferencias

significativas ($P < 0.05$) entre las especies, destacando *Portulaca grandiflora* Hook, con una biomasa final de 23.4 g y una TRC de 0.0353 g g⁻¹ d⁻¹. Se concluye que las especies ornamentales *Portulaca grandiflora* Hook, *Zephyranthes sp.* Herbert, *Tradescantia spathacea* y *Tradescantia pallida*, pueden ser empleadas para el establecimiento de techos verdes extensivos en Tabasco, México, usando como sustrato de crecimiento lirio acuático.

Palabras-clave: azoteas verdes, trópico húmedo, lirio acuático.

INTRODUCCIÓN

La población mundial ha aumentado continuamente en muchos países, lo cual ha provocado la urbanización de extensas áreas y con ello una serie de dificultades sociales, económicas y ambientales (Zielinski et al., 2012; López-González et al., 2020). La modernización y la industrialización conlleva mejoras para la sociedad, sin embargo, la expansión de estas provoca que las áreas verdes sean eliminadas y con ello, la deforestación se convierte en un tema importante por la desaparición de flora y fauna con funciones esenciales para los diferentes hábitats. Se espera que, en los próximos años, la tasa de crecimiento urbano aumente debido a las expectativas que ofrecen las ciudades sobre la calidad de vida, ya que más del 54% de los habitantes a nivel mundial reside en áreas urbanas (López et al., 2020).

Por ello, se han implementado medidas tecnológicas que con base en estudios recientes han demostrado ser una estrategia ambiental para contrarrestar los impactos que han surgido por las actividades humanas (Santamouris, 2014). Entre las tecnologías más importantes se encuentran los techos verdes, constituidos de especies vegetales y compuesto de varias capas que en conjunto permiten formar una tecnología ambiental que ayuda a: i) reducir las temperaturas en el interior de

un edificio, ii) manejar la escorrentía pluvial, iii) mejorar la calidad del aire debido al uso de especies vegetales capaces de capturar partículas y remover contaminantes, iv) combatir los efectos de las islas de calor, v) promover el ahorro de energía y vi) favorecer el establecimiento de hábitats para fauna pequeña, entre otros beneficios. Los techos verdes, también se conocen como cubiertas verdes, azoteas verdes, techos ecológicos o sistemas de naturación (Zielinski et al., 2012). Pueden definirse como una superficie o construcción de un edificio que se encuentra revestido de vegetación parcial o totalmente, cultivada en sustratos (Xie et al., 2020). Según el espesor del sustrato los techos verdes se clasifican en: a) techos verdes intensivos, son los que presentan mayor espesor de sustrato (30 cm de espesor aproximadamente) donde se coloca vegetación conformada de arbustos o árboles, por lo que se necesita riego constante, fertilizantes y poda. El sistema donde se instale debe soportar un peso de 250-400 kg/m² por lo que se recomienda que se instale en edificios recién construidos; b) techos verdes semi intensivos, poseen entre 12 y 30 cm de espesor del medio de crecimiento, la vegetación es de menor tamaño y menos variada que un techo intensivo, se pueden emplear plantas como gramíneas, plantas perennes y pastos y c) techos verdes extensivos, los cuales son sistemas que poseen menor peso, ya que el espesor del sustrato varía entre 5 a 15 cm. El tipo de vegetación es pequeña, por lo general se usan especies autóctonas o adaptadas a las condiciones del hábitat, comúnmente se usan plantas suculentas, ya que son resistentes a temperaturas extremas, fuertes vientos y humedad del sitio. Los techos extensivos tienen un menor costo, además de un bajo mantenimiento y escaso riego (Marchena, 2012, Zielinski et al., 2012, Morales et al., 2017). Para seleccionar el sustrato que integra el techo verde deben tomarse en cuenta diversos aspectos para que se logre un excelente

desarrollo de la especie vegetal, como son la porosidad, pH, capacidad de intercambio catiónico, correspondencia entre la relación beneficio/costo, debe ser un recurso fácil de conseguir y manejar, no debe generar daño al medio ambiente (Cruz-Crespo et al., 2013; Montes et al., 2016).

Por otra parte, la presencia de especies invasoras en los cuerpos de agua a nivel mundial es un problema creciente. En particular, en México, el lirio acuático *Eichhornia crassipes* se encuentra ampliamente distribuido, por lo que se ha estudiado la influencia de la zona geográfica sobre su composición para proponer diferentes estrategias para su aprovechamiento (Tovar-Jiménez et al., 2019). En este trabajo se evaluó el potencial de especies comúnmente usadas como ornamentales en Tabasco, México, para su implementación en techos verdes extensivos en clima tropical húmedo, empleando lirio acuático como la fracción orgánica del sustrato de crecimiento. Las especies consideradas fueron: *Portulaca grandiflora* Hook, *Zephyranthes sp.* Herbert, *Tradescantia spathacea* y *Tradescantia pallida*.

MATERIALES Y MÉTODOS

1 Recolección y preparación de lirio acuático (*Eichhornia crassipes* (Mart.)

Solms: El lirio acuático empleado se recolectó en la Unidad de Manejo Ambiental dentro de las instalaciones de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, en Villahermosa, Tabasco, México. Se extrajo manualmente, se llevó al invernadero para su secado, se procesó en una trituradora (PUE 2500) y se tamizó en malla # 4.

2 Obtención de material inorgánico para sustrato del techo verde:

La agrolita o perlita expandida (Multiperl) se tamizó en malla # 4 y posteriormente en malla #16.

3 Preparación del sustrato: La fracción orgánica constituida por lirio acuático se adicionó en una proporción del 40% v/v a la fracción inorgánica integrada por agrolita.

4 Obtención de especies vegetales: Las especies *Portulaca grandiflora* Hook y *Zephyranthes sp.* Herbert se consiguieron en una casa habitación, localizada en Huimanguillo, Tabasco, México. Las especies *Tradescantia spathacea* y *Tradescantia pallida* se obtuvieron de un vivero comercial ubicado Comalcalco, Tabasco, México.

5 Propagación de las especies vegetales: se propagaron en condiciones de invernadero durante un lapso de 60 días. Se sembraron 20 individuos de cada especie en bolsas de polietileno de 10 x 22 cm, previamente perforadas y etiquetadas con 200 g de mezcla turba-agrolita. Se regaron con agua corriente cada tres días. Se adicionó solución de fertilizante Triple 17 cada 15 días.

6 Prueba de crecimiento en sustrato de techos verdes en condiciones de invernadero: se colocaron 228 g de sustrato en bolsas de polietileno, perforadas y etiquetadas, de 10 a 12 bolsas por especie. Se humedecieron con agua corriente y se colocaron en el invernadero. Se adicionaron inicialmente con Triple 17. Se midieron altura de la planta, número de hojas y tallos, diámetro de tallos y brotes, al inicio y a los 60 días de cultivo.

7 Prueba de crecimiento en condiciones de techo verde: las plantas previamente adaptadas al sustrato en condiciones de invernadero se colocaron en cajas de madera de 50 cm x 30 cm x 20 cm provistas con una membrana y una capa de fieltro de 2 mm de espesor como

barrera anti raíz, sobre la cual se colocaron 15 cm de sustrato. Sobre la superficie, se adicionaron 5 cm de lirio acuático seco. Las unidades experimentales, tuvieron una inclinación de 5% (3°) para drenar a través de orificios el exceso de agua, regándolas con agua corriente cada siete días. Se ubicaron en el edificio de servicios auxiliares de la División Académica de Ciencias Biológicas. Se monitorearon las características fenológicas hasta observar que la unidad experimental estuviera cubierta por la vegetación (durante 78 días para *Portulaca grandiflora* Hook y *Zephyranthes sp.* Herbert y 128 días para *Tradescantia spathacea* y *Tradescantia pallida*).

8 Medición de características fenológicas: la cuantificación de la biomasa aérea y radicular se realizó extrayendo las plantas cuidadosamente de los sustratos, se colocaron en un recipiente para lavar con agua corriente los residuos del sustrato adherido a las raíces. Seguidamente se separaron las raíces de las hojas para medir de manera independiente la biomasa aérea y radicular, finalmente la biomasa se secó (80°C durante 48 h) hasta obtener peso constante. La tasa relativa de crecimiento (TRC) se calculó mediante la expresión establecida por Hunt (1990). La altura de las plantas se midió con una cinta métrica cada 15 días, de forma manual, desde la primera raíz hasta el ápice de la última hoja. El número de hojas, número de flores, ramificaciones y brotes se contó de forma manual.

9 Caracterización química del sustrato de crecimiento de techos verdes: se determinó el pH de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (método AS-02) y la conductividad eléctrica mediante el método AS-18.

10 Caracterización física del sustrato de crecimiento de techos verdes:

Se estimaron el espacio poroso total (EPT), capacidad de aireación (CA), capacidad de retención de agua (CRA), densidad aparente (DA) y densidad real (DR) mediante el método de Pire y Pereira (2003) modificado. Se emplearon porómetros elaborados con tubos de PVC de 3.7 cm de diámetro con una altura de 7.8 cm, con una tapa perforada con cuatro orificios equidistantes de tres mm de diámetro. Se llenaron del material y se cubrieron con malla de algodón. Los porómetros se colocaron en un recipiente con agua (24h) para propiciar la saturación del sustrato, durante este proceso se colocaron cuatro tapones evitando la salida del agua. Para recolectar el agua de saturación del sustrato, se quitaron los tapones cuidadosamente de los porómetros. Éstos se colocaron en vasos de precipitados durante 10 minutos para lograr la extracción total. Posteriormente se pesaron los porómetros con el sustrato drenado para conocer el peso húmedo total de la muestra. Para concluir, en una termobalanza (Marca A& D, modelo MF-50) se colocaron 5 g de cada muestra para conocer el peso húmedo inicial, el porcentaje de humedad y el peso final.

11 Análisis estadísticos: se realizó un análisis de varianza de las medias (ANOVA). Se utilizó el programa estadístico STATGRAPHICS Centurion XVI Versión 16.1.03.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para llevar a cabo la implementación de los techos verdes, debe conocerse, entre otros aspectos, las características de los sustratos y la interacción de las diferentes especies de plantas con los sustratos propuestos. También es recomendable utilizar especies nativas o bien, aquellas adaptadas a las condiciones climáticas de la región con la finalidad de que estén disponibles y permitan la disminución de costos de mantenimiento del techo verde, principalmente en el caso de techos verdes extensivos.

CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA INICIAL DEL SUSTRATO DE TECHO VERDE

El sustrato es un medio de crecimiento fundamental para la vegetación de los techos verdes. El sustrato de techo verde empleado se integró de agrolita y como fracción orgánica, lirio acuático (A:L). La caracterización física y química del medio de crecimiento para techo se presenta en la Tabla 1.

Diversos autores mencionan que un sustrato de techos verdes debe tener un pH de 5.5-6.8, clasificado como ligeramente ácido, donde se encontrarán la mayoría de los nutrientes disueltos. Sin embargo, el rango puede ser más estrecho, de 6.95 a 7.05 para las especies utilizadas en techos verdes sustentables (Rodríguez, *et al.*, 2010; Torres *et al.*, 2010; Quintero *et al.*, 2011; Barbaro *et al.*, 2017 y Contreras-Bejarano & Villegas-González, 2019). Un valor por debajo del rango establecido puede presentar carencia de micronutrientes como hierro, magnesio, boro, zinc, cobre y fósforo como macronutriente, lo cual provocaría una disminución en el crecimiento (Torres *et al.*, 2010). Al concluir con las pruebas para techo verde, el pH del sustrato se mantuvo en la neutralidad, con valores muy cercanos al valor inicial. La única especie que mostró diferencias significativas

Especies	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	EPT (%)	CA (%)	CRA (%)	DA (kg/m^3)	DR (kg/m^3)
Inicial	7.5a	1645a	60.28a	18.60a	41.67b	145.01b	366.95b
<i>Portulaca</i>	7.3b	218.4b	60.64a	19.11a	41.53b	153.48ab	390.46b
<i>Zephyranthes</i>	7.6a	92.1c	61.47a	16.32ab	45.15ab	146.15b	379.84b
<i>T. spathacea</i>	7.7a	150.7b	61.08a	13.94b	47.14a	185.72a	476.9 ^a
<i>T. pallida</i>	7.6a	149.9b	59.23a	16.73ab	42.5b	179.63a	441.1 ^a

Tabla 1. Caracterización física y química del sustrato, al inicio y final de la prueba de crecimiento de las diferentes especies vegetales en el techo verde: pH, Conductividad Eléctrica (CE), Espacio Poroso Total (EPT), Capacidad de aireación (CA), Capacidad de retención de agua (CRA), Densidad Aparente (DA) y Densidad Real (DR).

Nota: Medias con distinta letra en la columna son estadísticamente diferentes ($P < 0.5$).

respecto a las demás fue *P. grandiflora*. Estos valores permitieron el crecimiento adecuado de las especies ya que se observaron saludables durante la prueba.

La conductividad eléctrica (CE) es la concentración total de sales ionizadas que se encuentran disueltas en el sustrato de crecimiento, sus valores están relacionados con la saturación de sales en el medio. Se requiere una CE baja para que no se presenten efectos de toxicidad de algunos iones, puesto que, a mayor concentración de sales, mayor CE, lo que puede provocar decrecimiento en algunas especies (Torres *et al.*, 2010; Bárbaro *et al.*, 2017). El rango recomendado por Crespo González *et al.*, (2018) es de 750 - 3490 $\mu\text{S}/\text{cm}$, para sustratos comerciales. El valor obtenido en este estudio se encuentra dentro del rango mencionado, ya que fue de 1645 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valor mayor comparado también con lo reportado por Contreras-Bejarano y Villegas-González (2019) en su estudio de sustratos para techo verde con humus y Sedum, con un valor de 106.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Durante la prueba en condiciones de techo verde, debido a que no se adicionaron fertilizantes se presentó un descenso significativo en los valores de la CE, disminuyendo hasta siete veces su valor inicial. La disminución de la CE resultó benéfica para las especies. La especie con el valor mayor de CE en el sustrato fue *Portulaca grandiflora* y *Zephyranthes sp.* la especie con el valor menor.

Con respecto a las características físicas, se cuantificó el Espacio Poroso Total (EPT), Capacidad de aireación (CA), Capacidad de retención de agua (CRA), Densidad Aparente (DA) y Densidad Real (DR). El EPT se define como aquel volumen total que posee un sustrato y que no está ocupado por partículas de material orgánico o mineral. Se recomienda que esta característica debe tener un valor de 70-85%, ya que se considera adecuado para la respiración de las raíces y la disponibilidad de agua en los microporos (Bravo, 2016; Crespo González *et al.*, 2018). El valor determinado para el sustrato agrolita: lirio está por debajo del límite inferior, debido posiblemente al tamaño de partícula de cada material. Los valores finales de la prueba fueron similares al valor inicial, por lo que no mostraron diferencias significativas.

La capacidad de aireación es la fracción de volumen de un sustrato saturado y escurrido, que es ocupado por el aire. Su valor suele ser de 15-30% en volumen. Esta variable tiene gran influencia en la oxigenación del sistema radicular, ya que a mayor altura del sustrato el contenido de aire es mayor, lo cual permitirá el desarrollo adecuado de las especies (Barbaro *et al.*, 2017). El valor inicial de 18.6 % se encuentra dentro del límite establecido. Los valores finales de la capacidad de aireación tuvieron diferencias significativas respecto al valor inicial, presentando el valor máximo (19.11%) para *P. grandiflora* y el valor mínimo

(13.94%) para *T. spathacea*. Estos valores se mantuvieron dentro de los límites sugeridos por Cruz-Crespo *et al.*, (2013), siendo de 10-35%. Por otro lado, Markoska *et al.*, (2018) mencionan que es complicado conocer el valor exacto del volumen de aireación, porque la altitud del recipiente ejerce un papel importante en este parámetro.

La capacidad de retención de agua (CRA), o capacidad de campo, es una de las características más importantes a considerar en los sustratos de crecimiento propuestos, ya que corresponde a la cantidad de agua que puede retener el sustrato una vez que ha sido drenado, una CRA adecuada contribuirá a un desarrollo saludable de las plantas. En este estudio se obtuvieron valores alrededor de 47% en la mayoría de los sustratos de las diferentes especies, siendo el valor menor el obtenido con *P. grandiflora*, encontrándose diferencias significativas entre las especies.

La densidad aparente se define como la masa seca contenida en el sustrato en relación con la unidad de volumen aparente del medio de crecimiento húmedo, tomando en cuenta el espacio poroso entre las partículas (Masaguer *et al.*, 2015), depende de la compactación y del tamaño de partícula. Esta propiedad es importante para conocer el volumen y costo de los materiales que se utilizarán, se recomienda que se encuentre en valores menores a 400 kg m^{-3} (Cruz-Crespo *et al.*, 2013). Los valores finales incrementaron respecto al valor inicial del análisis, observándose diferencias significativas entre los resultados para cada especie. El valor mayor lo obtuvo la especie *T. spathacea* con 185.72 kg m^{-3} mientras que el valor mínimo fue para *Zephyranthes*. Quintero *et al.*, (2011) mencionan que es muy importante que los sustratos cuenten con una baja densidad aparente para que su transporte y manipulación sea más sencillo. En cuanto a la densidad real, esta se refiere a la relación entre la masa de las partículas

del medio de crecimiento y el volumen de los sólidos, sin considerar el espacio poroso. Es independiente del modo de compactación y tamaño de partícula, por lo que su valor es específico para el tipo de material que se utilice (Villegas *et al.*, 2017). Al igual que la densidad aparente, los valores finales del sustrato A:L incrementaron respecto al valor inicial del análisis, presentándose diferencias significativas entre los valores para cada especie. Los resultados anteriores se encuentran por debajo del intervalo de 1450-2650 kg/m^3 , referido por Crespo-González *et al.*, (2018).

PRUEBA DE CRECIMIENTO EN SUSTRATO AGROLITA:LIRIO EN CONDICIONES DE TECHO VERDE

Durante el periodo de prueba, se presentaron diversas condiciones climatológicas desde altas temperaturas (hasta 45°C) hasta precipitaciones intensas (127.4 mm) en un mes. Por lo tanto, ambos fenómenos extremos tuvieron efecto en el desarrollo de las plantas. La temperatura ambiental fluctuó entre los $32\text{-}38^\circ\text{C}$; el riego fue semanal, excepto si se presentaba lluvia. Con respecto a la altura final de las especies, debido a su morfología, no se presentó aumento considerable de esta variable, principalmente al compararse con los cambios observados en el número de hojas, teniéndose un incremento de hasta cinco veces para *T. spathacea*, cuatro veces para *T. pallida* mientras que para *Portulaca* aumentó sólo 1.6 veces (Tabla 2).

En cuanto a la biomasa seca, esta es un factor importante en el estudio de la biología funcional de las plantas y el análisis del crecimiento, se considera la base para el cálculo de la producción primaria neta y la tasa de crecimiento (Golzarian *et al.*, 2011). La mayor cantidad de biomasa seca aérea se obtuvo para *P. grandiflora*, tanto al inicio como al final de la prueba, con un incremento

de 3.5 veces el valor inicial. Para las demás especies *T. pallida*, *T. spathacea* y *Zephyranthes*, la biomasa seca aérea aumentó diez, siete y cinco veces, respectivamente.

Especies	Altura (cm)		Hojas (número)	
	Inicial	Final	Inicial	Final
<i>Portulaca grandiflora</i> Hook	46.5±2a	49 ± 3a	73 ± 11a	121 ± 26b
<i>Zephyranthes sp.</i> Herbert	36 ± 4a	31 ± 2a	18 ± 5a	30 ± 13b
<i>Tradescantia spathacea</i>	24 ± 3a	21 ± 3a	12 ± 2a	60 ± 29b
<i>Tradescantia pallida</i>	32 ± 7a	39 ± 14a	14 ± 5a	56 ± 45b

Tabla 2: Crecimiento (altura y número de hojas) de las diferentes especies en condiciones de techo verde.

Nota: Medias con distinta letra en las columnas de los valores inicial y final son estadísticamente diferentes (P<0.5).

Especies	Biomasa seca aérea (g)		Biomasa seca radicular (g)	
	Inicio	Final	Inicio	Final
<i>Portulaca grandiflora</i> Hook	5.9 ± 0.4a	20.8 ± 6.4b	0.9 ± 0.1a	2.6 ± 0.1b
<i>Zephyranthes sp.</i> Herbert	0.4 ± 0.2a	2.0 ± 1.1b	2.7 ± 0.6a	11.7 ± 7.6b
<i>Tradescantia spathacea</i>	1.2 ± 0.6a	8.3 ± 3.7b	1.2 ± 0.9a	6.2 ± 2.6b
<i>Tradescantia pallida</i>	1.1 ± 0.6a	11.3 ± 9.5b	0.4 ± 0.3a	5.6 ± 5.7b

Tabla 3. Biomasa seca aérea y radicular de las diferentes especies en condiciones de techo verde.

Nota: Medias con distinta letra en las columnas de los valores inicial y final son estadísticamente diferentes (P<0.5).

La Tasa Relativa de Crecimiento (TRC), es una de las principales variables para el análisis del crecimiento en plantas y es definida como la ganancia de biomasa en el tiempo. A través de las adaptaciones morfológicas y fisiológicas, el rendimiento de las especies vegetales se modifica cuando están en diferentes ambientes. Los valores de la TRC proporcionan comparaciones de la fisiología de crecimiento intrínseca de diferentes especies,

independientemente de las diferencias de tamaño (Rees *et al*, 2010). Como se observa en la Tabla 4, *P. grandiflora* presentó el mayor desempeño en el sustrato de crecimiento A:L, con una acumulación de biomasa de casi del doble comparada con las especies de *Tradescantia*. Las especies *P. grandiflora* y *T. pallida* han sido reportadas previamente como especies empleadas en techos verdes en México (Ávila-Hernández *et al.*, 2023). Los techos verdes brindan diversos beneficios ecosistémicos, cada uno de los cuales depende en gran medida del crecimiento exitoso de las especies que se coloquen en el sustrato, en este caso, se considera que todas las especies probadas demostraron un desarrollo fenológico adecuado para su uso en el sustrato agrolita: lirio acuático.

Especie	TRC (g g ⁻¹ d ⁻¹)
<i>P. grandiflora</i>	0.0353 b
<i>Zephyranthes</i>	0.0274 a
<i>T. spathacea</i>	0.0191 a
<i>T. pallida</i>	0.0178 a

Tabla 4. Crecimiento (altura y número de hojas) de las diferentes especies en condiciones de techo verde.

Nota: Medias con distinta letra en la columna son estadísticamente diferentes (P<0.5).

CONCLUSIONES

El sustrato de techo verde compuesto por agrolita:lirio fue capaz de mantener los parámetros físico y químicos adecuados para el crecimiento de las especies propuestas durante la prueba de crecimiento. En condiciones de techo verde, la especie *Portulaca grandiflora* Hook presentó la mayor adaptación al sustrato y a las condiciones ambientales, con un valor de biomasa seca total y tasa de crecimiento superiores a las demás especies, seguida de *Tradescantia pallida*, *Tradescantia spathacea* y *Zephyranthes sp. Herbert*. Por lo tanto, se propone la implementación de techos verdes con las especies ornamentales evaluadas, así como el empleo del sustrato de crecimiento

compuesto por agrolita: lirio para ser usados húmedo.
en edificaciones en sitios con clima tropical

REFERENCIAS

- Ávila-Hernández, A., Simá, E & Ché-Pan, M. (2023). *Research and development of green roofs and green walls in Mexico: A review*. Science of the Total Environment 856 (2023) 158978. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158978>.
- Barbaro, L. A., Soto, M. S., Sisaro, D., Karlanian, M., & Stancanelli, S. (2017). *Sustratos para techos verdes sustentables (extensivos)*. Ediciones INTA. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/1952>
- Bravo, F. (2016). Caracterización físico-química de sustratos utilizados en cultivo sin suelo. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/86298>
- Contreras-Bejarano, O., & Villegas-González, P. A. (2019). Techos verdes para la gestión integral del agua: caso de estudio Chapinero, Colombia / Green roofs for comprehensive water management: Case study in Chapinero, Colombia. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 10(5), 282-318. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222019000500282
- Crespo González, M. R., González Eguiarte, D. R., Rodríguez Macías, R., Ruiz Corral, J. A., & Durán Puga, N. (2018). CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y FÍSICA DEL BAGAZO DE AGAVE TEQUILERO COMPOSTADO CON BIOSÓLIDOS DE VINAZA COMO COMPONENTE DE SUSTRATOS PARA CULTIVOS EN CONTENEDOR. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(3), 373-382. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.03.01>
- Cruz-Crespo, E., Can-Chulim A., Sandoval-Villa M., Bugarín-Montoya R., Robles-Bermúdez A, Juárez-López P. (2013). SUSTRATOS EN LA HORTICULTURA. *Revista Bio Ciencias*, 2 (2): 17-26 <http://aramara.uan.mx:8080/bitstream/123456789/719/1/Sustratos%20en%20la%20horticultura.pdf>
- García, C. O., Alcántar, G. G., Cabrera, R. I., Gavi, R. F. & Volke H. V. (2001). Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra Latinoamericana*, 19(3), 249-258. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57319306>
- Golzarian, M.R; Frick, R.A; Rajendran, K.; Berger. B.; Roy, S.; & Tester, M. (2011). Accurate inference of shoot biomass from high-throughput images of cereal plants. *Plant Methods*, 7(2). <https://doi.org/10.1186/1746-4811-7-2>
- Hunt, R. (1990). *Plant growth analysis*. Studies in Biology No. 96. E. Arnold Publ. London.
- López Machado, N. A., Domínguez Gonzalez, C. G., Barreto, W., Méndez, N., López Machado, L. J., Soria Pugo, M. G., Lizano Aceved, R. X., & Montesinos Machado, V. V. (2020). Almacenamiento de agua de lluvia en medios urbanos utilizando techos verdes. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 32(2), 54-71. <https://www.redalyc.org/journal/4760/476064168005/>
- López-González, B. G., Camacho, A. D., Martínez-Rodríguez, M. C., & Marcelino-Aranda, M. (2020). Techos verdes: una estrategia sustentable. *Revista Tecnología en Marcha*, 33(3), 68-79. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0379-39822020000300068&script=sci_arttext
- Marchena, D. (2012). Techos verdes como sistemas urbanos de drenaje sostenible. *Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia*. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/11131>
- Markoska, V., Spalevic, V., & Gulaboski, R. (2018). A research on the influence of porosity on perlite substrate and its interaction on porosity of two types of soil and peat substrate. *Agriculture & Forestry*, 64(3), 15-29. <https://pdfs.semanticscholar.org/ee58/d4ff31168cdfcb0e4e5f03ce2476cf6af2b8.pdf>
- Masaguer Rodríguez, A., López Fbal, A., Carmona Chiara, E., Fornés Sebastia, F., Ordovás Ascaso, J., Gómez Sánchez, M.A., Aguirre Moreno, M. T., Marfá Pagé, O., Cáceres Reyes, R., López Núñez, R., y Belda Navarro, R. (2015). *Uso del compost como componente de sustratos para cultivo en contenedor III.2 Volumen2*. En: Moreno, J., Moral, R., Garcia Morales, J.L., Pascual, J.A., Bernal, M.P. (Ed.). *De residuo a recurso: Recursos orgánicos, aspectos agronómicos y medioambientales*. (pp. 49-58). Ediciones Mundi-Prensa. https://books.google.com.mx/books?id=Go9CQAAQBAJ&pg=PA58&dq=que+son+los+sustratos+para+plantas&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjnyfAwa_7AhULmmoFHc-lAbkQ6AF6BAgPEAI#v=onepage&q=que%20son%20los%20sustratos%20para%20plantas&f=false

- Montes Cruz, S., Lalama Aguirre, J.M., Echeverría Félix, J.M., Salazar Torres, S.M. (2016). Factores bióticos y abióticos que influyen en la aclimatación de las vitroplantas en invernadero. *Dominio de las Ciencias*, 2(2), 63-89. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5761558>
- Morales, J. A., Cristancho, M. A., y Baquero-Rodríguez, G. A. (2017). *Trends in the design, construction and operation of green roofs to improve the rainwater quality. State of the art*. *Ingeniería del agua*, 21(3), 179-196. <https://doi.org/10.4995/Ia.2017.6939>
- Noguera, P., Abad, M., Puchades, R., Maquieira, A., & Noguera, V. (2003). Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust as container medium. *Communications in soil science and plant analysis*, 34(3-4), 593-605.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.
- Pire, R., y Pereira, A. (2003). Propiedades Físicas de Componentes de Sustratos de Uso Común en la Horticultura del Estado Lara, Venezuela. Propuesta metodológica. *Bioagro*. 15 (1). http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612003000100007
- Quintero, M., González, C., & Guzmán, J. (2011). Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo*. 79-108. https://www.researchgate.net/profile/Maria-Quintero-Castellanos/publication/235999721_Sustratos_para_cultivos_hortícolas_y_flores_de_corte/links/0c9605160cd3f33591000000/Sustratos-para-cultivos-hortícolas-y-flores-de-corte.pdf
- Rees, M., Osborne, C. P., Woodward, F. I., Hulme, S. P., Turnbull L. A. & Taylor S. H. (2010). Partitioning the Components of Relative Growth Rate: How Important Is Plant Size Variation?. *The American Naturalist*, 176(6). <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/657037>
- Rodríguez, R., Alcantar, E., Covarrubias, G., Zamora, F., García, P., Ruíz, M., y otros. (2010). Caracterización Física y Química de Sustratos Agrícolas a partir de Bagazo de Agave Tequilero. *Interciencia* , 35 (7), 515-520. <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/515-c-RODR%C3%8DGUEZ-MAC%C3%8DAS-7.pdf>
- 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://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X12002447>
- Torres, A. P., Camberato, D., López, R. G. & Mickelbart M. (2010). Medición de pH y Conductividad Eléctrica en Sustratos. *Producción Comercial de Cultivos Bajo Invernadero Y Vivero*. <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/ho/ho-237-sw.pdf>
- Tovar-Jiménez, X., Favela-Torres, E., Volke-Sepúlveda, T.L., Escalante-Espinosa, E., Díaz-Ramírez, I.J., Córdova-López, J.A. & Téllez-Jurado, A. (2019). *Influence of the geographical area and morphological part of the water hyacinth on its chemical composition*. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 11(1), 39-52. doi: 10.5154/r.inagbi.2017.10.013
- Villegas Torres, O. G., Domínguez Patiño, M. L., Albavera Pérez, M., Andrade Rodríguez, M., Sotelo Nava, H., Martínez Rangel, M. G., Aguilar Cortés, M., Castillo Carpintero, C., y Magadan Salazar, M. C. (2017). *Sustrato como material de última generación*. (pp. 5-26). OmniaScience. https://books.google.com.mx/books?id=inTFDgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=que+son+los+sustratos&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwihyunw07H7AhXyLUQIHU_XC4EQ6wF6BAGMEAE#v=onepage&q=que%20son%20los%20sustratos&f=false
- Xie, L., Lehvävirta, S., & Valkonen, J. P. (2020). Case study: Planting methods and beneficial substrate microbes effect on the growth of vegetated roof plants in Finland. *Urban Forestry & Urban Greening*, 53, 126722. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866719308982>
- Zielinski, S., García Collante, M. A., & Vega Paternina, J. C. (2012). Techos verdes: ¿Una herramienta viable para la gestión ambiental en el sector hotelero del Rodadero, Santa Marta?. *Gestión y Ambiente*, 15(1), 91-104. <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169424101008.pdf>