



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CAPACIDAD DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE  
PLANTAS C3, C4 Y CAM PLANTADAS EN  
HIDROMACETAS EN UNA AZOTEA VERDE**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**BIOLOGA**

**P R E S E N T A:**

**VALERIA FALCÓN ORTIZ**



**DIRECTORA DE TESIS:  
DRA. MARGARITA COLLAZO ORTEGA**

**Ciudad Universitaria Cd. Mx.**

**Mayo 2017**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Hoja de Datos del Jurado

### 1. Datos de la Alumna

Falcón  
Ortiz  
Valeria  
56124815  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Biología  
309188223

### 2. Datos del tutor

Dra.  
Margarita  
Collazo  
Ortega

### 3. Datos del sinodal 1

Dra.  
Patricia  
Guevara  
Fefer

### 4. Datos del sinodal 2

Dra.  
Florencia Tiberia Aucán  
García  
Campusano

### 5. Datos del sinodal 3

Dra.  
Helia Reyna  
Osuna  
Fernández

### 6. Datos del sinodal 4

Biologo  
Panuncio Jerónimo  
Reyes  
Santiago

### 7. Datos del trabajo escrito

Capacidad de evapotranspiración de  
plantas C3, C4 y CAM plantadas en  
hidromacetas en una azotea verde.  
80 p  
2017

**ESTE TRABAJO SE REALIZÓ EN EL TALLER “BIOLOGÍA DE LA REPRODUCCIÓN, PROPAGACIÓN Y FISIOLÓGÍA DE PLANTAS QUE VIVEN EN AMBIENTES CONTRASTANTES”**

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL EXPERIMENTO: COORDINACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA. CIUDAD UNIVERSITARIA.**

**EL PROYECTO FUE FINANCIADO POR LA DIRECCIÓN GENERAL DE ASUNTOS DEL PERSONAL ACADÉMICO. Proyecto PAPIIT IN 225510**

**ASESORA DEL TEMA:**

**Dra. Margarita Collazo Ortega**

**SUSTENTANTE:**

**Valeria Falcón Ortiz**

## **AGRADECIMIENTOS**

- A Biol. Jerónimo Reyes Santiago, por facilitarnos el espacio de la AVE en la Coordinación de Investigación Científica.
- A la M. en C. Eréndira Arellano Leyva, por su apoyo en la logística y toma de mediciones durante el proyecto.
- A la Dra. Margarita Collazo Ortega, por su compañía en cada paso, y aportar con su experiencia al proyecto.

## DEDICATORIA

A mis padres por creer siempre en mí, por enseñarme a tomar decisiones, alentarme y apoyarme en todos mis proyectos.

A mi Asesora de tesis Dra. Margarita Collazo por toda la paciencia, la ayuda brindada los últimos años. A quien le tengo un gran aprecio y admiración.

A mis hermanas por su cariño, por la vida que hemos compartido y preocuparse siempre por mí.

A mis mejores amigas Aimeé y Estefani, porque sin ustedes no podría recordar la secundaria con gusto. Además de guardar los secretos y apoyarme en tantos momentos.

A mis amiguitos de la prepa, que hicieron de ésta, una de las mejores etapas de mi vida.

A mis amiguitos de la facultad, por hacer amenas las horas con todas sus locuras, por hacerme reír tanto, por sus consejos, y las aventuras compartidas.

Al profesor Leonardo Arceo, por sus clases de Taekwondo que me ayudaron a crecer como persona, y a canalizar mi energía de una manera positiva, por lo cual le guardo mucho cariño y respeto.

# CAPACIDAD DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE PLANTAS C3, C4 Y CAM

## PLANTADAS EN HIDROMACETAS EN UNA AZOTEA VERDE

### Contenido

Resumen.....	7
Introducción .....	9
Antecedentes .....	12
Tipos de naturación.....	12
Azoteas Verdes.....	12
Hidromacetas .....	14
Beneficios de la naturación.....	15
Selección de las plantas.....	17
Papel de las plantas en el ciclo hidrológico.....	18
Evapotranspiración.....	20
Evaporación.....	21
Transpiración.....	21
Conductancia estomática .....	22
Retención de agua en azoteas verdes.....	23
Tipo de metabolismo del Carbono .....	26
Plantas C4 .....	26
Plantas CAM .....	27
Plantas C3 .....	29
Eficiencia en el uso del agua .....	30
Justificación .....	31
Hipótesis .....	32
Objetivos .....	32
Objetivo general.....	32
Objetivos particulares .....	32
Método .....	33
Especies estudiadas .....	33
<i>Plantas C3</i> .....	33

<i>Heimia salicifolia</i> Link (Lythraceae) .....	33
<i>Senecio praecox</i> (Cav.) DC. (Asteraceae) .....	33
Plantas C4 .....	34
<i>Pennisetum clandestinum</i> Hoscht. Ex Chiov. (Poaceae).....	34
<i>Muhlenbergia robusta</i> (E. Fourn.) Hitchc. (Poaceae) .....	35
Plantas CAM .....	36
<i>Sedum moranense</i> Kunth (Crassulaceae) .....	36
<i>Sedum pachyphyllum</i> Rose (Crassulaceae) .....	37
Sitio de estudio .....	37
Procedencia de las plantas .....	38
Sistema de plantación: Hidromaceta.....	38
Preparación de las hidromacetas .....	39
Diseño Experimental .....	39
Riego .....	42
Escurrimiento .....	42
Evapotranspiración.....	42
Conductancia estomática (gs) .....	44
Datos meteorológicos .....	45
Cobertura .....	45
Análisis Estadístico .....	46
Resultados.....	47
Evapotranspiración.....	47
Conductancia estomática (gs) .....	52
Datos meteorológicos .....	57
Cobertura .....	60
Discusión .....	63
Conclusiones.....	69
Recomendaciones.....	70
Bibliografía.....	71
Fichas técnicas .....	79
ANEXO 1. ....	80
ANEXO 2 .....	81



## Resumen

La evapotranspiración de las plantas es un proceso que permite la salida de vapor de agua al ambiente, y en este sentido aportan un beneficio ambiental. Por ello, con el objetivo de determinar la capacidad de evapotranspiración de plantas utilizadas en azoteas verdes, se analizaron diferentes especies con metabolismo fotosintético C3 (*Heimia salicifolia*, *Senecio praecox*), C4 (*Pennisetum clandestinum*, *Muhlenbergia robusta*) y CAM (*Sedum moranense* y *Sedum pachyphyllum*) plantadas en hidromacetas en monocultivo y en mezcla. Se determinó la evapotranspiración mediante cambios en el peso y conductancia estomática, éstos se compararon con la cobertura de las especies y las condiciones meteorológicas (temperatura y velocidad del viento) durante cuatro semanas. No se observaron diferencias significativas en evapotranspiración entre especies, ni entre las cultivadas en monocultivo y mezcla ( $F= 0.6029$ ,  $p= 0.7278$ ). La conductancia estomática no registró diferencias significativas entre especies ( $F = 0.4646$ ;  $p=0.629$ ), pero si entre periodos del día ( $F = 30.996$ ;  $p = 0.0000$ ). Las conductancias estomáticas más altas de las plantas C3 (*S. praecox*, *H. salicifolia*) se registraron a medio día cuando las plantas se encontraban sometidas a altas temperaturas y velocidad del viento; por el contrario, en *M. robusta* fue mayor en las horas con menor temperatura y velocidad del viento, es decir, por las mañanas. *M. robusta* tuvo la mayor evapotranspiración, lo que puede proponerse como la mejor de las estudiadas para la naturación y favorecer con esto el aporte de humedad a la atmósfera. Las plantas CAM tuvieron la menor

evapotranspiración y la mayor cobertura, lo que favorece su establecimiento en azoteas con riego restringido. Cabe destacar que es el primer trabajo en su tipo que se realiza en México.

## **Introducción**

A nivel mundial ha habido un continuo incremento poblacional en las zonas urbanas en los últimos años (ONU, 2015). La Ciudad de México y su zona conurbada (Zona Metropolitana del Valle de México: ZMVM) es un ejemplo claro del aumento de la población, con más de 20 millones de habitantes (INEGI, 2010). Como consecuencia de la migración a la ciudad, ha habido un cambio en el uso del suelo ya sea habitacional y/o comercial para poder satisfacer las necesidades de infraestructura y servicios de los habitantes, que, consecuentemente ha provocado una considerable disminución de la vegetación y, con ello, de los servicios ambientales que presta como la captura de humedad, disminución de la temperatura y retención de agua de lluvia (Getter y Rowe, 2006). La distribución de áreas verdes y cantidad de habitantes en la Ciudad de México es desproporcionada, por ejemplo, la delegación Iztapalapa (1.8 millones de habitantes) tiene 3.1 m<sup>2</sup> de área verde por habitante, en cambio en la delegación Miguel Hidalgo (373,000 habitantes) cuentan con 35 m<sup>2</sup> por habitante (PAOT, 2010). Al respecto, la Organización Mundial de la Salud recomienda de nueve a 16 m<sup>2</sup> de áreas verdes por habitante en las urbes, sin embargo, se plantea que es difícil determinar el promedio real en cada ciudad ya que los criterios para definir áreas verdes son extremadamente variables y la distribución de éstas es característicamente irregular en las ciudades ya que la mayoría han crecido desordenadamente, y sin criterios ambientales previamente establecidos (Sorensen *et al.*, 1998).

Por lo anterior, es necesario incrementar la cantidad de áreas verdes en la ZMVM. Una alternativa que ha surgido en el mundo para paliar el efecto de la falta de vegetación, es la naturación urbana (colocar plantas en superficies pavimentadas), de modo que se incorpora la vegetación al medio urbano para amortiguar el desequilibrio entre la urbanización y la conservación del medio ambiente (Sorensen *et al.* 1997; Urbano-López, 2013). La naturación puede realizarse desde la instalación de azoteas y muros verdes, hasta la colocación en el techo de hidromacetas con plantas de distintos tipos, pero que cumplen con el objetivo de incrementar el área de superficie verde en las ciudades. Hasta la fecha, las plantas que más se utilizan son de naturaleza crasulácea dada su capacidad de resistencia a las condiciones extremas y requerir de menos cuidados (Urbano-López, 2013).

Las plantas, ya sea en azoteas verdes o en hidromacetas, tienen un importante papel en el aporte de humedad al ambiente al emitir vapor de agua por la evapotranspiración, y por la evaporación de agua del sustrato (Omura *et al.*, 2001). A lo que se suma la aportación de oxígeno que se libera a la atmósfera a través del intercambio gaseoso (Taíz y Zeiger, 2010). Estos procesos contribuyen a la formación de un microclima con mayor humedad relativa y una disminución de la temperatura, lo cual podría ayudar a controlar el efecto de isla de calor urbano (Dimoundi y Nicolopoulou, 2003; Teemusk y Mander, 2007).

Diversas especies del género *Sedum* han sido ampliamente usadas en la naturación, sin embargo, no se ha reportado la relación entre la composición de especies y sus efectos en la ET (Cook-Patton y Bauerle, 2012). Además de que

existe muy poca investigación sobre la evapotranspiración en azoteas verdes (Voyde *et al.*, 2010). Por ello, el presente trabajo tuvo como objetivo principal estudiar la capacidad de evapotranspiración de distintos tipos de plantas (C3, C4 y CAM) colocadas en hidromacetas en azoteas verdes, y así conocer cuál aporta más a la humedad relativa del ambiente.

## Antecedentes

### Tipos de naturación

Como se mencionó previamente, existen varias formas de naturar una superficie, pero basadas en el mismo principio general de tener un sustrato y plantas, cuyo objetivo o función es imitar a los ecosistemas naturales para proporcionar algunos servicios ecosistémicos (Oberndorfer *et al.*, 2007; Bates *et al.*, 2013; Berardi *et al.*, 2014).

### Azoteas Verdes

Una azotea verde se puede definir estrictamente como cualquier construcción en la superficie de un techo que ha sido cubierta con suelo y plantas. Generalmente cuenta con seis capas: impermeabilizante, malla anti-raíz, material de drenaje, filtro para prevenir la pérdida de partículas, el sustrato y la vegetación (VanWoert *et al.*, 2005; Berndtsson, 2010) (Fig.1).

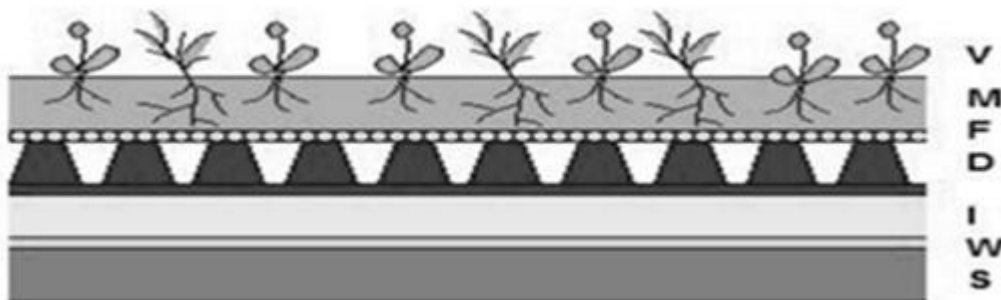


Figura 1. Capas que conforman una azotea verde V: vegetación, M: medio de crecimiento (sustrato), F: filtro, D: drenaje, I: aislamiento, W: impermeabilizante y capa anti raíz, S: soporte estructural (techo) (Oberndorfer *et al.*, 2007; Urbano-López, 2013).

Es el sistema más antiguo y utilizado a nivel mundial. Iniciaron desde el año 600 a.C. en Mesopotamia como los jardines colgantes de Babilonia, principalmente con un valor estético (Tejela *et al.*, 2013). En el siglo XX fueron redescubiertas en Suiza como un elemento arquitectónico. Hasta 1970 comenzaron a cobrar importancia en Alemania y se popularizaron en Francia, Suiza, Norte América y Japón, como una forma de control de la temperatura. En La Ciudad de México se comenzó la implementación de azoteas verdes a finales de los años 90's, y a través de personas e instituciones gubernamentales y no gubernamentales se ha incrementado el número de ellas, aunque no hay un dato oficial que indique su cantidad (PNUD, 1996).

El gobierno de la Ciudad de México ha implementado diversas iniciativas para que esto sea acogido por los capitalinos. Se han establecido normas oficiales tanto para su construcción (Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007; D.O.F., 2008), como para incentivar su instalación a través de descuentos en el impuesto predial si los edificios son sustentables, como contar con 30 % de su espacio naturalizado (Norma Mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013). El costo de instalación es aun alto, aproximadamente \$12,000.00 por m<sup>2</sup> (Com. Pers. Jerónimo Reyes).

Comúnmente las azoteas verdes se clasifican en extensivas e intensivas (Fig. 2), aunque unos pocos autores incluyen una tercera, semintensiva. La clasificación se basa en el tipo de vegetación, el material de construcción, el manejo y los objetivos por los cuales se establece (Oberndorfer *et al.*, 2007; Li, 2008; Berardi *et al.*, 2014) (Anexo 1).



Figura 2. Ejemplo de azotea verde extensiva (izquierda) e intensiva (derecha). En las cuales se pueden observar diferencias en cuanto a la estructura y composición de las plantas.

### **Hidromacetas**

Son un sistema mucho más sencillo y económico, cuestan alrededor de \$45.00 más el costo de sustrato y semillas y/o plantas (Com Pers. Jerónimo Reyes).

Tienen como antecedente el uso de macetas para cultivar hortalizas en las casas de las ciudades, ya sea utilizando regadío o en época de lluvias.

Técnicamente la hidromaceta (Ecomacetas Efecto Verde) es un sistema modular de doble fondo auto sostenible para plantas, fabricada con polipropileno reciclado.

Consta de tres partes: el contenedor de reserva de agua (exterior), el contenedor de sustrato (interior), malla geotextil que permite el ascenso del agua hacia el contenedor interior, sustrato y plantas (Fig. 3).



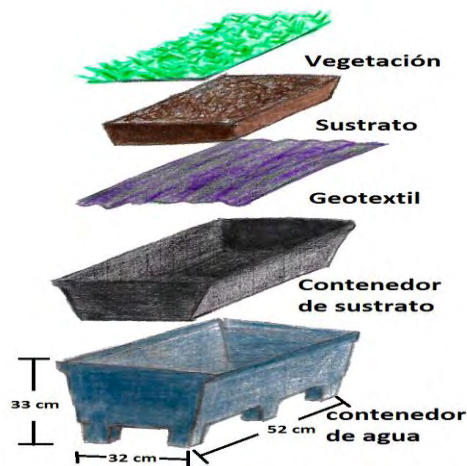


Figura 3. Esquema de una hidromaceta (“ecomaceta, Efecto Verde”). Con vegetación, sustrato, geotextil, contenedor de sustrato, contenedor de agua. Sus dimensiones son 52 cm de largo x 32 cm de ancho x 33 cm de altura.

### Beneficios de la naturación

A partir de considerar a la naturación como una forma de sustituir parcialmente los beneficios de la vegetación natural que se ha eliminado por la urbanización, se han realizado investigaciones en distintos aspectos sobre los beneficios de ésta. Básicamente se han realizado en azoteas verdes intensivas y extensivas, pero varios pueden extenderse a una superficie (azotea o a nivel de suelo) donde se coloquen hidromacetas. Los beneficios de las azoteas verdes se han dividido en tres tipos: ecológicos, económicos y recreativos (Getter y Rowe, 2006). A continuación, se enlistan algunos de ellos:

- a) Regulación del clima y de la calidad del aire. Filtración de polvo y partículas suspendidas en el aire (Yang *et al.*, 2008), tales como metales pesados e

hidrocarburos aromáticos policíclicos (Arellano, 2012; Arellano *et al.*, 2016) y dióxido de carbono (Sorensen *et al.*, 1998; Getter *et al.*, 2009); producción de O<sub>2</sub>; reducción considerable de los remolinos de polvo, disminución de las variaciones de temperatura y del porcentaje de humedad ambiental (Berndtsson *et al.*, 2010); hábitat para insectos, escarabajos y sitio de descanso para aves (Gernot, 2001; Berardi *et al.*, 2014), influyendo en el mantenimiento de biodiversidad (Berndtsson *et al.*, 2010; Cook-Patton y Bauerle, 2012). Otro aspecto importante es que retienen agua de lluvia (Li, 2008; Chen *et al.*, 2009), que de otro modo se va al alcantarillado, saturándolo y provocando inundaciones (Mentens *et al.*, 2016). Disminuyen el efecto del albedo (cantidad de radiación solar que es reflejada por una superficie) y la emisividad (acción y efecto de emitir) (Akbari y Konopacki, 2005), un albedo de 1 corresponde a una superficie que refleja el 100% y uno de cero 0 corresponde a una que absorbe toda la radiación solar incidente (Dobos, 2003). Con ello se da un efecto en la disminución de las islas de calor urbano, ya que las zonas pavimentadas limitan la evapotranspiración (Imhoff *et al.*, 2010).

- b) En particular para azoteas verdes, aumenta el tiempo de vida útil de los edificios debido a la impermeabilización y cubiertas de la azotea verde, las que, a su vez, generan aislamiento térmico que ayuda a regular la temperatura del interior, y de esta forma disminuye los costos en el uso del aire acondicionado; y amortigua el sonido del exterior (Sorensen *et al.*, 1997).

- c) Tienen además un papel psicosocial por su función estética, influyendo en el buen estado de ánimo y en la relajación de las personas (Gernot, 2001; Berardi *et al.*, 2014).

### **Selección de las plantas**

La selección de las plantas para las azoteas verdes depende de las características de la región de establecimiento. Se necesitan investigaciones para identificar adecuadamente las especies para techos que se establezcan en distintas regiones climáticas, así como el impacto ecosistémico, la profundidad del sustrato, la disponibilidad del agua y la densidad de las plantas (Berardi *et al.*, 2014). Pero la mayoría de las combinaciones vegetales para una azotea verde son seleccionadas para la exposición a pleno sol, con especies que tienen su origen en hábitats áridos (Oberndorfer *et al.*, 2007).

De las características que más influyen en la transferencia de calor es el área de la hoja, la cobertura, el albedo y la resistencia estomática (Berardi *et al.*, 2014).

Las plantas más comúnmente utilizadas en azoteas verdes de Europa y Norte América son las suculentas del género *Sedum*, cuyas especies han sido consideradas ideales debido a que tienen un área de cobertura amplia, bajo requerimiento de profundidad de sustrato para su desarrollo por tener raíces cortas (Berardi *et al.*, 2014), cuentan con adaptaciones de succulencia y metabolismo fotosintético (CAM) que aumenta su tolerancia a la sequía e intensa radiación solar; y algunas incluso presentan tolerancia a las condiciones

invernales (VanWoert *et al.*, 2005; Farrell *et al.*, 2012). Presentan además un lento crecimiento, por lo que se ha clasificado como una Camaefita pasiva (Durhman y Rowe, 2007).

### **Papel de las plantas en el ciclo hidrológico**

Las plantas retienen agua y emiten parte de ella a través de la evapotranspiración (Taiz y Zeiger, 2010). Estas características son de gran importancia por su papel en la regulación del ciclo del agua. Al disminuir la cantidad de vegetación por superficies pavimentadas, el agua de lluvia se va al alcantarillado, no es retenida y disminuye la humedad relativa del ambiente. Se calcula que en los bosques se absorbe el 95% del agua de lluvia, y el 25% en las ciudades; por el contrario, en una azotea verde extensiva, se retiene el 75% de agua (almacenada en las plantas y el suelo), y el 25% se escurre varias horas después de que se alcanza la saturación (Scholz–Barth, 2001).

Otro efecto asociado a la pérdida de captación de agua por la vegetación es que hay un aumento de la cantidad de radiación solar que es reflejada por una superficie, que se llama albedo (Fig. 4), es un importante parámetro en aspectos térmicos de la vegetación, ya que éste afecta la entrada de radiación en el sitio, y es eliminada por evapotranspiración (Dimoundi y Nikolopoulou, 2003), y a su vez está relacionada con la temperatura del ambiente (Ochoa de la Torre, 1999). Esto provoca las llamadas islas de calor urbano, ya que las superficies de edificios y áreas pavimentadas absorben la radiación solar y las vuelven calientes, y, por consiguiente, el aire que las rodea, ya que la energía térmica se queda atrapada

en la atmósfera urbana, dando como resultado un aumento de la temperatura (Akbari y Konopacki, 2005; Lazzarin *et al.*, 2005). Las cifras promedio para el albedo se encuentran entre 0.20-0.25 % de luz reflejada por la vegetación. Es importante mencionar la relación con la adaptación ecológica de la vegetación, donde las especies encontradas en climas cálidos y áridos con lluvias escasas y alta demanda de evaporación cuentan con altos albedos, tendiendo a reducir la carga solar térmica (Dimoundi y Nikilopoulou, 2003). Susca *et al.* (2011) destacan en su estudio sobre la influencia de diferentes factores en la disminución en el uso de sistemas de enfriamiento al interior de los edificios, que la ET tiene un papel importante en la disminución local de la temperatura durante los meses con mayores temperaturas y, que se encuentra relacionado directamente con el albedo.

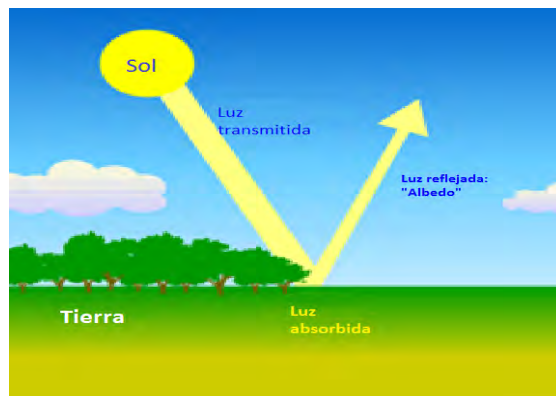


Figura 4. Esquema del albedo en la radiación reflejada. Tomado de <http://cepacastillodealmansa.com>

En este contexto, la sustitución de las zonas pavimentadas por alguna forma de naturación ayuda a disminuir el albedo y las islas de calor urbano a través de la capacidad de las plantas de retener agua y emitirla parcialmente a la atmósfera por la evapotranspiración. Al respecto, la implementación de azoteas verdes ha demostrado ser una herramienta eficaz en zonas altamente urbanizadas (Mentens *et al.*, 2005; Carter y Jackson, 2007). Es por ello importante estudiar el tipo de plantas que pueden contribuir de mejor manera a este proceso.

### **Evapotranspiración**

La evapotranspiración (ET) es la suma de dos procesos, la evaporación y la transpiración en plantas, los cuales suceden de manera simultánea en el sistema continuo suelo-planta-atmósfera, lo que hace difícil diferenciar entre ambos procesos (Barradas, 2013). La ET ha sido determinada a través de modelos usando la radiación solar, la temperatura, la velocidad del viento y la humedad relativa como parámetros (Allen *et al.*, 2006; Esmeral *et al.*, 2011).

Los principales factores que afectan la evapotranspiración son el clima (temperatura, humedad relativa, viento), las características de las plantas (etapa de desarrollo, área de cobertura, altura, características radiculares, tamaño y densidad estomática), el tipo de cultivo y el medio de desarrollo (fertilidad, salinidad, contenido de agua en el suelo) (Doorenbos y Pruitt, 1977; Allen *et al.*, 2006) y la cantidad de energía o la radiación neta (Zeppel *et al.*, 2012; Barradas, 2013).

La ET tiene una relación proporcional directa con la radiación y el déficit de vapor (DPV), e inversamente proporcional con la resistencia de la planta. Por otro lado, se encuentra la magnitud del viento que ejerce cambios en la resistencia aerodinámica, que de forma indirecta afecta el DPV (Ortega y Collazo-Ortega, 2013). Está mediado por el ácido abscísico y la concentración de CO<sub>2</sub> en la planta (Miranda *et al.*, 2013).

### Evaporación

Para cambiar el estado de las moléculas de agua de líquido a vapor se requiere energía, la que es obtenida de la radiación solar directa y temperatura ambiente del aire. La fuerza para retirar el vapor de la superficie evaporante es la diferencia de la presión de vapor del agua de la superficie y la presión de vapor de la atmósfera circundante. El proceso de evaporación se detiene cuando el aire se encuentra completamente húmedo, esto, a su vez, depende de la velocidad del viento que se encarga de retirar el vapor de agua próximo a la superficie que está evaporando. Los factores que pueden afectar la evaporación son el grado de cobertura del suelo por parte de la vegetación y la cantidad de agua disponible en la superficie evaporante. Bajo circunstancias de disponibilidad limitada de agua, la evaporación disminuye rápidamente y puede cesar en un corto lapso de tiempo (Barradas, 2013).

### Transpiración

La transpiración es la pérdida de agua desde la planta en forma de vapor de agua, está controlada por la actividad de los estomas de acuerdo con la demanda de

CO<sub>2</sub> para la fotosíntesis, y minimiza la pérdida de agua a la atmósfera (Hopkins y Hüner, 2004; Taiz y Zeiger, 2010). Es una consecuencia inevitable de la fotosíntesis, así como el mayor componente en el balance de energía de las hojas, y tiene una función importante en el transporte de nutrientes desde la raíz hasta el vástago (Lambers, 1998). La conducción del agua en las plantas puede ser considerada un sistema hidráulico continuo que conecta el agua en el sustrato con el vapor de agua en la atmósfera.

La transpiración ocurre en los espacios intercelulares de las hojas. También depende de los gradientes de vapor y la velocidad del viento, además del contenido del agua en suelo, la capacidad de conducir agua del suelo a la raíz, la salinidad y el agua de riego (Allen *et al.*, 2006; Esmeral *et al.*, 2011). Los estomas son la principal vía de intercambio de gases de la planta con la atmósfera, solo el 5% del agua es liberada través de la cutícula ya que esta cuenta con una película cerosa que impide el libre paso del agua (Taiz y Zeiger, 2010). La actividad estomática puede estar regulada por cambios en el potencial hídrico ( $\psi$ ) que es alterado, a su vez, por la temperatura ambiental y la intensidad luminosa, o bien, por la entrada y salida de agua, es decir, por el gradiente de concentración de solutos en las células guarda resultado del cambio en el potencial osmótico debido a la actividad fotosintética (Barradas, 2013).

#### Conductancia estomática

La conductividad o conductancia estomática ( $g_s$ ) es la medida de la difusión del vapor de agua a través de las estomas y constituye una función lineal a la apertura estomática (Barradas, 2013).



La resistencia a la ruta de transpiración consta de 2 componentes: la resistencia estomática de la hoja asociada a la difusión a través de los poros, y la resistencia de la capa estacionaria del aire próximo a la superficie; esta última se encuentra determinada por la velocidad del viento, donde una alta velocidad altera el grosor de la capa estacionaria. Los poros reducen la resistencia de difusión en la pérdida de agua (Taiz y Zeiger, 2010).

Las plantas regulan la conductancia estomática ( $g_s$ ) en relación con el agua para optimizar la absorción de carbono con respecto a la pérdida de agua, lo cual genera un gradiente, y es entonces cuando se enfrentan a una dualidad entre la captación de  $CO_2$  y la pérdida de agua (Lambers, 1998; Taiz y Zeiger, 2010; Miranda *et al.*, 2013).

Entre las especies se presentan diferencias en número, tamaño, y distribución de estomas en la hoja, por lo cual se esperaría encontrar diferencias en la  $g_s$  (Squeo y León, 2007).

### **Retención de agua en azoteas verdes**

En los estudios realizados con la finalidad de relacionar la vegetación con la retención del agua en las azoteas verdes, se encontró que la mayor parte de la precipitación que era retenida se debía al sustrato (Whittinghill *et al.*, 2014). Pero la capa de vegetación aporta protección al suelo con la disminución de la temperatura y la evaporación (Berndtsson, 2010). Cook-Patton y Bauerle, (2012) encontraron que hay una relación negativa entre la altura de la planta y la

escorrentía, pero no una relación directa de la diversidad de plantas y la retención del agua de lluvia.

Wolf y Lundholm (2008) en un estudio realizado con 14 especies vegetales, comúnmente usadas en azoteas verdes, encontraron que la tasa máxima de transpiración está determinada por el suministro de energía necesaria para vaporizar el agua, la cantidad de agua disponible para la planta (la humedad del suelo), la humedad ambiental y el diferencial de presión de vapor de agua subsiguiente entre cavidades subestomáticas y, la capa límite de aire que rodea a la planta. También está asociado con varias características anatómicas y morfológicas que minimizan la pérdida de agua, incluyendo las cutículas gruesas.

Se ha investigado también acerca de la importancia que tiene la composición de la vegetación en los procesos de ET y retención de agua, tanto en la vegetación como en el sustrato, y se han encontrado diferencias significativas entre las que fueron dispuestas como un monocultivo y en mezcla de gramíneas y herbáceas, siendo más eficaces en ET las de monocultivo, debido a que se genera competencia entre las plantas cuando son plantadas en forma de mezcla (Salamanca, 2010). También se encontró que el sustrato y su profundidad juegan un papel muy importante en la retención del agua (Nagase y Dunnet, 2010). El género *Sedum* fue la especie que presentó mayor absorción de agua, en comparación con otras especies de plantas herbáceas y pastos; así como las plantas de hoja más ancha presentaron la tasa más alta en la retención de agua (Dunnett *et al.*, 2008). Aunque ser plantadas en mezcla ofrece ventajas en la

sobrevivencia y la resistencia a las condiciones de sequía (Nagase y Dunnet, 2010).

En los experimentos realizados por Farrell *et al.* (2012), se evaluó la evaporación en plantas del género *Sedum* y otras dos especies australianas con metabolismo fotosintético CAM facultativo, las cuales fueron expuestas a condiciones de sequía; también se compararon 3 tipos de sustratos que diferían en la capacidad de almacenamiento de agua. En el grupo experimental solo se regó al inicio del experimento, mientras que el grupo testigo fue regado semanalmente. Se evaluó la sobrevivencia, la cual se encontró que está relacionada con el tipo de sustrato y la reducción de la biomasa en condiciones de sequía, pero no así con el aumento de la succulencia. Las plantas con mayor sobrevivencia fueron las CAM por ser retenedoras de agua.

Wolf y Lundholm (2008) encontraron como posible predictor de transpiración el área foliar, adicionalmente al tipo de planta. Los efectos de bloqueo de pérdida de agua estuvieron asociados con los tratamientos de humedad que utilizaron (humedad, aridez e intermedio), y las variaciones en las condiciones de la superficie del sustrato (temperatura, humedad y flujo de aire).

Cuando las plantas se encuentran en sitios sombreados, y bajo la protección del viento, reducen la velocidad de ET, así también pueden ayudar a preservar el agua en el sustrato (Bates *et al.*, 2013).

## Tipo de metabolismo del Carbono

El tipo de metabolismo del carbono también puede afectar la transpiración en las plantas. Las plantas con metabolismo C3 y C4 se caracterizan por mantener la mayoría de sus estomas abiertos durante el día para permitir la entrada de CO<sub>2</sub>, lo cual en condiciones de sequía y altas temperaturas acelera la velocidad de pérdida del agua hasta que la planta responde cerrando los estomas. Mientras que las plantas que cuentan con metabolismo CAM, tienen la capacidad de almacenar CO<sub>2</sub> en el tejido de la planta durante la noche cuando la temperatura es más baja y realiza la apertura estomática, y los mantiene cerrados durante el día (Voyde *et al.*, 2010). En azoteas verdes extensivas estas características son útiles para el almacenamiento de agua ya que sustrato es de menor espesor en comparación con una azotea intensiva, y por ello tienen menor capacidad de almacenamiento de agua (Voyde *et al.*, 2010).

### Plantas C4

Son plantas almacenadoras de carbono por sus características morfo-fisiológicas ya que tienen cloroplastos tanto en la vaina perivascular como en el mesófilo (Taiz y Zeiger, 2010). Las células de la vaina poseen un arreglo de cloroplastos con gránulos de almidón alrededor y membranas de tilacoides desordenadas, mientras que las células del mesófilo cuentan con un arreglo de cloroplastos al azar, los tilacoides se encuentran en forma ordenada y pequeñas cantidades o nula presencia de almidón, a este acomodo se le llama anatomía Kranz (Fig. 5). En los cloroplastos del mesófilo se fija el carbono y los productos son malato y aspartato,

que son los primeros intermediarios estables y detectables en este mecanismo.. El carbono almacenado en el malato pasa a las células perivasculares donde es descarboxilado, y el carbono se incorpora al ciclo de Calvin-Benson (Taiz y Zeiger, 2010). El ciclo C4 ha sido descrito en 18 familias con 8,000 especies de monocotiledóneas y eudicotiledóneas, principalmente en las familias Poaceae, Chenopodiaceae, y Cyperaceae (Hopkins y Hüner, 2004; Taiz y Zeiger, 2010).

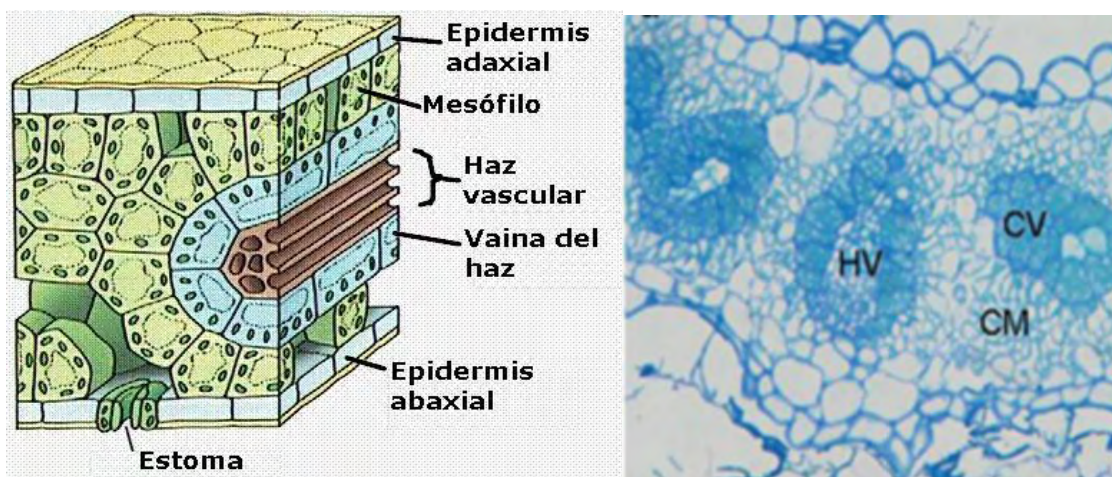


Figura 5. Izquierda: esquema de la anatomía Kranz en plantas C4, muestra las capas y tipos de células en la hoja de una planta; derecha: imagen de un corte transversal en (microscopía óptica). HV: haces vasculares, CM: células de mesófilo, CV: células de la vaina (Tomado de Olmedilla *et al.*, 2007).

### Plantas CAM

El metabolismo ácido de las crasuláceas es uno de los mecanismos que han desarrollado muchas de las plantas que habitan en zonas áridas, está asociado con características anatómicas y morfológicas que les dan la posibilidad de disminuir la pérdida de agua por evapotranspiración, cuentan con una cutícula

gruesa, superficie reducida y volumen amplio, vacuolas grandes, y baja frecuencia de estomas abiertos (Hopkins y Hüner, 2004), las cuales minimizan la pérdida de agua (Fig. 6); así como estomas de tamaño reducido y en menor cantidad que en plantas de tipo C3 y C4 (Durhman y Rowe, 2007). La velocidad de transpiración puede depender de las condiciones de humedad del sustrato (Wolf y Lundholm, 2008; Voyde *et al.*, 2010).

En las plantas CAM existe una separación temporal en el proceso fotosintético, la captura de carbono y su almacenamiento en ácidos orgánicos de cuatro carbonos, principalmente málico, que se almacena en las vacuolas, se realiza por la noche que es cuando tiene lugar la apertura estomática ya que la temperatura ambiental es menor y la humedad relativa mayor que en el día. Durante el día, los estomas se mantienen cerrados total o parcialmente minimizando la pérdida de agua, y se lleva a cabo la salida del ácido málico de la vacuola al citoplasma donde se descarboxila y el CO<sub>2</sub> entra al ciclo de Calvin-Benson (Taiz y Zeiger, 2010). En la Figura 6 se presenta un corte transversal de un tallo de planta CAM.

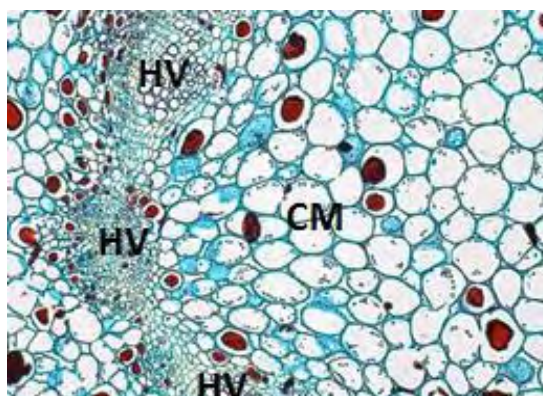


Figura 6. Corte transversal de hoja de planta CAM (microscopía óptica): HV: haz vascular, CM: Células del Mesófilo (Leal-Rueda, 2015).

## Plantas C3

Son plantas en las cuales el primer producto de la fijación de carbono es un compuesto de tres átomos de carbono. A diferencia de las C4 y CAM éstas no presentan un mecanismo acumulador de CO<sub>2</sub>. Las plantas C3 tienen ventajas en concentraciones altas de CO<sub>2</sub> atmosférico puesto que tienen rangos más altos de saturación y disminuye la actividad oxigenasa de la RUBiSCO. Sin embargo, pierden cerca de 500 moléculas de agua por cada CO<sub>2</sub> fijado por la fotosíntesis, es decir, tiene una eficiencia de 1/500 (Taiz y Zeiger, 2010). Estas plantas pueden ser desde herbáceas hasta arbóreas, lianas, trepadoras y epífitas.

El tipo de mecanismo fotosintético es el de Calvin-Benson, en el cual el primer producto estable es de 3 átomos de carbono, y lo realizan todas las plantas. La anatomía de este tipo de plantas se presenta en la Figura 7; se encuentran en todos los tipos de ambientes (Taiz y Zeiger, 2010; Rodés y Collazo-Ortega, 2013).

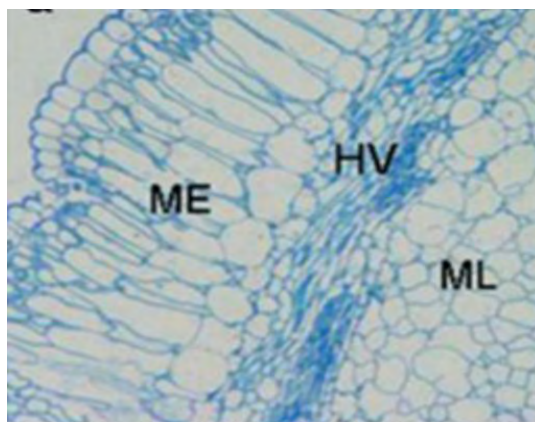


Figura 7. Corte transversal de hoja de una planta C3 (microscopía óptica); ML: mesófilo, HV: haz vascular, ME: mesófilo en empalizada (Tomado de Olmedilla *et al.*, 2007).

### **Eficiencia en el uso del agua**

Se considera como la cantidad de moléculas de agua que se requieren para fijar un gramo de biomasa. En las plantas CAM es de 50-100 g de agua a diferencia de las C4 que es de 250-300 g y las C3 de 400-500 g. Es por eso que las plantas CAM tienen ventajas adaptativas para su establecimiento en ambientes secos, a diferencia de las C3 que requieren mayor cantidad de agua para realizar la fijación de carbono (Taiz y Zeiger, 2010).



## **Justificación**

La eliminación de la vegetación debido al incremento de la población urbana ha traído como consecuencia una mayor cantidad de superficies pavimentadas que alteran las condiciones ambientales al eliminarse los beneficios de la cubierta vegetal original. Por ello, aumenta el porcentaje de evaporación del agua conforme incrementa la temperatura durante el día. Las azoteas verdes o la naturación en macetas son una herramienta que sustituye parcialmente a la vegetación y mimetiza sus funciones. Es por ello que es importante conocer el aporte de humedad de diferentes especies por medio de la evapotranspiración, y así proporcionar información de cuáles son las más útiles para la naturación en la Ciudad de México. Cabe destacar que es el primer trabajo en su tipo que se realiza en México.

## **Hipótesis**

Ho1: La capacidad de evapotranspiración en plantas C3, C4 y CAM será similar.

Ha 1: La capacidad de evapotranspiración será diferente en al menos uno de los tipos de plantas.

Ho2: La capacidad de evapotranspiración en plantas C3, C4 y CAM será similar tanto en monocultivo como en mezcla.

Ha2: La capacidad de evapotranspiración será diferente en y mezcla.

## **Objetivos**

### Objetivo general

- Determinar la capacidad de evapotranspiración de plantas de diferente tipo de metabolismo fotosintético en macetas colocadas en una azotea verde.

### Objetivos particulares

- Cuantificar y comparar la evapotranspiración de agua en plantas C3, C4, y CAM.
- Evaluar sí la evapotranspiración varía en las plantas colocadas en monocultivo o en mezcla.

## **Método**

### **Especies estudiadas**

#### *Plantas C3*

##### *Heimia salicifolia* Link (Lythraceae)

Planta arbustiva que alcanza una altura de 1-2 m, de hojas opuestas, sésiles o casi sésiles con pecíolos muy cortos, angostas de 0.5 a 1.5 cm de ancho y hasta 20-100 mm de largo con ápice agudo, con base atenuada, con tallos numerosos, sin tricomas, de flores solitarias amarillas en las axilas de las hojas, acompañadas de un par de brácteas en la base, con apéndices evidentes entre los sépalos, con hipantio, que son la fusión del cáliz y la parte interior de la flor, formando un tubo debajo de los pétalos, los ápices se van reduciendo, con las hojas más pálidas en la cara abaxial que en la adaxial (Rzedowsky y Rzedowsky, 2010), se ha encontrado en México tanto en zonas con suelos húmedos, como en zonas áridas (Graham, 1991) (Fig. 7).

##### *Senecio praecox* (Cav.) DC. (Asteraceae)

Arbustos o plantas arborescentes, caducifolias, de 1-4 m de alto, glabros. Tallos erectos y suculentos, huecos, quebradizos, corteza de color gris claro. Hojas en grupos cerca de los ápices de las ramas, pecíolos de hasta 17.5 cm de largo, láminas ovaladas, de 2 a 18 cm lóbulos acuminados, margen entero, cordadas en la base, glabras. Inflorescencias en cimas corimbiformes, con un mechón de pelos en la base de los pedicelos y de las bractéolas, involucre de las cabezuelas cilíndricas o ligeramente cilíndrico con 7 a 8 brácteas. Flores liguladas 5 o 6,

simulando pétalos amarillos. Frutos secos, aquenios cilíndricos o claviformes con un vilano de cerdas blancas de 6-8 mm de largo (Rzedowsky y Rzedowsky, 2010) (Fig. 8).



Figura 8. Plantas C3. *Senecio praecox* (Asteraceae): izquierda, fotografía de Ciudad Universitaria. *Heimia salicifolia*: derecha, imagen tomada de “[www.tropicos.org](http://www.tropicos.org)”.

#### *Plantas C4*

##### *Pennisetum clandestinum* Hoscht. Ex Chiov. (Poaceae)

Plantas perennes, rastreras, formando matas. Pueden trepar y apoyarse en arbustos. Tienen un tamaño de 5-10 cm de longitud, el tallo es de corto crecimiento, marcadamente rastreros, con entrenudos cilíndricos, glabros, de 1-2 cm de longitud, nudos glabros. Hojas glabras. Vainas parcialmente vilosas en el envés a glabras, con márgenes membranosos y secos; lígula en forma de anillo de pelos de 1-2 mm de longitud, láminas foliares planas o conduplicadas (dobladas a lo largo de su nervio medio), con ápice obtuso, de 2-9 cm de longitud, de 2-5 mm de ancho, glabras o espacialmente vilosas en la base. Inflorescencia inconspicua,

escondida entre las vainas, compuesta, con espigas cortas axilares. Solo se pueden ver los estambres por fuera cuando florece. Espiguilla 2 a 3, de 1.4-1.8 cm de longitud, escasas, ocultas de las vainas superiores, una espiguilla pedicelada y las demás sésiles, pedicelo de la espiguilla de 2 a 5 mm de longitud, cada una con 15 a 16 cerdas hasta de 1 cm de longitud, glumas ausentes; lema de la flor estéril igual a la lema de la flor fértil con varias nervaduras, palea casi igual a la lema. Estambres y estigmas exertos. Rizomas fuertes y estolones bien desarrollados (Herrera, 2001) (Fig. 8).

*Muhlenbergia robusta* (E. Fourn.) Hitchc. (Poaceae)

Plantas perennes densamente cespitosas, toscas; tallos 150 a 300 cm de alto, erectos, glabros, generalmente ocultos por vainas; láminas foliares 30 a 50 cm de longitud, 4 a 5 mm de ancho conduplicadas en la base, escabrosas, finamente aserradas en el margen; panículas 30 a 60 cm de longitud, 2 a 4 cm de ancho, densamente floreada y robusta, color grisáceo (cenizo), gris claro cuando madura, ramas inferiores 8 a 10 cm de longitud, desnudas o floríferas cerca de la base, vainas 35 a 60 cm de longitud (Herrera, 2001) (Fig. 9).



Figura 9. Especies de plantas C4. Izquierda, Imagen tomada de “[www.tropicos.org](http://www.tropicos.org)”. *Pennisetum clandestinum*: derecha, fotografía de Ciudad Universitaria. *Muhlenbergia robusta*.

## Plantas CAM

### *Sedum moranense* Kunth (Crassulaceae)

Hierba perenne, extendida sobre el suelo o colgante, sin tricomas, de hasta 20 cm de largo. Tallo muy ramificado, tornándose de color café a gris-rojizo. Hojas muy abundantes, demasiado imbricadas, muy gruesas, carnosas, ovadas, de hasta 3 mm de largo y de grueso, a veces con papilas sobre la superficie. Inflorescencia en pequeños grupos de flores sésiles o cortamente pediceladas. Flores con cáliz de 4 o 5 sépalos desiguales, ovados a angostamente ovados, más gruesos en la base, de hasta 4 mm de largo, aunque frecuentemente más cortos. La corola de 4 a 5 pétalos lanceolados, de hasta 7.8 mm de largo, blancos y a veces amarillos.

Estambres del doble del número de pétalos, ovario de 4 a 5 carpelos libres, estigma leñoso globoso (Rzedowsky y Rzedowsky, 2010) (Fig. 9).

*Sedum pachyphyllum* Rose (Crassulaceae)

Planta suculenta de tallos rastreros que no superan los 25 cm por arriba del suelo. Hojas de color azulado con puntas rojizas, son carnosas y cilíndricas que se curvan hacia arriba desprendibles con facilidad. Producen flores amarillas hacia finales del invierno y principios de primavera (Rzedowsky y Rzedowsky, 2010) (Fig. 10).



Figura 10. Plantas CAM. *Sedum moranense*: izquierda. *Sedum pachyphyllum*: derecha. Imágenes tomadas de “[www.tropicos.org](http://www.tropicos.org)”

**Sitio de estudio**

El experimento se llevó a cabo del 9 de febrero al 11 de marzo del 2015 en una de las azoteas de la Coordinación de la Investigación Científica (CIC) de la UNAM, destinadas a la investigación en el proyecto Estrategia de Universidad Sustentable Eco-PUMA. La CIC se ubica en el Circuito de la Investigación Científica S/N; frente al Instituto de Química y a un costado del Instituto de Fisiología Celular; Ciudad

Universitaria, Coyoacán, CDMX (Fig. 11). Los estudios se realizaron en la época de secas para tener un control del agua que ingresaba a las macetas.



Figura 11. Vista aérea de las azoteas de la Coordinación de la Investigación Científica en Ciudad Universitaria, UNAM (izquierda); vista de la azotea con las hidromacetas (derecha).

### **Procedencia de las plantas**

Las plantas C3 y C4 fueron obtenidos los ejemplares del Jardín Botánico del Instituto de Biología de la UNAM. Las plantas CAM para el experimento fueron obtenidas por esqueje de plantas establecidas previamente en la azotea verde del CIC. Se cortaron esquejes de 15 cm de longitud a los que se les aplicó enraizador Radix® 10,000 ppm en la base.

### **Sistema de plantación: Hidromaceta**

Las dimensiones de la hidromaceta (Ecomacetas Efecto Verde), son 32 cm de ancho x 52 cm de largo x 33 cm de altura (Fig. 12). La hidromaceta completa tiene un peso de  $1.0 \pm 0.05$  Kg, el contenedor interior donde se deposita el sustrato y plantas pesa  $0.98 \pm 0.04$  Kg.



### **Preparación de las hidromacetas**

Se prepararon 30 hidromacetas (Ecomacetas Efecto Verde), a las cuales, para efectos de este estudio, se les retiró el geotextil que conecta normalmente los dos contenedores, y se colocaron entre ellos piezas rectangulares de madera para aumentar el aislamiento con la finalidad de evitar que el agua, resultado del escurrimiento del contenedor con el sustrato, ingresara de nuevo al mismo por capilaridad. Se les adicionó a cada una 10 Kg de sustrato compuesto de una mezcla de 50% tepojal, 40% composta y 10% tierra negra (Asomex), procedente del Jardín Botánico de la UNAM. Las macetas se pesaron para igualar pesos con ayuda de una báscula Ohaus Defender (Defender 3000).

### **Diseño Experimental**

Por cada grupo de planta (C3, C4 y CAM) se hicieron plantaciones de dos tipos: monocultivo y mezcla. En los monocultivos se plantaron las especies individualmente y el número de individuos se estableció según su tamaño (Tabla 2). Las plantas se distribuyeron de manera uniforme de tal modo que cubrieran toda el área de la hidromaceta (18 macetas en total). En la mezcla, se plantaron dos especies por cada tipo de metabolismo en cada maceta, (9 macetas en total). El control consistió en maceta con tierra solamente. En todos los casos se hicieron por triplicado (Fig. 12). En las Figuras 12, 13 y 14 se presentan ejemplos de hidromacetas con las plantas.

La plantación se realizó en sitio de estudio en el mes de octubre de 2014, desde entonces se dio un periodo de aclimatación en el cual fueron regadas

regularmente dos veces por semana con 1-2 L de agua por maceta hasta el 9 de febrero de 2015, día en que se iniciaron las mediciones.

Tabla 2. Composición de las macetas respecto al número de individuos por especie en los dos tipos de cultivos (monocultivo y mezcla). Se hicieron 3 repeticiones. Se usaron en total 30 macetas.

Monocultivo		Mezcla	
Especies	No. de individuos por maceta	Especies	No. de individuos por maceta
<i>Senecio praecox</i> (C3)	2	<i>Senecio praecox</i> (C3)	1
<i>Heimia salicifolia</i> (C3)	1	<i>Heimia salicifolia</i> (C3)	1
<i>Muhlebergia robusta</i> (C4)	2	<i>Muhlebergia robusta</i> (C4)	1
<i>Pennisetum clandestinum</i> (C4)	8	<i>Pennisetum clandestinum</i> (C4)	5
<i>Sedum morenense</i> (CAM)	18	<i>Sedum morenense</i> (CAM)	9
<i>Sedum pachyphyllum</i> (CAM)	18	<i>Sedum pachyphyllum</i> (CAM)	9



Figura 12. Maceta control. Sustrato: mezcla de 50% de tepojal, 40% de composta y 10% de tierra negra (Asomex).



Figura 13. Macetas con dos especies de plantas C3. Izquierda: *Senecio praecox*; centro: *Heimia salicifolia*; derecha: mezcla.



Figura 14. Macetas con dos especies de plantas C4. Izquierda: *Pennisetum candestinum*; centro: *Muhlenbergia robusta*; derecha: mezcla.

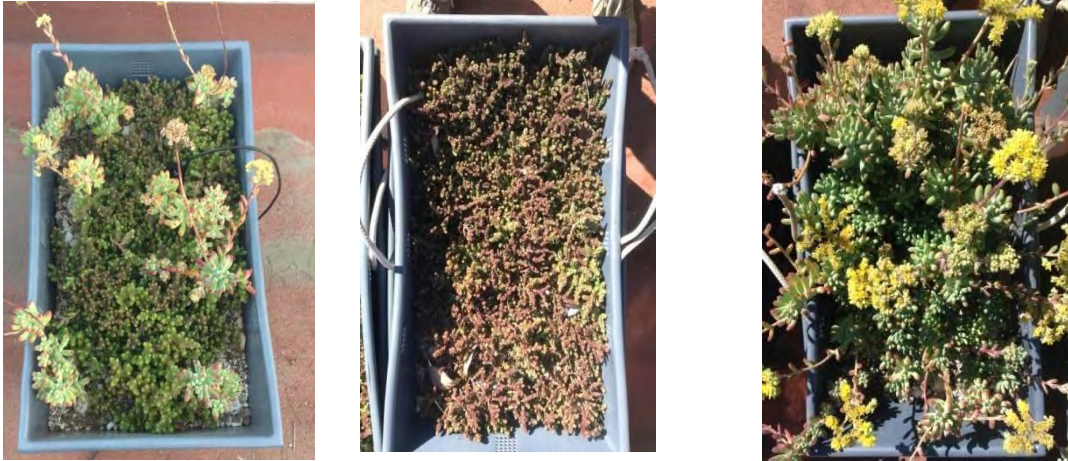


Figura 15. Macetas con dos especies de plantas CAM. Izquierda: *Sedum moranense*; centro: *Sedum pachyphyllum*; derecha: mezcla.

### **Riego**

Se realizó la irrigación con agua para sustituir el evento de lluvia. Los riegos se efectuaron al principio de las mediciones y cada semana, los días 9, 20, 27 de febrero y el 6 marzo con un litro de agua por maceta, que equivale a un evento de lluvia de  $6.01 \text{ mm m}^{-2}$  de acuerdo con el área de las macetas ( $0.1664 \text{ m}^2$ ), el agua se distribuyó de forma homogénea en la maceta con ayuda de regaderas. Se presentaron dos días con precipitación natural (11 febrero y 10 de marzo).

### **Escurrimiento**

Se midió el escurrimiento o agua filtrada de cada maceta que se depositaba en la base de plástico al día siguiente de cada riego (11, 21, 28 de febrero y 7 de marzo) por las mañanas a las 8:00 h. Se utilizó una probeta de 1L.

### **Evapotranspiración**

Se realizó el pesaje de las macetas con el sustrato diariamente de lunes a sábado por las mañanas, entre las 7:30 y 8:30 h durante un mes (del 9 de febrero al 11 de marzo del 2015). En los días que se realizaron los riegos se obtuvo antes el peso

de las macetas. Se utilizó una báscula Ohaus Defender (Defender 3000) (Fig. 17). Para el análisis de datos a cada valor de peso de las macetas se les restó el peso de la maceta vacía para obtener únicamente los valores de transpiración.

Los días en que no se realizaron riegos se calcularon las tasas absolutas de evapotranspiración por la fórmula:

$$\text{TAE} = (P1 - P2) T^{-1}$$

$$\text{ET} = (\text{TAE}) A^{-1}$$

Donde:

TAE: Tasa absoluta de evapotranspiración diaria; P1: peso del día 1, P2: peso del día 2; T: tiempo (días).

ET: evapotranspiración ( $\text{mm d}^{-1}$ ); A: área ( $0.1664 \text{ m}^2$ )

Para los días en que se realizaron los riegos y se obtuvo el escurrimiento, se calculó la ET con la fórmula de balance hídrico.

$$\text{ET} = (\text{R} - \text{S} - \text{T}) A^{-1}$$

Donde:

ET: Evapotranspiración ( $\text{mm d}^{-1}$ ); R: riego (1L); S: Escurrimiento (L); T: Retención= Diferencia de pesos de días 1 y 2; A: área de la maceta ( $0.1664 \text{ m}^2$ ).



Figura 16. Báscula Ohaus Defender (Defender 3000) empleada para pesar las macetas. Plataforma (izquierda), indicador de peso (derecha).

### **Conductancia estomática (gs)**

Se realizaron mediciones para determinar la gs con un porómetro Decagon (Decagon Divices, Pullman, WA, USA) (ver Fig. 18 y Anexo 2) tres veces al día (7:00, 13:30 y 19:00 h), por triplicado en las siguientes especies: *S. praecox*, *H. salicifolia* y *M. robusta* (del 10 de febrero al 4 de marzo de 2015). En las crasuláceas no se realizaron las mediciones debido a que el sensor no se pudo aplicar por el grosor y tamaño de las hojas. Los días que no se hicieron mediciones fueron los domingos (días 7,14 y 21de febrero), y cuando se presentó nubosidad (días 1, 16, 18 y 23 de febrero)



Figura 17. Porómetro Decagon (Decagon Divices, Pullman, WA, USA).

### **Datos meteorológicos**

Los datos de temperatura, velocidad del viento y precipitación de los días en que se realizó el experimento se tomaron de la página de Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos (RUOA: ruoa.unam.mx) del Centro de Ciencias de la Atmósfera, localizado en Ciudad Universitaria, cerca de la Coordinación de la Investigación Científica para relacionarlos con los resultados de evapotranspiración. Se obtuvieron datos del 10 de febrero al 11 de marzo en tres horas del día (7:00, 13:30 y 19:00 h).

### **Cobertura**

Se estimó el porcentaje de cobertura utilizando cuadros de 5x5 cm, es decir, cada maceta fue dividida en 10x6 cuadrantes con ayuda de una malla de alambre sobrepuesta a 50 cm por arriba de la maceta (Fig. 18). Se cuantificó el número de cuadros con presencia de vegetación, con lo que se realizó el cálculo.

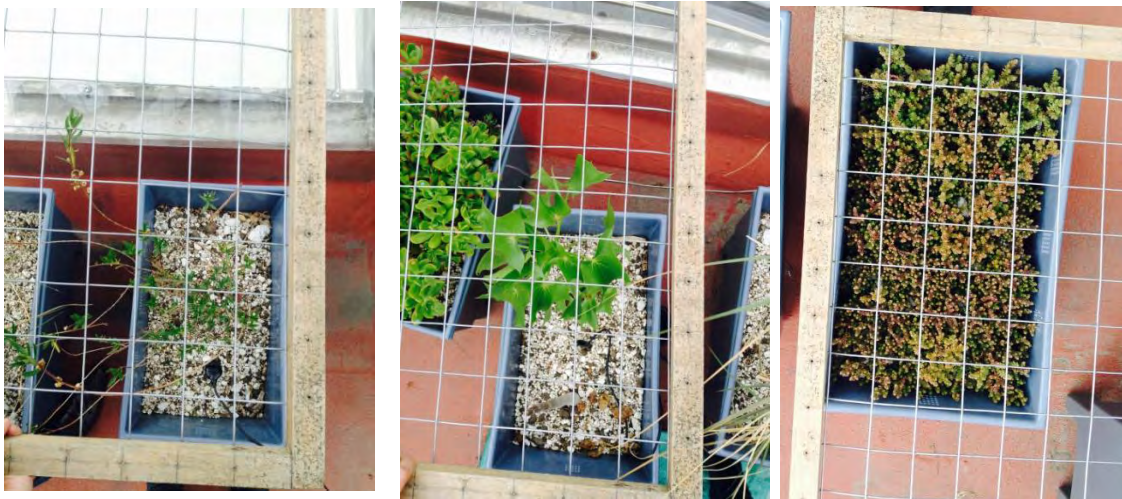


Figura 18. Fotografías ejemplificando macetas con malla de alambre de 6x10 cuadrantes de 5x5 cm para estimación de cobertura.

### **Análisis Estadístico**

Se aplicó la prueba de ANOVA para determinar diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre especies, en el tipo de cultivo (monocultivo y mezcla) de las plantas con metabolismo fotosintético CAM, y entre especies, así como la prueba de Tukey en caso de haber diferencias significativas; las mismas pruebas se aplicaron para comparar la  $g_s$  entre especies (*S. praecox*, *H. salicifolia* y *M. robusta*), y entre periodos en el día (7:00, 13:30 y 19:00 h). Se utilizó el programa “R” versión 3.2.5 (2016).

*Nota:* *P. clandestinum* no sobrevivió en ninguna de las condiciones (monocultivo o mezcla), *S. praecox* perdió todas las hojas en la condición de mezcla antes de que se realizarán las mediciones, por lo tanto, no se hicieron comparaciones de monocultivo y mezcla en las plantas de metabolismo C3 y C4. Únicamente las plantas con metabolismo fotosintético CAM sobrevivieron en ambos tratamientos.



## **Resultados**

### **Evapotranspiración**

Durante un mes se determinaron y compararon los cambios en peso de las plantas como resultado de la evapotranspiración. Tanto en los monocultivos de las plantas de los tres tipos de metabolismo fotosintético, como en la mezcla de plantas de metabolismo CAM, se observó un comportamiento similar: en los días posteriores al riego hubo un aumento en el contenido de agua y el resto de los días presentaron pérdidas por ET. Esto se puede observar en las Figuras 19, 20 y 21 como un aumento en el peso de la maceta los días 10, 21 y 28 de febrero, y 7 de marzo seguida de pérdidas de peso debido a la ET el resto de los días.

En las plantas con metabolismo C3 (Fig. 19) se observó un comportamiento similar entre los grupos experimentales con el control, aunque se alcanza a apreciar que la evaporación en el grupo control es constante en cada semana, mientras que es ligeramente más variable la ET en los grupos experimentales, lo cual es más evidente en las semanas 2 y 3 donde la ET es mayor al inicio que al final de cada semana. Los días en que hubo precipitación la ET es negativa debido a que la diferencia fue mayor a la cantidad de agua riego.

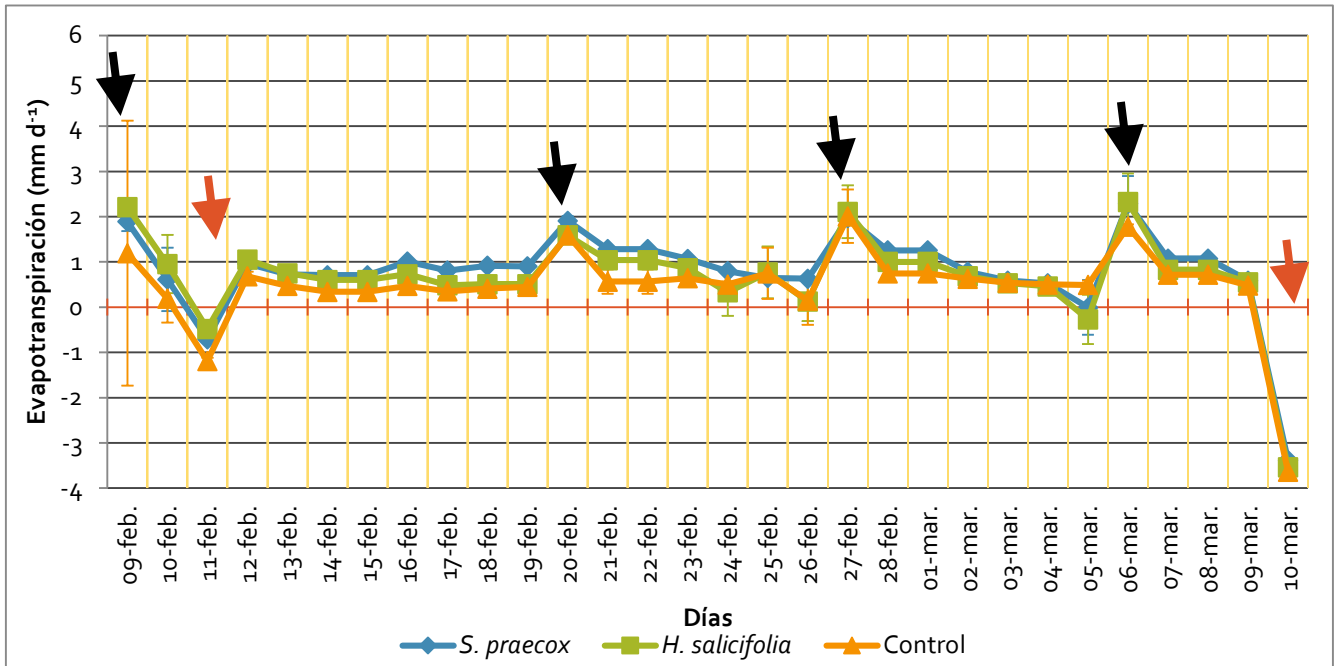


Figura 19. Evapotranspiración (mm d<sup>-1</sup>) de plantas con metabolismo C3 (*Senecio praecox* y *Heimia salicifolia*) y evaporación del grupo control (sustrato) con su respectiva desviación estándar, durante el tiempo de estudio (9 de febrero al 10 de marzo). Las flechas negras indican los días que las plantas recibieron riego al inicio de cada semana, y las flechas naranjas indican los días con precipitación.

Las plantas con metabolismo C4 presentaron mayor pérdida de agua por ET en *M. robusta* que por evaporación en el grupo control (Fig. 20). Al igual que las plantas de metabolismo C3, en las semanas 2 y 3 se observó mayor pérdida de agua por ET al inicio de la semana que hacia el final de cada una.

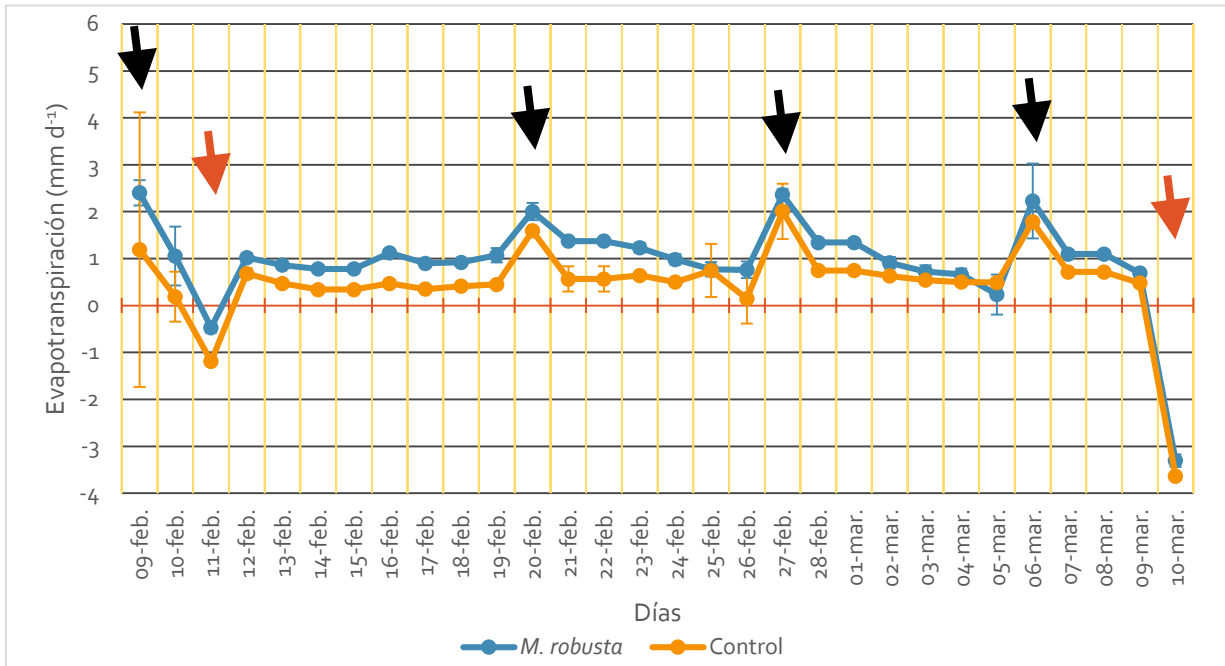


Figura 20. Evapotranspiración ( $\text{mm d}^{-1}$ ) de plantas con metabolismo C4 (*Muhlenbergia robusta*) y evaporación del grupo control (sustrato) con su respectiva desviación estándar, durante el tiempo de estudio (9 de febrero al 10 de marzo). Las flechas negras indican los días que las plantas recibieron riego al inicio de cada semana, y las flechas naranjas indican los días con precipitación.

En las plantas CAM, al inicio de las semanas 2 a la 4, *S. moranense* presentó mayor ET que *S. pachyphyllum* y la mezcla de plantas CAM, mientras que *S. pachyphyllum* presentó menor ET que la mezcla (Fig. 21). Las plantas con metabolismo CAM presentaron mayor similitud con el grupo control al inicio del experimento en la primera semana, y durante las semanas 2 y 3 hubo cierta similitud con las plantas C3 y C4 con mayor pérdida de agua al inicio que al final de cada una.

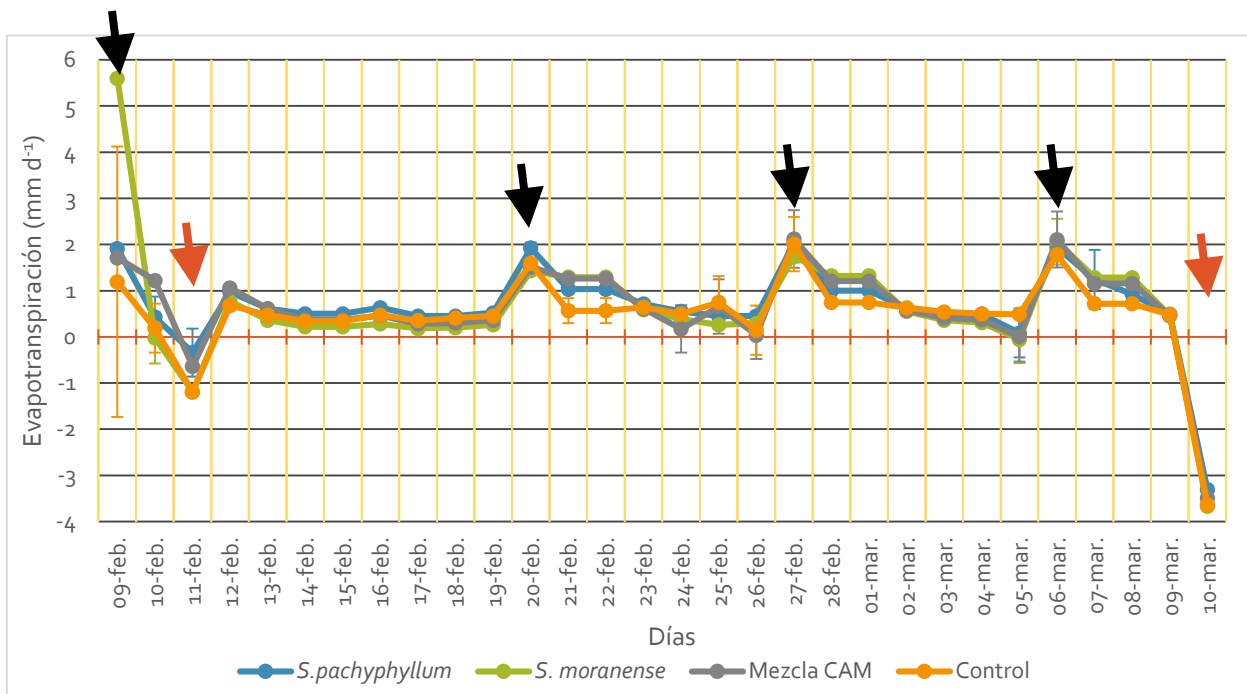


Figura 21. Evapotranspiración ( $\text{mm d}^{-1}$ ) de plantas con metabolismo CAM (*Sedum pachyphyllum* y *Sedum moranense*) plantadas en monocultivo y en mezcla y evaporación del grupo control (sustrato) con su respectiva desviación estándar, durante el tiempo de estudio (9 de febrero al 10 de marzo). Las flechas negras indican los días que las plantas recibieron riego al inicio de cada semana, y las flechas naranjas indican los días con precipitación.

En las cinco especies en monocultivo como en la mezcla CAM se puede observar un aumento de la ET en la primera semana el día 16 de febrero, que coincide con el aumento en la velocidad del viento del mismo día, de ahí, que se podría decir que dicho factor ejerce algún efecto sobre la ET (Fig. 27).

No se encontraron diferencias significativas entre ninguna de las especies, ni entre los monocultivos y las mezclas, o bien, entre los grupos experimentales y el control ( $F=1.5001$ ;  $p=0.1801$ ). Y no se encontraron diferencias significativas entre los resultados por semanas ( $F= 2.4587$ ;  $p=0.06415$ ). Sin embargo, de acuerdo a la

prueba de Tukey sí hubo diferencias entre las semanas 1 y 4 como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de prueba de Tukey comparando las semanas 1 a 4 del experimento, en naranja se encuentra marcada la  $p < 0.05$ .

<i>semanas</i>	1	2	3	4
1		$p= 0.81677$	$p= 0.92869$	$p= 0.03814$
2			$p= 0.99477$	$p= 0.25167$
3				$p= 0.16894$
4				

En la Figura 22 se presenta el promedio semanal de ET de cada especie en las cuatro semanas del experimento, se pueden observar las similitudes que tienen en ET las especies durante la primeras tres semanas, la cual fue menor en todos los casos a la ET de la cuarta semana. En general, el grupo control tuvo menor pérdida de agua por evaporación que los grupos experimentales durante el experimento, mientras que entre las especies, *M. robusta* (C4) presentó mayor ET que el resto de las especies. En la comparación de tipo de plantaciones entre monocultivo y mezcla de las plantas con metabolismo CAM, los resultados de la mezcla varían para cada semana: en la primera semana la Et fue menor que en los monocultivos, en la tercera semana la ET fue mayor que ambos monocultivos, en la segunda semana la ET de la mezcla fue mayor a *S. moranense* y menor a *S. pachyphyllum*, y en la cuarta semana los resultados fueron opuestos a la segunda semana.

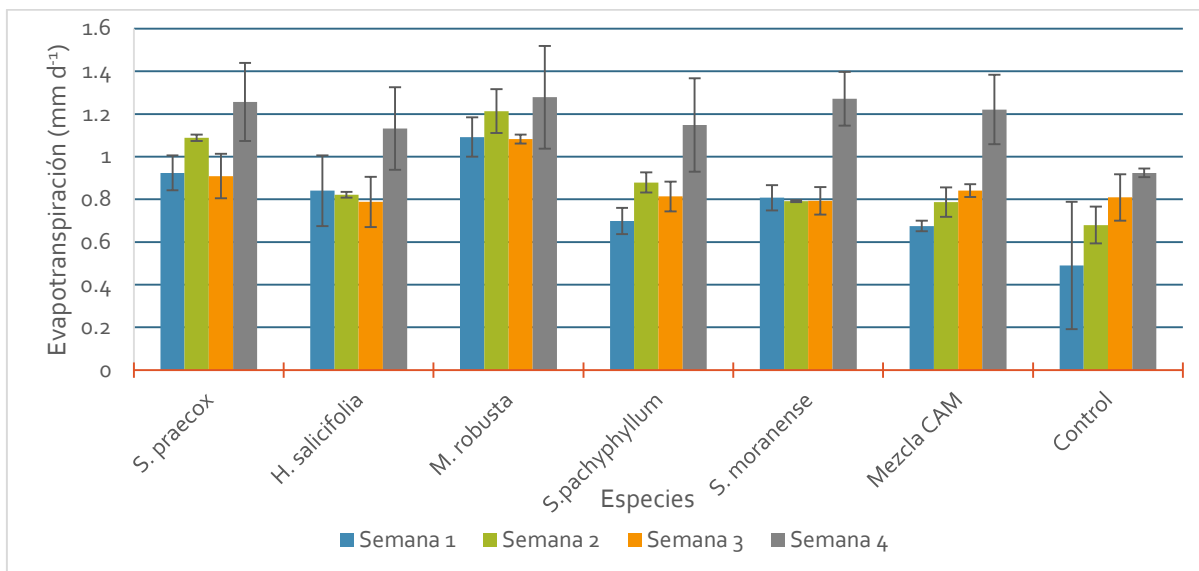


Figura 22. Promedio semanal de evapotranspiración ( $\text{mm d}^{-1}$ ) de cada especie plantada en monocultivo, la mezcla de plantas de metabolismo CAM y en el grupo control, con su respectiva desviación estandar.

#### Conductancia estomática (gs)

Al realizar el análisis global de gs vs especies y periodos, no se registraron diferencias significativas entre especies ( $F = 0.4646$ ;  $p=0.629$ ), aunque si se evidenciaron entre periodos ( $F = 30.996$ ;  $p = 0.0000$ ).

La Figura 23 muestra la gs de *S. praecox* a lo largo del experimento, se observa que en la mayoría de los días (10, 11, 13, 14, 17, 20, 21, 27 y 28 de febrero) se presentan valores más altos ( $157.8 \pm 99.02 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) al medio día (13:30 h), que coinciden con las horas de mayor temperatura ( $20.66 \pm 2.86^\circ\text{C}$ , Fig. 26). Por otra parte, también se presentaron días (16, 19, 23 y 25 de febrero, 2 y 4 de marzo) en los que la gs fue alta por la mañana cuando la temperatura y velocidad del viento fueron bajos ( $10.2 \pm 1.7^\circ\text{C}$ ;  $0.86 \pm 0.29 \text{ m s}^{-1}$ ; Figs. 26 y 27). En general,

se puede decir que se obtuvieron mayores valores de gs en los primeros días del experimento (hasta el 13 de febrero); después solo aumentó los días posteriores a los riegos. En *S. praecox* al inicio de cada semana la evapotranspiración fue mayor a medio día cuando la temperatura era más alta (Fig. 26), mientras que al final de cada semana presentó un comportamiento distinto con mayor evapotranspiración por las mañanas cuando la temperatura y la velocidad del viento fueron menores. Se registraron diferencias significativas ( $F=12.624$ ;  $p=0$ ) entre los periodos excepto entre los de la mañana y medio día de acuerdo con la prueba de Tukey (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados de prueba de Tukey entre periodos del día en *S. praecox*, en anaranjado se indican los valores de  $p < 0.05$ .

Periodos	Mañana	Medio día	Noche
Mañana		$p = 0.342959$	$p = 0.0032$
Medio día			$p = 0.00003$
Noche			

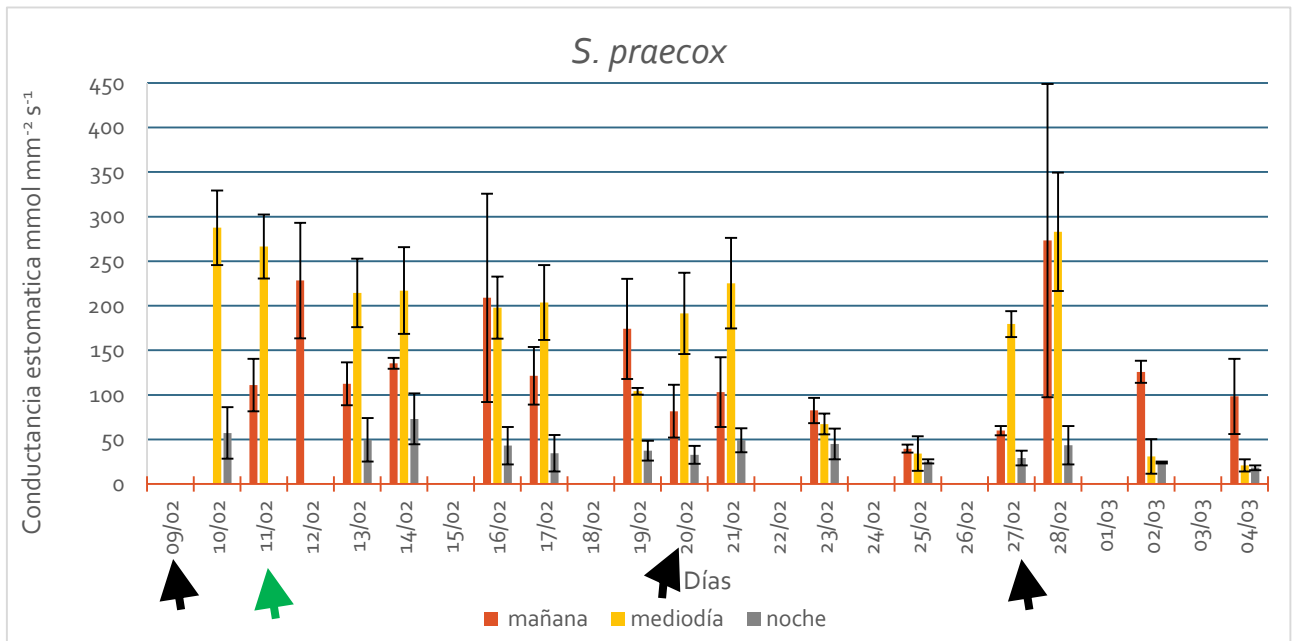


Figura 23. Conductancia estomática ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) de *Senecio praecox* en la mañana (7:00), medio día (13:30) y noche (19:00), durante 24 días (del 9 de febrero al 4 de marzo del 2015). Las flechas negras indican los días con riegos (9, 20 y 27 de febrero) y la verde el día con precipitación (11 de febrero). Los días que no tienen datos no se hicieron mediciones.

En *H. salicifolia* se observa (Fig. 24) que el periodo con mayor gs fue a medio día con velocidad del viento y temperatura altas ( $20.66 \pm 2.86 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $2.02 \pm 0.96 \text{ m s}^{-1}$ ; Figs. 26 y 27), y solo en algunos días (19, 23, 25 de febrero, 2 y 4 de marzo) al final de cada semana, la gs fue mayor por la mañana (7:00 h) cuando la temperatura fue más baja ( $10.2 \pm 1.7 \text{ }^\circ\text{C}$ ), coincidiendo también con las horas con menor velocidad del viento ( $0.86 \pm 0.29 \text{ m s}^{-1}$ ). Se registraron diferencias significativas ( $F=14.195$ ;  $p=0$ ) entre los periodos, excepto en mañana – noche. Tukey (Tabla 5).



Tabla 5. Resultados de prueba de Tukey entre periodos del día en *H. salicifolia*, en anaranjado se indican los valores de  $p < 0.05$ .

Periodos	Mañana	Mediodía	Noche
Mañana		$p = 0.0154350$	$p = 0.0507132$
Mediodía			$p = 0.0000093$
Noche			

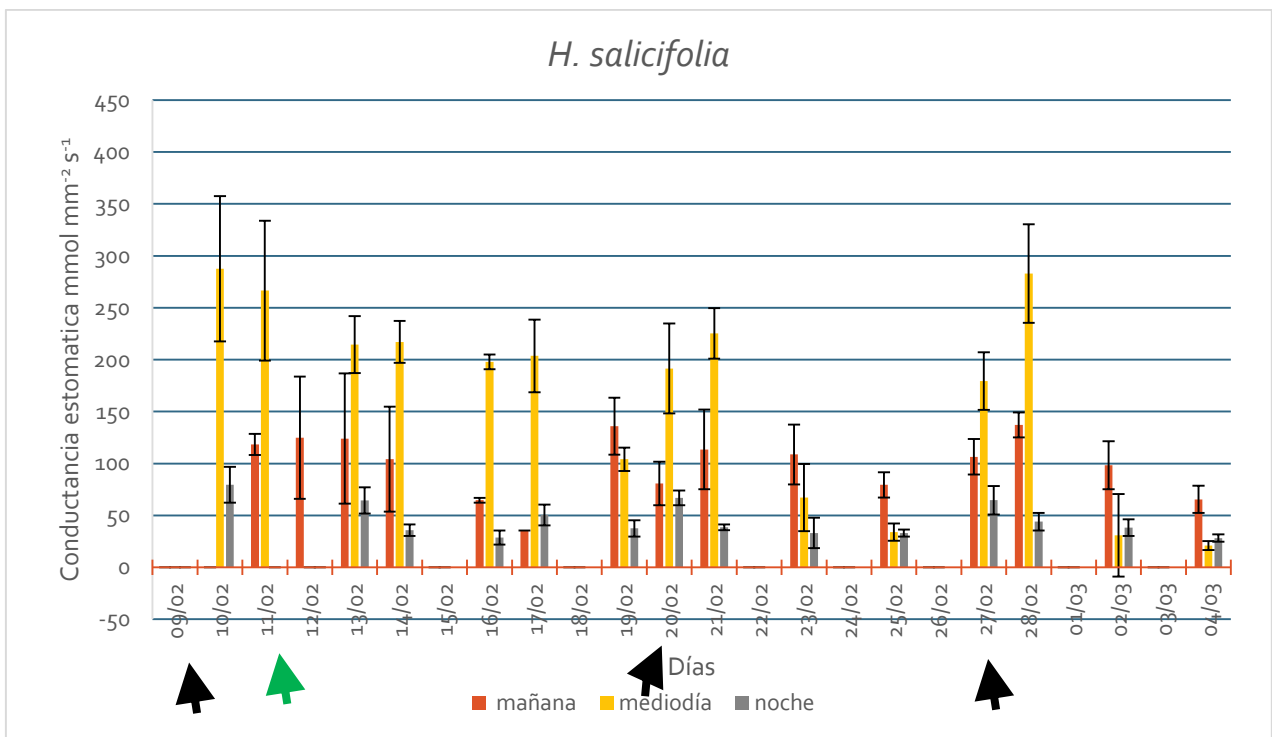


Figura 24. Conductancia estomática ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) en *Heimia salicifolia* a lo largo del tiempo a tres horas distintas del día (mañana: 7:00, medio día: 13:30 y noche 19:00 h) durante 24 días (del 9 de febrero al 4 de marzo del 2015). Las flechas negras indican los días con riegos (9, 20 y 27 de febrero) y la verde el día con precipitación (11 de febrero). Los días que no tienen datos no se hicieron mediciones.

En la Figura 25 se observa el comportamiento de *M. robusta*, el momento con mayor gs ( $149 \pm 29.10 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), y por lo tanto mayor apertura estomática, fue

por la mañana en la mayoría de los días (15 días) cuando la temperatura fue más baja y la velocidad del viento fue también menor ( $10.2 \pm 1.7$  °C;  $0.86 \pm 0.29$  m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>; Figs. 26 y 27. Este comportamiento se mantuvo a lo largo del experimento tanto al principio como el final de cada semana. Presentó una gs máxima de 250 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> y una mínima de 22 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Se registraron diferencias significativas (F=18.386;  $p=0$ ) entre los periodos excepto entre medio día y noche, de acuerdo con prueba de Tukey (Tabla 6).

Tabla 6. Resultados de prueba de Tukey entre periodos del día en *M. robusta*, en anaranjado se indican los valores de  $p < 0.05$ .

Periodos	Mañana	Mediodía	Noche
Mañana		$p = 0.0009$	$p = 0.0000$
Mediodía			$p = 0.10324$
Noche			

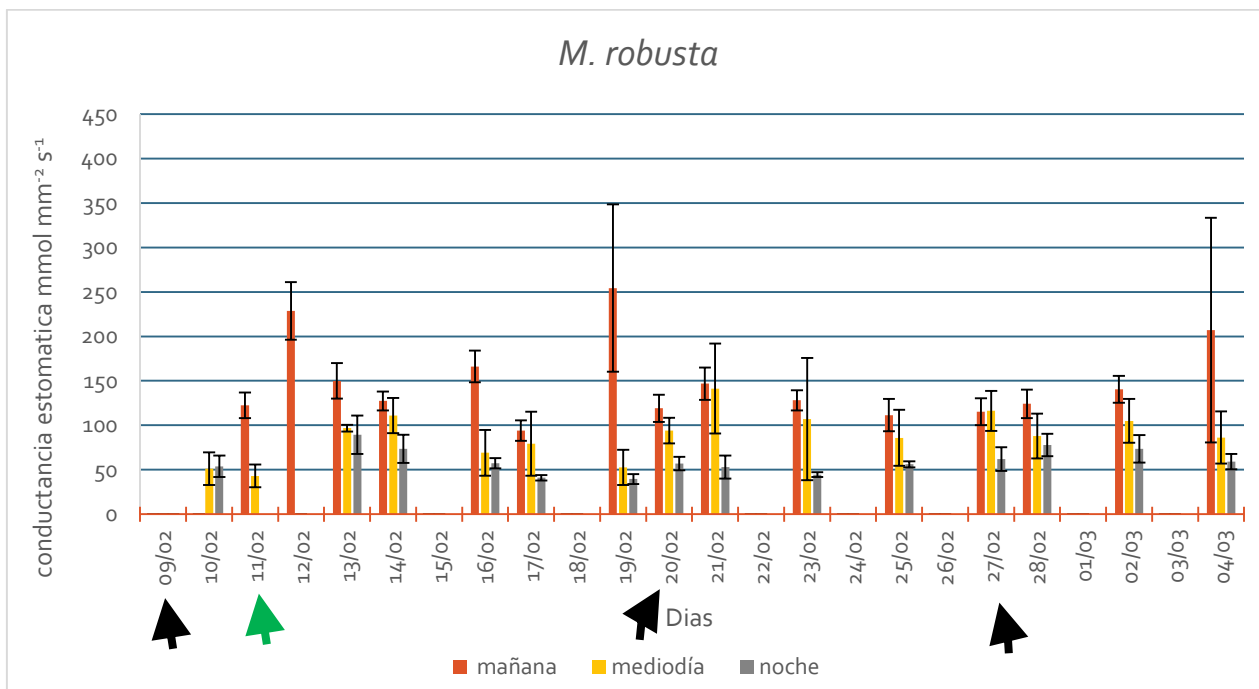


Figura 25. Conductancia estomática ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) de *Muhlenbergia robusta* contra tiempo (días) a tres horas del día (mañana: 7:00, Medio día: 13:30 y noche: 19:00 h) durante 24 días (9 de febrero al 4 de marzo de 2015). Las flechas negras indican los días con riegos (9, 20 y 27 de febrero) y la verde el día con precipitación (11 de febrero). Los días que no tienen datos no se hicieron mediciones.

### Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos de temperatura, velocidad del viento y precipitación se presentan en las Figuras. 26, 27 y 28, en diferentes horas, mañana (7:00 h), medio día (13:30 h) y noche (19:00 h) del 9 de febrero al 11 de marzo del 2015. No se encontraron diferencias significativas de temperatura entre los días del estudio ( $F=0.3985$ ,  $p=0.9964$ ), pero si entre los periodos del día ( $F= 159.99$ ,  $p= 0$ ). De acuerdo a la prueba de Tukey hubo diferencias entre mañana- medio día y mañana- noche (Tabla 7). Las temperaturas más altas se registraron al medio día ( $20.66 \pm 2.8$  °C) y por la noche ( $20.19 \pm 3.01$  °C) que por las mañanas cuando fueron más bajos ( $10.2 \pm 1.7$  °C).

Tabla 7. Resultados de prueba de Tukey de temperatura entre periodos del día, en anaranjado se indican los valores de  $p < 0.05$ .

Periodo	Mañana	Mediodía	Noche
Mañana		$p=0.0000$	$p=0.0000$
Mediodía			$p= 0.7580$
Noche			

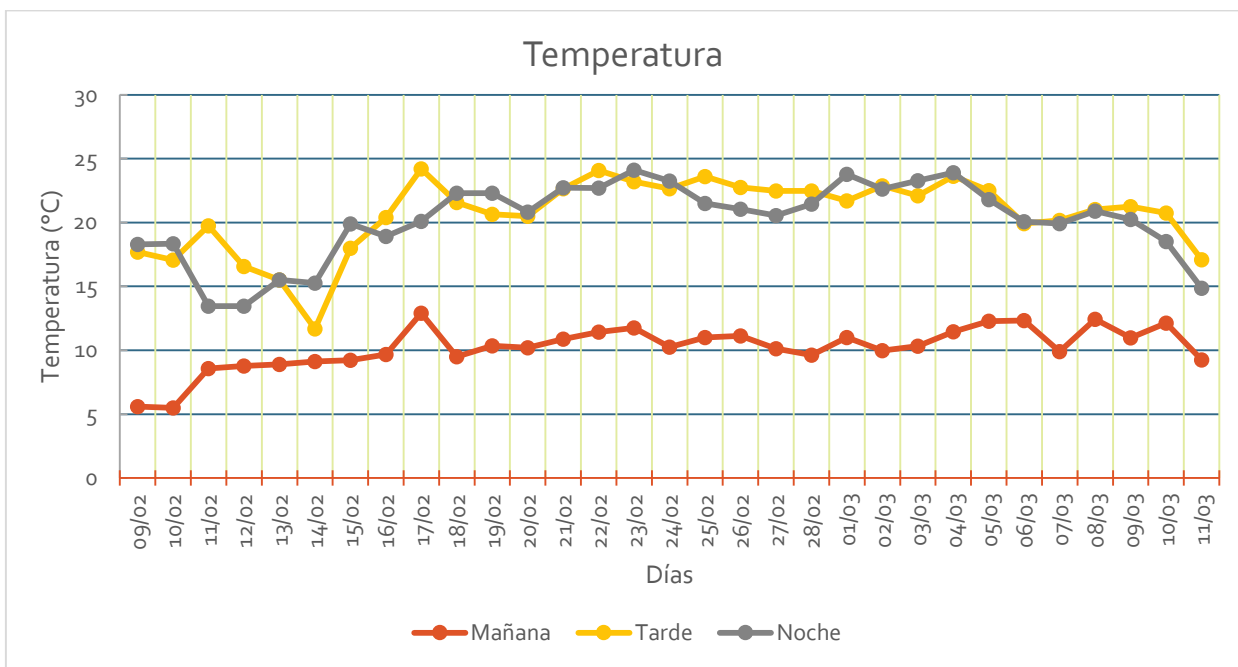


Figura 26. Temperatura (°C) diaria obtenida en tres momentos en el día: mañana (7:00 h), medio día (13:30 h) y noche (19:00 h). durante un mes (del 9 de febrero al 11 de marzo de 2015). Datos obtenidos de la página RUOA.

No se encontraron diferencias significativas en la velocidad del viento entre los días en que se realizó el estudio ( $F = 0.6654$ ,  $p = 0.8884$ ), pero si entre los periodos del día ( $F = 39.262$ ,  $p = 0$ ). En la mayoría de los días la velocidad del viento fue más

alta por las noches ( $2.75 \pm 1.06 \text{ m s}^{-1}$ ) que a medio día ( $2.02 \pm 0.96 \text{ m s}^{-1}$ ) y por la mañana, así como por la mañana ( $0.86 \pm 0.29 \text{ m s}^{-1}$ ) se registraron los valores más bajos en la mayoría de los días.

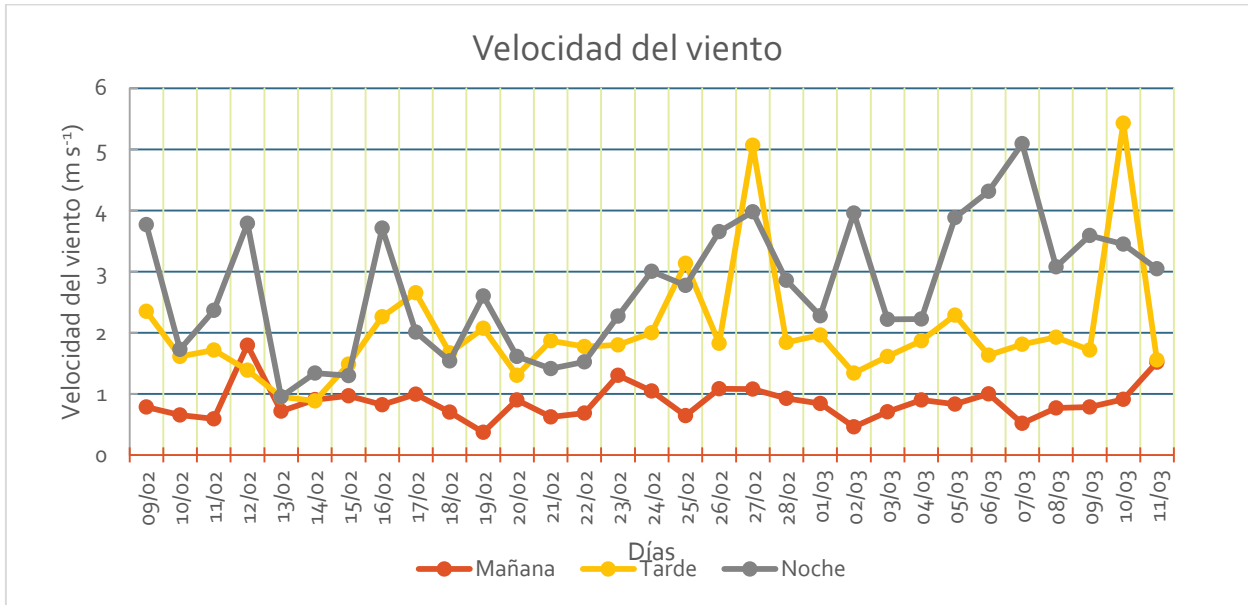


Figura 27. Velocidad del viento ( $\text{m s}^{-1}$ ) en tres momentos del día: mañana (7:00 h), medio día (13:30 h) y noche (19:00 h). durante un mes (del 9 de febrero al 11 de marzo de 2015). Datos obtenidos de la página RUOA.

Se registró precipitación en cuatro días, 11 de febrero (0.2 mm), 12 de febrero (4.2 mm), 10 de marzo (23 mm) y 11 de marzo (18.2 mm), como se muestra en la Figura 28.

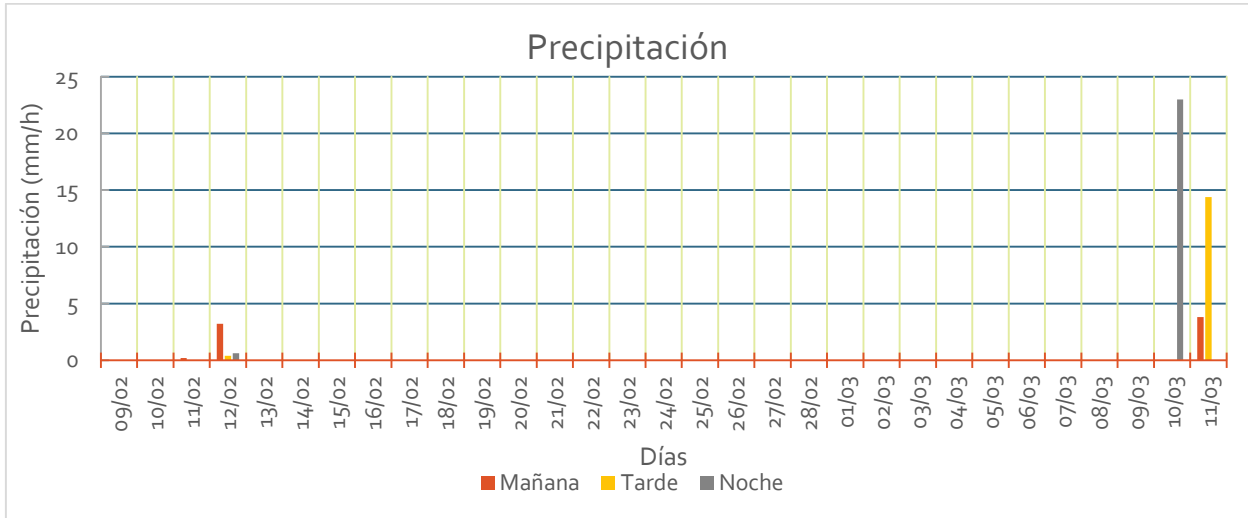


Figura 28. Precipitación (mm) de tres momentos en el día: mañana (7:00 h), medio día (13:30 h) y noche (19:00 h). durante un mes (del 9 de febrero al 11 de marzo de 2015). Datos obtenidos de la pagina de la RUOA.

### Cobertura

Las plantas CAM presentaron una cobertura de  $100\% \pm 0.0$ , mientras que *S. praecox* (C3) presentó la menor cobertura ( $37.5\% \pm 15.32$ ) (Fig. 29).

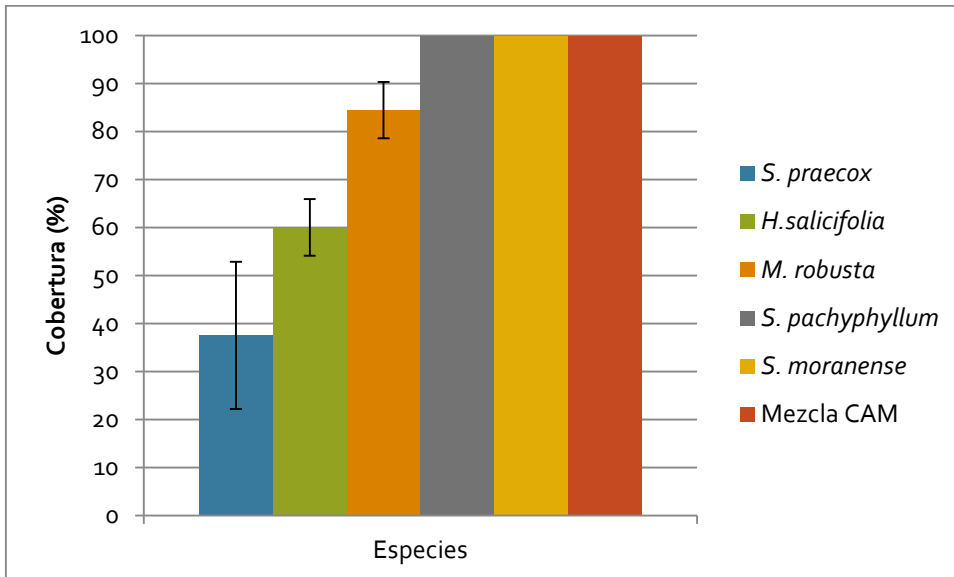


Figura 29. Promedio y desviación estándar del porcentaje de cobertura de las 5 especies de estudio en monocultivo y Mezcla de plantas CAM.

Se registraron diferencias significativas entre especies ( $F= 44.852$ ,  $p=0$ ). La prueba de Tukey indicó diferencias entre todos los grupos, excepto entre *M. robusta* y los grupos con metabolismo CAM, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados de prueba de Tukey entre especies en monocultivo y la mezcla de CAM, en anaranjado se marcan las  $p < 0.05$ .

Especies	<i>S. praecox</i>	<i>H. salicifolia</i>	<i>M. robusta</i>	<i>S. pachyphyllum</i>	<i>S. moranense</i>	Mezcla CAM
<i>S. praecox</i>		$p= 0.0181045$	$p= 0.0000438$	$p= 0.0000026$	$p= 0.0000026$	$p= 0.0000026$
<i>H. salicifolia</i>			$p= 0.0046488$	$p= 0.0000693$	$p= 0.0000693$	$p= 0.0000693$
<i>M. robusta</i>				$p= 0.0787578$	$p= 0.0787578$	$p= 0.0787578$
<i>S. pachyphyllum</i>					$p=1$	$p=1$
<i>S. moranense</i>						$p=1$
Mezcla CAM						

En las plantas C3 se observó que en *S. praecox*, con una cobertura de  $37.5 \pm 15.32$  % tuvo una ET de  $1.044 \pm 0.1629$  mm d<sup>-1</sup>, y en *H. salicifolia* con una cobertura de  $60 \pm 5.89$ % tuvo una ET de  $0.8952 \pm 0.1591$  mm d<sup>-1</sup>. Esto indica que a menor cobertura mayor ET. En la C4, *M. robusta*, la cobertura fue de  $84.44 \pm 5.89$ % y la ET de  $1.1664 \pm 0.0954$  mm d<sup>-1</sup>. Comparándola con las C3, tuvo mayor ET con una mayor cobertura, lo que puede estar relacionado con la mayor eficiencia en el uso del agua que las C3, y que por ello puedan evapotranspirar

más. En las CAM, contrario a lo esperado, hay una tasa alta de ET con una cobertura del 100%, tanto en las especies por separado como en la mezcla. En orden descendente *S. moranense* tuvo una ET de  $0.9157 \pm 0.2368$  mm d<sup>-1</sup>, en *S. pachyphyllum* de  $0.8845 \pm 0.1909$  mm d<sup>-1</sup>, y en la mezcla fue de  $0.881 \pm 0.2367$  mm d<sup>-1</sup>.



## Discusión

En el presente estudio se identificaron las principales características asociadas a la pérdida de agua por plantas con diferente metabolismo fotosintético con la finalidad de determinar cuáles aportan mayor humedad al ambiente en condiciones de naturación.

En el presente estudio la ET tuvo un mismo patrón general de comportamiento en el tiempo en todas las especies, con mayores valores el día posterior a cada riego. Contrario a lo que describen Taiz y Zeiger (2010) y Nagase y Dunnett (2012), no se encontraron diferencias significativas en ET entre las plantas con distinto metabolismo fotosintético. Voyde *et al.* (2010), observaron en plantas CAM (*Disphyma australe* y *Sedum mexicanum*) que la ET era constante y muy similar los días en que las plantas no se encontraban en condiciones de estrés hídrico, mientras que con éste había cambios en la ET, *S. mexicanum* limitaba en mayor proporción y velocidad la ET que en *D. australe*. Por lo tanto, es importante encontrar un balance en cuanto a riego para evitar el estrés en las plantas, pero que a su vez no afecte la capacidad de retención de agua durante los eventos de lluvia.

La ET varió entre semanas, lo cual podría deberse a los riegos escasos que generaron cambios en el contenido de agua en el sustrato, o bien cambios en las concentraciones de CO<sub>2</sub> ambiental, como indican Parra *et al.* (1999), Salamanca (2010) y Zeppel *et al.* (2012), respecto a que en condiciones de déficit hídrico y con altas concentraciones de CO<sub>2</sub> ambiental se veía afectada la actividad estomática disminuyendo la ET; Pérez *et al.* (2008) evaluaron la transpiración y la conductividad estomática en plantas de chile habanero en diferentes condiciones

de riego con respecto a la ET de referencia ( $ET_0$ ) y su efecto en la longitud, rendimiento y la eficiencia del uso del agua. Se encontró que hubo mejor respuesta en las plantas cuando el riego era al 80% de la  $ET_0$  incluso en comparación con grupos experimentales a los que se les aplicó mayor cantidad de agua, esto lo atribuyen a falta de espacio poroso y, como consecuencia, a una inactividad radicular; y en los casos donde se aplicó menos agua podría deberse a la inversión de energía para vencer la tensión de humedad del sustrato y sales, que afecta negativamente el crecimiento y el rendimiento. En el presente estudio el suelo tenía buena aeración, por lo que no hubo daño a las raíces. Sin embargo, no se midió el potencial hídrico ni la concentración de  $CO_2$ . Por otro lado, no se encontraron cambios en la temperatura y velocidad del viento entre cada día durante el experimento, que influyeron en la ET, a mayor temperatura más ET, y a menor velocidad del viento menor ET.

En la comparación entre los tipos de cultivos (monocultivo y mezcla) que se realizaron en plantas CAM, no se encontraron diferencias significativas, es decir, la ET en ambos tipos de cultivo fue similar, como lo reportan Lundholm *et al.* (2010), quienes encontraron que en ciertas combinaciones de plantas la ET disminuye debido a que las plantas invierten esfuerzo en competir por recursos (agua, luz, nutrientes), por lo tanto es posible que en el presente estudio no hubo competencia entre las plantas, o se presentó en escala muy baja y no alteró sustancialmente la ET. También podría deberse a la selección de las especies, por tratarse de dos especies de mismo género, es posible que compartan características fisiológicas.

Aunque no hubo diferencias significativas de la ET entre especies y mezcla, pudo observarse que respecto a la cobertura alcanzada si hay una relación negativa, ya que a menor cobertura mayor ET, más evidente en las plantas C3. La especie C4 tuvo la mayor ET, y en las CAM los valores son menores que en las anteriores.

Lundholm *et al.* (2010) experimentaron con 15 especies de plantas de diferente tipo de crecimiento: pastos, arbustivas, herbáceas y suculentas en forma de monocultivos y mezclas para comparar los servicios que brindan al ser instaladas en una azotea verde, sin embargo no encontraron una relación directa en evapotranspiración con respecto a los cambios en la temperatura de la azotea, y solo algunas especies mejoraron la capacidad de retención del agua en comparación con el grupo control (sustrato), las mezclas con mayor pérdida de agua se componían de plantas de las tres formas de vida (pasto, herbáceas y suculentas). Por lo tanto al realizar mezclas de diferentes plantas se debe considerar la finalidad por la que se está estableciendo, ya que si se espera favorecer la ET, es prioritario incluir en mayor proporción especies de pastos y herbáceas con los metabolismos C3 y C4; aunque no se cubra por completo la superficie.

En los resultados obtenidos en el presente estudio no se encontraron diferencias significativas en ET ni en gs, por lo tanto, la cantidad de agua liberada a la atmósfera en forma de vapor es similar entre especies, lo cual coincide con Salisbury y Ross (1994), quienes consideran que la conductividad estomática es directamente proporcional a la transpiración.

Las muestras de conductancia estomática del presente estudio se tomaron de diferentes zonas en los casos de *S. praecox* y *M. robusta*, mientras que en *H.*

*salicifolia* se abarcó un área mayor de la hoja por el tamaño del sensor, aunque no se encontraron diferencias dentro de los individuos, en cada especie, incluso entre especies. En este aspecto no coincide con lo que indican Miranda *et al.* (2013), en el sentido de que existe una heterogeneidad en la concentración y actividad estomática dentro de la misma hoja, indican que la gs está controlada por variables como la altura de inserción de hoja en la planta y la proximidad de los estomas a la venación en la hoja, es decir, se presentan de forma heterogénea formando parches de estomas en la misma hoja. Entonces es posible que el tamaño de la muestra no fuese suficiente para ver estos cambios, o bien, que la manera en que se tomaron las muestras no fuera la ideal para hacer las respectivas comparaciones.

Se encontraron cambios en gs a distintas horas del día, siendo en *M. robusta* (C4) más alta por las mañanas antes del amanecer con temperatura y velocidad del viento más baja, mientras que en las C3 la mayoría de los días la gs fue mayor a medio día con temperaturas y velocidades del viento altas. Esto coincide con el estudio de Zeppel *et al.* (2012), quienes describen mayor gs a lo largo del día cuando la temperatura es alta y la velocidad del viento es baja. Entonces se podría atribuir a la temperatura y velocidad del viento los cambios en la gs durante el día, y considerarlos como factores importantes para la estimación de ET (Allen *et al.*, 1998). Salamanca (2010) hizo comparaciones de plantas en monocultivo y mezcla en relación a la respuesta a condiciones de sequía y concentraciones de CO<sub>2</sub> en cuatro especies de las familias Poaceae (2) y Fabaceae (2) (C3). Con riego adecuado y elevado CO<sub>2</sub> aumentó la asimilación de carbono, pero en condiciones de sequía disminuyó la conductancia y la fotosíntesis con CO<sub>2</sub> ambiental, mientras

que a elevado CO<sub>2</sub> la conductancia y la transpiración instantánea fue menor. En la comparación de monocultivo y mezcla bajo sequía y elevado CO<sub>2</sub> presentaron mayor asimilación las que se encontraban en monocultivo, y hubo descenso en la fotosíntesis debido posiblemente a la competencia. Zeppel *et al.* (2012) indican que los ambientes secos y las condiciones de baja disponibilidad de agua alteran la actividad estomática de las plantas, así como también se ven alteradas por las condiciones de altas temperaturas y concentraciones de CO<sub>2</sub>. Encontraron diferencias de hasta el 34% en la conductancia diurna en comparación con la nocturna, siendo esta menor. Parra *et al.* (1999), en el estudio de los efectos del déficit hídrico en zarzamora (*Rubus spp*), encontraron que dicha condición ocasiona disminución de la transpiración en las plantas así como el aumento de la gs. Aspiazu *et al.* (2010), indican que hay varios factores que influyen en la apertura y cierre de estomas tales como la radiación solar, concentración de CO<sub>2</sub> humedad relativa, potencial hídrico, y en menor proporción el viento, sustancias de crecimiento y ritmos endógenos de cada especie. En conclusión, serían más relevantes en la ET y gs los factores ambientales que las características intrínsecas de cada especie como el metabolismo fotosintético, o incluso la cobertura ya que no se encontró una relación directa con la ET o gs.

Respecto a la selección de especies, aunque se eligieron plantas endémicas como es el caso de *S. praecox*, se presentaron problemas, ya que la temporada de secas coincide con la floración y pierden las hojas (Rzedowsky y Rzedowsky, 2010), y la ET es casi nula. Algo similar sucedió con *H. salicifolia* y *M. robusta*, las cuales pierden parte del follaje debido al agua escasa. Mientras que *P. clandestinum*, a pesar de ser de amplia distribución requiere de riego constante

para su establecimiento, por lo tanto no es una opción viable para azoteas verdes intensivas u otro tipo de naturación en dicha temporada. En las azoteas verdes extensivas se recomienda el uso de plantas suculentas que soporten condiciones de baja disponibilidad de agua (Monterroso *et al.*, 2005), y en efecto, las especies de *Sedum* permanecieron con mejores condiciones que el resto de las plantas durante el experimento. Entonces se puede afirmar que la temporada también tiene un impacto en el establecimiento, condiciones y por lo mismo en el intercambio gaseoso. Y en caso se emplearse estas en una naturación durante la temporada de secas es recomendable implementar riego periódico.

## Conclusiones

- No se encontraron diferencias significativas en la evapotranspiración ni en conductancia estomática entre especies.
- No se encontraron diferencias significativas en la evapotranspiración ni conductancia estomática entre monocultivo y mezcla en las especies CAM.
- Se encontró una relación inversa entre la cobertura y la evapotranspiración.
- Por su mayor velocidad de cobertura se recomienda a las plantas CAM para la naturación, aunque tengan menor evapotranspiración y conductancia estomática que las otras especies.
- *M. robusta* es la especie que presentó mayor ET, por lo tanto favorece el aporte de humedad en la atmósfera.
- El presente estudio resalta la importancia que tienen los factores ambientales como temperatura, velocidad del viento y riego en la estimación de la evapotranspiración y conductancia estomática, por lo que se debe dar mayor peso a estos en el desarrollo de modelos, que características de las plantas como tipo de metabolismo o cobertura.
- Con los resultados obtenidos en conductancia estomática también se puede optimizar el riego en cuanto a la cantidad y la frecuencia, para que la transpiración en las plantas al ambiente no sea igual o menor al aporte de humedad del sustrato.

## Recomendaciones

- Realizar el experimento en diferentes temporadas del año, el presente estudio se realizó en temporada seca, por lo tanto se complementarían la investigación al realizarlo en época de lluvias.
- Debido a las observaciones realizadas con respecto a la sobrevivencia de *P. clandestinum* en las condiciones de una azotea verde en temporada de secas se sugiere reemplazarla por alguna otra especie con diferentes características, o bien, adaptar las condiciones de riego.
- Para poder realizar las comparaciones de conductancia estomática entre plantas C3, C4 y CAM, se sugiere utilizar otra especie del género *Sedum* con las hojas aplanadas como *S. dendroideum*.



## Bibliografía

- Akbari H. y Konopacki, S. 2005. Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies. *Energy Policy*, 33(6), 721-756.
- Allen R. G., L. S. Pereira, D. Raes y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- Arellano-Leyva. E. A. 2012. Capacidad de retención de hidrocarburos aromáticos policíclicos y metales pesados en una azotea verde extensiva. Tesis de licenciatura (Bióloga), Facultad de Ciencias Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 71 pp.
- Arellano-Leyva E. A., M. Hernández-Quiróz, R. G. Huerta-Guzmán y M. Collazo-Ortega. 2016. Extensive Green Roofs as a Means to Capture Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Polycyclic Aromatic Compounds: 13 (29)*: 1-12.
- Aspiazu I., T. Sedyama, J. I. Ribeiro JR., A. A. Silva, G. Concenco, L. Galón, E. A. Ferreira, A. F. Silva, E. T. Borges y W. F. Araujo. 2010. Eficiencia fotosintética y el uso del agua por malezas. *Planta Daninha, Viçosa-MG* 28 (1): 87-92.
- Barradas M.V. En Márquez G. J., M. Collazo-Ortega, M. Martínez, A. Orozco y S. Vázquez. (Eds). 2013. Tema VII. Relaciones hídricas: capítulo III: absorción y ascenso de agua. Biología de angiospermas. Ed. Las prensas de ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 241-260.
- Bates A. J., J. P. Sadler y R. Mackay. 2013. Vegetation development over four years on two green roofs in the UK. *Urban Forestry & Urban Greening* 12: 98–108.

- Berardi U., A. GhaffarianHoseini y A. GhaffarianHoseini. 2014. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied Energy* 115: 411–428.
- Berndtsson C. J. 2010. Green roof performance towards management of runoff weater quantity and quality: a review. *Ecological Engineering* 36: 351-360.
- Carter T. y C. R. Jackson. 2007. Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales. *Landscape and Urban Planning* 80: 84-94.
- Centro de Ciencias de la Atmósfera: Meteorología 2010. Datos históricos. Página en red. <http://grupo-ioa.atmosfera.unam.mx>. Consultada 18 marzo 2015.
- Chen J., J. Li y B. Adams. 2009. Characterization of Urban Green Roofs' Stormwater Runoff. Eds. James, Irvine, McBean, Pitt y Wright. CHI. Monografía 17.
- Cook-Patton S. C. y T. L. Bauerle. 2012. Review: Potential benefits of plant diversity on vegetated roofs: A literature review. *Journal of Environmental Management* 106: 85-92.
- Diario Oficial de la Federación. 2008. Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007, que establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación. Gaceta Oficial del Distrito Federal. 24 de diciembre de 2008. No. 491.
- Dimoundi A. y M. Nikolopoulou. 2003. Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings* 35:69-76.
- Dobos E. 2003. Albedo. Encyclopedia of soil science Miskolc-Egyetemváros, Hungary. p: 1-3.

- Doorenbos J. y W.O Pruitt. 1977. Guidelines for predicting: Crop water requirements. Food and Agricultural Organization of the United Nation. Roma.
- Dunnett N., A. Nagase, R. Booth y P. Grime. 2008. Influence of vegetation composition on runoff in two simulated green roof experiments. *Urban Ecosyst* 11:385–398.
- Durhman A. K. y B. Rowe. 2007. Effect of Substrate Depth on Initial Growth, Coverage, and Survival of 25 Succulent Green Roof Plant Taxa. *Hortscience* 42(3): 588–595.
- Esmeral V. Y. R., C. A. Gonzalez y V. J. Flores R. 2011. Evapotranspiración en plantas de rosa cv. Charlotte en condiciones de invernadero en la Sabana de Bogotá. En: Flórez R., V.J. (Ed.). Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia: 109-126.
- Farrell C., R.E. Mitchell, C. Szota, J.P. Rayner y N.S.G. Williams. 2012. Green roofs for hot and dry climates: Interacting effects of plant water use, succulence and substrate. *Ecological Engineering* 49: 270– 276.
- Graham A. S. 1991. Flora de Veracruz: Lythraceae. Instituto de Ecología, Universidad de California-Riverside. Xalapa (Veracruz). Fascículo 66.
- Gernot M. 2001. Techos verdes: planificación, ejecución, consejos prácticos. Ed. Fin de Siglo. Uruguay: 9-10.
- Getter K. L. y Bradley Rowe. 2006. The role of extensive green roofs in Sustainable Development. *Hort Science* 41(5): 1276-1285.
- Getter K. L., D. B. Rowe, G. P. Robertson, B. M. Cregg y J. A. Andresen 2009. Carbon sequestration potential of extensive green roofs. *Environmental science & technology*. 43(19): 7564-7570.

- Herrera A. Y. 2001. Las gramíneas de Durango. Ed. Filo de Agua. CONABIO: 83.
- Hopkins W. G. y N. P. A. Hüner. 2004. Introduction to plant physiology. 3a ed. Ed. John Wiley & Sons, Inc. E.U.A.: 112-120.
- Imhoff M. L., P. Zhang, R. E. Wolfe. y L. Bounoua. 2010. Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote Sensing of Environment* 114(3): 504-513.
- Lambers H., F. S. Chapin III y T. Pons. 1998. Plant physiological Ecology. Springer-Verlag. New York: 154-160.
- Lazzarin R. M., F. Castelloti y F. Busato. 2005. Experimental measurements and numerical modeling of a green roof. *Energy Build.* 37: 1260–1267.
- Leal-Rueda L. A. 2015. Capacidad de captación de metales pesados por plantas utilizadas en azoteas verdes. Tesis de licenciatura (Bióloga), Facultad de Ciencias Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F
- Li J. 2008. Modeling the Stormwater Benefits of Green Roofs in the City of Toronto. Eds. James, Irvine, McBean, Pitt y Wright, CHI. Monografía 16.
- Lundholm J., J. S. MacIvor, Z. McDougall y M. Ranalli. 2010. Plant Species and functional group Combinations affect green roof. *Ecosystem Functions* 5 (3): 1- 11.
- Marek T., G. Piccinni, A. Schneider, T. Howell, M. Jett y D. Dusek. 2006. Weighing lysimeters for the determination of crop water requirements and crop coefficients. *Applied Engineering in Agriculture. American Society of Agricultural and Biological Engineers.* 22(6): 851-856.

- Mentens J., D. Raes y M. Hermy. 2006. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning* 77: 217–226.
- Miranda T., M. Ebner, C. Traiser y A. Roth-Nebelsick. 2013. Diurnal pattern of stomatal conductance in the large-leaved temperate liana *Aristolochia macrophylla* depends on spatial position within the leaf lamina. *Annals of Botany* 111: 905–915.
- Nagase A. y N. Dunnett. 2010. Drought tolerance in different vegetation types for extensive green roofs: Effects of watering and diversity. *Landscape and Urban Planning* 97: 318–327.
- Nagase A. y N. Dunnett. 2012. Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effects of plant species, diversity and plant structure. *Landscape and Urban Planning* 104: 356-363.
- Oberndorfer E., J. Lundholm, B. Bass, R. R. Coffman, H. Doshi, N. Dunnett, S. Gaffin, M. Köhler, K. K. Y. Liu y B. Rowe. 2007. Green roofs as urban ecosystems: ecological, structures, functions, and services. *Bio Science*. 57 (10): 823-833.
- Ochoa de la Torre J. M. 1999. La vegetación como instrumento para el control microclimático. Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.
- Olmedilla A. A., J. D. Alché R. y M. I. Rodríguez G. 2007. Identificación histológica y ultraestructural de plantas C4 y CAM. *Photosynthetica* 13 (1), 45–82.
- Omura S., M. Matsumoto y S. Hokoi. 2001. Study on evaporative cooling effect of roof lawn gardens. *Energy and Buildings* 33: 653-666.

- Organización de las Naciones Unidas. 2015. World Urbanization Prospects: the 2014 Revision. Department of Social and Economics Affairs. Population Division, Nueva York.
- Ortega D. E. y M. Collazo-Ortega. 2013. Tema IX. Capitulo III: Absorción y Ascenso del agua. En Márquez G. J., M. Collazo-Ortega, M. Martínez, A. Orozco y S. Vázquez. (Eds). Biología de angiospermas. Ed. Las prensas de ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 317-325
- Parra Q. R. A., J. L. Rodriguez O. y V. A. Gonzalez H. 1999. Transpiración, potencial hídrico y Prolina en zarzamora bajo déficit hídrico. Especialidades de fruticultura y genética. *Terra* 17 (2): 125-130.
- Procuraduría. de Ordenamiento Territorial (PAOT). 2010. Presente y futuro de las áreas verdes y del arbolado de la Ciudad de México. Gobierno del Distrito Federal. México, DF, México.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 1996. Urban agriculture: food, jobs and sustainable cities. Publicación para Habitat II, Nueva York, EE.UU: 1.
- Rodés G. R., M. Collazo-Ortega. 2013. Tema IX. Capitulo II: Metabolismo del carbono. En Márquez G. J., M. Collazo-Ortega, M. Martínez, A. Orozco y S. Vázquez. (Eds). Biología de angiospermas. Ed. Las Prensas de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México: 317-325.
- Rzedowsky G. C. y J. Rzedowsky, 2010. Flora Fanerogama del Valle de México: *Senecio*, *Sedum*, *Heimia* CONABIO. Instituto de Ecología. 944-945, 474- 476, 223.
- Salamanca A. P. R. 2010. Respuesta fotosintética de las especies pasícolas crecidas en monocultivo y cultivo mixto a la interacción de la concentración de CO<sub>2</sub> y la sequía. Facultad de Ingeniería UNIMINUTO Inventum 9: 20-30.

- Salisbury F. B. y C. W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Editorial. Iberoamérica. México, D. F.
- Scholz-Barth K. 2001. Green Roofs: Stormwater Management From the Top Down. Source: Environmental Design & Construction, *Feature*: 1-10
- Sorensen M, V. Barzetti, K. Keipi y J. Williams. 1998. *Manejo de las áreas verdes urbanas: documento de buenas prácticas*. Banco Interamericano de Desarrollo. Washington, D.C. 109: 81pp.
- Susca T., S. R. Gaffin y G. R. Del'Osso. 2011. Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution* 159: 2119-2126.
- Taiz L. y E. Zeiger. 2010. Plant Physiology. 5a ed. Ed. Sinauer Associates, Inc., publishers. Sunderland, Massachusetts. 782 pp
- Teemusk A. y U. Mander. 2007. Rainwater runoff quantity and quality performance from a green roof: The effects of short-term events. *Ecological engineering* 30: 271–277.
- Tejela J. J., D. Navas y H. Machín. 2013. Restauración y rehabilitación: rehabilitación, mantenimiento y restauración de cubiertas. Tornapunta Ediciones, S. L. U., Fundación Laboral de la Construcción, España: 31 pp.
- Urbano-López de Meneses B. 2013. Naturación urbana, un desafío a la urbanización. Revista Chapingo. *Serie ciencias forestales y del ambiente* 19 (2): 225-235.
- VanWoert N.D., D.B. Rowe, J.A. Andresen, C.L. Rugh y L. Xiao. 2005. Watering regime and green roof substrate design affect *Sedum* plant growth. *Hort Science* 40 (3): 659–664.
- Villaman P. R., L. Tijerina C., A. Quevedo N. y G. Crespo P. 2001. Comparación de algunos métodos micrometeorológicos para estimar la evapotranspiración, en el área de Montecillo, México. *Terra* 19 (3): 281-291.

- Voyde E., E. Fassman., R. Simcock y J. Wells. 2010. Quantifying Evapotranspiration Rates for New Zealand Green Roofs. *J. Hydrol. Eng.* 15:395-403.
- Whittinghill L. J., D. B., Rowe, J. A. Andresen y B. M. Cregg. 2014. Comparison of stormwater runoff from sedum, native prairie, and vegetable producing green roofs. *Urban Ecosyst.* 1-17.
- Wolf D. y J.T. Lundholm. 2008. Water uptake in green roof microcosms: effects of plant species and water availability. *Ecol. Eng.* 33: 179–186.
- Yang J., Q. Yu. Y P. Gong. 2008. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmos. Environ.* 42: 7266–7273.
- Zeppel M. J. B, J. D. Lewis, B. Chaszar, R. A. Smith, B. E. Medlyn, T. E. Huxman y D. T. Tissue. 2012. Nocturnal stomatal conductance responses to rising [CO<sub>2</sub>], temperature an Drought. *New Phytologist* 193: 929–938.



## Fichas técnicas

- Hidromaceta: <http://mejoratuplaneta.com/residencial/>
- Porómetro: [http://www.alfil-sa.com/decagon\\_leaf\\_porometer.php](http://www.alfil-sa.com/decagon_leaf_porometer.php)  
<http://www.decagon.com/education/sc-1-leaf-porometer-manual/>

## ANEXO 1.

Características de los tipos de Azoteas Verdes (Oberndorfer *et al.*, 2007; Li, 2008; Berardi *et al.*, 2014).

Característica	Azotea extensiva (AVE)	Azotea intensiva (AVI)
Propósito	Control del agua de lluvia, función térmica, a prueba de fuego, función ecológica.	Función ecológica y estética, aumento del tiempo de vida del techo.
Requerimientos estructurales	Requiere soporte de 70 a 170 kg m <sup>-2</sup> . La superficie puede contar con una inclinación de hasta 45°	Requiere soporte adicional de 290-970 kg m <sup>-2</sup> ; Techos con poca inclinación (menor a 10°) o planos.
Tipo de sustrato	Alta porosidad, bajo peso.	Ligero a pesado, de alta porosidad.
Profundidad del sustrato	Profundidad 2-20 cm.	Mínimo 20 cm.
Tipo de plantas	Comunidades de crecimiento bajo (sin crecimiento secundario), plantas seleccionadas por sus cualidades de tolerancia a la sequía. Baja diversidad con helechos pastos, hierbas y crasuláceas.	Sin más limitaciones que las impuestas por el clima, la alta exposición a la radiación e irrigación permite el uso de especies arbustivas y arbóreas de hasta 2 m de tipo perene, leñosas o con superficies de césped. Alta diversidad.
Riego	La mayoría requiere poco o nada de irrigación	Frecuentemente requiere irrigación.
Mantenimiento	Poco o nulo mantenimiento; deshierbe y similares, siega a nivel de sustrato. No requiere cuidados especiales	Mantenimiento similar a un jardín. Cuidados continuos intensivos
Accesibilidad	Generalmente es más funcional que accesible; solo la necesaria para mantenimiento.	Accesible; con la finalidad de generar una buena imagen social y con un propósito recreativo

## ANEXO 2

El Porómetro Foliar de Decagon Devices es un instrumento portátil, para medir la conductancia estomática de un follaje. Para ello, se pone una hoja en serie con dos elementos de conductancia conocida y compara las mediciones de humedad entre ellos.

El Porómetro Foliar puede usarse para mediciones de tensión acuosa, uso de agua y equilibrio acuoso, estudios de absorción de herbicidas, investigación de funciones estomáticas, etc.

Las mediciones efectuadas con el Porómetro Foliar son “no destructivas”.