



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE HIDROCIENCIAS

EL RIEGO EN LA HORTICULTURA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

SERGIO SANTIAGO HERRERA GÓMEZ

**TESIS DE INVESTIGACIÓN
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2018

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe HERRERA GÓMEZ SERGIO SANTIAGO, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor DR. ABEL QUEVEDO NOLASCO, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis

EL RIEGO EN LA HORTICULTURA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

y de los producto de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 09 de JULIO de 2018



Firma del
Alumno (a)



Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: EL RIEGO EN LA HORTICULTURA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO realizada por el alumno: SERGIO SANTIAGO HERRERA GÓMEZ, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS
EN HIDROCIENCIAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. ABEL QUEVEDO NOLASCO

ASESOR



DR. LEONARDO TJERINA CHÁVEZ

ASESOR



DR. JESÚS CHÁVEZ MORALES

ASESORA



DRA. ANTONIA MACEDO CRUZ

ASESOR



DR. MARTINIANO CASTRO POPOCA

EL RIEGO EN LA HORTICULTURA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Sergio Santiago Herrera Gómez, D. en C.
Colegio de Postgraduados, 2018

RESUMEN

En México existe una demanda creciente de recursos hídricos tanto para uso urbano, industrial, agrícola y recreativo como el riego en espacios verdes. Por lo que el uso eficiente del agua es imperativo en cada uno de los sectores.

La falta de espacios verdes en zonas urbanas sumada al fenómeno de Cambio Climático Global (CCG) trae como consecuencia problemas ambientales como son: inundaciones, isla de calor urbano, pérdida de biodiversidad, gasto energético excesivo, polución atmosférica, que ocasiona un estrés en el detrimento de calidad de vida, etc. Ante esta problemática, la implementación de techos y muros verdes surgen como una opción, además de conservar los espacios verdes ya existentes. Los techos verdes, tanto extensivos como intensivos son espacios donde la cubierta vegetal se planta sobre un sustrato de poca profundidad y con un manejo adecuado del agua y una selección de especies, son factores que condiciona el éxito de techos y muros verdes en las zonas urbanas.

En la agricultura el manejo del agua, los métodos para determinar las necesidades de agua de riego están bien establecidas para muchos cultivos agrícolas. En el caso de paisaje urbano las plantaciones suelen estar compuestas de una mezcla de árboles, arbustos y hierbas de césped con diferentes demandas de agua, con diferentes densidades en la vegetación, que varía de acuerdo con la estación del año para especies de ornato, lo que resulta en diferentes tasas de evapotranspiración.

Aunque en las últimas décadas se ha avanzado en evaluar el uso de la evapotranspiración, para hacer un uso más eficiente del agua para riego. Aún existe el reto de mejorar la estimación de la evapotranspiración en áreas con microclimas múltiples, donde la vegetación es mixta y la medición de evapotranspiración usando métodos convencionales resulta inadecuada.

Considerando que en México existe escasa investigación sobre manejo del agua en especies hortícolas o vegetación mixta, en este trabajo se analizó el impacto de las áreas verdes para mitigar los efectos del Cambio Climático Global (Estudio de caso en la Ciudad de Sevilla, España), y se evaluaron los consumos hídricos en tres especies de ornato (Geranium, Petunia y Gazania), con el fin de apoyar los diseños de áreas verdes urbanas (parques, muros y azoteas verdes), además se propone un catálogo de especies como guía en la selección de vegetación en techos verdes, que prosperan con éxito en zonas templadas de México.

Palabras clave: techos verdes, cambio climático global, evapotranspiración, ornamentales.

IRRIGATION IN HORTICULTURE IN THE FACE OF GLOBAL CLIMATE CHANGE

Sergio Santiago Herrera Gómez, D. en C.
Colegio de Postgraduados, 2018

ABSTRACT

In Mexico, there is a growing demand for water resources for urban, industrial, agricultural and recreational use as well as irrigation in green spaces. Therefore, the efficient use of water is imperative in each of the sectors.

The lack of green spaces in urban areas coupled with the phenomenon of Global Climate Change (GCC) brings environmental problems such as: floods, island of urban heat, loss of biodiversity, excessive energy expenditure, atmospheric pollution, which causes stress in the detriment of quality of life, etc. Given this problem, the implementation of roofs and green walls emerge as an option, in addition to preserving existing green spaces. The green roofs, both extensive and intensive are spaces where the plant cover is planted on a shallow substrate and with proper water management and a selection of species, are factors that condition the success of roofs and green walls in urban areas.

In agriculture water management, methods to determine irrigation water needs are well established for many agricultural crops. In the case of urban landscape, the plantations are usually composed of a mixture of trees, shrubs and turf grasses with different water demands, with different densities in the vegetation, which varies according to the season of the year for ornamental species, which results in different rates of evapotranspiration.

Although in recent decades, there has been progress in evaluating the use of evapotranspiration, to make more efficient use of water for irrigation. There is still the challenge of improving the estimation of evapotranspiration in areas with multiple microclimates, where the vegetation is mixed and the measurement of evapotranspiration using conventional methods is inadequate.

Considering that there is scarce research in Mexico on water management in horticultural species or mixed vegetation, in this work the impact of green areas was analyzed to mitigate the effects of Global Climate Change (Case Study in the City of Seville, Spain), and water consumption was evaluated in three ornamental species (Geranium, Petunia and Gazania), in order to support the designs of urban green areas (parks, walls and green roofs), and a catalog of species is proposed as a guide in the selection of vegetation on green roofs, which thrive successfully in temperate zones of Mexico.

Key words: Green roofs, Global Climate Change, evapotranspiration, ornamental.

DEDICATORIAS

A mi esposa e hija Liliana Terrazas Mendoza y Lila Sofía Herrera Terrazas, por su amor, apoyo incondicional y paciencia.

A mis padres Margarita Gómez y Santiago Herrera, por ser el mejor ejemplo para mí.

A mis hermanos Miriam, Ágel, y Nínive por confiar en mí y animarme a continuar.

A cada uno de mis tíos y primos, quienes con mucho cariño siempre me han demostrado su apoyo incondicional.

A los amigos por compartir la amistad y momentos de alegría, que a pesar del tiempo y la distancia que nos separa siempre cuento con ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento a mi profesor consejero, Dr. Abel Quevedo Nolasco, por su gran orientación, apoyo y amistad durante el curso de esta investigación. Al Dr. Leonardo Tijerina Chávez Jesús Chávez Morales, Antonia Macedo Cruz y el Dr. Martiniano Castro Popoca por sus continuos e invaluable aportes profesionales a este estudio.

Al Colegio de Postgraduados, en especial al Postgrado de Hidrociencias por darme la oportunidad de realizar mis estudios de doctorado.

Quiero expresar mi gratitud al CONACYT por haberme apoyado financieramente en esta investigación.

A todo el equipo de la Estación Meteorológica, por haber apoyado incondicionalmente en la realización del presente trabajo, gracias.

Al Sra. Agustina Hernández Ibarra y el Sr. Narciso Torres Estrada, por su amistad y apoyo.

A todos los profesores por sus enseñanzas, aportaciones y consejos, gracias.

CONTENIDO

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
DEDICATORIAS	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
CONTENIDO.....	viii
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
CAPÍTULO 1. EVALUACIÓN DEL CONSUMO HÍDRICO DE ESPECIES ORNAMENTALES, POR MEDIO DEL SISTEMA DE RIEGO POR CÁPSULAS POROSAS	3
1.1 Introducción	3
1.2 Método WUCOLS III	4
1.2.2 Factor de especie K_s	5
1.2.3 Factor de Densidad K_d	5
1.2.4 Factor de microclima K_{mc}	6
1.3 Cálculo de la Evapotranspiración por el método de FAO Penman-Monteith	7
1.4 Riego por succión con Cápsulas porosas	10
1.5 Determinación del K_c	12
1.6 MATERIALES Y MÉTODOS	13
1.6.1 Selección de especies.....	13
3.6.2 Establecimiento del Experimento.....	13
1.6.3 Preparación de sustratos	13
1.6.4 Preparación de unidades experimentales.....	14
1.6.5 Determinación del IAF	14
1.6.6 Determinación del K_c	14
1.6.7 Cálculo de la ETL por el Método WUCOLS III	15
1.7 RESULTADOS.....	16
1.7.1 Curva de liberación de agua.	16
1.7.2 Análisis estadístico Diseño de Bloques aleatorios completos (DBAC)	22
1.7.3 Obtención de modelos de IAF a partir de muestreo.	24
1.7.4 Lámina consumida por las especies.....	27
1.7.5. Evaluación del Coeficiente de cultivo KC por sustrato y especie.....	31
1.8 DISCUSIÓN	34
1.9 CONCLUSIONES	35
1.10 BIBLIOGRAFÍA	36

CAPÍTULO 2. ESTUDIO DE CASO DE LAS ÁREAS VERDES PARA MITIGAR LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL (CCG) EN LA CIUDAD DE SEVILLA ESPAÑA.	37
2.1 INTRODUCCIÓN	37
2.2 MATERIALES Y MÉTODOS	39
2.2.1 Escenarios regionalizados de cambio climático para España.....	39
2.2.2 Relación entre la temperatura cercana al suelo y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).....	39
2.2.3 Localización del área de estudio.....	43
2.2.4 Estimación del área necesaria de techos verdes	44
2.3. RESULTADOS.....	44
2.4 DISCUSIÓN	49
2.5 CONCLUSIONES	50
2.6 BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXOS.....	57

LISTA DE CUADROS
CAPÍTULO 1

		Pag
Cuadro 1	Estudios que abordan el diseño, funcionamiento y beneficios del sistema de riego por cápsulas porosas operadas a succión.....	11
Cuadro 2	Composición química de la solución nutritiva Steiner.....	14
Cuadro 3	Factores para las especies seleccionadas.....	15
Cuadro 4	Características físicas de los sustratos.....	16
Cuadro 5	Curva de retención de humedad	16
Cuadro 6	Curva de liberación de agua.....	16
Cuadro 7	Agua consumida (fertirriego) en cm, en las cápsulas porosas por especie y sustrato (SF).....	20
Cuadro 8	Agua consumida (fertirriego) en cm, en las cápsulas porosas por especie para sustrato (SG).....	21
Cuadro 9	Bloques para el Geranium para el consumo de agua acumulado (con cuatro repeticiones con sustrato similar).....	22
Cuadro 10	Análisis de varianza.....	22
Cuadro 11	Bloques para la Gazania (con cuatro repeticiones con sustrato similar).....	23
Cuadro 12	Análisis de Varianza.....	23
Cuadro 13	Bloques para la Petunia (con cuatro repeticiones con sustrato similar).....	23
Cuadro 14	Análisis de varianza.....	24
Cuadro 15	Constantes y coeficientes de regresión (R^2) de las ecuaciones lineales de ajuste entre la longitud (L) por anchura de hoja (A) y superficie (AF) de diferentes tamaños de hojas para las especies Petunia, Gazania y Geranio $AF = a + b$ (Largo X Ancho).....	24
Cuadro 16	Valores de IAF (adimensional) estimados durante el ciclo de 80 días para Sustrato Fino.....	25
Cuadro 17	valores de IAF (adimensional) estimados durante el ciclo de 80 días para Sustrato Grueso.....	26
Cuadro 18	Características promedio de las plantas al final del experimento 80 DDT.....	27
Cuadro 19	Comparación del consumo de agua promedios medido en cápsulas porosas contra ET_0 y ET_L , durante el ciclo vegetativo.....	30
Cuadro 20	Contenido de humedad promedio en dos tratamientos.....	30
Cuadro 21	Valores de K_c obtenido en sustrato fino.....	31
Cuadro 22	Valores de K_c obtenido en sustrato grueso.....	32

CAPÍTULO 2

		Pag
Cuadro 1	Polígonos representativos de la ciudad de Sevilla con cobertura vegetal.....	46
Cuadro 2	Estimación de la superficie con techos verdes necesaria para paliar el ΔT debido al cambio climático.....	48

LISTA DE FIGURAS
CAPÍTULO 1

		Pag
Figura 1	Diseño experimental de bloques Aleatorios Completos (DBAC).....	13
Figura 2	Embudo en posición I.....	18
Figura 3	Embudo en posición II.....	18
Figura 4	Curva de liberación de agua del sustrato.....	18
Figura 5	Curva de liberación de agua para sustratos utilizados.....	18
Figura 6	Curva de retención de agua para sustratos utilizados.....	19
Figura 7	Consumos de agua diario (con solución nutritiva) por las tres especies (Geranio (Ge), Gazania (Ga) y Petunia (Pe)) en dos sustratos: fino (S. Fino) y grueso (S. Grueso). ..	28
Figura 8	Evapotranspiración diaria (cm) e IAF en las especies (Geranio (Ge), Gazania (Ga) y Petunia (Pe)) en dos sustratos: fino (S. Fino) y grueso (S. Grueso) e IAF en tres especies de ornato.....	29
Figura 9	K_C e IAF en las especies (Geranio (Ge), Gazania (Ga) y Petunia (Pe)) en dos sustratos: fino (S. Fino) y grueso (S. Grueso).....	33

CAPÍTULO 2

		Pag
Figura 1	Relación entre T_s y $NDVI$, está en función del área verde urbana (S_{ug}), y el área verde urbana necesaria para estabilizar los efectos de incremento de temperatura debido al cambio climático (S_{ug}^{cc}).....	40
Figura 2	$NDVI$ obtenido con la imagen Sentinel-2 de la ciudad de Sevilla.....	41
Figura 3	Delimitación del área de estudio (zona urbana) dentro del término Municipal de Sevilla.....	43
Figura 4	Ejemplo de determinación de las distintas categorías dentro de la zona de estudio...	44
Figura 5	Relación entre T_s y $NDVI$ para (a) Landsat 7 ETM+ y (b) Sentinel-2.....	45
Figura 6	Comparación de las temperaturas medias en la ciudad de Sevilla (T_{med}/T_s) medidas en estaciones agroclimáticas con las obtenidas a partir de las imágenes de satélite Landsat 7 ETM+ y Sentinel-2.....	46
Figura 7	Valores medianos de la temperatura cercana al suelo y el índice $NDVI$ para (a) Landsat 7 TM+ y (b) Sentinel-2. La gráfica corresponde a los polígonos con tejido de zonas agrícolas y zonas verdes urbanas en la ciudad de Sevilla.....	47

LISTA DE ANEXOS

		Pag
ANEXO 1	Datos meteorológicos medidos en el invernadero, para estimar la ET_0	57
ANEXO 2	Datos para el cálculo de ET_0 por el método FAO Penman-Monteith.....	59
ANEXO 3	Datos utilizados para el cálculo de ET_L sustrato fino.....	67
ANEXO 4	Datos utilizados para el cálculo de ET_L sustrato grueso.....	69
ANEXO 5	Consumo de aguas (con solución nutritiva) en Geranium (Ge) en sustrato fino (S.Fino Ge).....	71
ANEXO 6	Consumo de agua (con solución nutritiva) en Geranium (Ge) en sustrato grueso (S.Grueso Ge).....	73
ANEXO 7	Consumo de agua (con solución nutritiva) en Gazania (Ga) en sustrato fino (S.Fino Ga).....	75
ANEXO 8	Consumo de agua (con solución nutritiva) en Gazania (Ga) en sustrato grueso (S.Grueso Ga).....	77
ANEXO 9	Consumo de agua (con solución nutritiva) en Petunia (Pe) en sustrato fino (S.Fino Pe).....	79
ANEXO 10	Consumo de agua (con solución nutritiva) en Petunia (Pe) en sustrato grueso (S.Grueso Pe).....	81
ANEXO 11	Especies hortícolas para espacios verdes en zonas templadas.....	83

INTRODUCCIÓN GENERAL

Hoy día cerca de 72% de la población mexicana vive en urbes (INEGI, 2010), además el establecimiento de espacios verdes en la planeación urbana, no es prioritario en países de economías de transición (Anguluri, 2017) o presentan un déficit de índice verde per cápita. Que de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) es de 15 m² por habitante a menos de 350 m de distancia de donde habita.

Ante esta problemática, la implementación de techos y muros verdes sugiere una opción interesante, además de conservar los espacios verdes ya existentes. Los techos verdes son espacios donde la cubierta vegetal es plantada sobre un sustrato de poca profundidad. En este punto es importante diferenciar los dos sistemas de cubiertas verdes; los intensivos y los extensivos. Los primeros se asocian a un jardín de altura donde generalmente son accesibles, presentan profundidades de sustrato mayores que los extensivos, conformados por una amplia variabilidad de especies que en su mayoría requieren riego y alto mantenimiento. Por otra parte, están los sistemas extensivos que son ligeros, de poca profundidad (5–15 cm), generalmente son poco accesibles y presentan un bajo mantenimiento con bajo suministro de riego (Silvina, Bárbaro, Coviella, & S., 2011). El manejo adecuado del agua y la selección de especies es uno de los factores que condiciona el éxito de techos y muros verdes en las zonas urbanas.

A medida que crece la población, existe una demanda creciente de recursos hídricos, a nivel Nacional, en México se experimenta un grado de presión del agua moderado; sin embargo, la zona centro, tiene un grado de presión muy fuerte superior al 40% (CONAGUA, 2014). Por lo tanto, el uso eficiente del agua es imperativo en todos los sectores, tanto para el uso urbano, industrial, agrícola y el uso recreativo como el riego en espacios verdes.

En la agricultura el manejo del agua, los métodos para determinar las necesidades de agua de riego están bien establecidas para muchos cultivos (Costello, Matheny, Clark, & Jones, 2000). A diferencia de los cultivos agrícolas, en las plantaciones de paisaje urbano suelen estar compuestas de una mezcla de árboles, arbustos y hierbas de césped con diferentes especies y demandas de agua (Nouri, Beecham, Hassanli, & Kazemi, 2013). La densidad de siembra de la vegetación varía de acuerdo con la estación del año para especies hortícolas, lo que resulta en diferentes tasas de evapotranspiración (Wolf & Lundholm, 2008).

En las últimas décadas se ha avanzado considerablemente en el uso de la evapotranspiración (*ET*) y su cálculo para en el uso eficiente del agua para riego, todavía existe la necesidad de mejorar la estimación de la *ET* en regiones con microclimas múltiples, donde la vegetación es mixta y la medición de *ET* usando métodos tradicionales resulta inadecuada (R.L. Snyder, 2014).

En México se considera que existe escasa investigación sobre manejo del agua en especies hortícolas o vegetación mixta. En este trabajo de investigación se analizan tres objetivos de la investigación. El primero corresponde al impacto de las áreas verdes para mitigar los efectos del Cambio Climático Global en áreas urbanas (el estudio de caso fue en la Ciudad de Sevilla, España). En el segundo se evaluaron los consumos hídricos en tres especies de ornato (*Geranium*, *Gazania* y *Petunia*), con dos tipos de sustratos, con el fin de apoyar los

diseños de áreas verdes urbanas (parques, muros y azoteas verdes). Finalmente se incluye un catálogo de especies como guía en la selección de vegetación en techos verdes, que prosperan con éxito en zonas templadas de México.

El presente documento, se generó a partir del trabajo de investigación, que se encuentra escrito en forma de capítulos. Cada uno corresponde a un tema específico de la investigación, desarrollados con formato de artículo científico, con una introducción, revisión de literatura, materiales y métodos, resultado, conclusiones con sus respectivas referencias bibliográficas al final de cada capítulo.

El Capítulo uno, corresponde a la parte introductoria de toda la investigación, se presenta en forma breve la descripción general y los alcances de los tres temas que se abordaron en la investigación.

El capítulo dos, se presenta el estudio de caso donde se analizó el impacto de las áreas verdes para mitigar los efectos del Cambio Climático Global (CCG) en la ciudad de Sevilla España. Donde por medio del análisis de imágenes satelitales se localizaron islas de calor y se propone el área verde necesaria para mitigar el incremento de temperaturas debido al CCG, dicha investigación culminó con la publicación “The role of green roofs in climate change mitigation. A case study in Seville (Spain)” en la Revista Building and Environment.

El capítulo tres se derivó de una revisión bibliográfica sobre las especies idóneas para establecer en techos verdes, se propone un catálogo de especies como guía en la selección de vegetación en techos verdes, que prosperan con éxito en zonas templadas de México.

En el capítulo cuatro se presenta la revisión bibliográfica, metodología discusión, resultados y conclusiones de un experimento ejecutado en el Colegio de Postgraduados, para evaluar el consumo hídrico de tres especies ornamentales (Geranium, Gazania y Petunia), por medio de dos métodos: el WUCOLS III (comúnmente utilizado en California para jardines y paisajes) y Penman Moteiht FAO. Además se realizó la estimación de los coeficientes de cultivos (K_c) por medio por medio del sistema de riego con cápsulas porosas en dos sustratos con diferente tamaño de partícula, bajo condiciones de invernadero.

CAPÍTULO 1. EVALUACIÓN DEL CONSUMO HÍDRICO DE ESPECIES ORNAMENTALES, POR MEDIO DEL SISTEMA DE RIEGO POR CÁPSULAS POROSAS

1.1 INTRODUCCIÓN

Las áreas verdes urbanas se clasifican en dos grandes grupos: los lugares públicos o de libre acceso como cinturones verdes que rodean las ciudades, corredores verdes de árboles y pastos en avenidas, camellones, glorietas; parques, jardines, alamedas, deportivos y cementerios; y los de acceso restringido o privados: jardines y azoteas verdes de residencias o edificios, viveros forestales, huertos, y espacios agrícolas (Salvador, 2003).

Las áreas verdes ayudan a mejorar la calidad del aire asimilando un importante porcentaje de CO_2 , generan oxígeno, permiten regular la temperatura ambiental y contribuyen a evitar la erosión de los suelos; además son un elemento ornamental que proporciona goce visual y por ende una mejor calidad de vida (Rodríguez, 2002). Sin embargo, muchas de las especies vegetales que se plantan en las ciudades no prosperan debido a su poca adaptabilidad al clima local por el desconocimiento de especies y técnicas de manejo. En la vegetación urbana alrededor del 70 al 90 por ciento de los problemas son el resultado de una selección inadecuada de especies (Lilly, 1991).

En las plantaciones de paisaje urbano una amplia gama de microclimas son posibles a través de áreas confinadas, sombreadas o pavimentadas que pueden afectar a la radiación solar y la reflexión, viento u otros parámetros meteorológicos (Nouri *et al.*, 2013). Ante esta situación la estimación de los requisitos de riego del paisaje es una problemática porque las mezclas de plantas, las pequeñas parcelas de vegetación y los microclimas múltiples dificultan la medición o estimación de la evapotranspiración (*ET*). Aunque en las últimas décadas se ha avanzado considerablemente en el uso de la evapotranspiración y su cálculo para en el uso eficiente del agua para riego, todavía existe la necesidad de mejorar la estimación de la *ET* en regiones con microclimas múltiples, donde la vegetación es mixta y la medición de *ET* usando métodos tradicionales resulta inadecuada (R.L. Snyder, 2014).

Regar correctamente una planta consiste en suministrarle instantáneamente el agua que necesita. En las condiciones normales de crecimiento, existe una relación estrecha entre la cantidad de agua utilizada por una planta y la cantidad de materia que produce (Lemaire, Dartigues, Riviere, Charpentier & Morel, 2005). La mayoría de trabajos de transpiración, han sido dedicados al estudio de cultivos, y hay poca información de la transpiración hacia flores de corte y plantas de macetas (Montero, Antón, Muñoz & Lorenzo, 2001).

En este trabajo se evaluó el consumo hídrico en tres especies ornamentales (Geranium, Gazania y Petunia), por medio de dos métodos: el WUCOLS III (que comúnmente se utiliza en California para jardines y paisajes) y Penman Moteiht FAO. Además, se realizó la estimación de los coeficientes de cultivos (*Kc*) por medio por medio del sistema de riego por cápsulas porosas en dos sustratos con diferente tamaño de partícula, bajo condiciones de invernadero para dichas especies.

1.2 Método WUCOLS III

El método "WUCOLS III" es un método para estimar la evapotranspiración del paisaje (ET_L) que se desarrolló como un esfuerzo cooperativo por UC Cooperative Extension, el Departamento de Recursos Hídricos de California y la Oficina de Recuperación de EE.UU., para llenar un vacío de información sobre los requerimientos de riego o evapotranspiración del paisaje (Costello *et al.*, 2000).

En el modelo WUCOLS III, estima la ET_L con la ecuación:

$$ET_L = ET_o * K_L \quad (1)$$

Dónde:

ET_L = Evapotranspiración del paisaje [mm/día]

K_L = Coeficiente del paisaje [Adimensional]

ET_o = Evapotranspiración de referencia [mm/día]

3.2.1 Coeficiente del paisaje K_L

Se deriva específicamente para estimar la pérdida de agua de las plantaciones de paisaje. Tiene la misma función que el coeficiente de cultivo, pero no se determina de la misma manera. Los coeficientes del paisaje se calculan a partir de tres factores: especie, densidad y microclima. Estos factores se utilizan en la fórmula de coeficiente de paisaje como sigue:

$$K_L = K_s * K_d * K_{mc} \quad (2)$$

Donde el coeficiente de paisaje (K_L) es igual al producto del coeficiente de microclima (K_{mc}), por el coeficiente de especie de la planta (K_p), que explica el tipo de planta y el estrés hídrico gestionado, y el K_d , que representa la densidad de la cubierta vegetal.

Hay tres razones principales por las que se necesitan coeficientes de paisaje.

Uno es qué a diferencia de un cultivo o césped, las plantaciones de paisaje suelen estar compuestas de más de una especie. Las colecciones de especies se riegan comúnmente dentro de una sola zona de riego, y las diferentes especies dentro de la zona de riego pueden tener diferentes necesidades de agua. Por ejemplo, una zona puede estar compuesta de hortensias, rododendros, alisos, juníperos, adelfas y olivares. Estas especies comúnmente se consideran que tienen necesidades de agua muy diferentes y la selección de un coeficiente de cultivo apropiado para una especie, puede no ser apropiada para las otras especies. Los coeficientes de cultivo adecuados para los paisajes deben incluir alguna consideración de las mezclas de especies que ocurren en muchas plantaciones.

La segunda razón es la densidad de la vegetación que varía considerablemente en los paisajes, algunas plantaciones tienen muchas veces más superficie foliar que otras. Por ejemplo, un paisaje con árboles, arbustos y plantas de cobertura de tierra estrechamente agrupadas en un área pequeña tendrá mucha más área foliar que una con sólo arbustos ampliamente espaciados en el área del mismo tamaño. Más área foliar significa típicamente un aumento

en la evapotranspiración (pérdida de agua) para una superficie dada. Como resultado, se esperaría que una plantación densa, pierda una mayor cantidad de agua con respecto a un que una con pocas plantas sembradas. Para producir una estimación fiable de la pérdida de agua, un coeficiente para los paisajes debe tener en cuenta esta variación en la densidad de la vegetación.

Una tercera razón es que muchos paisajes incluyen una gama de microclimas, desde áreas frescas, sombreadas, protegidas hasta áreas calientes, soleadas y con mucho viento. Estas variaciones climáticas afectan significativamente la pérdida de agua de las plantas. Experimentos en Seattle, Washington, encontraron que una siembra en un área pavimentada puede tener una pérdida de agua 50% mayor que una siembra de la misma especie en un parque. Otros estudios en California encontraron que las plantas en áreas sombreadas perdieron 50% menos de agua que las plantas de la misma especie en una condición de campo abierto. Esta variación en la pérdida de agua causada por el microclima debe ser contabilizada en un coeficiente utilizado para las plantaciones de paisaje.

1.2.2 Factor de especie K_s

El factor de la especie (K_s) se utiliza para explicar las diferencias en las necesidades de agua de las especies. En los paisajes establecidos, se sabe que ciertas especies requieren cantidades relativamente grandes de agua para mantener la salud y la apariencia, mientras que otras se saben que necesitan muy poca agua.

Este rango en las necesidades de agua se explica en el factor de la especie. Los factores de las especies oscilan entre 0.1 - 0.9 y se dividen en cuatro categorías:

	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto
Factor de especie K_s	< 0.1	0.1 - 0.3	0.4 - 0.6	0.7 - 0.9

Estos rangos de factores de especies se aplican independientemente del tipo de vegetación (árbol, arbusto, césped, viña o herbáceo) y con base en estudios de uso del agua para especies de paisajes y datos aplicables de cultivos agrícolas.

Se tiene una evaluación de las necesidades de agua de las plantas (con base en observaciones de campo) para más de 1,800 especies. Estos valores se presentan en los anexos del manual WUCOLS III. Los valores de los factores de las especies se pueden encontrar al buscar las especies bajo consideración y seleccionar un valor apropiado de la categoría, de acuerdo a su densidad y altura.

1.2.3 Factor de Densidad K_d

El factor de densidad se utiliza en la fórmula de coeficiente de paisaje para tener en cuenta las diferencias en la densidad de vegetación entre las siembras de paisaje. La densidad de vegetación se utiliza aquí para referirse al área foliar colectiva de todas las plantas del paisaje. Las diferencias en la densidad de la vegetación, o área foliar, conducen a diferencias en la pérdida de agua. El factor de densidad oscila entre 0.5 y 1.3, que se divide en tres categorías:

	Bajo	Medio	Alto
Factor Densidad K_d	0.5 - 0.9	1.0	1.1 - 1.3

Los paisajes inmaduros y escasamente plantados típicamente tienen menos área foliar que los paisajes maduros o densamente plantados, y por lo tanto pierden menos agua. A estas plantaciones se les asigna un valor K_d en la categoría baja. Las siembras con mezclas de tipos de vegetación (árboles, arbustos y recubrimientos) suelen tener áreas foliares colectivas mayores que las siembras con un solo tipo de vegetación, y por lo tanto perderán más agua. A estas plantaciones se les asigna un valor de factor de densidad en la categoría alta. Las plantaciones que están llenas, pero son predominantemente de un tipo de vegetación, se asignan a la categoría media.

1.2.4 Factor de microclima K_{mc}

Los microclimas existen en todos los paisajes, donde es necesario considerarlos en estimaciones de la pérdida de agua de la planta. Las características típicas de los paisajes urbanos (como edificios y pavimentos) influyen en la temperatura, la velocidad del viento, la intensidad luminosa y la humedad. Estas características varían considerablemente entre los paisajes, lo que da lugar a diferencias en el microclima. Para tener en cuenta estas diferencias, se utiliza un factor de microclima (K_{mc}).

El factor microclima varía entre 0.5 y 1.4, y se divide en tres categorías:

	Bajo	Medio	Alto
Factor de Microclima K_{mc}	0.5-0.9	1.0	1.1-1.4

El factor de microclima es relativamente fácil de ajustar. Una condición de "microclima medio" es equivalente a condiciones de evapotranspiración de referencia, es decir, un ajuste de campo abierto sin vientos extraordinarios o entradas de calor atípicas para la ubicación. Este microclima no se ve afectado sustancialmente por construcciones, estructuras, pavimentos, pendientes o superficies reflectantes cercanas. Por ejemplo, las siembras en un parque bien cubierto de vegetación que no estén expuestas a vientos atípicos de la zona, se asignarán a la categoría de microclima medio.

En una condición de microclima "alto", las características del sitio aumentan las condiciones de evaporación. Las plantaciones rodeadas de superficies absorbentes de calor, superficies reflectantes o expuestas a condiciones especialmente ventosas se asignarían a valores altos. Por ejemplo, las plantaciones en las medianías de las calles, los estacionamientos, junto a las paredes del suroeste de un edificio o en las áreas de "túnel de viento" se asignarían a la categoría alta.

Las condiciones del microclima "bajo" son tan comunes como altas microclima. Las plantaciones que están sombreadas durante una parte sustancial del día o están protegidas de vientos típicos de la zona se asignarán valores bajos. Estos incluyen el lado Norte de los edificios, patios, bajo los voladizos del edificio, y en el lado Norte de las laderas.

Las categorías de alto y bajo microclima tienen rangos de valores. Por ejemplo, la categoría baja oscila entre 0.5 y 0.9. El valor específico que se asigna dentro de una categoría dependerá de una evaluación del grado en que el microclima afectará la pérdida de agua de la planta. Por ejemplo, los árboles en un estacionamiento que están expuestos a vientos constantes (atípicos para el área general) se asignarán un valor más alto en la categoría alta que si la localización no fuera ventosa. A la inversa, se asigna un valor de K_{mc} a la plantación de un patio en sombra de tarde y protegido de los vientos en la categoría baja, pero menos que para una siembra sin sombreado de tarde.

Finalmente, para determinar el total de agua requerida para plantaciones de paisaje se utiliza la fórmula:

$$TWA = ET_L / IE \quad (3)$$

Donde:

TWA ; es el total de agua requerida

ET_L ; es la Evapotranspiración del paisaje

IE ; es la eficiencia del sistema de riego.

1.3 Cálculo de la Evapotranspiración por el método de FAO Penman-Monteith

Los únicos factores que afectan ET_o son los parámetros climáticos. Por lo tanto, ET_o es también un parámetro climático que se puede calcular a partir de datos meteorológicos. ET_o expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas, y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo. Desde este punto de vista, el método FAO Penman-Monteith se recomienda como el único método de determinación de ET_o con parámetros climáticos. Este método ha sido seleccionado debido a que aproxima de una manera cercana la ET_o de cualquier localidad evaluada, tiene bases físicas sólidas e incorpora explícitamente parámetros fisiológicos y aerodinámicos. Además, se han desarrollado procedimientos para la estimación de los parámetros climáticos faltantes (Allen, 2006).

Cálculo de la evapotranspiración ET_o en (mm/día)

$$ETo = \frac{\Delta}{\Delta+\gamma} R_n + \frac{\gamma}{\Delta+\gamma} f(u)(e_s - e_a) \quad (4)$$

Donde: u es la velocidad del viento en $m\ s^{-1}$

$$f(u) = 0.27 * (1 + 0.864 * u) \quad (5)$$

La Radiación neta R_n ($MJ\ m^{-2}$) está dada por la ecuación siguiente:

$$R_n = Q - \alpha Q + Ld - Lu = (1 - \alpha)Q + (Ld - Lu) \quad (6)$$

Donde: α : albedo, Ld : radiación atmosférica ($MJ\ m^{-2}$), Lu : radiación terrestre ($MJ\ m^{-2}$)

Para el cálculo de la radiación solar global Q ($MJ\ m^{-2}$), se utiliza la ecuación (7), donde Q_a es la radiación solar en el tope de la atmósfera ($MJ\ m^{-2}$) expresada en la ecuación (8).

$$Q = \left\{ 0.17 + 0.52 \frac{n}{N} \right\} Q_a \quad (7)$$

$$Q_a = \frac{1}{10^6} \frac{s_0}{(d/d_0)^2} (\cos\phi \cos\delta \sen w_0 + w_0 \sen\phi \sen\delta) \quad (8)$$

La S_0 es la constante solar ($1367\ W\ m^{-2}$).

Los coeficiente 0.17 y 0.52 son parámetros que depende del lugar.

La ecuación (8) requiere del cálculo de (d/d_0) , la latitud (Φ), declinación solar (δ), y del ángulo horario de puesta y salida del sol (w_0) las cuales se determinan con las ecuaciones (9), (15), (16) y (17) respectivamente.

$$d/d_0 = 1 + 0.01676 \cos\{0.01721(D - 186)\} \quad (9)$$

La D es el número del día del año.

El balance de radiación de onda larga se calcula empíricamente como sigue:

$$f(t) = \sigma * (t + 273.16)^4 * \frac{86400}{10^6} \quad (10)$$

$$f(e_a) = 0.34 - 0.44 \sqrt{e_a} \quad (11)$$

$$f(n/N) = 0.1 + 0.9(n/N) \quad (12)$$

La duración del día, se determina:

$$N = 2 \left(\frac{w_0}{\pi} \right) \quad (13)$$

Donde w_0 (ángulo horario) se calcula con la ecuación (17)

$$Ld - Lu = f(t) * f(e_a) * f\left(\frac{n}{N}\right) \quad (14)$$

La latitud se requiere en radianes, por lo que, de ser necesario, se hace la conversión de grados a radianes:

$$\phi = \left(\text{grados} + \frac{\text{min}}{60} \right) \left(\frac{\pi}{180} \right) \quad (15)$$

La declinación solar δ depende del día del año (D) y está dada por:

$$\delta = 0.4093 \cos\{0.01689(D - 186)\} \quad (16)$$

La declinación solar es el ángulo de los rayos del sol y el plano del ecuador de la tierra. La declinación del sol es 0° en los equinoccios, 23.5° en el solsticio de verano, y -23.5° en el solsticio de invierno. W_o que es el ángulo horario de puesta y salida del sol, está dado por:

$$w_o = \cos^{-1}(-\tan\phi \tan\delta) \quad (17)$$

La constante psicométrica ($\text{hPa}/^\circ\text{C}$) que se utiliza en la ecuación (4), se calcula:

$$\gamma = \frac{1.0042 P}{0.622 l} = 0.664 \quad (18)$$

Donde P es la presión atmosférica en (hPa), H es la altitud (m) y l es el calor latente de vaporización (J/g)

$$l = 2500.8 - 2.3668t \quad (19)$$

$$P = 1013 - 0.1093 H \quad (20)$$

Presión de vapor a saturación e_s (hPa), t es la temperatura del aire en $^\circ\text{C}$

$$e_s = 6.1078 \exp\left(\frac{17.2693882 t}{t+237.3}\right) \quad (21)$$

Presión de vapor e_a (hPa), utilizada en la ecuación (4), se calculan con la ecuación siguiente:

$$e_a = e_s \frac{HR}{100} \quad (22)$$

Pendiente de la curva de presión de vapor a saturación del bulbo húmedo Δ ($\text{hPa}/^\circ\text{C}$), se calcula como sigue:

$$\Delta = \frac{17.2693882 * 237.3}{(t+237.3)^2} e_s \quad (23)$$

1.4 Riego por succión con Cápsulas porosas

El riego por cápsulas porosas es una adaptación moderna y eficiente del método tradicional de riego por macetas enterradas (Bainbridge, 2002). Estos recipientes generalmente de cerámica, están provistas de una entrada y una salida de agua, un espesor de pared constante, un volumen preestablecido y una porosidad determinada que garantice que cuando se llene de agua, sea capaz de sudar agua través de sus poros, sin permitir la acción del goteo (Sebastián, 2016). Las actuales cápsulas porosas, están hechas con arcillas porosas cocidas a altas temperaturas, de manera que pueden incorporarse a una red de tubería de riego.

Cuadro 1. Estudios que abordan el diseño, funcionamiento y beneficios del sistema de riego por cápsulas porosas operadas a succión.

Fuente	año	Autor	Descripción	Aporte
1er seminario Nal Riego por Goteo	1975	Olguín, Palacios	Riego por succión. Descripción del método y avances.	Alta eficiencia de aplicación y sencilla operación del sistema de riego.
Tesis de Maestría	1977	García, Real	Efecto del riego por succión sobre la potencialidad del rendimiento de fresa y eficiencia en el uso del agua	Las raíces se desarrollan envolviendo la cápsula
Artículo científico	1977	Valle	Experimento preliminar en invernadero con riego por succión para el diseño de cápsulas porosas	Modelos matemáticos para incrementar la eficiencia de aplicación
Tesis de Maestría	1978	Morales, Velásquez	Uso de aguas saladas para riego de cultivos por succión	El método ofrece amplias perspectivas para el riego de cultivos sensibles usando agua salada
Tesis de Maestría	1979	Coras, Merino	Efecto del riego por succión con tres formas de cápsulas porosas sobre rendimiento de lechuga.	El gasto depende de la geometría y conductividad hidráulica
Tesis de Maestría	1979	Rendón, Pimentel	Desarrollo y calibración preliminar de un modelo matemático para riego por succión.	Análisis de las causas del taponamiento de cápsulas porosas
Artículo científico. Revista Terra	1988	Tijerina	Cultivo de frijol irrigado por el método de riego por succión	El rendimiento del grano resultó muy superior respecto al rendimiento obtenido por los métodos tradicionales
Tesis de Maestría	1991	Albanil, Encarnación	Determinación de la Evapotranspiración y eficiencia en el uso del agua y fertilización en el cultivo de fresa mediante riego por succión.	La productividad del agua por unidad de rendimiento de fruto en los tratamientos regados por succión fue de 4.5 veces mayor que los tratamientos irrigados en forma tradicional.
Tesis de Maestría	1993	Perea	Metodología de Diseño y construcción de un sistema de riego a baja presión con cápsulas porosas	Metodología de diseño aceptable con Coeficientes de variación en la construcción bajos.
Rev. Ingeniería Hidráulica y Ambiental 31(1):34-42	2010	Vargas, Peña, García	Sistema de riego con emisores porosos para la producción de tomate.	Tecnología promisoriosa para la agricultura urbana.

Tesis de Maestría	2013	López, López	Evaluación hidráulica de cápsulas porosas para riego	La K_s varía a diferentes cargas de columna y por consecuencia el gasto. Es necesario conocer la K_s para tener un correcto diseño del riego
Tesis de Maestría	2015	Trujillo, Ramírez	Diseño y evaluación de nuevas cápsulas porosas con fines de riego	relación lineal entre la sortividad (S) y la conductividad hidráulica (K_s). Las capsulas de cerámica presentan mayor K_s . Y tienen mejor desempeño en sustratos finos.

1.5 Determinación del K_C

La evapotranspiración (ET_o) derivada de datos meteorológicos que se multiplica por un factor conocido como el coeficiente de cultivo (K_C) que depende de las características específicas de cada región, incluyendo el albedo, la altura del cultivo, las propiedades aerodinámicas, el riego y el contenido de humedad de la cosecha.

El valor de K_C varía dependiendo de las diferentes etapas de crecimiento de los cultivos y refleja los diferentes requerimientos de uso de agua del cultivo a medida que madura. (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 1998).

Para determinar el K_C de cada especie seleccionada, se utiliza la ecuación propuesta por Allen 1998, donde:

$$K_C = ET_C / ET_o \quad (24)$$

Donde:

ET_C es la evapotranspiración real [mm/día]

ET_o es la evapotranspiración de referencia [mm/día].

ET_C = consumo de agua en el sistema de riego por cápsulas porosas menos la evaporación medida dentro del invernadero.

Cálculo de la ET_c

ET_c = consumo de agua en el sistema de riego por cápsulas porosas menos la evaporación medida dentro del invernadero.

El valor de K_c también indica la diferencia relativa en el uso de agua entre el cultivo y el valor ET_o de referencia; Por ejemplo, un valor de K_c por encima de 1 indica que el cultivo está utilizando más agua que el cultivo de referencia mientras que los valores de K_c por debajo de 1 indican que el cultivo utiliza menos agua. Comúnmente, ET_o se determina usando medidas meteorológicas de una superficie de hierba a 0.12 m de altura que está

adecuadamente regada, creciendo activamente, cubriendo completamente el suelo, y con una resistencia de superficie fija (Campbell *et al.*, 2015).

1.6 MATERIALES Y MÉTODOS

1.6.1 Selección de especies

Se seleccionaron especies ornamentales: Petunia (Pe), Gazania (Ga) y Geranium (Ge) (tipo arbustiva, con cobertura de suelo y perenne, respectivamente) comunes en el Estado de México. Que se encuentran registradas en la Guía “Estimating Irrigation wáter Needs of Landscape Plantings in California” (Costello *et al.*, 2000) con las siguientes características: alta capacidad de supervivencia en condiciones climáticas templadas, expuestas a la radiación solar, bajo mantenimiento y moderado consumo de agua.

3.6.2 Establecimiento del Experimento

En el invernadero de la estación meteorológica de Hidrociencias se elaboraron $n=24$ unidades experimentales compuestas de planta, maceta y cápsula porosa, con características similares. Se definieron los dos tratamientos o texturas de sustrato ($t=2$) que se aplicaron: tezontle fino con Peat Moss (t_1) y tezontle grueso con Peat Moss (t_2).

Se definieron 4 repeticiones ($b=4$) para cada especie, de tal manera que a 4 unidades experimentales les correspondió un mismo tipo de tratamiento.

Las unidades experimentales se sortearon para la asignación de cada tratamiento. Y se definió que la variable a medir, es el consumo de solución (Fertirrigación) en ml/día.

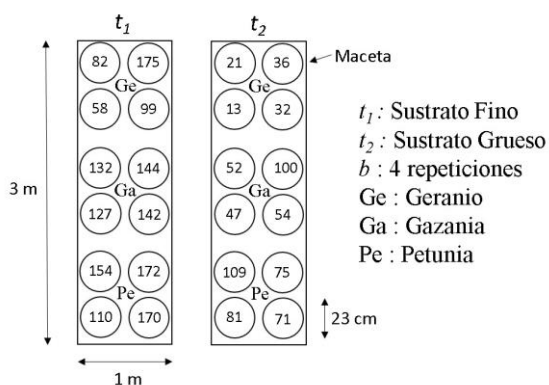


Figura 1. Diseño experimental de bloques Aleatorios Completos (DBAC)

1.6.3 Preparación de sustratos

Para el establecimiento de las especies se prepararon dos texturas de sustratos:

Una: Tezontle fino-Peat Moss y

Dos: Tezontle grueso-Peat Moss,

En la textura fina se mezclan a una relación 1:2 Tezontle fino/Peat Moss, es decir por cada 100 gr de tezontle fino se mezclan con 200gr de Peat Moss. El tezontle grueso resulta de pasar tezontle por un harnero o criba, con tamaño de malla de 0.4-0.6 mm y mezclarlo con Peat Moss a una relación 1:1 Tezontle grueso/Peat Moss (100gr tezontle grueso por cada 100 gr de Peat Moss).

1.6.4 Preparación de unidades experimentales

Se utilizaron cápsulas porosas previamente fabricadas durante el 2016 con conductividad hidráulica de $K_s=0.3$ (como valor mínimo). Cada cápsula se conectó a una manguera de polietileno de 5 mm conectada a un recipiente (graduado), los cuales se encontraban en un plano inferior (10 cm por debajo del centroide de la esfera). El volumen de solución consumido por las plantas, se midió y registró, el cual se complementó diariamente durante todo el ciclo (3 meses).

La solución nutritiva que se utilizó fue la Steiner, universal, descrita en (Baca, Rodríguez, & Quevedo, 2016).

Cuadro 2 Composición química de la solución nutritiva Steiner.

Aniones			Cationes		
(mmol _c L ⁻¹)					
NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
12.0	1.0	7.0	7.0	9.0	4.0
ΣA= 20.0			ΣC = 20.0		
mM					
12.0	1.0	3.5	7.0	4.5	2.0
PO = 30*0.024 = 0.72 atm					

Fuente: (Baca, Rodríguez, & Quevedo, 2016).

1.6.5 Determinación del IAF

Se cortaron y midieron 20 hojas por plantas de las especies Geranium Gazania y Petunia, en las hojas muestreadas se midió la longitud máxima desde la base del pecíolo hasta el extremo del folíolo central y la anchura máxima de las hojas en forma perpendicular a la longitud máxima. Estas hojas fueron luego fotocopiadas, obteniéndose el área foliar mediante la utilización de un medidor de área foliar, para obtener un modelo para estimar el área foliar en función del largo y ancho de la hoja.

1.6.6 Determinación del K_c

Se determinaron los coeficientes de cultivo (K_c) para los diferentes estados fenológicos de las especies seleccionadas con la ecuación propuesta por Allen 1998:

$$K_c = ET_C / ET_o \quad (5)$$

Donde:

ET_c es la evapotranspiración real [mm/día]

ET_o es la evapotranspiración de referencia [mm/día].

ET_c = volumen de agua consumido por el sistema de riego por cápsulas porosas.

El cálculo de la ET_o se determinó por el método de FAO Penman-Monteith descrito en el apartado 2.2. Para este caso dentro de invernadero, se consideró la velocidad del viento es despreciable. Los datos meteorológicos que se emplearon para estimar la ET_o se presentan en los anexos 1 y 2.

1.6.7 Cálculo de la ETL por el Método WUCOLS III

Se utilizó la fórmula descrita en el apartado 2.1 con los siguientes factores para las especies seleccionadas.

Cuadro 3 Factores para las especies seleccionadas

Gazania (Ga), Petunia (Pe), Geranium (Ge)	Bajo	Moderado	Alto
Factor de especie K_s		0.4 - 0.6	
Factor Densidad K_d	0.5 - 0.9		
Factor de Microclima K_{mc}			1.1-1.4

Fuente: (Costello *et al.*, 2000)

Para el cálculo de ET_L , ecuación (2), se utilizaron los siguientes valores:

Para el factor K_s , se utilizaron valores Moderados (0.4-0.6) para las tres especies seleccionadas, dividiendo el ciclo de la especie en tres etapas: germinación 0.4, desarrollo 0.5 y floración 0.6. Se procedió de la misma manera para el factor K_d : germinación 0.5, desarrollo 0.6-0.7 y floración 0.8-0.9. El factor de microclima K_{mc} se utilizó el valor máximo de 1.0 debido a que se trata de un invernadero.

Posteriormente, se sustituye ET_L en la ecuación (1); donde la ET_o se calcula con el método de FAO Penman-Monteith.

Para probar:

H_0 : $t_1 = t_2$; el consumo de agua en ambos sustratos fino y grueso son similares; vs

H_1 : $t_1 \neq t_2$: existe diferencia en el consumo de agua para cada tipo de sustrato.

Se realizó el Análisis de Varianza por Diseño de Bloques Aleatorios Completos (DBAC).

1.7 RESULTADOS

A continuación se describen las principales características físicas de los dos sustratos utilizados.

Cuadro 4. Características físicas de los sustratos.

MUESTRA	Porosidad total (%)	Porosidad aireación (%)	Retención de humedad (%)	DA (Mg m ⁻³)
Sustrato Grueso (SG)	64	40	23	0.9
Sustrato Fino (SF)	78	18	60	0.5

DA: Densidad Aparente

Como se observa en el cuadro anterior el sustrato fino presenta un porcentaje mayor de retención de humedad, debido al tamaño menor de las partículas que lo componen.

Cuadro 5. Curva de retención de humedad

Sustrato grueso (S.G.)		Sustrato fino (S.F.)	
Tensión (cm columna de agua)	Humedad volumétrica (%)	Tensión (cm columna de agua)	Humedad volumétrica (%)
100	7	100	33
50	11	50	56
10	23	10	64
0	47	0	89

Cuadro 6 Curva de liberación de agua

MUESTRA	% SÓLIDOS	AND	AFD	AR	ADD
Sustrato Grueso (SG)	36	33	12	5	7
Sustrato Fino (SF)	22	22	8	20	33

AND: agua no disponible

AFD: agua fácilmente disponible

AR: agua de retención

ADD: agua difícilmente disponible

1.7.1 Curva de liberación de agua.

Las curvas de liberación de agua se obtienen por el método propuesto por De Bood *et al*, 1974 con el procedimiento siguiente:

1. Un ejemplo representativo del contenido de humedad del sustrato es determinado.
2. El embudo lleno de agua (Fig.2) es pesado (A) gramos.
3. Una capa de sustrato de 2-3 cm es puesta en el embudo. Se determina el peso (embudo + sustrato) = (B) gramos.
4. La muestra es saturada adicionando agua en el sustrato por 24 hr.
5. Después del equilibrio el embudo se ponen en posición II estableciendo una clara succión (H). (Figura 3).

6. La succión es mantenida por 12 hr. Después del equilibrio la llave de cierre 2 es cambiada a posición I. El embudo puede ser desconectado por el sistema y el embudo es pesado (C gramos).
7. El embudo muestra es otra vez conectado al sistema y el tubo de plástico es llenado con agua. Otra succión (H) es aplicada y la llave de cierre 2 es cambiada a la posición II otra vez. El mismo procedimiento es usado para diferentes succiones.
8. Normalmente las succiones aplicadas son: 10, 20, 30,50, 100 cm de agua.
9. Cálculos
 - peso del embudo: A gramos
 - Peso del embudo + sustrato: B gramos (en el momento de llenado).
 - contenido de humedad del sustrato en el momento de llenado: X %
 - Peso del sustrato al llenado: B – A gramos.
 - materia seca dentro del embudo: D gramos.

$$(B-A)(100-X)/100 = D \text{ gramos}$$

A Alta succión:

- Peso del embudo + sustrato: C gramos.
- Peso del sustrato húmedo: C –A gramos.
- Cantidad de agua en el sustrato: C-A-D gramos.
- Humedad % en el sustrato en el peso húmedo de la base.

$$100*\{C-A-D\}/(C-A) = E \%$$

Humedad % en el sustrato en el peso de la base seca

$$(100*E) / (100-E)$$

Volumen % en el sustrato

$$\{(100*E) / (100-E)\} * BD \%$$

10. La curva de liberación de agua se esquematiza en la figura 4:

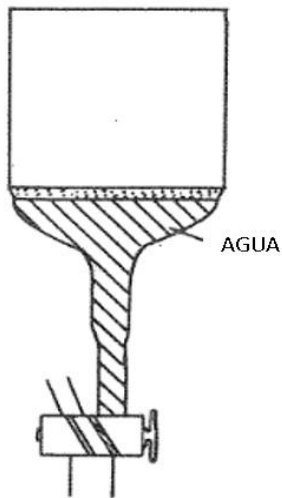


Figura 2. Embudo en posición I.

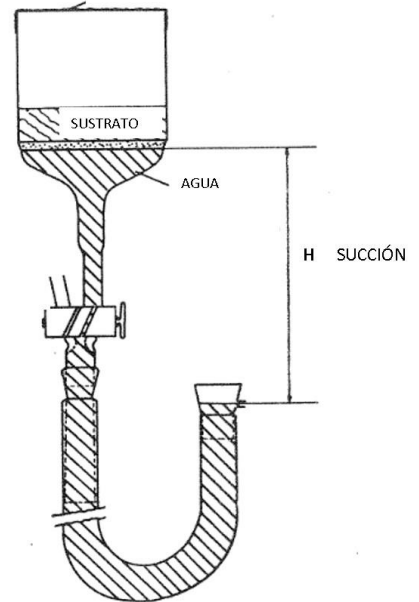


Figura 3. Embudo en posición II.

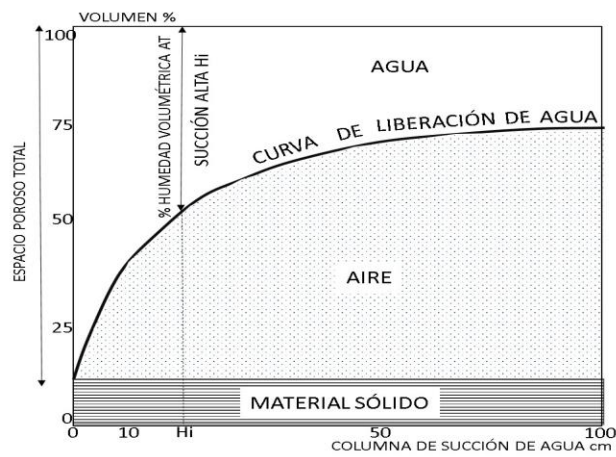


Figura 4. Curva de liberación de agua del sustrato.

Con los cuadros 5 y 6 se obtienen las gráficas de liberación y retención de agua, siguientes.

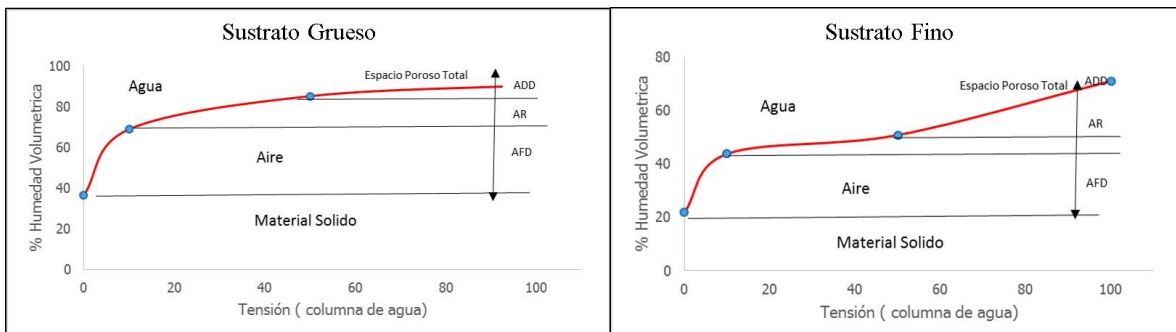


Figura 5. Curva de liberación de agua para sustratos utilizados.

3.7.1.1. Interpretación de la curva de liberación de agua.

En esta figura se tiene en la abscisa: porcentaje volumétrico de material sólido + porcentaje volumétrico de aire + porcentaje volumétrico de agua = 100 %. En la ordenada se tiene los siguientes puntos característicos:

- Espacio poroso total (0 cm de succión).
- 10, 50 y 100 cm de tensión de columna de agua.

Las propiedades características de la curva de liberación de agua son:

- contenido de aire: esta es la diferencia en volumen % de agua liberada del sustrato cuando la succión incrementa de 10 a 50 cm.

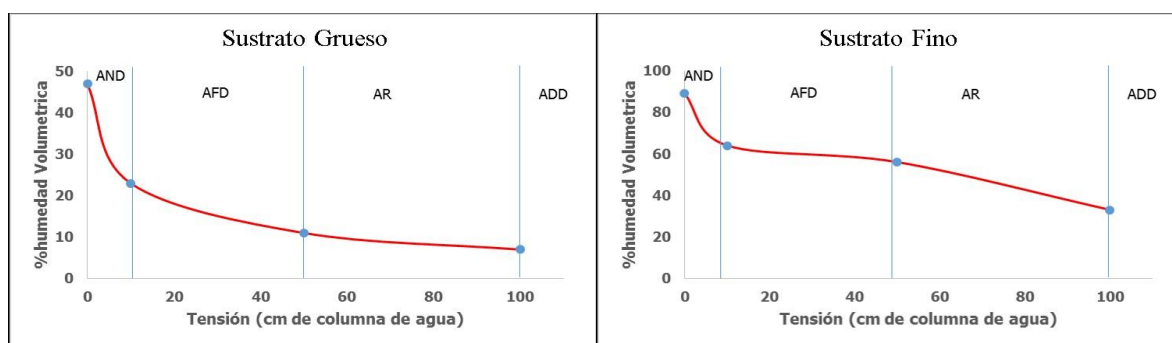


Figura 6 curva de retención de agua para sustratos utilizados.

Como se observa en la figura anterior, y con base en el cuadro 5 el sustrato fino presenta mayor retención de agua respecto al sustrato grueso, ya que la AFD se obtiene en el rango (10-50 cm de columna de agua), donde para el sustrato fino la humedad volumétrica es de 64% a 10 cm de columna de agua y en el sustrato grueso es de 23%.

Cuadro 7. Agua consumida (fertirriego) en cm, en las cápsulas porosas por especie y sustrato (SF).

Especie	Etapa Fenológica	Crecimiento	Floración	Madurez	Total ciclo	
	Fecha	12/09/17-30/11/17	-	-		
Geranium (Ge)	DDT	1-80	-	-	Lámina (cm)	
	No. de Cápsula	Lámina (cm)	Lámina (cm)	Lámina (cm)		
	82	$\Sigma=5.61$	$\Sigma=3.49$	$\Sigma=2.60$		11.7
	175	$\Sigma=5.14$	$\Sigma=3.31$	$\Sigma=2.23$		10.68
	58	$\Sigma=5.43$	$\Sigma=3.94$	$\Sigma=2.73$		12.10
	99	$\Sigma=4.94$	$\Sigma=3.05$	$\Sigma=2.60$		10.59
Promedio	$\square=5.28$	$\square=3.45$	$\square=2.54$			
Especia	Etapa Fenológica	Crecimiento	Floración	Madurez	Total ciclo	
	Fecha	12/09/17-21/10/17	22/10/17-11/11/17	12/11/17-30/11/17		
Gazania (Ga)	DDT	1-40	41-60	60-80	Lámina (cm)	
	No. de Cápsula	Lámina (cm)	Lámina (cm)	Lámina (cm)		
	132	$\Sigma=6.18$	$\Sigma=5.04$	$\Sigma=3.77$		15.00
	144	$\Sigma=6.40$	$\Sigma=4.57$	$\Sigma=3.52$		14.49
	127	$\Sigma=6.25$	$\Sigma=4.05$	$\Sigma=3.28$		13.58
	142	$\Sigma=5.61$	$\Sigma=4.63$	$\Sigma=3.61$		13.86
Promedio	$\square=6.11$	$\square=4.57$	$\square=3.55$			
Petunia (Pe)	Etapa Fenológica	Crecimiento	Floración	Madurez	Total ciclo	
	Fecha	12/09/17-21/10/17	22/10/17-11/11/17	12/11/17-30/11/17		
Petunia (Pe)	DDT	1-40	41-60	60-80	Lámina (cm)	
	No. de Cápsula	Lámina (cm)	Lámina (cm)	Lámina (cm)		
	154	$\Sigma=6.28$	$\Sigma=4.51$	$\Sigma=3.69$		14.48
	172	$\Sigma=6.76$	$\Sigma=4.84$	$\Sigma=3.92$		15.52
	110	$\Sigma=6.25$	$\Sigma=6.68$	$\Sigma=5.55$		18.48
	170	$\Sigma=9.32$	$\Sigma=9.32$	$\Sigma=7.45$		26.09
Promedio	$\square=7.15$	$\square=6.34$	$\square=5.15$			

DDT: Días después del trasplante.

La lámina (cm) se obtiene de dividir el volumen consumido en ml, entre la superficie de la maceta (415.48 cm²).

Cuadro 8. Agua consumida (fertirriego) en cm, en las cápsulas porosas por especie para sustrato (SG)

Especie	Etapa Fenológica	Crecimiento	Floración	Madurez	Total ciclo	
	Fecha	12/09/17-21/10/17	-	-		
Geranium (Ge)	DDT	1-80	-	-	Lámina (cm)	
	No. de Cápsula	Lámina (cm)	Lámina (cm)	Lámina (cm)		
	21	$\Sigma=7.63$	$\Sigma=3.67$	$\Sigma=1.84$		13.14
	36	$\Sigma=5.97$	$\Sigma=2.50$	$\Sigma=1.25$		9.72
	13	$\Sigma=7.66$	$\Sigma=3.46$	$\Sigma=1.76$		12.88
	32	$\Sigma=6.87$	$\Sigma=3.08$	$\Sigma=1.50$		11.45
Promedio	$\square=7.03$	$\square=3.18$	$\square=1.59$			
Especie	Etapa Fenológica	Crecimiento	Floración	Madurez	Total ciclo	
	Fecha	12/09/17-30/10/17	31/10/17-20/11/17	21/11/17-30/11/17		
Gazania (Ga)	DDT	1-50	51-70	70-80	Lámina (cm)	
	No. de Cápsula	Lámina (cm)	Lámina (cm)	Lámina (cm)		
	52	$\Sigma=6.09$	$\Sigma=2.61$	$\Sigma=1.46$		10.16
	100	$\Sigma=7.39$	$\Sigma=5.43$	$\Sigma=2.37$		15.18
	47	$\Sigma=7.25$	$\Sigma=4.61$	$\Sigma=2.19$		14.06
	54	$\Sigma=2.48$	$\Sigma=4.18$	$\Sigma=0.39$		7.05
Promedio	$\square=5.80$	$\square=4.21$	$\square=1.60$			
Especie	Etapa Fenológica	Crecimiento	Floración	Madurez	Total ciclo	
	Fecha	12/09/17-30/10/17	31/10/17-20/11/17	21/11/17-30/11/17		
Petunia (Pe)	DDT	1-50	51-70	70-80	Lámina (cm)	
	No. de Cápsula	Lámina (cm)	Lámina (cm)	Lámina (cm)		
	109	$\Sigma=7.91$	$\Sigma=3.34$	$\Sigma=1.80$		13.05
	75	$\Sigma=5.89$	$\Sigma=1.88$	$\Sigma=1.03$		8.80
	81	$\Sigma=8.21$	$\Sigma=5.41$	$\Sigma=2.64$		16.26
	71	$\Sigma=10.57$	$\Sigma=6.03$	$\Sigma=3.22$		19.82
Promedio	$\square=8.15$	$\square=4.17$	$\square=2.17$			

DDT: Días después del trasplante.

La lámina (cm) se obtiene de dividir el volumen consumido en ml, entre la superficie de la maceta (415.48 cm²).

Los datos diarios de ET_0 y ET_L se incluyen en los Anexos 1 y 2.

1.7.2 Análisis estadístico Diseño de Bloques aleatorios completos (DBAC)

Cuadro 9. Bloques para el Geranium para el consumo de agua acumulado (con cuatro repeticiones con sustrato similar)

Tratamiento (sustrato)	Lámina acumulada (cm) en el ciclo de 80 días						
	1	2	3	4	Y_i	Y_i	Y_i^2
t_1	11.70	10.68	12.10	10.59	45.1	11.3	127.0
t_2	13.25	9.71	12.89	11.45	47.3	11.8	139.8
Y_j	24.95	20.40	24.99	22.04	92.4		266.8
Y_j	12.47	10.20	12.49	11.02			
Y_j^2	155.61	104.00	156.10	121.44		537.1	
$\sum_{i=1}^t ij^2$	312.4	208.5	312.5	243.2			1076.6

t_1 : sustrato fino

t_2 : sustrato grueso

Cuadro 10 Análisis de varianza

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F_0
Tratamientos	1	0.61	0.61	1.07
Bloques	3	7.71		
Error	3	1.72	0.57	
Total	7	10.04		

F.V. Fuente de variación

G.L. Grados de libertad

S.C. Suma de cuadrados

C.M. Cuadrados medios

F_0 variable aleatoria con m grados de libertad en el numerador y n grados de libertad en el denominador

F_t se obtiene de tablas F entrando en la primera hilera con los grados de libertad (m) en el numerador y en la primera columna con los grados de libertad (n) del denominador.

Para probar $H_0: t_1 = t_2$ (el consumo de agua es igual en ambos tipos de sustratos) en la hipótesis alternativa $H_a: t_1 \neq t_2$ (el consumo de agua es diferente en los sustratos).

Donde al menos un efecto de las variables es diferente con $\alpha = 0.10$, al comparar $F_0 = 1.07$ con F_t . Puesto que $F_t > F_0$ ($5.538 > 1.07$) la conclusión es que con un nivel de significancia de 0.10 los dos tipos de sustratos para el Geranium no se presentaron diferencias en el consumo de agua.

Cuadro 11. Bloques para la Gazania (con cuatro repeticiones con sustrato similar)

Tratamiento (sustrato)	Lámina acumulada (cm) en el ciclo de 80 días						
	1	2	3	4	Y_i	Y_i	Y_i^2
t_1	15.00	14.49	13.58	13.86	56.9	14.2	202.6
t_2	10.16	15.18	14.06	7.05	46.4	11.6	134.8
Y_j	25.16	29.67	27.64	20.91	103.4		337.4
Y_j	12.58	14.84	13.82	10.45			
Y_j^2	158.23	220.08	190.97	109.31		678.6	
$\sum_{i=1}^t ij^2$	328.2	440.4	382.0	241.8			1392.4

t_1 : sustrato fino

t_2 : sustrato grueso

Cuadro 12 Análisis de Varianza

$F.V.$	$G.L.$	$S.C.$	$C.M.$	F_0
Tratamientos	1	13.74	13.74	1.92
Bloques	3	21.34		
Error	3	21.52	7.17	
Total	7	29.33		

Para probar $H_0: t_1 = t_2$ (el consumo de agua es igual en ambos tipos de sustratos) en la hipótesis alternativa $H_a: t_1 \neq t_2$ (el consumo de agua es diferente en los sustratos). Donde al menos un efecto de las variables es diferente con $\alpha = 0.10$, al comparar $F_0 = 1.92$ con F_t . Puesto que $F_t > F_0$ ($5.538 > 1.92$) la conclusión es que con un nivel de significancia de 0.10 los dos tipos de sustratos para para Gazania no se presentaron diferencias en el consumo de agua.

Cuadro 13 Bloques para la Petunia (con cuatro repeticiones con sustrato similar)

Tratamiento (sustrato)	Lámina acumulada (cm) en el ciclo de 80 días						
	1	2	3	4	Y_i	Y_i	Y_i^2
t_1	14.48	15.52	18.48	26.09	74.6	18.6	347.5
t_2	13.05	8.80	16.26	19.82	57.9	14.5	209.8
Y_j	27.53	24.32	34.74	45.91	132.5		557.2
Y_j	13.76	12.16	17.37	22.95			
Y_j^2	189.42	147.86	301.79	526.84		1165.9	
$\sum_{i=1}^t ij^2$	379.9	318.3	606.0	1073.3			2377.5

t_1 : sustrato fino

t_2 : sustrato grueso

Cuadro 14 Análisis de varianza

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.C.</i>	<i>C.M.</i>	<i>F₀</i>
Tratamientos	1	34.56	34.56	9.34
Bloques	3	137.43		
Error	3	11.10	3.70	
Total	7	183.09		

Para probar $H_0: t_1 = t_2$ (el consumo de agua es igual en ambos tipos de sustratos) en la hipótesis alternativa $H_a: t_1 \neq t_2$ (el consumo de agua es diferente en los sustratos). Donde al menos un efecto de las variables es diferente con $\alpha = 0.10$, al comparar $F_0 = 9.34$ con F_t . Puesto que $F_t < F_0$ ($5.538 < 9.34$) la conclusión es que con un nivel de significancia de 0.10 los dos tipos de sustratos para Petunia sí presentaron diferencias en el consumo de agua.

1.7.3 Obtención de modelos de IAF a partir de muestreo.

En el cuadro 15 se muestra los valores de las constantes para las ecuaciones de regresión lineal obtenidas para cada una de las especies. Los valores de R^2 de las líneas de tendencia que relacionan las magnitudes de largo por ancho y área foliar, indicaron para cada caso un muy buen ajuste.

Cuadro 15 Constantes y coeficientes de regresión (R^2) de las ecuaciones lineales de ajuste entre la longitud (L) por anchura de hoja (A) y superficie (AF) de diferentes tamaños de hojas para las especies Petunia, Gazania y Geranio $AF = a + b$ (Largo x Ancho).

Tamaño de hojas	Coeficientes	Petunia	Gazania	Geranio
Pequeñas	a	-0.99	-0.54	-0.63
	b	0.78	1.21	1.24
	R^2	0.96	0.94	0.97
Medianas	a	0.01	-0.51	-0.26
	b	0.82	0.98	0.68
	R^2	0.94	0.93	0.96
Grandes	a	4.32	-2.15	0.75
	b	0.64	1.04	0.77
	R^2	0.97	0.96	0.98

N = 20 hojas empleadas en cada regresión

Cuadro 16 valores de *IAF* (adimensional) estimados durante el ciclo de 80 días para Sustrato Fino.

Fecha	19/09/17	26/09/17	07/10/17	14/10/17	21/10/17	28/10/17	04/11/17	11/11/17	18/11/17	25/11/17	30/11/17
Geranium											
Cápsula 82	0.035	0.038	0.075	0.152	0.1543	0.2042	0.2042	0.2042	0.2042	0.2042	0.2175
Cápsula 175	0.028	0.044	0.088	0.133	0.1647	0.1647	0.1647	0.1647	0.1810	0.2058	0.2109
Cápsula 58	0.044	0.057	0.087	0.092	0.1219	0.1219	0.1455	0.1752	0.1782	0.1821	0.1872
Cápsula 99	0.040	0.052	0.081	0.102	0.1438	0.1438	0.1483	0.1638	0.1704	0.1704	0.1704
Promedio	0.0368	0.0477	0.0826	0.1200	0.1462	0.1587	0.1657	0.1770	0.1834	0.1906	0.1965
Gazania											
Cápsula 132	0.033	0.084	0.113	0.264	0.302	0.386	0.388	0.415	0.435	0.435	0.350
Cápsula 144	0.035	0.064	0.114	0.264	0.320	0.424	0.425	0.480	0.480	0.433	0.420
Cápsula 127	0.033	0.081	0.117	0.237	0.320	0.448	0.450	0.462	0.462	0.418	0.418
Cápsula 142	0.017	0.030	0.082	0.099	0.378	0.383	0.378	0.404	0.420	0.424	0.410
Promedio	0.029	0.065	0.106	0.216	0.330	0.410	0.410	0.440	0.449	0.428	0.400
Petunia											
Cápsula 154	0.080	0.13	0.51	0.95	0.95	1.00	1.01	1.00	0.95	0.95	0.95
Cápsula 172	0.077	0.24	0.37	0.91	0.88	0.97	1.08	0.97	0.97	0.88	0.88
Cápsula 110	0.093	0.17	0.43	0.88	0.91	1.01	1.01	1.01	1.01	0.91	0.91
Cápsula 170	0.099	0.22	0.85	1.28	1.56	1.89	1.70	1.89	1.70	1.56	1.56
Promedio	0.087	0.188	0.540	1.004	1.077	1.220	1.200	1.220	1.160	1.077	1.077

Cuadro 17 valores de *IAF* (adimensional) estimados durante el ciclo de 80 días para Sustrato Grueso.

Fecha	19/09/17	26/09/17	07/10/17	14/10/17	21/10/17	28/10/17	04/11/17	11/11/17	18/11/17	25/11/17	30/11/17
Geranium											
Cápsula 21	0.035	0.038	0.075	0.152	0.1543	0.2042	0.2042	0.2042	0.2042	0.2042	0.2175
Cápsula 36	0.028	0.044	0.088	0.133	0.1647	0.1647	0.1647	0.1647	0.1810	0.2058	0.2109
Cápsula 13	0.044	0.057	0.087	0.092	0.1219	0.1219	0.1455	0.1752	0.1782	0.1821	0.1872
Cápsula 32	0.040	0.052	0.081	0.102	0.1438	0.1438	0.1483	0.1638	0.1704	0.1704	0.1704
Promedio	0.0368	0.0477	0.0826	0.1200	0.1462	0.1587	0.1657	0.1770	0.1834	0.1906	0.1965
Gazania											
Cápsula 52	0.033	0.084	0.113	0.264	0.302	0.386	0.388	0.415	0.435	0.435	0.350
Cápsula 100	0.035	0.064	0.114	0.264	0.320	0.424	0.425	0.480	0.480	0.433	0.420
Cápsula 47	0.033	0.081	0.117	0.237	0.320	0.448	0.450	0.462	0.462	0.418	0.418
Cápsula 54	0.017	0.030	0.082	0.099	0.378	0.383	0.378	0.404	0.420	0.424	0.410
Promedio	0.029	0.065	0.106	0.216	0.330	0.410	0.410	0.440	0.449	0.428	0.400
Petunia											
Cápsula 109	0.080	0.13	0.51	0.95	0.95	1.00	1.01	1.00	0.95	0.95	0.95
Cápsula 75	0.077	0.24	0.37	0.91	0.88	0.97	1.08	0.97	0.97	0.88	0.88
Cápsula 81	0.093	0.17	0.43	0.88	0.91	1.01	1.01	1.01	1.01	0.91	0.91
Cápsula 71	0.099	0.22	0.85	1.28	1.56	1.89	1.70	1.89	1.70	1.56	1.56
Promedio	0.087	0.188	0.540	1.004	1.077	1.220	1.200	1.220	1.160	1.077	1.077

Cuadro 18. Características promedio de las plantas al final del experimento 80 DDT

Especie	Número de flores vivas	Número de flores muertas	Altura de la planta (cm)	Diámetro de la raíz (cm)	Longitud de la raíz (cm)
Sustrato Fino					
Geranio	-	-	11.6	0.7	15.4
Gazania	2	2.5	17	1.0	21.3
Petunia	7.75	19	39.8	1.0	22.8
Sustrato Grueso					
Geranio	-	-	6.9	0.3	12.9
Gazania	1.5	2.5	14.6	1.1	19.4
Petunia	6	15.7	39.3	0.8	16.3

1.7.4 Lámina consumida por las especies

El consumo de agua (solución nutritiva) por las especies de ornato, se incrementó con los días después del trasplante para todas ellas, aunque en diferente proporción para cada especie y sustrato (ver figuras 4-5 y Anexos del 5-8).

Al inicio del ciclo, la lámina consumida en sustratos finos, fue mayor en la primera semana después del trasplante que para las especies establecidas con sustrato grueso, hasta llegar al equilibrio. Por ejemplo, la Gazania (Ga) en sustrato fino (S. Fino. Ga) alcanzó niveles de 0.27 cm, mientras que para el sustrato grueso (S. Grueso. Ga) fue de 0.15 cm. Para el periodo de desarrollo o crecimiento hasta la prefloración, la lámina consumida tuvo un comportamiento similar en ambos sustratos. Para la etapa después de la floración hasta la senescencia el comportamiento de la lámina consumida, varía de acuerdo al sustrato y la especie. Por ejemplo, el Geranio (Ge) en sustrato fino (S. Fino. Ge) alcanzó niveles de 0.4 cm, mientras que para el sustrato grueso (S. Grueso. Ge) fue de 0.3 cm.

En la figura 4, se observa que los tratamientos con sustrato fino presentan una lámina consumida ligeramente mayor que el sustrato grueso, para las tres especies. El consumo aumenta mientras mayor son los días transcurridos después del trasplante.

La especie de Petunia (Pe) es la que mayor consumo presenta finales del ciclo, con valores de 0.5 cm para sustrato fino y 0.4 cm para sustrato grueso. En ambos tratamientos los datos diarios para cuatro repeticiones fueron agrupados de mayor a menor para su análisis estadístico.

En la figura 5, la evapotranspiración de referencia ET_o siempre es mayor que la Evapotranspiración del paisaje (ET_L) en ambos tratamientos. Además, se observa que la ET_L se ajusta más al consumo real o medido con las cápsulas porosas.

Respecto al IAF se observa un similar crecimiento de las especies tanto en sustrato fino como en sustrato grueso. Sin embargo, la floración se presentó en promedio 10 días antes en el sustrato fino, para las especies de Gazania y Petunia.

Figura 7. Consumos de agua diario (con solución nutritiva) por las tres especies (Geranio (Ge), Gazania (Ga) y Petunia (Pe)) en dos sustratos: fino (S. Fino) y grueso (S. Grueso).

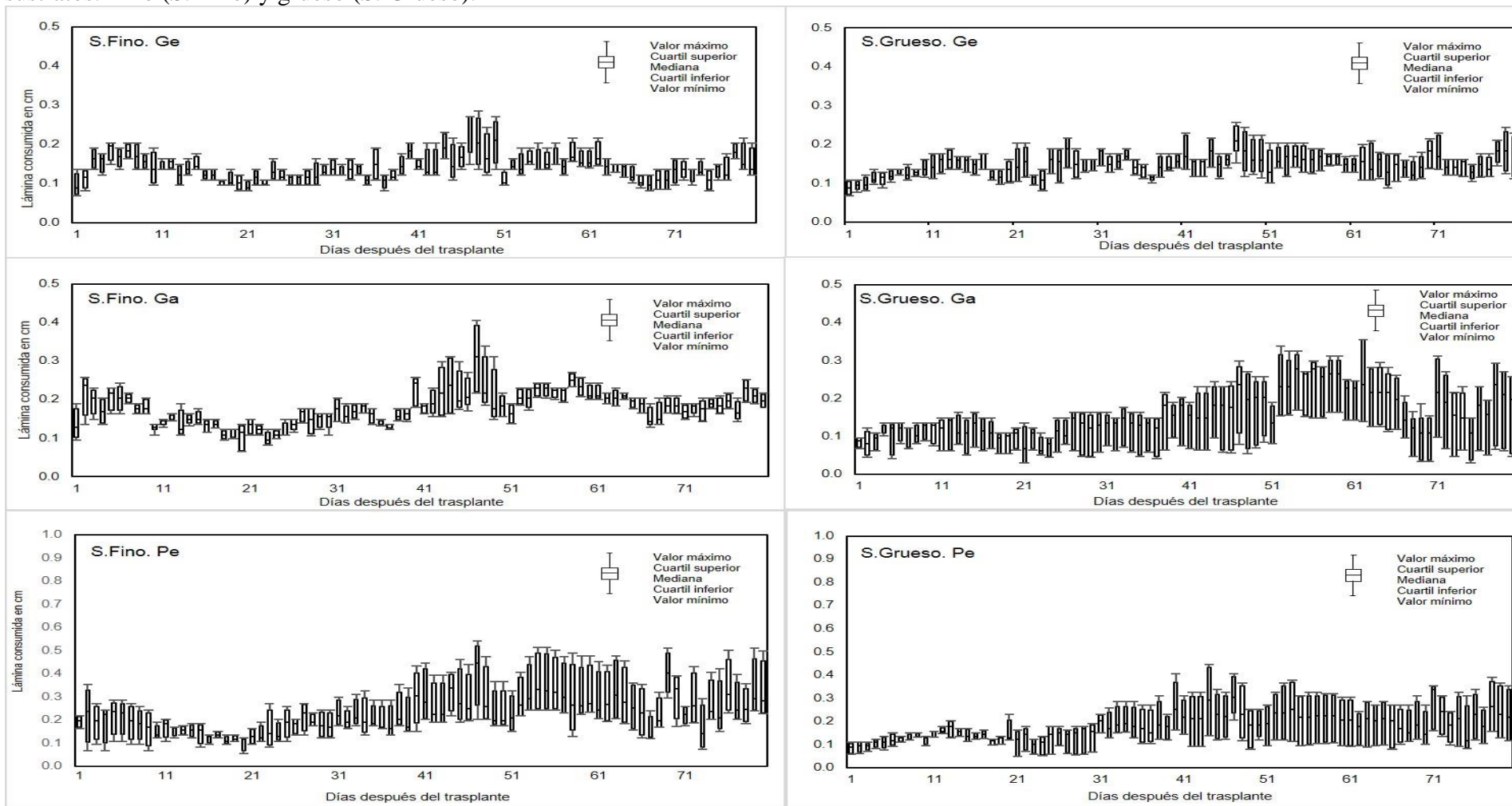
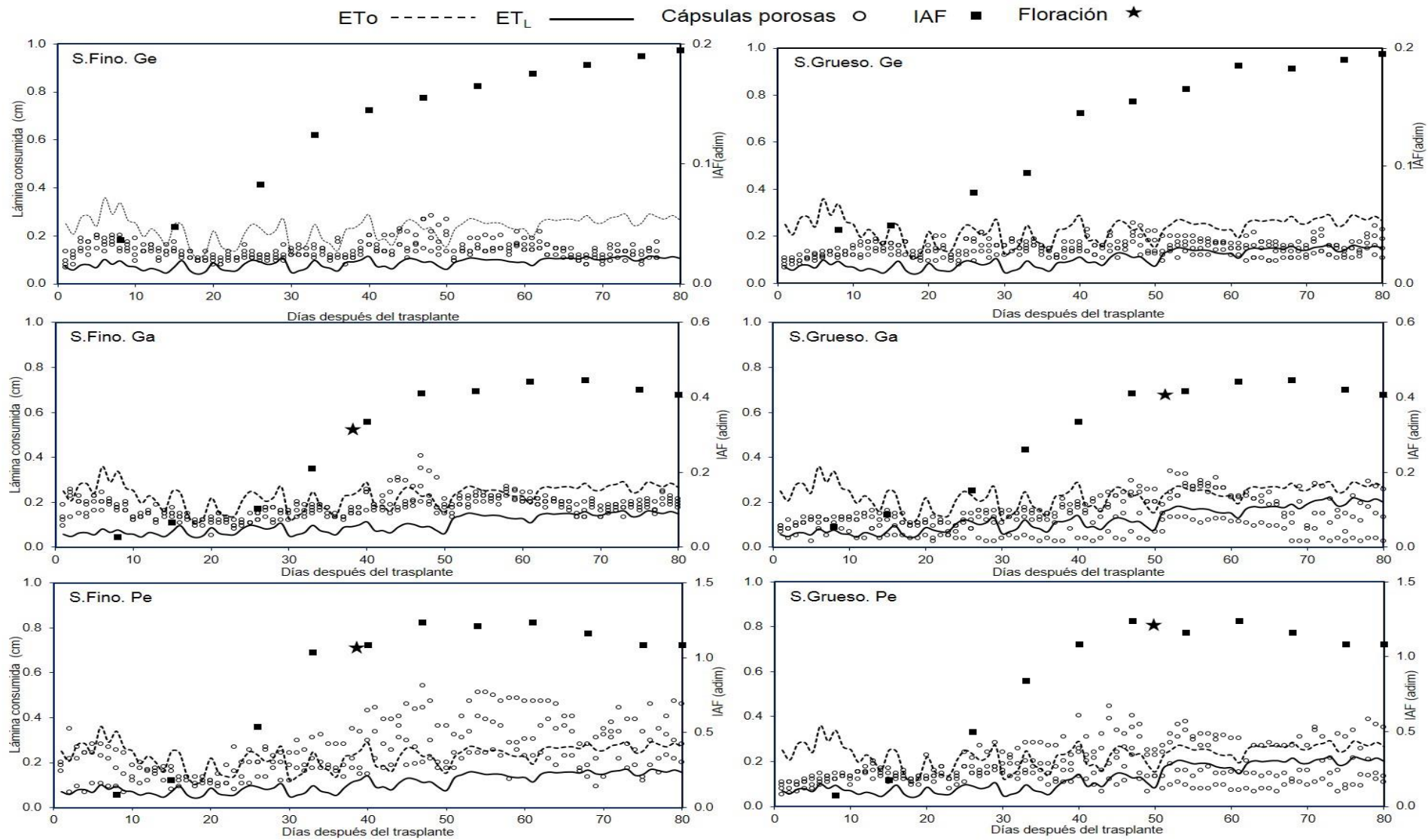


Figura 8. Evapotranspiración diaria (cm) e *IAF* en las especies (Geranio (Ge), Gazania (Ga) y Petunia (Pe)) en dos sustratos: fino (S. Fino) y grueso (S. Grueso). e *IAF* en tres especies de ornato



Cuadro 19. Comparación del consumo de agua promedios medido en cápsulas porosas contra ET_0 y ET_L , durante el ciclo vegetativo.

Especie	ET_L & Cápsulas		ET_0 & Cápsulas	
	Δ %	$-\Delta$ %	Δ %	$-\Delta$ %
Sustrato Fino				
Geranio		24.1	39.1	
Gazania		42.0	23.0	
Petunia		116.1		0.8
Sustrato Grueso				
Geranio		41.9	36.1	
Gazania		20.0	37.2	
Petunia		43.9	21.7	

ET_L Evapotranspiración del paisaje

ET_0 Evapotranspiración de referencia

Δ % sobreestima $-\Delta$ % subestima

Cuadro 20. Contenido de humedad promedio en dos tratamientos

Especie	Peso suelo húmedo	Peso suelo seco	Contenido de humedad del sustrato %	Peso húmedo	Peso seco	Contenido de humedad de la raíz %	Peso húmedo	Peso seco	Contenido de humedad del tallo y hojas %
Sustrato Fino									
Geranium	80.90	65.0	24.5	55.00	4.675	87.5	78.880	10.65	86.7
Gazania	134.7	100	34.7	32.43	8.300	77.0	76.850	13.93	78.5
Petunia				67.95	10.80	86.0	116.88	17.80	85.0
Sustrato Grueso									
Geranio	84.90	77.0	10.3	33.80	6.125	79.6	53.100	12.73	61.0
Gazania	127.5	110	15.9	41.77	9.075	79.2	111.02	13.80	86.8
Petunia				62.35	9.675	83.5	96.550	15.40	83.0

1.7.5. Evaluación del Coeficiente de cultivo K_c por sustrato y especie.

A continuación se presentan los valores de coeficientes de cultivo K_c promedios semanales durante el ciclo de 80 días para las tres especies ornamentales.

Cuadro 21 Valores de K_c obtenido en sustrato fino

Fecha	19/09/17	26/09/17	07/10/17	14/10/17	21/10/17	28/10/17	04/11/17	11/11/17	18/11/17	25/11/17	30/11/17
Geranium											
<i>IAF</i> (Adim)	0.037	0.048	0.083	0.124	0.145	0.155	0.165	0.175	0.183	0.190	0.195
<i>Kc</i> (Adim)	0.55	0.64	0.62	0.60	0.70	0.65	0.86	0.63	0.68	0.45	0.51
<i>ET_o</i> (cm)	0.27	0.24	0.18	0.20	0.19	0.22	0.22	0.24	0.24	0.27	0.27
<i>ET_c</i> (cm)	0.15	0.15	0.11	0.12	0.13	0.14	0.19	0.15	0.16	0.12	0.14
Fecha	19/09/17	26/09/17	07/10/17	14/10/17	21/10/17	28/10/17	04/11/17	11/11/17	18/11/17	25/11/17	30/11/17
Gazania											
<i>IAF</i> (Adim)	0.028	0.066	0.104	0.211	0.335	0.410	0.418	0.443	0.445	0.420	0.408
<i>Kc</i> (Adim)	0.70	0.64	0.73	0.65	0.86	0.79	1.04	0.84	0.93	0.68	0.66
<i>ET_o</i> (cm)	0.27	0.24	0.18	0.20	0.19	0.22	0.22	0.24	0.24	0.27	0.27
<i>ET_c</i> (cm)	0.19	0.15	0.13	0.13	0.16	0.17	0.23	0.2	0.22	0.18	0.18
Fecha	19/09/17	26/09/17	07/10/17	14/10/17	21/10/17	28/10/17	04/11/17	11/11/17	18/11/17	25/11/17	30/11/17
Petunia											
<i>IAF</i> (Adim)	0.087	0.181	0.541	1.035	1.083	1.238	1.210	1.238	1.160	1.083	1.083
<i>Kc</i> (Adim)	0.81	0.68	0.67	0.85	1.08	1.11	1.35	1.25	1.31	0.94	0.99
<i>E_{to}</i> (cm)	0.27	0.24	0.18	0.20	0.19	0.22	0.22	0.24	0.24	0.27	0.27
<i>E_{tc}</i> (cm)	0.22	0.16	0.12	0.17	0.2	0.24	0.3	0.3	0.31	0.25	0.27

$K_c = ET_o/ET_c$ donde la ET_o se obtuvo con el método FAO Penman-Monteith y los datos para su cálculo se presentan en los anexos 1 y 2.

ET_c representa los datos medidos con el uso de las cápsulas porosas, lo cuales se presentan en el anexo 3.

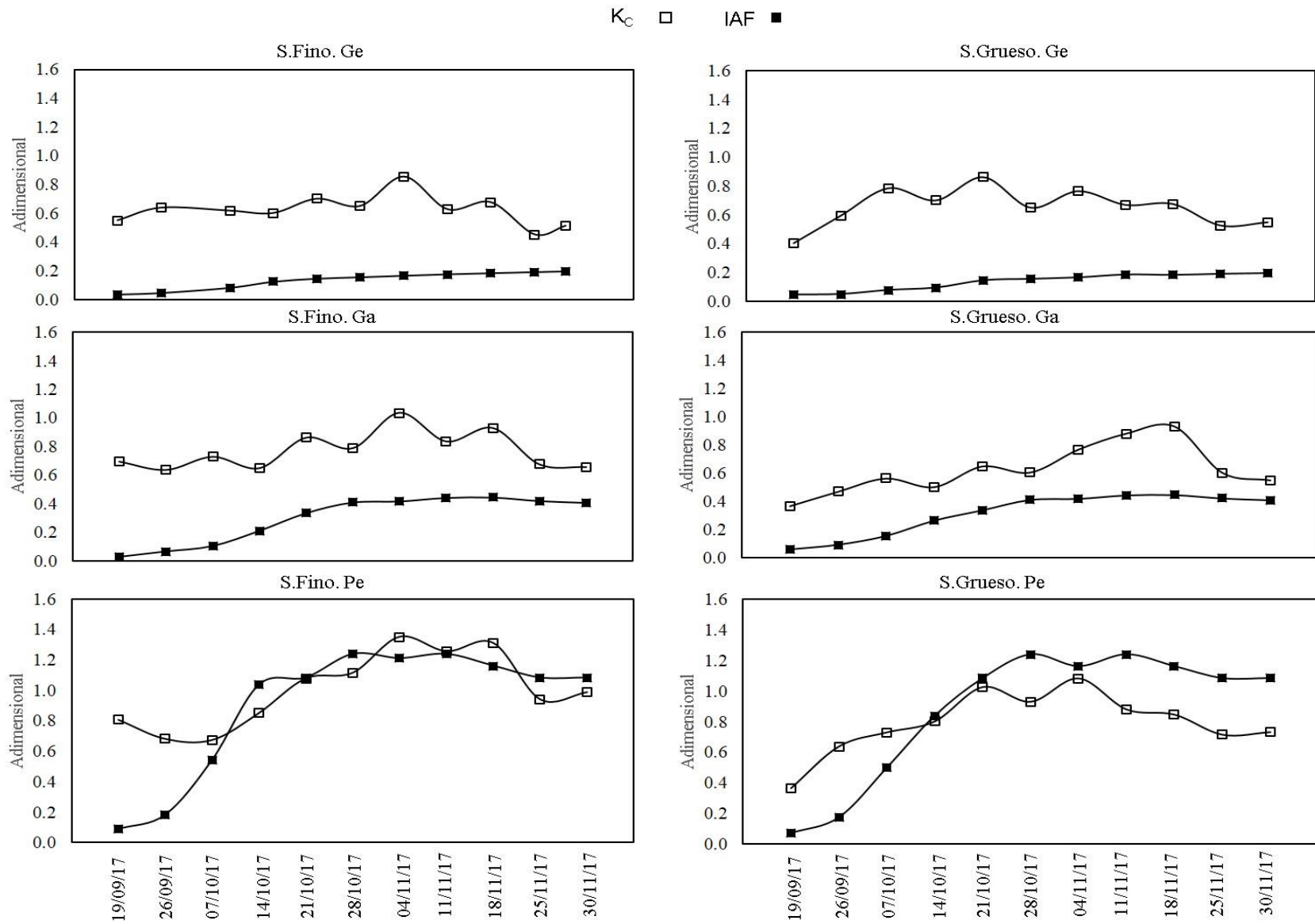
Cuadro 22 Valores de Kc obtenido en sustrato grueso

Fecha	19/09/17	26/09/17	07/10/17	14/10/17	21/10/17	28/10/17	04/11/17	11/11/17	18/11/17	25/11/17	30/11/17
Geranium											
Kc (Adim)	0.40	0.60	0.79	0.70	0.86	0.65	0.77	0.67	0.68	0.53	0.55
IAF (Adim)	0.045	0.049	0.077	0.094	0.145	0.155	0.165	0.185	0.183	0.190	0.195
ET_0 (cm)	0.27	0.24	0.18	0.20	0.19	0.22	0.22	0.24	0.24	0.27	0.27
ET_c (cm)	0.11	0.14	0.14	0.14	0.16	0.14	0.17	0.16	0.16	0.14	0.15
Fecha	19/09/17	26/09/17	07/10/17	14/10/17	21/10/17	28/10/17	04/11/17	11/11/17	18/11/17	25/11/17	30/11/17
Gazania											
Kc (Adim)	0.37	0.47	0.56	0.50	0.65	0.60	0.77	0.88	0.93	0.60	0.55
IAF (Adim)	0.055	0.088	0.151	0.261	0.335	0.410	0.418	0.443	0.445	0.420	0.408
ET_0 (cm)	0.27	0.24	0.18	0.20	0.19	0.22	0.22	0.24	0.24	0.27	0.27
ET_c (cm)	0.1	0.11	0.1	0.1	0.12	0.13	0.17	0.21	0.22	0.16	0.15
Fecha	19/09/17	26/09/17	07/10/17	14/10/17	21/10/17	28/10/17	04/11/17	11/11/17	18/11/17	25/11/17	30/11/17
Petunia											
Kc (Adim)	0.37	0.64	0.73	0.80	1.02	0.93	1.08	0.88	0.84	0.71	0.73
IAF (Adim)	0.073	0.176	0.499	0.838	1.083	1.238	1.160	1.238	1.160	1.083	1.083
ET_0 (cm)	0.27	0.24	0.18	0.20	0.19	0.22	0.22	0.24	0.24	0.27	0.27
ET_c (cm)	0.1	0.15	0.13	0.16	0.19	0.2	0.24	0.21	0.2	0.19	0.2

$Kc = ET_0/ET_c$ donde la ET_0 se obtuvo con el método FAO Penman-Monteith y los datos para su cálculo se presentan en los anexos 1 y 2.

ET_c representa los datos medidos con el uso de las cápsulas porosas, lo cuales se presentan en el anexo 3.

Figura 9. K_C e IAF en las especies (Geranio (Ge), Gazania (Ga) y Petunia (Pe)) en dos sustratos: fino (S. Fino) y grueso (S. Grueso).



1.8 DISCUSIÓN

Como se observa en la figura 5 y el cuadro 19 el método WUCOLS III con el que se obtiene ET_L , subestima los consumos promedio durante el ciclo con respecto a los consumos cuantificados por las cápsulas porosas en un rango de 20.0-116.0% dependiendo del sustrato. El rango de diferencia posiblemente se debe a que dicho método no considera el régimen de humedad del suelo o la evaporación del sustrato, lo que se resume en un coeficiente de estrés hídrico K_{sm} (R.L. Snyder, 2014). Por otro lado la ET_o calculada por el FAO Penman-Monteith, ofrece resultados un poco más aproximados (21.7-39.0 %) pero sobreestima los valores reales medidos por las cápsulas.

Como se observa en la Figura 5 la especie Geranio no logró su desarrollo hasta la etapa de floración, aunque existe investigaciones donde el geranio ha floreado a los 99 días después del trasplante (Merritt & Ting, 1995), en este experimento no fue así posiblemente a que se estableció en la transición verano-otoño, cuando ha pasado el periodo de altas temperaturas. Siendo que éstas afecta el crecimiento a través de su influencia sobre todas las actividades metabólicas: fotosíntesis, respiración, digestión, transpiración, absorción de agua y crecimiento de la raíz (Byrd, 1970).

De acuerdo con (Merritt & Ting, 1995) la *Gazania* florea entre 95-113 Días Después de la Siembra (DDS) para climas templados, en este experimento, su floración se presentó a los 30 días después del trasplante (DDT) para el Sustrato Fino y 40 DDT para el Sustrato Grueso, es decir a los 60 DDS y 70 DDS ya que las tres especies fueron sembradas el 20 de agosto de 2017.

De acuerdo con los Cuadros 9, 11 y 13 los dos tipos de sustratos para *Geranium* y *Gazania* tienen similar consumo de agua, a excepción de la *Petunia* que hubo diferente consumo de agua significativo. Esto posiblemente se debe a que completó su ciclo y alcanzó mayor *IAF* por lo que consumió mayor cantidad de solución nutritiva en el sustrato fino. Esto se debe al tamaño de las partículas que componen el sustrato, a menor tamaño de las partículas, la capacidad de la cápsula de abastecer mayores demandas hídricas se incrementa (Trujillo, 2015). Cabe destacar que los valores de lámina consumida consideran, transpiración de la planta más la evaporación del agua en el sustrato.

De acuerdo con la Figura 5 la ET_o y la ET_L son iguales para ambos sustratos. La ET_o siempre es mayor que la ET_L , pues esta última está afectada por coeficientes de microclima, cobertura y especie que para este estudio, fueron menores a 1.0.

El agua constituye el principal factor limitante del crecimiento de las plantas (Hanson & Hitz, 1982). Incluso, cuando el déficit hídrico se desarrolla lentamente, se dan cambios en procesos de desarrollo que tienen varios efectos sobre el crecimiento, principalmente la limitación específica de la expansión foliar (Moreno, 2009). En la figura 4 se muestra que las especies establecidas en sustrato fino alcanzaron un mayor *IAF* y una floración más temprana en comparación con las especies establecidas en sustrato grueso. Lo anterior puede explicarse debido a que el agua en los poros pequeños y bajo potencial mátrico de materiales finos, implica mayor disponibilidad de agua en el suelo (Wang, Huang, & H., 2016). Por lo que la planta ahorra energía en conseguir agua y aprovecha ésta para su propio desarrollo.

1.9 CONCLUSIONES

El uso de cápsulas porosas calibradas, con sus conductividades hidráulicas conocidas, resulta muy útil y preciso para cuantificar el consumo hídrico en plantas de ornato, con flor de corte o plantas de maceta, con moderado a bajo consumo de agua y bajo condiciones de invernadero.

Bajo las condiciones de este experimento, el método WUCOLS III subestima los consumos hídricos en un 20.0-116.0 % y el método FAO Penman-Monteith sobreestima 21.7-39.0 % dependiendo de la textura del sustrato. Sin embargo, los usos de ambas metodologías proporcionan una buena guía teórica sobre el uso del agua en especies hortícolas, debido a la escasa investigación que existe en el tema.

El diseño adecuado de la textura del sustrato es de gran importancia para el manejo del agua en plantas de ornato. Ya que para este experimento la textura fina permitió un mejor desarrollo, derivando en un tiempo de floración menor que el sustrato grueso, lo que es de gran importancia para el cultivo comercial de plantas de ornato como las flores de corte.

1.10 BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R. G. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO (Vol. 56). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements-FAO Irrigation and Drainage Paper 56*.
- Bainbridge, D. (2002). Alternative Irrigation Systems for Arid Land Restoration. *Ecological Restoration*, 20, 23–30.
- Byrd, A. (1970). *Exotic Plant Manual. Fascinating plants to live with* (2da ed.). New Jersey USA: Roehrs Company.
- Campbell, D. N., Chae-In, N., Rowland, D. L., Schnell, R. W., Ferrell, J. A., & Wilkie, A. C. (2015). Development of a regional specific crop coefficient (Kc) for castor (*Ricinus communis* L.) in Florida, USA by using the sap flow method. *Industrial Crops and Products*, 74, 465–471.
- Costello, L. R., Matheny, N. P., Clark, J. R., & Jones, K. S. (2000). *A Guide to Estimating Irrigation Water Needs of Landscape Plantings in California. The Landscape Coefficient Method and WUCOLS III. University of California Cooperative Extension. California Department of Water Resource. The landscape coefficient method &* Retrieved from <http://www.water.ca.gov/wateruseef?ciency/docs/wucols00.pdf>.
- Hanson, A., & Hitz, W. D. (1982). Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Plant Physiology*, 33, 163–203.
- Lemaire, F., Dartigues, A., Riviere, L., Charpentier, S., & Morel, P. (2005). *Cultivos en macetas y contenedores. Principios agronómicos y aplicaciones* (2a ed.). Mundi-Prensa.
- Lilly, S. J. (1991). *Arborists' Certification Study Guide* (1st ed.). Savoy, IL USA: International Society of Arboriculture.
- Merritt, R. H., & Ting, K. C. (1995). Morphological responses of bedding plants to three greenhouse temperature regimes. *Scientia Horticulturae*, 60, 313–324.
- Montero, J. I., Antón, A., Muñoz, P., & Lorenzo, P. (2001). Transpiration from geranium grown under high temperatures and low humidities in greenhouses. *Agricultural and Forest Meteorology*, 107, 323–332.
- Moreno, P. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión.
- Nouri, H., Beecham, S., Hassanli, A. M., & Kazemi, F. (2013). Water requirements of urban landscape plants: A comparison of three factor-based approaches. *Ecological Engineering*, 57, 276–284.
- R.L. Snyder. (2014). Advances in ET-based landscape irrigation management. *Agricultural Water Management*, 147, 187–197.
- Rodríguez, C. (2002). Manejo de areas verdes en concepcion: mejor calidad de vida urbana. *Urbano*, 41–42.
- Salvador, P. (2003). *La planificación verde en las ciudades*. (GUSTAVO GILI, Ed.). Barcelona.
- Sebastián, M. (2016). Manejo del agua con el uso de cero energía y ahorro de agua en jardines de hoteles. *Revista Ingeniería Agrícola*, 6, 50–55.
- Trujillo, C. (2015). *Diseño y evaluación de nuevas cápsulas porosas con fines de riego*. Colegio de Postgraduados.
- Wang, J., Huang, Y., & H., L. (2016). Water and salt movement in different soil textures under various negative irrigating pressures. *Journal of Integrative Agriculture*, 15, 1874–1882.

CAPÍTULO 2. ESTUDIO DE CASO DE LAS ÁREAS VERDES PARA MITIGAR LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL (CCG) EN LA CIUDAD DE SEVILLA ESPAÑA.

The role of green roofs in climate change mitigation. A case of study in Seville (Spain)

2.1 INTRODUCCIÓN

En numerosos estudios sobre cambio climático predicen un aumento global de las temperaturas, donde las consecuencias de ese aumento serán más preocupantes en las zonas urbanas, en las que la temperatura es ya de por sí mayor que en las áreas rurales circundantes. Este fenómeno de calentamiento se debe en gran parte al desarrollo antropogénico en el casco urbano (Jong, Jeong, & Myung, 2012) y al aumento de las zonas construidas (Santamouris, 2014). En ellas, se usan materiales de construcción que absorben la mayor parte de la radiación y la desprenden en forma de calor. Esto genera el fenómeno de isla de calor urbano, que tiene impactos directos e indirectos, sobre la salud y la calidad de vida de los residentes (Lin, Yu, Su, & Lin, 2013).

Existe una clara correlación entre la abundancia de vegetación y las temperaturas de la superficie del suelo (Susca, Gaffin, & Dell'osso, 2011; Weng, Lu, & Schubring, 2004) y por consiguiente un aumento de las zonas verdes en las ciudades contribuiría a la mitigación de la Isla de Calor (Hart & Sailor, 2009). No obstante, en muchas de las ciudades actuales existe una elevada densidad de superficie construida, lo cual no permite aumentar el número de áreas verdes. De esta manera, si se quiere incrementar la presencia de vegetación urbana, es necesario recurrir a otros tipos de sistemas que permitan implementarla en las edificaciones, como los techos verdes o los jardines verticales. De hecho, los techos de todas las construcciones, representan un alto porcentaje de la exposición aérea urbana. Estimaciones realizadas para ciudades densas muestran que la fracción de área de techo varía del 20% al 25% del área total (Akbari & Rose, 2008). Por este motivo, el uso de estas superficies para aumentar la vegetación urbana representa una opción interesante.

Los techos verdes son sistemas de naturación urbana que precisamente permiten instalar vegetación en las azoteas de los edificios mediante elementos más o menos complejos. Pueden ser extensivos, más ligeros y con un menor espesor de sustrato en los que se establecen especies de porte pequeño, o intensivos, más pesados, con un mayor perfil de sustrato y en donde se pueden incluir hasta pequeños árboles y arbustos (Santamouris, 2014). Los techos verdes existen desde hace más de mil años, pero en los últimos tiempos su uso ha tomado más relevancia y han aparecido nuevas soluciones técnicas que favorecen su implantación. Este desarrollo se ha producido ya que no sólo proporcionan un lugar de esparcimiento o un bonito paisaje, sino también servicios de los ecosistemas, como la regulación del microclima, la gestión de las aguas pluviales, la mejora del aislamiento del edificio y su influencia en la temperatura interior, la absorción de ruido, la reducción de contaminación del aire, o el aumento de la biodiversidad (Lin *et al.*, 2013; Yang, Yu, & Gong, 2008). Además, contribuyen al incremento del albedo de las zonas urbanas (Saadatian *et al.*, 2013).

Muchos de los estudios sobre techos verdes están orientados hacia su capacidad para regular la temperatura. Sin embargo, según sea el clima y el tipo de techo verde (con materiales vegetales, sustratos y características de construcción distintas), su eficacia puede variar (Ouldboukhite,

Belarbi, & Djedjig, 2012). La eficacia térmica de un techo verde está estrechamente relacionada con el clima, y se vuelve más significativa cuando la temperatura del ambiente es más alta (Lin *et al.*, 2013). Esta eficacia se mide desde el punto de vista del ahorro de energía en zonas cálidas por su capacidad para bajar la temperatura (Santamouris, 2014), tanto de la superficie del techo como del aire que tiene por encima (MacIvor, Margolis, Perotto, & Drake, 2016). Por ejemplo, un análisis de la temperatura superficial antes y después de la colocación de un techo verde en un edificio de Singapur mostró una reducción significativa una vez instalado el techo verde, especialmente para altas coberturas vegetales, siendo la diferencia máxima de temperatura observada de aproximadamente 18°C (Wong, Tan, & Chen, 2007).

Otro estudio en Hong Kong demostró que el calor almacenado en un techo desnudo, fue mayor que la del techo verde en un 75% (Tsang & Jim, 2011). En la ciudad de Chicago se compararon las temperaturas superficiales del verano en un techo verde con un edificio vecino. La temperatura de la superficie del techo verde varió desde 33 a 48°C, mientras que en el techo oscuro convencional del edificio adyacente era de 76°C. La temperatura del aire cerca de la superficie por encima del techo verde era 4°C más fría que el techo convencional (U.S. Environmental Protection Agency, 2008). Esta disminución de la temperatura se debe a que en un techo verde, el flujo de calor sensible es pequeño debido al gran flujo de calor latente por evaporación, aunque la radiación neta sea grande. Esto es funcional para reducir la isla de calor y bajar la temperatura de un área en particular (Takebayashi & Moriyama, 2007). Asimismo, algunos estudios de simulación indican que los techos verdes pueden reducir la temperatura ambiente promedio de entre 0,3 y 3°C en la escala de la ciudad y reducir el efecto de isla de calor drásticamente (Santamouris, 2014).

Actualmente, muchas ciudades de distintos países como Alemania, EE.UU. Dinamarca o Canadá, los gobiernos han desarrollado una variedad de normas, incentivos y servicios técnicos para promover la naturalización de los techos (Berardi, GhaffarianHoseini, & GhaffarianHoseini, 2014). Estas medidas propiciarán el aumento del área ocupada por techos verdes, lo cual tendrá consecuencias favorables sobre las condiciones climáticas particulares en los núcleos urbanos en los que se instalan. De hecho, la implantación masiva de techos verdes podría servir de mecanismo para disminuir el efecto Isla de Calor y contrarrestar el aumento de las temperaturas debido al cambio climático.

Precisamente, con este estudio se pretende analizar si el uso de techos verdes para ampliar las zonas vegetadas en las ciudades influiría en la reducción de la temperatura en las mismas y determinar cuánta superficie se requeriría para mitigar el efecto del cambio climático. Para ello se ha estudiado un caso práctico en la ciudad de Sevilla (España).

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1 Escenarios regionalizados de cambio climático para España.

El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) de España, tiene como línea de trabajo prioritaria, desarrollar el programa de escenarios de cambio climático regionalizados, que consiste en la generación y puesta a disposición pública de una colección de escenarios que proyectan cómo se manifestará el cambio climático a lo largo del siglo XXI en España. La Agencia Estatal de Meteorología, responsable de la coordinación y el desarrollo del *PNACC*, puso en marcha un proceso de generación de escenarios climáticos regionalizados (AEMET, 2009). Para el caso de estudio, se utilizó la evolución de las medias de las temperaturas máximas promedio anuales y mensuales en la región de Andalucía, zona a la que pertenece la ciudad de Sevilla. Se calcularon para los tres periodos de 30 años que abarcan de 2001 hasta 2100. Se han incluido comparaciones con los diferentes modelos globales que se han utilizado, con los diferentes métodos de regionalización y según los escenarios de emisión SRES-IPCC (AEMET, 2009).

Los escenarios de emisiones, son de utilidad para el análisis del cambio climático, y en particular para la creación de modelos del clima, para la evaluación de los impactos y para las iniciativas de adaptación o de mitigación (IPCC, 2000). La familia de líneas evolutivas y escenarios A2, que se utilizó en este estudio, describe un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. Las pautas de fertilidad en el conjunto de las regiones convergen muy lentamente, con lo que se obtiene una población mundial en continuo crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones, y el crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas (IPCC, 2000).

2.2.2 Relación entre la temperatura cercana al suelo y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

El *NDVI* es un índice numérico utilizado en el análisis de teledetección para evaluar si un determinado objetivo contiene vegetación viva. La vegetación sana absorbe la luz visible (0.4 a 0.7 μ m) y refleja la luz más cercana al infrarrojo (0.7 a 1.1 μ m). La vegetación escasa o poco saludable, generalmente refleja mayor luz visible y menos la infrarroja cercana (FSNAU, 2010). Por lo tanto, una mayor radiación en las longitudes de onda del infrarrojo cercano reflejada que en las longitudes de onda visibles generalmente indica la presencia de vegetación verde, mientras que una pequeña diferencia en la intensidad entre las dos longitudes de onda es generalmente un indicador de vegetación escasa o superficies sin vegetación (Weirer, J. and Herring, 2010).

Como las bandas de infrarrojo cercano y rojo de los satélites son las más sensibles a la información de vegetación, estas bandas pueden ser empleadas para cuantificar la densidad de crecimiento de la planta en un píxel dado (Weirer, J. and Herring, 2010). Este índice se ha utilizado en algunos trabajos para determinar la abundancia de vegetación en una zona determinada (Huang & Ye, 2015). Los valores de *NDVI*, varían de 0.0 a 1.0 dependiendo del nivel de cobertura vegetal y el estado fisiológico o de salud de la vegetación. Un *NDVI* mayor a 0.2 indica presencia de vegetación dependiendo de la cantidad y el estado de salud de la cubierta vegetal (Liao, Zhang, & Bengtsson, 2005; Tan, Lim, MatJafri, & Abdullah, 2010).

De acuerdo con (Yuan & Bauer, 2007) y (Su, Gu, & Yang, 2010) las áreas con altos valores de $NDVI$ pueden bajar los valores de temperatura cercana al suelo (T_s). Esta correlación se debe a la influenciada de las condiciones de humedad en el suelo y la evapotranspiración de las plantas en la superficie. Los valores de ambas variables pueden ajustarse a un modelo lineal, el cual describe una dependencia inversa entre T_s y el $NDVI$ (Huang & Ye, 2015), por lo que la temperatura se define con la siguiente expresión general:

$$T_s = -x * (NDVI) + y \quad (1)$$

Por ello, el incremento de temperatura debido al cambio climático (ΔT_{max}) podría mitigarse con el incremento sustancial del valor promedio del $NDVI$ ($NDVI_{prom}$), es decir, incrementando la cobertura vegetal actual ($NDVI^{cc}$) (Figura 1).

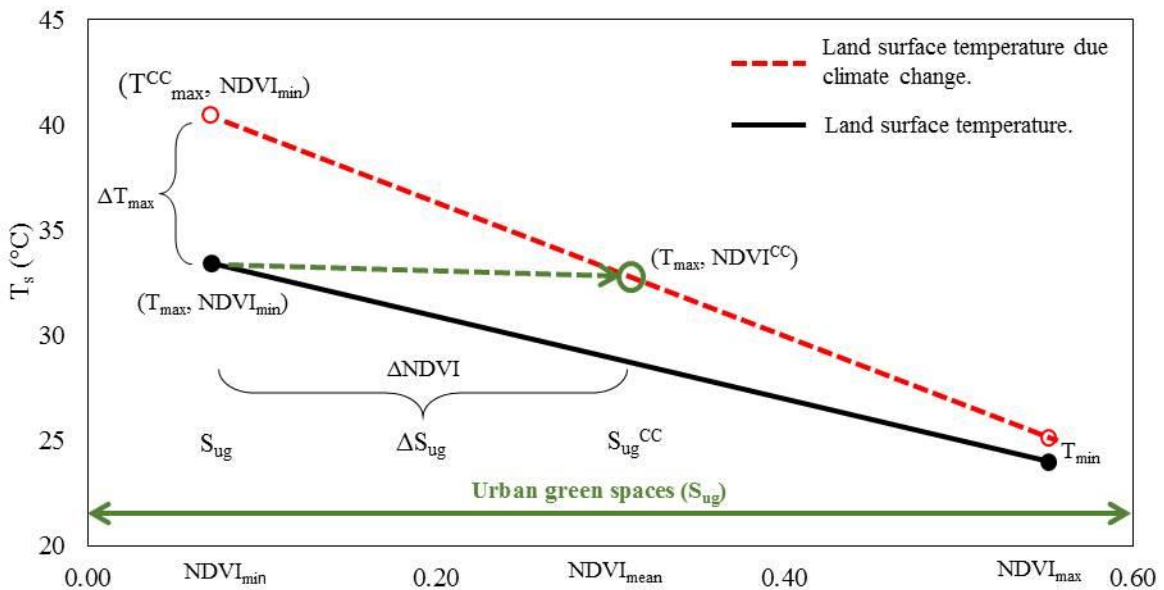


Figura 1. Relación entre T_s y $NDVI$, está en función del área verde urbana (S_{ug}), y el área verde urbana necesaria para estabilizar los efectos de incremento de temperatura debido al cambio climático (S_{ug}^{cc}).

$NDVI_{prom}$ es el promedio de los valores $NDVI$ obtenidos de la imagen de satélite en el área de estudio. ΔT_{max} es el incremento de la temperatura máxima debido al cambio climático. T_{max}^{cc} se obtiene de sumar ΔT_{max} a la temperatura media mensual. $NDVI_{max}$ y $NDVI_{min}$, son los valores de $NDVI$ máximos y mínimos obtenidos del procesamiento de la imagen de satélite en toda el área de estudio. T_{max} y T_{min} , son los valores de temperatura máxima y mínima obtenida del procesamiento de la imagen de satélite en el área de estudio.

De este modo, el $NDVI^{cc}$ se obtiene como sigue:

$$NDVI^{cc} = NDVI_{prom} + [\Delta T_{max} * (NDVI_{max} - NDVI_{min}) / (T_{max} - T_{min})] \quad (2)$$

Donde:

$NDVI_{prom}$ es el promedio de los valores $NDVI$ obtenidos de la imagen de satélite para toda el área de estudio.

ΔT_{max} son los grados que se incrementa la temperaturas máximas debido al cambio climático, estos valores los proporciona el (AEMET, 2009) y se muestran en el Cuadro 2.

$NDVI_{max}$ y $NDVI_{min}$, son los valores de $NDVI$ máximos y mínimos obtenidos del procesamiento de la imagen de satélite en toda el área de estudio.

T_{max} y T_{min} , son los valores de temperatura máxima y mínima obtenida del procesamiento de la imagen de satélite en toda el área de estudio.

Para el cálculo de T_s y el $NDVI$ sobre el área de estudio, se ha usado una imagen del United States Geological Survey (USGS) capturada por Sentinel-2 el 31 de agosto del 2016. Se adquirió aproximadamente a las 14:00 hr de la hora local, con condiciones atmosféricas de 0% cobertura de nubes (USGC, 2016). A la hora de la captura de la imagen T_{max} fue de 31.8 °C y T_{min} de 20.6°C.

El cálculo del $NDVI$ (Figura 2) se realiza a partir de las bandas del Sentinel-2 que captan el color rojo-red (0.665 μ m) y el infrarrojo cercano-NIR (0.842 μ m) (bandas 4 y 8 respectivamente) (ESA, 2016). Se han comparado los resultados obtenidos con los de otra imagen adquirida por Landsat 7 ETM+ el 18 de mayo de 2003 (Farina 2012).

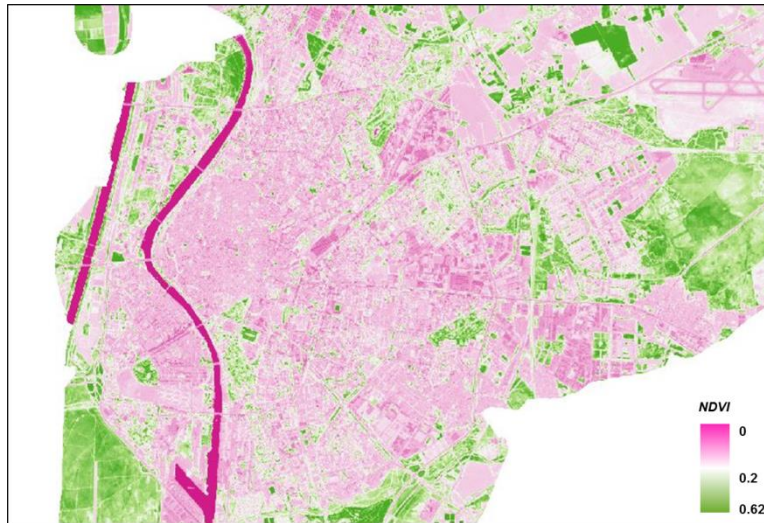


Figura 2. $NDVI$ obtenido con la imagen Sentinel-2 de la ciudad de Sevilla.

Para el cálculo de T_s se usó la inversa de la función de la Ley de Planck (Salinas, 2013), que para imágenes de satélite puede expresarse como:

$$T_s = K_2 / \{Ln [(ENBK_1/R_c) + 1]\} \quad (\text{Li et al., 2004}) \quad (3)$$

Donde T_s es la temperatura de la superficie en grados K ,

R_c es la radiancia térmica corregida de la superficie y

K_1 y K_2 son constantes para las imágenes de satélite de 607.76 y 1260.56 respectivamente en $\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$

ε_{NB} es la emisividad que representa el comportamiento de la superficie para la emisión térmica (10.4 a 12.5 μm). Las unidades para R_c deben ser la misma que las de K_1 ($\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$).

Se utiliza la radiancia térmica corregida de la superficie R_c , utilizando la ecuación desarrollada por (Wukelic, Gibbons, & Martucci, 1989).

$$R_c = [(L_6 - R_p) / \tau_{NB}] - [(1 - \varepsilon_{NB})R_{sky}] \quad (4)$$

Donde L_6 es la radiancia espectral de la banda 6 ($\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$), R_p es la radiancia registrada en la banda de 10.4-12.5 μm , R_{sky} es la radiación térmica baja de la banda estrecha para un cielo limpio ($\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$), τ_{NB} es la transmisividad del aire en la banda estrecha (10.4-12.5 μm).

Las unidades para R_c son $\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$. (Allen, Tasumi, & Morse, 2007) sugiere $R_p = 0.91$, $\tau_{NB} = 0.866$ y $R_{sky} = 1.32$

La ε_0 es la emisividad que representa el comportamiento de la superficie para la emisión térmica del amplio espectro térmico (6 a 14 μm). Las emisividades se calcularon según (Tasumi, Allen, & Trezza, 2003).

$$\varepsilon_{NB} = 0.97 + 0.033 \text{ LAI}; \text{ para } \text{LAI} \leq 3$$

$$\varepsilon_0 = 0.95 + 0.01 \text{ LAI}; \text{ para } \text{LAI} \leq 3$$

$$\varepsilon_{NB} = 0.98 \text{ y } \varepsilon_0 = 0.981; \text{ para } \text{LAI} > 3$$

El LAI (Índice de Área Foliar) es la relación del área total de todas las hojas en la planta del área del suelo representado por la planta. El LAI se calcula usando la siguiente ecuación empírica desarrollada por (Trezza, 2002).

$$\text{LAI} = 11 * \text{SAVI} \leq 0.817$$

$$\text{LAI} = 6; \text{ para } \text{SAVI} > 0.817$$

SAVI es un índice que trata de sustraer los efectos del fondo del suelo del NDVI , se reduce el impacto de la humedad del suelo en este índice.

$$\text{SAVI} = (1 + L)(\rho_{t,4} - \rho_{t,8}) / (L + \rho_{t,4} + \rho_{t,8}) \quad (5)$$

L es una constante para el SAVI . Si L es igual a cero, SAVI es igual al NDVI . Para esta investigación se utilizó $L = 0.5$.

$$\text{NDVI} = (\rho_{t,4} - \rho_{t,8}) / (\rho_{t,4} + \rho_{t,8}) \quad (6)$$

Donde: $\rho_{t,4}$ y $\rho_{t,8}$, son reflectividades del satélite para las bandas 4 y 8 respectivamente.

La ecuación (1) puede utilizarse a nivel local o a nivel regional y la pendiente de la recta, varía dependiendo de la resolución de las imágenes de satélites utilizadas en el proceso de obtención del

NDVI, para este caso las imágenes Landsat 7 ETM+, con una resolución de 30 m y las Sentinel-2 de 10 m.

2.2.3 Localización del área de estudio

Sevilla es una ciudad situada en la región de Andalucía, al Sur de España. Durante los últimos 20 años, el área urbana de Sevilla ha experimentado un importante crecimiento de la población y la ciudad se constituye como una área metropolitana en expansión (López & Recaño, 2010). Actualmente, su casco urbano de 140 km² cuenta con una población de alrededor de 700.000 habitantes con una densidad de población de unos 5.000 hab/km².

De acuerdo con (Ramirez, Fernandez, Del Ojo, & Cobo, 2013), el diseño urbano de la ciudad de Sevilla, representa un eco-diseño, con un núcleo urbano central y un crecimiento radiocéntrico, en donde las áreas inconexas recientemente construidas, poco a poco han ido incorporándose al núcleo urbano (Figura 3). Todas las áreas verdes de Sevilla suman 890 ha (Ayuntamiento de Sevilla, 2016). Sevilla dispone de la mayor superficie total de zona verde por habitante de Andalucía, y cuenta con un gran anillo verde externo, pero no lo suficientemente próximo a la población (MAGRAMA, 2011). Sin embargo, el número de techos verdes existentes actualmente es prácticamente nulo.



Figura 3. Delimitación del área de estudio (zona urbana) dentro del término Municipal de Sevilla

Para estimar el área construida del núcleo urbano de la ciudad de Sevilla, 6.190 ha descrito por (Farina, 2012) se utiliza el software Qgis 2.14 (Open Source Geospatial Foundation) y el sistema de información geográfica y urbanismo de Sevilla (IDE, 2016) y se superponen los shapefile vectoriales de construcciones, masa y límite territorial de la ciudad de Sevilla con el shapefile de *NDVI* obtenido del procesamiento de la imagen de satélite Sentinel-2, discriminando las áreas verdes y agrícolas con *NDVI* mayores a 0.2.

En Sevilla existen dos principales islas de calor, en el lado Este y en el Sureste, ambas conformadas por polígonos de construcciones con infraestructura “industrial, comercial, pública, military unidades privadas”, con escasa vegetación. Este tipo de polígonos presentan relaciones inversas

entre T_s y la abundancia de vegetación, es decir, a mayor temperatura, menor vegetación establecida (Farina, 2012).

Se han empleado los datos de Farina (2012), de los polígonos de espacios verdes urbanos (S_{ug}) que consideran pequeñas zonas, agrícolas, parques y jardines públicos y se han comparado con los valores de temperatura y $NDVI$ obtenidos con imágenes de satélite Sentinel-2.

2.2.4 Estimación del área necesaria de techos verdes

A cada valor representativo de $NDVI$ corresponde un valor estimado de espacios verdes urbanos (S_{ug}) en la ciudad de Sevilla. Actualmente S_{ug} representa 890 ha (Ayuntamiento de Sevilla, 2016), el 14% del núcleo urbano de la ciudad de Sevilla, (Farina, 2012). Al final de cada uno de los períodos considerados, S_{ug}^{cc} se obtiene a partir del $NDVI^{CC}$ de modo que:

$$S_{ug}^{cc} = S_{ug} * (1 + \Delta NDVI) \quad (7)$$

Donde:

$$\Delta NDVI = (NDVI^{cc} - NDVI_{prom}) / NDVI_{prom} \quad (8)$$

$$S_{ug}^{cc} = S_{ug} + \Delta S_{ug} \quad (9)$$

ΔS_{ug} es la superficie vegetada que tendría que crearse para amortiguar el incremento de temperatura producido por el cambio climático. En este caso no se contempla ningún cambio con respecto a la superficie actual de zonas verdes, por lo que este incremento correspondería únicamente al aumento de superficie de techos verdes.

2.3. RESULTADOS

Dentro de la zona de estudio (Figura 3), se ha estimado una superficie total construida de 1,820 ha en la cual se han establecido diferentes áreas en función de sus características y uso: viviendas, comercial, equipamiento y servicios públicos y zonas verdes. La Figura 4 muestra un ejemplo de dicha categorización.



Figura 4. Ejemplo de determinación de las distintas categorías dentro de la zona de estudio

Los valores de temperatura cercana al suelo y el índice *NDVI*, obtenidos por Farina (2012) de una imagen Landsat 7 ETM+ se digitalizaron con el programa Graph Expert Professional 1.3, en polígonos clasificados para áreas verdes. Estos datos se complementaron con los obtenidos con la imagen Sentinel-2, y confirman una relación inversa entre temperatura calculada y el *NDVI*. Los valores obtenidos por (Farina, 2012), presentan un mejor ajuste a un modelo lineal $R^2= 0.44$ en comparación con los datos obtenidos en este estudio con una $R^2=0.33$ (Figura 5).

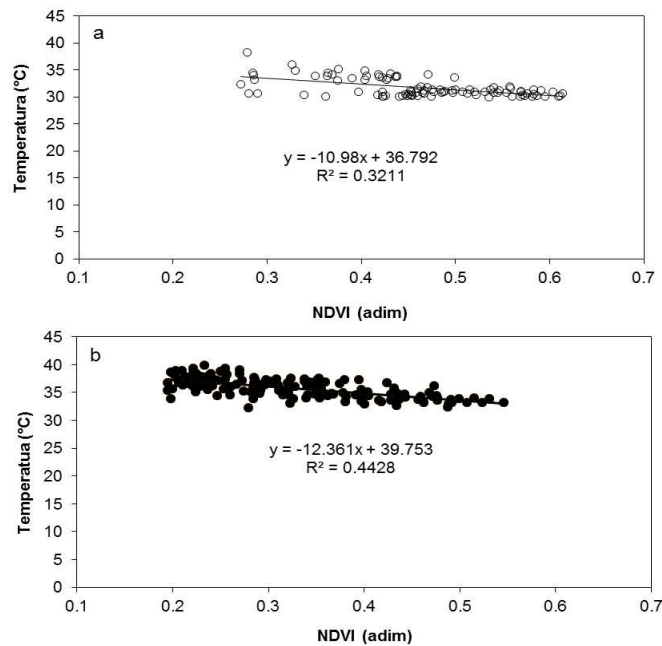


Figura 5. Relación entre T_s y *NDVI* para (a) Landsat 7 ETM+ y (b) Sentinel-2.

Los valores de *NDVI* y de temperatura corresponden a polígonos de tejido urbano denso con cobertura vegetal (parques y jardines) y tejido urbano semi denso con escasas áreas agrícolas o forestales. Se discriminaron los polígonos con valores de *NDVI* menor a 0.2, por ser áreas con bajo porcentaje de cobertura vegetal y alta densidad construida.

Para verificar la confiabilidad de los valores de temperatura obtenidos, se han comparado las temperaturas medidas en las estaciones agroclimáticas de Sevilla en relación a las calculadas (T_{med}/T_s) en polígonos con vegetación y en residenciales, en las fechas en que fueron capturadas las imágenes de satélite (Figura 6). Los valores de T_{med} se han obtenido de seis estaciones agroclimáticas de Sevilla, que se encuentran distribuidas en diferentes sitios: con vegetación, con tejido urbano denso y semi denso.

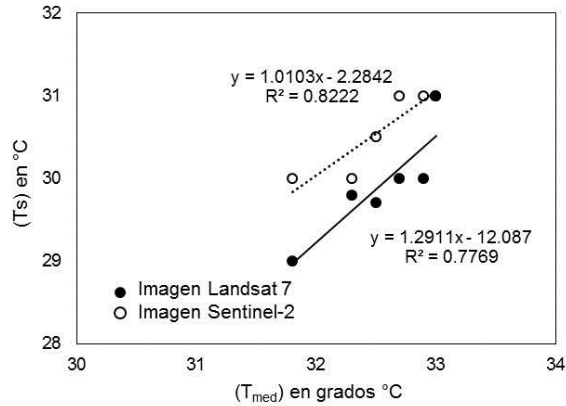


Figura 6. Comparación de las temperaturas medias en la ciudad de Sevilla (T_{med}/T_s) medidas en estaciones agroclimáticas con las obtenidas a partir de las imágenes de satélite Landsat 7 ETM+ y Sentinel-2.

Para cada uno de los polígonos, incluyendo áreas con tejido urbano, residenciales, fábricas y con cobertura vegetal de diferente porte y densidad, se han obtenido valores promedios de temperatura y $NDVI_{prom}$ a partir del procesamiento de la imagen de satélite Sentinel-2. A modo de ejemplo, en el Cuadro 1 se presentan algunos polígonos representativos de la ciudad de Sevilla y sus correspondientes valores. Las áreas verdes conformadas por setos, arbustos y árboles, tienden a presentar valores mayores de $NDVI$ (0.6 a 0.62) y por consiguiente temperaturas más frescas.

Cuadro 1. Polígonos representativos de la ciudad de Sevilla con cobertura vegetal

Polígonos representativos con cobertura vegetal	$T_s(^{\circ}C)$	$NDVI_{prom}$	Área (ha) ₁	Tipo de vegetación ¹
Parcela agrícola en la zona norte	38	0.4	1.4	Cultivos
Parque María Luisa	31	0.60	34.0	Césped, Setos, arbustos y árboles
Parque de los príncipes	31	0.61	10.8	Césped, Setos, arbustos y árboles
Jardines del Prado San Sebastián	31	0.62	5.8	Setos, arbustos y árboles
Jardines Reales Alcázares	31	0.61	8.0	Césped, Setos, arbustos y árboles
Glorieta Santa Justa	37	0.62	0.07	Césped, arbustos y árboles
Alameda de Hércules (paseo arbolado)	37	0.6	2.0	arbustos y Árboles
Césped del estadio Sánchez Pizjuan	33	0.5	0.8	Césped

¹proporcionadas por el servicio de parques y jardines del Ayuntamiento de Sevilla.

Los valores de $NDVI$ promedio obtenidos con el procesamiento de las imágenes Sentinel-2 varían entre 0.2 y 0.62. Los valores máximos de $NDVI_{max}$ varían entre 0.4-0.55 (imagen Landsat 7 ETM+) y 0.4-0.62 (Sentinel-2). Con la imagen Landsat7 ETM+ se observan valores de T_{max} y T_{min} de 40°C

y 34°C, respectivamente. Para la imagen Sentinel-2 esos valores son de 39°C y 30°C (Figura 7). En cualquier caso, se confirma la tendencia a la disminución de la temperatura cuanto mayor es el valor de *NDVI*.

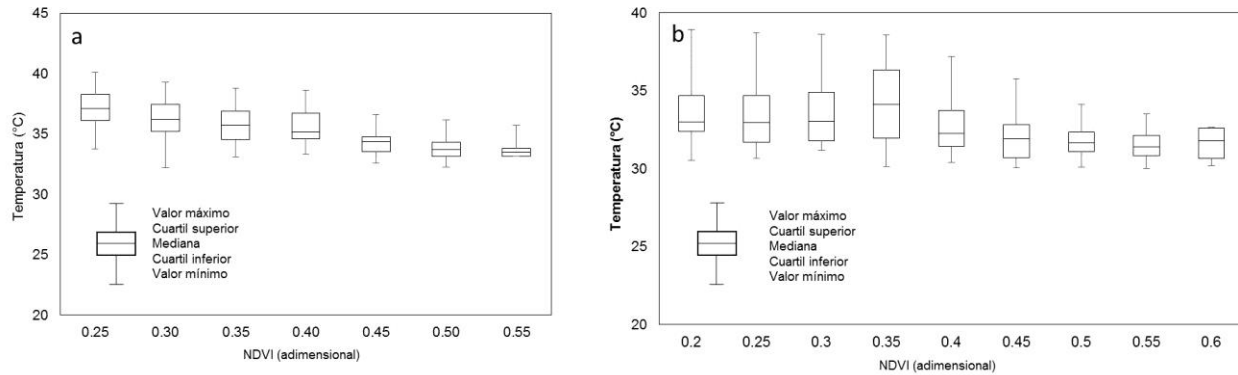


Figura 7. Valores medianos de la temperatura cercana al suelo y el índice *NDVI* para (a) Landsat 7 TM+ y (b) Sentinel-2. La gráfica corresponde a los polígonos con tejido de zonas agrícolas y zonas verdes urbanas en la ciudad de Sevilla.

En el Cuadro 2 se muestran los resultados de cada una de las variables utilizadas para estimar la superficie necesaria de techos verdes a vegetar para paliar el incremento de temperatura debido al cambio climático. Para diferentes escenarios climáticos SERES A2 y modelos globales, para tres periodos de años, obtenidas de las dos imágenes de satélites procesadas, Landsat 7 ETM+ y Sentinel-2.

En general, se requiere menor superficie vegetada si se usan los valores obtenidos a partir de la imagen Landsat (367 a 682 ha) que con la imagen Sentinel (420 a 740ha), dependiendo del modelo y escenario climático. Para los tres modelos climáticos globales que se analizaron en el periodo 2011-2040, en el escenario más optimista, el incremento de temperatura pronosticado es de 1.5 °C y sería necesario implementar una superficie de techo verde de 207 ha, por lo que el 11.3 de los techos actuales tendrían que estar cubiertos de vegetación.

En el otro extremo, para el escenario más adverso, modelo global ECHAM4-A2_INM en el periodo 2071-2100, el incremento de temperatura será de 6.5°C. Por ello, el porcentaje de techos verdes sobre la superficie construida actualmente en la ciudad de Sevilla necesario en este caso es del 37.4% (682 ha) para el caso de Landsat 7 ETM+ y 40,6% (740 ha) para la imagen Sentinel-2.

Cuadro 2. Estimación de la superficie con techos verdes necesaria para paliar el ΔT debido al cambio climático.

Periodo	Escenario SERES	Climático	T_{max}^{cc} (°C)	ΔT_m ax (°C)	Landsat 7 ETM+			Sentinel-2				
					$NDVI^c$ (adim)	S_{ug}^{cc} (ha)	ΔA_{gr} (ha)	Porcentaje de techos a vegetar (%)	$NDVI^{cc}$ (adim)	S_{ug}^{cc} (ha)	A_{gr} (ha)	Porcentaje de techos a vegetar (%)
2011-2040	A2		a/ 35.5	3.5	0.47	1.257	367	20.1	0.56	1,310	420	23.1
2041-2070	A2		a/ 34.0	5.0	0.52	1.414	524	28.8	0.63	1,470	580	31.8
2071-2100	A2		a/ 33.0	6.0	0.56	1.519	629	34.5	0.67	1,577	687	37.7
Modelos Globales												
2071-2100	HadAM3H_A2-FIC		a/ 34.5	4.5	0.51	1.362	472	25.9	0.61	1,417	527	28.9
2071-2100	HadCM3_A2-SDSM		a/ 34.0	5.0	0.52	1.414	524	28.8	0.63	1,470	580	31.8
2071-2100	HadAM3H_A2-INM		a/ 34.0	5.0	0.52	1.414	524	28.8	0.63	1,470	580	31.8
2071-2100	HadAM3H_A2-RCM		a/ 34.0	5.0	0.52	1.414	524	28.8	0.63	1,470	580	31.8
2011-2040	CGCM2_A2_FIC		b/ 33.5	1.5	0.39	1.047	157	8.6	0.47	1,097	207	11.3
	ECHAM4-A2_INM		b/ 33.5	1.5	0.39	1.047	157	8.6	0.47	1,097	207	11.3
	HadCM3_A2-SDSM/INM		b/ 33.5	1.5	0.39	1.047	157	8.6	0.47	1,097	207	11.3
2041-2070	CGCM2_A2_FIC		b/ 32.0	3.0	0.45	1.205	315	17.3	0.54	1,257	367	20.1
	ECHAM4-A2_INM		b/ 31.0	4.0	0.49	1.310	420	23.0	0.58	1,364	474	26.0
	HadCM3_A2-SDSM/INM		b/31.5	3.5	0.47	1.257	367	20.1	0.56	1,310	420	23.1
2071-2100	CGCM2_A2_FIC		b/31.0	4.0	0.49	1.310	420	23.0	0.58	1,364	474	26.0
	ECHAM4-A2_INM		b/28.5	6.5	0.58	1.572	682	37.4	0.70	1,630	740	40.6
	HadCM3_A2-SDSM/INM		b/31.0	4.0	0.49	1.310	420	23.0	0.58	1,364	474	26.0

a/ Temperatura media máxima para el mes más cálido

b/ Temperatura máxima media anual.

S_{ug}^{cc} Área verde necesaria para estabilizar los efectos de incremento de temperatura debido al cambio climático.

A_{gr} Área de techos verdes por implantar, para estabilizar el incremento de temperatura debido al cambio climático.

2.4 DISCUSIÓN

En este trabajo, se ha estimado la superficie de techos verdes que sería necesaria para mitigar el impacto del cambio climático sobre la temperatura en el caso de la ciudad de Sevilla. Para ello se ha calculado el incremento de áreas verdes necesarias para tal fin teniendo en cuenta la relación entre los valores de T_s y $NDVI$ obtenidos a partir de las imágenes de Sentinel-2 y Landsat 7 ETM+.

La diferencia entre los valores de temperatura observados en cada punto con cada una de dichas imágenes se debe a que fueron capturadas en diferentes fechas, 18 de mayo del 2003 y 31 de agosto del 2015, respectivamente. Por otro lado, la variación de los valores máximos de $NDVI$ obtenidos con imagen Landsat 7 ETM+ y los obtenidos a partir de Sentinel-2 se puede deber a la diferencia de resolución de las imágenes utilizadas. Las imágenes Landsat tienen resolución de 30 m, mientras que las imágenes Sentinel-2, según (ESA, 2016) tienen una resolución espacial de 10 m (bandas 4 y 8) y en este caso también se analizaron las áreas verdes de menor tamaño como rotondas y parterres. Aunque estas pequeñas áreas verdes presentan altos valores de $NDVI$ (0.5-0.62), en este caso y debido a que la superficie con cobertura vegetal es poco significativa, no se observa disminución en la temperatura ambiente en estos sitios.

Los modelos lineales de la Figura 5 muestran la relación inversa entre el $NDVI$ y la temperatura, a mayor $NDVI$, menor temperatura. Sin embargo, en el Cuadro 1, se observa que el tipo de vegetación y, sobre todo, la superficie del polígono considerado también influyen en el descenso de la temperatura. Por ejemplo, para los sitios representativos que se han elegido en el Cuadro 1, las temperaturas más bajas (31°C) se presentan en tres parques y jardines: El prado san Sebastián, Jardín del Real de Alcázar y Parque María Luisa. Estos sitios, además de tener mayor superficie, se caracterizan por contar con una vegetación de césped, arbustos y principalmente árboles. Lo que confirma la recomendación hecha por (Perini & Magliocco, 2014), que para bajar la temperatura ambiente a 1.6 m del suelo, los árboles y arbustos son los que mayor impacto tienen.

En este estudio se ha asumido que se produciría un $\Delta NDVI$ en cada uno de los polígonos considerados en función al aumento de la superficie vegetada gracias a la incorporación de techos verdes en la superficie construida. No obstante, en realidad ese $\Delta NDVI$ dependería también del tipo de vegetación que se usa en el techo verde y de su estado, del sistema de techo verde que se emplee, el espesor de sustrato y el estado hídrico, cuestiones que no se ha tenido en cuenta. Es por ello por lo que realizar una buena selección de plantas para el diseño del techo verde y mantenerlo adecuadamente es fundamental para obtener que el efecto deseado. Por otro lado, la altura de los edificios en los que se instalaran techos verdes influiría igualmente en la reducción de la temperatura. De hecho, (Kabisch, Stadler, Korn, & Bonn, 2016) concluyen que los techos verdes pueden ser más eficaces cuando la altura del edificio es inferior a 10 m.

Según (Ntoulas, Nektarios, Charalambous, & Psaroulis, 2013), un techo verde extensivo con *Zoysiamatrella*, tiene en promedio un $NDVI$ de 0.6 de acuerdo con el Cuadro 2, este tipo de techo verde sería suficiente para estabilizar el incremento de temperatura máxima con solo la implantación de entre 11.3 y 26% (207-474 ha) de techos verdes (filas donde $NDVI < 0.6$), bajo los modelos globales con líneas evolutivas A2, es decir, donde, la economía y la tecnología tiene un crecimiento lento y la producción está orientada a la autosuficiencia y conservación. Por el contrario, en los modelos con pronósticos más adversos, donde se requiere superficie de techo

verde tal que $NDVI > 0.6$ de 28.9% a 40.6% (527-740 ha) sería más efectivo implantar techos verdes semi intensivos o intensivos.

Existen otras soluciones que podrían llevar los mismos efectos o incluso mejorar el comportamiento con respecto a los techos verdes, como por ejemplo los coolroofs (Costanzo, Evola, & Marletta, 2016). No obstante, los techos verdes aportan otros muchos beneficios que los postulan como una gran solución contra efectos del cambio climático como el posible aumento de las lluvias torrenciales (Fioretti, Palla, Lanza, & Principi, 2010). En estos casos, el techo verde actuaría como un búfer para evitar la descarga rápida de agua a la red de saneamiento, reduciendo la escorrentía producida por cada edificio en aproximadamente un 50% dependiendo del tipo de techo verde. Por ejemplo, según un modelo propuesto por (Mentens, Raes, & Hermy, 2006), si el 10% de los edificios de Bruselas dispusieran de un techo verde extensivo, se conseguiría una reducción de la escorrentía de un 2.7%. Por otro lado, su uso también influiría en la reducción de la demanda energética de los edificios (Berardi, 2016; Coma, Pérez, Solé, Castell, & Cabeza, 2016) o en la disminución del calor generado por los aparatos de aire acondicionado (Costanzo *et al.*, 2016). Igualmente, se puede complementar el incremento de superficie vegetada instalando jardines verticales en las fachadas, ya que éstas constituyen un % aún mayor de la superficie construida que los techos de los edificios. Por ejemplo, según un modelo propuesto por (Afshari, 2017) un sistema de jardín vertical con $LAI=2$ (follaje de densidad media), puede reducir la intensidad de la isla de calor urbano en $0.55\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un clima árido.

2.5 CONCLUSIONES

Mediante el procesamiento de imágenes de satélite Landsat 7 ETM+ y Sentinel-A2 se verificó la relación inversa entre la temperatura cercana al suelo y la abundancia de vegetación mediante el $NDVI$, es decir, a mayor temperatura, menor vegetación establecida. Dicha relación inversa presenta un comportamiento lineal en el rango de $NDVI$ de 0.2 a 0.6. Por lo tanto, se ha utilizado una metodología con base en la relación inversa temperatura- $NDVI$ para estimar la superficie de techos verdes necesaria en la ciudad de Sevilla, España, para amortiguar los incrementos de temperatura máxima en verano, atribuibles al cambio climático.

La precisión y cantidad de los valores de temperatura y $NDVI$, está limitada por el nivel de resolución de las imágenes de satélites utilizadas, es indispensable supervisar los datos obtenidos con datos reales extraídos de estaciones meteorológicas locales.

Por lo general, el cambio de la temperatura máxima en la ciudad de Sevilla se espera entre 1.5 a $6.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, en función de los escenarios y modelos de cambio climático para los periodos analizados. Para amortiguar los efectos negativos del cambio climático en Sevilla, sería necesario implantar una superficie semi intensiva a intensiva de techos verdes de 740 ha, para el escenario más adverso, lo que significaría el 40.6% de la superficie urbana construida.

Los techos verdes semi intensivos e intensivos juegan un papel importante en el mejoramiento de los microclimas urbanos, por lo que debe evaluarse posibles políticas públicas para fomentar el uso de techos verdes en la ciudad de Sevilla.

Los resultados de estas estimaciones pueden considerarse como preliminares, ya que para su validación es necesario establecer áreas significativas de techos verdes en la ciudad de Sevilla y obtener datos experimentales medidos en el área de estudio.

Es recomendable ampliar los estudios utilizando un mayor número de imágenes en diferentes estaciones del año, para registrar la variabilidad anual del *NDVI* y utilizar imágenes de satélite con mayor resolución.

GLOSARIO

NDVI: índice de vegetación normalizada.

NDVI_{prom}: promedio de los valores *NDVI* obtenidos de la imagen de satélite para toda el área de estudio.

NDVI_{max} y *NDVI_{min}*: valores de *NDVI* máximos y mínimos obtenidos del procesamiento de la imagen de satélite en toda el área de estudio.

NDVI^{cc}: *NDVI* necesario para contrarrestar los efectos de incremento de temperatura máxima debido al cambio climático.

S_{ug}: área verde urbana.

S_{ug}^{cc}: área verde urbana necesaria para estabilizar los efectos de incremento de temperatura debido al cambio climático.

A_{gr} Área de techos verdes por implantar, para estabilizar el incremento de temperatura debido al cambio climático.

T_{max} y *T_{min}*: valores de temperatura máxima y mínima obtenida del procesamiento de la imagen de satélite en toda el área de estudio.

ΔT_{max} : incremento de la temperatura máxima debido al cambio climático.

T_s: Temperatura cercana al suelo.

T_{max}^{cc}: temperatura media mensual actual más el incremento de temperatura producido por el cambio climático.

2.6 BIBLIOGRAFÍA

- AEMET. (2009). *Generación de Escenarios Regionalizados de Cambio Climático para España*. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Gobierno de España. Retrieved from http://www.aemet.es/es/idi/clima/escenarios_CC
- Afshari, A. (2017). A new model of urban cooling demand and heat island—application to vertical greenery systems (VGS). *Energy and Buildings*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.008>
- Akbari, H., & Rose, L. S. (2008). Urban Surfaces and Heat Island Mitigation Potentials. *Journal of the Human-Environment System*, 11(2), 85–101. <http://doi.org/10.1618/jhes.11.85>
- Allen, R. G. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO (Vol. 56). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements-FAO Irrigation and Drainage Paper 56*.
- Allen, R. G., Tasumi, M., & Morse, A. T. (2007). Satellite-based energy balance for mapping Evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)-Applications. *J Irrig Drain Eng*, 133(4), 395–406.
- Anguluri, R. (2017). Role of Green Space in Urban Planning: Outlook towards smart cities. *Urban Forestry & Urban Greening*.
- Ayuntamiento de Sevilla, E. (2016). Ayuntamiento de Sevilla. Servicio de parques y jardines. Área de Hábitat Urbano, Cultura y Turismo. Retrieved from <http://www.sevilla.org/ayuntamiento/competencias-areas/area-de-habitat-urbano-cultura-y-turismo/a-servicio-de-parques-y-jardines/parques/parques-jardines-y-zonas-verdes>
- Baca, G., Rodríguez, E., & Quevedo, A. (2016). *La solución nutritiva en hidroponía* (Primera). México D.F.
- Bainbridge, D. (2002). Alternative Irrigation Systems for Arid Land Restoration. *Ecological Restoration*, 20, 23–30.
- Berardi, U. (2016). The outdoor microclimate benefits and energy saving resulting from green roofs retrofits. *Energy and Buildings*, 121, 217–229. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.021>
- Berardi, U., GhaffarianHoseini, A., & GhaffarianHoseini, A. (2014). State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied Energy*, 115, 411–428. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.047>
- Byrd, A. (1970). *Exotic Plant Manual. Fascinating plants to live with* (2da ed.). New Jersey USA: Roehrs Company.
- Calderón, G., & Rzedowski, J. y colaboradores. (2005). *Flora fanerogámica del Valle de México* (2a. Ed.). Pátzcuaro (Michoacán): Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cbdv.200490137/abstract%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Flora+fanerogámica+del+Valle+de+México#0>
- Campbell, D. N., Chae-In, N., Rowland, D. L., Schnell, R. W., Ferrell, J. A., & Wilkie, A. C. (2015). Development of a regional specific crop coefficient (Kc) for castor (*Ricinus communis* L.) in Florida, USA by using the sap flow method. *Industrial Crops and Products*, 74, 465–471.
- Coma, J., Pérez, G., Solé, C., Castell, A., & Cabeza, L. F. (2016). Thermal assessment of extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings. *Renewable Energy*, 85, 1106–

1115. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.074>
- CONAGUA. (2014). *Estadísticas del Agua en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. México D.F.
- Costanzo, V., Evola, G., & Marletta, L. (2016). Energy savings in buildings or UHI mitigation? Comparison between green roofs and cool roofs. *Energy and Buildings*, 114, 247–255. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.053>
- Costello, L. R., Matheny, N. P., Clark, J. R., & Jones, K. S. (2000). *A Guide to Estimating Irrigation Water Needs of Landscape Plantings in California. The Landscape Coefficient Method and WUCOLS III. University of California Cooperative Extension. California Department of Water Resource. The landscape coefficient method &* Retrieved from <http://www.water.ca.gov/wateruseef?ciency/docs/wucols00.pdf>.
- ESA. (2016). User Guides, SENTINEL 2-MSI, European Space Agency. User Services and Mission Planning Office Via Galileo Galilei 00044 Frascati (Rome) Italy. Retrieved January 1, 2016, from <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial>
- Farina, A. (2012). *Exploring the relationship between land surface temperature and vegetation abundance for urban heat island mitigation in Seville, Spain. LUMA-GIS Thesis nr.* Lund University.
- Fernandez-Cañero, R., Perez-Urrestarazu, L., & K., P. (2018). Vertical Greening Systems: Classifications, Plant Species, Substrates. In *Nature Based Strategies for Urban Building Sustainability*. [http://doi.org/Nature Based Strategies for Urban](http://doi.org/Nature%20Based%20Strategies%20for%20Urban) <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812150-4.00004-5>
- Fioretti, R., Palla, A., Lanza, L. G., & Principi, P. (2010). Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. *Building and Environment*, 45(8), 1890–1904. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.03.001>
- FSNAU. (2010). Understanding the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Retrieved January 1, 2016, from http://www.fsnau.org/downloads/Understanding_the_Normalized_Vegetation_Index_NDVI.pdf.
- Hanson, A., & Hitz, W. D. (1982). Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Plant Physiology*, 33, 163–203.
- Hart, M. a., & Sailor, D. J. (2009). Quantifying the influence of land-use and surface characteristics on spatial variability in the urban heat island. *Theoretical and Applied Climatology*, 95(3–4), 397–406. <http://doi.org/10.1007/s00704-008-0017-5>
- Huang, C., & Ye, X. (2015). Spatial Modeling of Urban Vegetation and Land Surface Temperature: A Case Study of Beijing. *Sustainability*, 7(7), 9478–9504. <http://doi.org/10.3390/su7079478>
- IDE. (2016). IDE.Sevilla. Datos abiertos espaciales de Sevilla. Gerencia de Urbanismo Ayuntamiento de Sevilla. Retrieved August 1, 2016, from <http://sig.urbanismosevilla.org/sevilla.art/datosabiertos/index.html>
- IPCC. (2000). *Informe Especial del IPCC. Escenarios de Emisiones. Resumen para responsables de Políticas. Informe especial del Grupo de trabajo III del IPCC. Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático.* Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Jong, L., Jeong, K., & Myung, L. (2012). Mitigation of Urban Heat Island Effect and Greenroofs. *Indoor and Built Environ*, 1–8.
- Kabisch, N., Stadler, J., Korn, H., & Bonn, A. (2016). *Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas. Federal Agency for Nature Conservation.* Bonn,

- Germany: Bundesamt für Naturschutz (BfN). Retrieved from http://www.bfn.de/0502_skripten.html.
- Lemaire, F., Dartigues, A., Riviere, L., Charpentier, S., & Morel, P. (2005). *Cultivos en macetas y contenedores. Principios agronómicos y aplicaciones* (2a ed.). Mundi-Prensa.
- Li, F., Jackson, T., Kustas, W., Schmugge, T., French, A., Cosh, M., & Bindlish, R. (2004). Deriving land surface temp from Landsat 5 and 7. *Remote Sensing of Environment*, 92, 521–534.
- Liao, L., Zhang, L., & Bengtsson, L. (2005). Analyzing Dynamic Change of Vegetation Cover of Desert Oasis Based on Remote Sensing Data in Hexi Region. In *Proceedings of the International Symposium on Sustainable Water Resources Management and Oasis-hydrosphere-desert Interaction in Arid Regions* (pp. 279–295). Beijing, PR China.
- Lilly, S. J. (1991). *Arborists' Certification Study Guide* (1st ed.). Savoy, IL USA: International Society of Arboriculture.
- Lin, B.-S., Yu, C.-C., Su, A.-T., & Lin, Y.-J. (2013). Impact of climatic conditions on the thermal effectiveness of an extensive green roof. *Building and Environment*, 67, 26–33. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.026>
- López, A., & Recaño, J. (2010). The comeback of the central city in Southern Europe: population growth and sociodemographic change in the Spanish urban cores. In *EXTENDED ABSTRACT PREPARED FOR THE EUROPEAN POPULATION CONFERENCE 2010*. Retrieved from <http://epc2010.princeton.edu/papers/100918>
- MacIvor, J. S., Margolis, L., Perotto, M., & Drake, J. A. P. (2016). Air temperature cooling by extensive green roofs in Toronto Canada. *Ecological Engineering*, 95, 36–42. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.050>
- MAGRAMA. (2011). *Informe de Medio Ambiente en Andalucía. Secretaría General de Medio Ambiente y Agua. Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente de Andalucía*. (C. de A. P. y M. A. Junta de Andalucía, Ed.). Retrieved from http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam/menuitem.04dc44281e5d53cf8ca78ca731525ea0/?vgnnextoid=eedde9762819d310VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=c2770219f560f210VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnnextfmt=rediam&lr=lang_es
- Mentens, J., Raes, D., & Hermy, M. (2006). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*, 77(3), 217–226. <http://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.010>
- Merritt, R. H., & Ting, K. C. (1995). Morphological responses of bedding plants to three greenhouse temperature regimes. *Scientia Horticulturae*, 60, 313–324.
- Montero, J. I., Antón, A., Muñoz, P., & Lorenzo, P. (2001). Transpiration from geranium grown under high temperatures and low humidities in greenhouses. *Agricultural and Forest Meteorology*, 107, 323–332.
- Moreno, P. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión.
- Nouri, H., Beecham, S., Hassanli, A. M., & Kazemi, F. (2013). Water requirements of urban landscape plants: A comparison of three factor-based approaches. *Ecological Engineering*, 57, 276–284.
- Ntoulas, N., Nektarios, P., Charalambous, E., & Psaroulis, A. (2013). Zoysia matrella cover rate and drought tolerance in adaptive extensive green roof systems. *UrbanForestry&UrbanGreening*, 12, 522–531.
- Ouldoukhitine, S.-E., Belarbi, R., & Djedjig, R. (2012). Characterization of green roof components: Measurements of thermal and hydrological properties. *Building and*

- Environment*, 56, 78–85. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.02.024>
- Perini, K., & Magliocco, A. (2014). Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(3), 495–506. <http://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.03.003>
- R.L. Snyder. (2014). Advances in ET-based landscape irrigation management. *Agricultural Water Management*, 147, 187–197.
- Ramírez, E., Fernández, M. T., Del Ojo, A., & Cobo, E. (2013). Eco-Diseño de la urbe Sevillana. Estudio mediante Teledetección. *Revista Electrónica de Medio Ambiente UCM*, 14 No 2, 63–75.
- Rodríguez, C. (2002). Manejo de áreas verdes en concepción: mejor calidad de vida urbana. *Urbano*, 41–42.
- Saadatian, O., Sopian, K., Salleh, E., Lim, C. H., Riffat, S., Saadatian, E., ... Sulaiman, M. Y. (2013). A review of energy aspects of green roofs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 155–168. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.022>
- Salinas, V. M. (2013). *Estimación de la evapotranspiración de un cultivo de vid con apoyo de imagen satelital y validación utilizando eddy covariance*. Control. Colegio de Postgraduados. Retrieved from <http://www.biblio.colpos.mx>
- Salvador, P. (2003). *La planificación verde en las ciudades*. (GUSTAVO GILI, Ed.). Barcelona.
- Santamouris, M. (2014). Cooling the cities - A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, 103, 682–703. <http://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>
- Sebastián, M. (2016). Manejo del agua con el uso de cero energía y ahorro de agua en jardines de hoteles. *Revista Ingeniería Agrícola*, 6, 50–55.
- Silvina, M., Bárbaro, L., Coviella, M. A., & S., S. (2011). *Catálogo de plantas para techos verdes*. (INTA, Ed.). Buenos Aires, Argentina: Presidencia de la Nación. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca.
- Su, W., Gu, C., & Yang, G. (2010). Assessing the Impact of Land Use/Land Cover on Urban Heat Island Pattern in Nanjing City, China. *Journal of Urban Planning and Development*, 136(4), 365–372. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000033](http://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000033)
- Susca, T., Gaffin, S. R., & Dell'osso, G. R. (2011). Positive effects of vegetation: urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution*, 159(8–9), 2119–2126. <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.007>
- Takebayashi, H., & Moriyama, M. (2007). Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and Environment*, 42(8), 2971–2979. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.017>
- Tan, K. C., Lim, H. S., MatJafri, M. Z., & Abdullah, K. (2010). Landsat data to evaluate urban expansion and determine land use/land cover change in Penang Island. *Environmental Earth Sciences*, 60, 1509–1521.
- Tasumi, M., Allen, R. G., & Trezza, R. (2003). Soil heat flux estimation method. Appendix 12 in M. Tasumi, Progress in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery.
- Tovar, E. (2013). Criteria for selection of plant species for its deployment in thermally efficient architectural green roofs in the Metropolitan Area of Mexico City: methodological guidelines. *Energy Procedia*, 57, 1798–1807.
- Trezza, R. (2002). *Evapotranspiration using a satellite-based surface energy balance with standardized ground control*. Utah State University.
- Trujillo, C. (2015). *Diseño y evaluación de nuevas cápsulas porosas con fines de riego*. Colegio

de Postgraduados.

- Tsang, S. W., & Jim, C. Y. (2011). Theoretical evaluation of thermal and energy performance of tropical green roofs. *Energy*, 36(5), 3590–3598. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2011.03.072>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2008). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*. (E. P. Agency, Ed.) *Heat Island Reduction Activities*. Washington, DC 20460 USA. Retrieved from <http://www.epa.gov/hiri/resources/compendium.htm%5Cnpapers2://publication/uuid/30F84843-04A3-4904-A3DF-AC06915537C0>
- USGC. (2016). United States Geological Survey. Science for a changing world. Retrieved August 20, 2016, from <http://earthexplorer.usgs.gov/>
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87, 559–902. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- Wang, J., Huang, Y., & H., L. (2016). Water and salt movement in different soil textures under various negative irrigating pressures. *Journal of Integrative Agriculture*, 15, 1874–1882.
- Weirer, J. and Herring, D. (2010). Measuring Vegetation (NDVI & EVI). (NASA Earth Observatory). Retrieved January 1, 2016, from http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php
- Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467–483. <http://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>
- Wolf, D., & Lundholm, J. T. (2008). Water uptake in green roof microcosms: Effects of plant species and water availability. *Ecological Engineering*, 33(2), 179–186. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.02.008>
- Wong, N. H., Tan, P. Y., & Chen, Y. (2007). Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate. *Building and Environment*, 42(1), 25–54. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.07.030>
- Wukelic, G. E., Gibbons, D. E., & Martucci, L. M. (1989). Radiometric calibration of Landsat thematic mapper thermal band. *Remote Sensing of Environment*, 28, 339–347.
- Yang, J., Yu, Q., & Gong, P. (2008). Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment*, 42, 7266–7273. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.003>
- Yuan, F., & Bauer, M. E. (2007). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 106(3), 375–386. <http://doi.org/10.1016/j.rse.2006.09.003>

ANEXOS

ANEXO 1. Datos meteorológicos medidos en el invernadero, para estimar la ET_0

DDT	Fecha	T _{min} °C	T _{max} °C	HR	T _{media} °C	*Radiación MJ/m ²
1	12/09/2017	13.00	32.00	55.0	22.50	7.96
2	13/09/2017	12.00	33.00	54.3	23.25	8.00
3	14/09/2017	12.00	33.00	54.3	23.25	9.68
4	15/09/2017	11.50	31.00	52.8	21.00	11.00
5	16/09/2017	12.00	36.00	44.5	23.25	10.00
6	17/09/2017	11.00	36.00	47.0	24.00	9.23
7	18/09/2017	13.00	40.00	44.0	26.75	10.87
8	19/09/2017	13.00	38.00	43.5	24.75	11.00
9	20/09/2017	15.00	41.50	39.9	26.75	11.54
10	21/09/2017	13.50	44.00	38.5	28.50	12.54
11	22/09/2017	12.00	44.00	37.1	28.00	10.26
12	23/09/2017	12.00	43.00	38.2	27.50	11.39
13	24/09/2017	13.00	43.00	37.5	27.25	9.45
14	25/09/2017	14.00	38.00	44.3	25.00	9.97
15	26/09/2017	13.50	31.00	52.8	21.00	7.83
16	27/09/2017	11.00	33.00	53.3	23.00	7.77
17	28/09/2017	10.50	39.00	44.6	26.00	7.50
18	29/09/2017	12.00	36.50	51.5	25.75	7.67
19	30/09/2017	13.50	41.00	42.8	27.25	9.80
20	01/10/2017	13.00	31.00	56.6	22.00	11.56
21	02/10/2017	11.00	33.00	49.7	22.00	7.00
22	03/10/2017	10.00	39.00	39.9	24.50	5.90
23	04/10/2017	12.00	36.50	46.3	24.25	5.94
24	05/10/2017	12.00	37.00	44.8	24.25	10.8
25	06/10/2017	13.00	37.00	47.3	25.00	8.6
26	07/10/2017	4.000	32.00	39.4	18.00	9.2
27	08/10/2017	12.00	33.00	51.5	22.50	8.0
28	09/10/2017	10.00	35.00	45.1	22.50	8.0
29	10/10/2017	10.00	42.00	36.5	26.00	8.0
30	11/10/2017	10.00	28.00	55.9	19.00	6.0
31	12/10/2017	10.00	29.00	54.2	19.50	6.3
32	13/10/2017	10.00	31.00	50.9	20.50	6.8
33	14/10/2017	11.50	40.50	40.4	26.00	7.4
34	15/10/2017	14.50	35.50	52.1	25.00	6.4
35	16/10/2017	13.00	34.50	51.0	23.75	5.8
36	17/10/2017	13.00	30.50	57.5	21.75	6.0
37	18/10/2017	9.00	38.50	39.1	23.75	7.0
38	19/10/2017	9.00	40.00	37.3	24.50	6.9
39	20/10/2017	9.00	39.00	38.5	24.00	8.0
40	21/10/2017	9.50	38.50	39.8	24.00	9.6
41	22/10/2017	8.50	33.50	44.6	21.00	6.7

Continuación del Anexo 1

DDT	Fecha	T _{min} °C	T _{max} °C	HR	T _{media} °C	*Radiación MJ/m ²
42	23/10/2017	8.00	33.00	44.5	20.50	6.9
43	24/10/2017	8.00	30.50	48.1	19.25	6.4
44	25/10/2017	8.50	31.50	47.5	20.00	9.1
45	26/10/2017	8.50	37.00	40.1	22.75	7.4
46	27/10/2017	8.50	37.50	39.5	23.00	8.5
47	28/10/2017	4.50	38.50	32.8	21.50	7.0
48	29/10/2017	9.00	41.00	36.2	25.00	6.5
49	30/10/2017	10.00	39.00	39.9	24.50	5.0
50	31/10/2017	10.00	38.00	41.2	24.00	4.1
51	01/11/2017	9.00	39.00	38.5	24.00	5.94
52	02/11/2017	13.00	39.00	44.6	26.00	7.00
53	03/11/2017	7.00	39.00	35.7	23.00	7.89
54	04/11/2017	7.00	38.00	36.8	22.50	7.80
55	05/11/2017	5.00	38.00	34.0	21.50	7.25
56	06/11/2017	4.00	37.00	33.7	20.50	7.66
57	07/11/2017	3.00	39.00	30.5	21.00	7.00
58	08/11/2017	3.50	38.00	32.1	20.75	6.47
59	09/11/2017	3.00	38.50	30.9	20.75	6.00
60	10/11/2017	4.00	38.00	32.7	21.00	6.16
61	11/11/2017	6.00	31.00	43.9	18.50	6.67
62	12/11/2017	6.00	35.00	38.8	20.50	8.06
63	13/11/2017	6.50	32.00	43.4	19.25	9.74
64	14/11/2017	4.50	34.00	37.7	19.25	8.80
65	15/11/2017	4.00	34.00	37.0	19.00	9.00
66	16/11/2017	2.00	35.00	33.1	18.50	8.73
67	17/11/2017	4.00	36.00	34.8	20.00	8.12
68	18/11/2017	4.00	33.50	37.6	18.75	8.55
69	19/11/2017	2.00	33.00	35.3	17.50	7.27
70	20/11/2017	2.00	33.00	35.3	17.50	7.16
71	21/11/2017	3.00	32.50	37.3	17.75	8.04
72	22/11/2017	5.00	30.00	43.6	17.50	8.31
73	23/11/2017	0.00	30.00	35.8	15.00	8.74
74	24/11/2017	-1.00	31.00	33.3	15.00	6.69
75	25/11/2017	0.00	33.00	32.5	16.50	7.00
76	26/11/2017	-1.00	31.00	33.3	15.00	8.69
77	27/11/2017	0.00	31.00	34.7	15.50	8.22
78	28/11/2017	1.00	33.00	33.9	17.00	7.75
79	29/11/2017	0.00	33.00	32.5	16.50	8.42
80	30/11/2017	1.00	34.00	32.8	17.50	7.57

* Se obtuvo de integrar el área bajo la curva graficada diariamente por el actinógrafo que se instaló en el interior del invernadero.

ANEXO 2. DATOS PARA EL CÁLCULO DE ET_0 por el método FAO Penman-Monteith.

Constante solar = 1367(W/m²); Albedo= 0.25; Latitud (grados) = 19; Latitud (min) = 28; Altitud (m) = 2400; Latitud (rad) = 0.3398

Días después del trasplante (DDT)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fecha	12-sep	13-sep	14-sep	15-sep	16-sep	17-sep	18-sep	19-sep	20-sep	21-sep
Unidad astronómica d/do	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983
Declinación solar (en radianes)	-0.399	-0.398	-0.396	-0.394	-0.392	-0.390	-0.388	-0.386	-0.384	-0.381
Declinación solar (deg)	-22.885	-22.795	-22.699	-22.596	-22.487	-22.371	-22.249	-22.121	-21.986	-21.845
Angulo horario w_0 (rad)	1.421	1.422	1.422	1.423	1.424	1.425	1.426	1.427	1.428	1.429
Duración del día N(h/d) Fotoperiodo	10.856	10.861	10.866	10.872	10.878	10.885	10.891	10.899	10.906	10.914
Qa MJ m ⁻²)	26.237	26.287	26.339	26.395	26.454	26.516	26.581	26.650	26.721	26.795
Qest(Mj/m ²)	10.000	9.232	10.869	11.000	11.540	12.535	10.263	11.389	9.447	9.967
Horas brillo (n)	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3
n/N	1.133	1.132	1.132	1.131	1.131	1.130	1.129	1.129	1.128	1.127
Temperatura t en grados centígrados	23.25	24.00	26.75	24.75	26.75	28.50	28.00	27.50	27.25	25.00
Humedad Relativa RH (%)	44.5	47	44	43.5	39.9	38.5	37.1	38.2	37.5	44.3
Tensión de vapor a saturación Es (mb)	28.52	29.84	35.13	31.21	35.13	38.91	37.80	36.71	36.18	31.67
Tensión de vapor actual Ea (mb)	0.00	17.31	19.67	14.67	26.70	18.29	18.90	13.95	17.73	16.15
* Slope (hPa/C)	1.72	1.79	2.06	1.86	2.06	2.26	2.20	2.15	2.12	1.89
Presión atmosférica (hPa)	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68
Calor latente de vaporización l (J/g)	2445.77	2444.00	2437.49	2442.22	2437.49	2433.35	2434.53	2435.71	2436.30	2441.63
Constante Psicrométrica (hPa/C)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Radiación global (MJm ⁻²) Q	10.00	9.23	10.87	11.00	11.54	12.54	10.26	11.39	9.45	9.97
(1-a)Q	7.50	6.92	8.15	8.25	8.66	9.40	7.70	8.54	7.09	7.48
f(t)	37.82	38.20	39.64	38.59	39.64	40.57	40.30	40.03	39.90	38.72
f(ea)	0.34	0.16	0.14	0.17	0.11	0.15	0.15	0.18	0.15	0.16
f(n/N)	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.11
Ld-Lu	-14.40	-6.71	-6.42	-7.40	-4.99	-6.88	-6.69	-7.85	-6.89	-7.04
Rn	-6.90	0.21	1.73	0.85	3.66	2.52	1.01	0.70	0.20	0.44
Rnw en lámina	-2.82	0.09	0.71	0.35	1.50	1.04	0.41	0.29	0.08	0.18
f(u)	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
ET ₀ (mm/día)	2.50	2.07	2.78	2.84	2.42	3.59	2.90	3.39	2.65	2.52

*Pendiente de la curva de presión a saturación en la temperatura del bulbo húmedo

Días después del trasplante (DDT)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Fecha	22-sep	23-sep	24-sep	25-sep	26-sep	27-sep	28-sep	29-sep	30-sep	01-oct
Unidad astronómica d/do	0.983	0.983	0.983	0.983	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984
Declinación solar (en radianes)	-0.379	-0.376	-0.373	-0.370	-0.367	-0.364	-0.361	-0.358	-0.354	-0.351
Declinación solar (deg)	-21.698	-21.545	-21.386	-21.220	-21.048	-20.871	-20.687	-20.498	-20.302	-20.101
Angulo horario w_0 (rad)	1.430	1.431	1.432	1.433	1.434	1.436	1.437	1.438	1.440	1.441
Duración del día N(h/d) Fotoperiodo	10.922	10.930	10.939	10.948	10.958	10.967	10.977	10.988	10.998	11.009
Qa MJ m ⁻²)	26.872	26.952	27.035	27.121	27.209	27.300	27.394	27.490	27.589	27.690
Qest(Mj/m ²)	7.826	7.768	7.500	7.669	9.801	8.844	8.207	7.000	6.039	11.557
Horas brillo (n)	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	11.2
n/N	1.126	1.125	1.124	1.123	1.123	1.122	1.120	1.119	1.118	1.017
Temperatura t en grados centígrados	21.00	23.00	26.00	25.75	27.25	26.00	26.00	20.50	23.00	22.0
Humedad Relativa RH (%)	52.8	53.3	44.6	51.5	42.8	41.7	41.7	62.1	56.9	56.6
Tensión de vapor a saturación Es (mb)	24.87	28.09	33.61	33.12	36.18	33.61	33.61	24.11	28.09	6.11
Tensión de vapor actual Ea (mb)	9.95	8.43	17.14	22.19	0.00	15.80	26.89	16.16	15.73	0.00
* Slope (hPa/C)	1.53	1.70	1.99	1.96	2.12	1.99	1.99	1.49	1.70	0.44
Presión atmosférica (hPa)	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68
Calor latente de vaporización l (J/g)	2451.10	2446.36	2439.26	2439.85	2436.30	2439.26	2439.26	2452.28	2446.36	2500.80
Constante Psicométrica (hPa/C)	0.49	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.49	0.50	0.48
Radiación global (MJm ⁻²) Q	7.83	7.77	7.50	7.67	9.80	8.84	8.21	7.00	6.04	11.56
(1-a)Q	5.87	5.83	5.63	5.75	7.35	6.63	6.15	5.25	4.53	8.67
f(t)	36.68	37.69	39.24	39.11	39.90	39.24	39.24	36.43	37.69	27.28
f(ea)	0.20	0.21	0.16	0.13	0.34	0.17	0.11	0.16	0.17	0.34
f(n/N)	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.02
Ld-Lu	-8.22	-8.90	-6.89	-5.77	-15.06	-7.19	-4.86	-6.58	-6.90	-9.42
Rn	-2.35	-3.08	-1.26	-0.02	-7.71	-0.56	1.29	-1.33	-2.37	-0.75
Rnw en lámina	-0.96	-1.26	-0.52	-0.01	-3.17	-0.23	0.53	-0.54	-0.97	-0.30
f(u)	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
ET ₀ (mm/día)	1.96	2.30	2.01	1.62	2.50	2.44	1.41	1.05	1.30	2.20

*Pendiente de la curva de presión a saturación en la temperatura del bulbo húmedo

Días después del trasplante (DDT)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Fecha	02-oct	03-oct	04-oct	05-oct	06-oct	07-oct	08-oct	09-oct	10-oct	11-oct
Unidad astronómica d/do	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.985	0.985	0.985
Declinación solar (en radianes)	-0.347	-0.344	-0.340	-0.336	-0.332	-0.328	-0.324	-0.319	-0.315	-0.310
Declinación solar (deg)	-19.894	-19.682	-19.463	-19.240	-19.011	-18.776	-18.536	-18.291	-18.040	-17.785
Angulo horario w_o (rad)	1.443	1.444	1.446	1.447	1.449	1.450	1.452	1.454	1.455	1.457
Duración del día N(h/d) Fotoperiodo	11.020	11.032	11.043	11.055	11.067	11.080	11.092	11.105	11.119	11.132
Qa MJ m ⁻²)	27.794	27.900	28.008	28.119	28.232	28.346	28.463	28.582	28.703	28.826
Qest(Mj/m ²)	6.000	5.898	5.943	10.818	8.554	9.224	8.000	8.000	8.000	6.000
Horas brillo (n)	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2
n/N	1.016	1.015	1.014	1.013	1.012	1.011	1.010	1.009	1.007	1.006
Temperatura t en grados centígrados	22.00	24.50	24.25	24.25	25.00	18.00	22.50	22.50	26.00	19.00
Humedad Relativa RH (%)	49.7	39.90	46.3	44.8	47.3	39.4	51.5	45.1	36.5	55.9
Tensión de vapor a saturación es (mb)	6.11	6.11	6.11	6.11	31.67	20.64	27.25	27.25	33.61	21.97
Tensión de vapor actual Ea (mb)	0.00	0.00	0.00	0.00	14.98	8.13	14.02	12.28	12.28	12.28
* Slope (hPa/C)	0.44	0.44	0.44	0.44	1.89	1.30	1.65	1.65	1.99	1.37
Presión atmosférica (hPa)	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68
Calor latente de vaporización l (J/g)	2500.80	2500.80	2500.80	2500.80	2441.63	2458.20	2447.55	2447.55	2439.26	2455.83
Constante Psicrométrica (hPa/C)	0.48	0.48	0.48	0.48	0.50	0.49	0.50	0.50	0.50	0.49
Radiación global (MJm ⁻²) Q	7.00	5.90	5.94	10.82	8.55	9.22	8.00	8.00	8.00	6.00
(1-a)Q	5.25	4.42	4.46	8.11	6.42	6.92	6.00	6.00	6.00	4.50
f(t)	27.28	27.28	27.28	27.28	38.72	35.21	37.44	37.44	39.24	35.70
f(ea)	0.34	0.34	0.34	0.34	0.17	0.21	0.18	0.19	0.19	0.19
f(n/N)	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
Ld-Lu	-9.41	-9.40	-9.39	-9.38	-6.64	-7.63	-6.62	-7.01	-7.34	-6.67
Rn	-4.16	-4.98	-4.94	-1.27	-0.23	-0.71	-0.62	-1.01	-1.34	-2.17
Rnw en lámina	-1.66	-1.99	-1.97	-0.51	-0.09	-0.29	-0.25	-0.41	-0.55	-0.88
f(u)	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
ET ₀ (mm/día)	1.55	1.39	1.40	2.10	2.49	2.33	2.05	2.22	2.70	1.24

*Pendiente de la curva de presión a saturación en la temperatura del bulbo húmedo

Días después del trasplante (DDT)	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Fecha	12-oct	13-oct	14-oct	15-oct	16-oct	17-oct	18-oct	19-oct	20-oct	21-oct
Unidad astronómica d/do	0.985	0.985	0.985	0.985	0.986	0.986	0.986	0.986	0.986	0.986
Declinación solar (en radianes)	-0.306	-0.301	-0.296	-0.292	-0.287	-0.282	-0.277	-0.272	-0.266	-0.261
Declinación solar (deg)	-17.524	-17.258	-16.987	-16.712	-16.432	-16.147	-15.857	-15.563	-15.265	-14.962
Angulo horario w_0 (rad)	1.459	1.461	1.463	1.464	1.466	1.468	1.470	1.472	1.474	1.476
Duración del día N(h/d) _Fotoperiodo	11.146	11.159	11.173	11.188	11.202	11.217	11.232	11.247	11.262	11.277
Qa MJ m ⁻²)	28.950	29.076	29.204	29.333	29.464	29.596	29.730	29.864	30.000	30.137
Qest(Mj/m ²)	6.327	6.822	7.381	6.406	5.831	6.000	6.992	6.863	8.000	9.579
Horas brillo (n)	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2
n/N	1.005	1.004	1.002	1.001	1.000	0.998	0.997	0.996	0.995	0.993
Temperatura t en grados centígrados	19.50	20.50	26.00	25.00	23.75	21.75	23.75	24.50	24.00	24.00
Humedad Relativa RH (%)	54.2	50.9	40.4	52.1	51.0	57.5	39.1	37.3	38.5	39.8
Tensión de vapor a saturación Es (mb)	22.67	24.11	33.61	31.67	29.39	26.04	29.39	30.74	29.84	29.84
Tensión de vapor actual Ea (mb)	12.28	12.28	13.57	16.51	14.98	14.98	11.48	11.48	11.48	11.87
* Slope (hPa/C)	1.41	1.49	1.99	1.89	1.77	1.59	1.77	1.84	1.79	1.79
Presión atmosférica (hPa)	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68
Calor latente de vaporización l (J/g)	2454.65	2452.28	2439.26	2441.63	2444.59	2449.32	2444.59	2442.81	2444.00	2444.00
Constante Psicrométrica (hPa/C)	0.49	0.49	0.50	0.50	0.50	0.49	0.50	0.50	0.50	0.50
Radiación global (MJm ⁻²) Q	6.33	6.82	7.38	6.41	5.83	6.00	6.99	6.86	8.00	9.58
(1-a)Q	4.74	5.12	5.54	4.80	4.37	4.50	5.24	5.15	6.00	7.18
f(t)	35.94	36.43	39.24	38.72	38.07	37.06	38.07	38.46	38.20	38.20
f(ea)	0.19	0.19	0.18	0.16	0.17	0.17	0.19	0.19	0.19	0.19
f(n/N)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
Ld-Lu	-6.71	-6.79	-7.00	-6.25	-6.46	-6.28	-7.25	-7.32	-7.26	-7.15
Rn	-1.96	-1.68	-1.46	-1.44	-2.09	-1.78	-2.01	-2.17	-1.26	0.03
Rnw en lámina	-0.80	-0.68	-0.60	-0.59	-0.85	-0.73	-0.82	-0.89	-0.51	0.01
f(u)	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
ET ₀ (mm/día)	1.39	1.66	2.47	1.86	1.66	1.38	2.25	2.32	2.53	2.88

*Pendiente de la curva de presión a saturación en la temperatura del bulbo húmedo

Días después del trasplante (DDT)	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Fecha	22-oct	23-oct	24-oct	25-oct	26-oct	27-oct	28-oct	29-oct	30-oct	31-oct
Unidad astronómica d/do	0.986	0.987	0.987	0.987	0.987	0.987	0.988	0.988	0.988	0.988
Declinación solar (en radianes)	-0.256	-0.250	-0.245	-0.239	-0.234	-0.228	-0.222	-0.216	-0.210	-0.204
Declinación solar (deg)	-14.655	-14.343	-14.028	-13.709	-13.385	-13.058	-12.727	-12.393	-12.055	-11.713
Angulo horario w_0 (rad)	1.478	1.480	1.482	1.484	1.487	1.489	1.491	1.493	1.495	1.497
Duración del día N(h/d) Fotoperiodo	11.293	11.309	11.324	11.340	11.357	11.373	11.389	11.406	11.423	11.440
Qa MJ m ⁻²)	30.275	30.414	30.554	30.695	30.836	30.978	31.120	31.263	31.406	31.550
Qest(Mj/m ²)	6.665	6.870	6.440	9.081	7.437	8.512	7.022	6.537	5.000	4.051
Horas brillo (n)	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2
n/N	0.992	0.990	0.989	0.988	0.986	0.985	0.983	0.982	0.980	0.979
Temperatura t en grados centígrados	21.00	20.50	19.25	20.00	22.75	23.00	21.50	25.00	24.50	24.00
Humedad Relativa RH (%)	44.6	44.5	48.1	47.5	40.1	39.5	32.8	36.2	39.9	41.2
Tensión de vapor a saturación Es (mb)	24.87	24.11	22.32	23.38	27.67	28.09	25.64	31.67	30.74	29.84
Tensión de vapor actual Ea (mb)	11.10	10.73	10.73	11.10	11.10	11.10	8.42	11.48	12.28	12.28
* Slope (hPa/C)	1.53	1.49	1.39	1.45	1.68	1.70	1.57	1.89	1.84	1.79
Presión atmosférica (hPa)	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68
Calor latente de vaporización l (J/g)	2451.10	2452.28	2455.24	2453.46	2446.96	2446.36	2449.91	2441.63	2442.81	2444.00
Constante Psicrométrica (hPa/C)	0.49	0.49	0.49	0.49	0.50	0.50	0.49	0.50	0.50	0.50
Radiación global (MJm ⁻²) Q	6.66	6.87	6.44	9.08	9.08	8.51	7.02	6.54	5.00	4.05
(1-a)Q	5.00	5.15	4.83	6.81	6.81	6.38	5.27	4.90	3.75	3.04
f(t)	36.68	36.43	35.82	36.19	37.56	37.69	36.93	38.72	38.46	38.20
f(ea)	0.19	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.21	0.19	0.19	0.19
f(n/N)	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98
Ld-Lu	-7.04	-7.08	-6.95	-6.92	-7.18	-7.19	-7.72	-7.27	-7.02	-6.97
Rn	-2.04	-1.92	-2.12	-0.11	-0.36	-0.81	-2.46	-2.37	-3.27	-3.93
Rnw en lámina	-0.83	-0.78	-0.86	-0.04	-0.15	-0.33	-1.00	-0.97	-1.34	-1.61
f(u)	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
ET ₀ (mm/día)	1.85	1.87	1.60	2.27	2.67	2.57	2.28	2.33	1.84	1.55

*Pendiente de la curva de presión a saturación en la temperatura del bulbo húmedo

Días después del trasplante (DDT)	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Fecha	01-nov	02-nov	03-nov	04-nov	05-nov	06-nov	07-nov	08-nov	09-nov	10-nov
Unidad astronómica d/do	0.988	0.989	0.989	0.989	0.989	0.989	0.990	0.990	0.990	0.990
Declinación solar (en radianes)	-0.198	-0.192	-0.186	-0.180	-0.174	-0.168	-0.161	-0.155	-0.148	-0.142
Declinación solar (deg)	-11.369	-11.021	-10.669	-10.315	-9.958	-9.598	-9.235	-8.870	-8.502	-8.132
Angulo horario w_0 (rad)	1.500	1.502	1.504	1.506	1.509	1.511	1.513	1.516	1.518	1.520
Duración del día N(h/d) Fotoperiodo	11.457	11.474	11.491	11.508	11.526	11.543	11.561	11.578	11.596	11.614
Qa MJ m ⁻²)	31.694	31.838	31.982	32.126	32.269	32.413	32.557	32.700	32.843	32.985
Qest(Mj/m ²)	7.885	7.804	7.248	7.661	7.000	6.466	6.000	6.158	6.670	8.059
Horas brillo (n)	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
n/N	0.890	0.889	0.888	0.886	0.885	0.884	0.882	0.881	0.880	0.878
Temperatura t en grados centígrados	24.00	26.00	23.00	22.50	21.50	20.50	21.00	20.75	20.75	21.00
Humedad Relativa RH (%)	38.47	44.56	35.66	36.76	34.02	33.72	30.47	32.06	30.94	32.70
Tensión de vapor a saturación Es (mb)	29.84	33.61	28.09	27.25	25.64	24.11	24.87	24.49	24.49	24.87
Tensión de vapor actual Ea (mb)	11.48	14.98	10.02	10.02	8.72	8.13	7.58	7.85	7.58	8.13
* Slope (hPa/C)	1.79	1.99	1.70	1.65	1.57	1.49	1.53	1.51	1.51	1.53
Presión atmosférica (hPa)	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68
Calor latente de vaporización l J/g)	2444.00	2439.26	2446.36	2447.55	2449.91	2452.28	2451.10	2451.69	2451.69	2451.10
Constante Psicrométrica (hPa/C)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
Radiación global (MJm ⁻²) Q	5.94	7.00	7.89	7.80	7.25	7.66	7.00	6.47	6.00	6.16
(1-a)Q	4.45	5.25	5.91	5.85	5.44	5.75	5.25	4.85	4.50	4.62
f(t)	38.20	39.24	37.69	37.44	36.93	36.43	36.68	36.56	36.56	36.68
f(ea)	0.19	0.17	0.20	0.20	0.21	0.21	0.22	0.22	0.22	0.21
f(n/N)	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.89	0.89	0.89	0.89
Ld-Lu	-6.57	-5.99	-6.80	-6.75	-6.95	-7.00	-7.18	-7.07	-7.14	-7.01
Rn	-2.12	-0.74	-0.89	-0.89	-1.52	-1.25	-1.93	-2.22	-2.64	-2.39
Rnw en lámina	-0.87	-0.31	-0.36	-0.36	-0.62	-0.51	-0.79	-0.91	-1.07	-0.97
f(u)	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
ET ₀ (mm/día)	2.25	2.50	2.72	2.64	2.52	2.55	2.52	2.34	2.27	2.28

*Pendiente de la curva de presión a saturación en la temperatura del bulbo húmedo

Días después del trasplante (DDT)	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Fecha	11-nov	12-nov	13-nov	14-nov	15-nov	16-nov	17-nov	18-nov	19-nov	20-nov
Unidad astronómica d/do	0.991	0.991	0.991	0.991	0.992	0.992	0.992	0.992	0.993	0.993
Declinación solar (en radianes)	-0.135	-0.129	-0.122	-0.116	-0.109	-0.102	-0.096	-0.089	-0.082	-0.075
Declinación solar (deg)	-7.759	-7.384	-7.007	-6.628	-6.247	-5.865	-5.480	-5.094	-4.707	-4.318
Angulo horario w_0 (rad)	1.523	1.525	1.527	1.530	1.532	1.534	1.537	1.539	1.542	1.544
Duración del día N(h/d) _Fotoperiodo	11.632	11.650	11.668	11.686	11.704	11.723	11.741	11.759	11.778	11.796
Qa MJ m ⁻²)	33.127	33.268	33.408	33.548	33.687	33.825	33.962	34.098	34.233	34.367
Qest(Mj/m ²)	8.059	8.059	8.059	8.059	8.059	8.059	8.059	8.059	8.059	8.059
Horas brillo (n)	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
n/N	0.877	0.876	0.874	0.873	0.871	0.870	0.869	0.867	0.866	0.865
Temperatura t en grados centígrados	18.50	20.50	19.25	19.25	19.00	18.50	20.00	21.00	21.00	21.00
Humedad Relativa RH (%)	43.91	38.77	43.37	37.74	37.01	33.13	34.78	32.70	32.70	32.70
Tensión de vapor a saturación Es (mb)	21.30	24.11	22.32	22.32	21.97	21.30	23.38	24.87	24.87	24.87
Tensión de vapor actual Ea (mb)	9.35	9.35	9.68	8.42	8.13	7.06	8.13	8.13	8.13	8.13
* Slope (hPa/C)	1.33	1.49	1.39	1.39	1.37	1.33	1.45	1.53	1.53	1.53
Presión atmosférica (hPa)	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68
Calor latente de vaporización l (J/g)	2457.01	2452.28	2455.24	2455.24	2455.83	2457.01	2453.46	2451.10	2451.10	2451.10
Constante Psicrométrica (hPa/C)	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
Radiación global (MJm ⁻²) Q	6.67	8.06	9.74	8.80	9.00	8.73	8.12	8.55	7.27	7.16
(1-a)Q	5.00	6.04	7.30	6.60	6.75	6.55	6.09	6.41	5.45	5.37
f(t)	35.45	36.43	35.82	35.82	35.70	35.45	36.19	36.68	36.68	36.68
f(ea)	0.21	0.21	0.20	0.21	0.21	0.22	0.21	0.21	0.21	0.21
f(n/N)	0.89	0.89	0.89	0.89	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
Ld-Lu	-6.48	-6.65	-6.45	-6.73	-6.77	-6.99	-6.85	-6.93	-6.92	-6.91
Rn	-1.47	-0.60	0.85	-0.13	-0.02	-0.44	-0.76	-0.52	-1.47	-1.54
Rnw en lámina	-0.60	-0.25	0.35	-0.05	-0.01	-0.18	-0.31	-0.21	-0.60	-0.63
f(u)	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
ET ₀ (mm/día)	1.94	2.53	2.70	2.64	2.69	2.70	2.63	2.85	2.56	2.54

*Pendiente de la curva de presión a saturación en la temperatura del bulbo húmedo

Días después del trasplante (DDT)	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Fecha	21-nov	22-nov	23-nov	24-nov	25-nov	26-nov	27-nov	28-nov	29-nov	30-nov
Unidad astronómica d/do	0.993	0.993	0.994	0.994	0.994	0.994	0.995	0.995	0.995	0.996
Declinación solar (en radianes)	-0.069	-0.062	-0.055	-0.048	-0.041	-0.034	-0.027	-0.020	-0.014	-0.007
Declinación solar (deg)	-3.928	-3.537	-3.145	-2.752	-2.359	-1.964	-1.569	-1.174	-0.778	-0.382
Angulo horario w_0 (rad)	1.547	1.549	1.551	1.554	1.556	1.559	1.561	1.564	1.566	1.568
Duración del día N(h/d) _Fotoperiodo	11.815	11.833	11.852	11.870	11.889	11.907	11.926	11.945	11.963	11.982
Qa MJ m ⁻²)	34.500	34.632	34.762	34.891	35.018	35.144	35.268	35.391	35.512	35.632
Qest(Mj/m ²)	8.059	8.059	8.059	8.059	8.059	8.059	8.059	8.059	8.059	8.059
Horas brillo (n)	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
n/N	0.863	0.862	0.861	0.859	0.858	0.857	0.855	0.854	0.853	0.851
Temperatura t en grados centígrados	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
Humedad Relativa RH (%)	32.70	32.70	32.70	32.70	32.70	32.70	32.70	32.70	32.70	32.70
Tensión de vapor a saturación Es (mb)	24.87	24.87	24.87	24.87	24.87	24.87	24.87	24.87	24.87	24.87
Tensión de vapor actual Ea (mb)	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13	8.13
* Slope (hPa/C)	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53
Presión atmosférica (hPa)	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68	750.68
Calor latente de vaporización l J/g)	2451.10	2451.10	2451.10	2451.10	2451.10	2451.10	2451.10	2451.10	2451.10	2451.10
Constante Psicrométrica (hPa/C)	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
Radiación global (MJm ⁻²) Q	8.04	8.31	8.74	6.69	7.00	8.69	8.22	7.75	8.42	7.57
(1-a)Q	6.03	6.23	6.55	5.02	5.25	6.52	6.17	5.81	6.32	5.68
f(t)	36.68	36.68	36.68	36.68	36.68	36.68	36.68	36.68	36.68	36.68
f(ea)	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
f(n/N)	0.88	0.88	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
Ld-Lu	-6.90	-6.89	-6.88	-6.87	-6.86	-6.85	-6.84	-6.84	-6.83	-6.82
Rn	-0.87	-0.66	-0.33	-1.85	-1.61	-0.34	-0.68	-1.02	-0.51	-1.14
Rnw en lámina	-0.36	-0.27	-0.13	-0.76	-0.66	-0.14	-0.28	-0.42	-0.21	-0.46
f(u)	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
ET ₀ (mm/día)	2.75	2.81	2.91	2.44	2.52	2.91	2.81	2.70	2.86	2.66

*Pendiente de la curva de presión a saturación en la temperatura del bulbo húmedo.

ANEXO 3. DATOS UTILIZADOS PARA EL CÁLCULO DE ET_L SUSTRATO FINO.

Fecha	DDT	ET_0	ET_{L_G} e	K_{s_Ge}	K_{d_Ge}	K_{mc_G} e	ET_{L_G} a	K_{s_Ga}	K_{d_Ga}	ET_{L_Pe}	K_{s_Pe}	K_{d_Pe}
12/09/2017	1	0.25	0.070	0.4	0.5	1.4	0.056	0.4	0.4	0.070	0.4	0.5
13/09/2017	2	0.21	0.058	0.4	0.5	1.4	0.046	0.4	0.4	0.058	0.4	0.5
14/09/2017	3	0.28	0.078	0.4	0.5	1.4	0.062	0.4	0.4	0.078	0.4	0.5
15/09/2017	4	0.28	0.079	0.4	0.5	1.4	0.064	0.4	0.4	0.079	0.4	0.5
16/09/2017	5	0.24	0.068	0.4	0.5	1.4	0.054	0.4	0.4	0.068	0.4	0.5
17/09/2017	6	0.36	0.101	0.4	0.5	1.4	0.081	0.4	0.4	0.101	0.4	0.5
18/09/2017	7	0.29	0.081	0.4	0.5	1.4	0.065	0.4	0.4	0.081	0.4	0.5
19/09/2017	8	0.34	0.095	0.4	0.5	1.4	0.076	0.4	0.4	0.095	0.4	0.5
20/09/2017	9	0.27	0.074	0.4	0.5	1.4	0.059	0.4	0.4	0.074	0.4	0.5
21/09/2017	10	0.25	0.071	0.4	0.5	1.4	0.057	0.4	0.4	0.071	0.4	0.5
22/09/2017	11	0.20	0.055	0.4	0.5	1.4	0.044	0.4	0.4	0.055	0.4	0.5
23/09/2017	12	0.23	0.064	0.4	0.5	1.4	0.064	0.4	0.5	0.064	0.4	0.5
24/09/2017	13	0.20	0.056	0.4	0.5	1.4	0.056	0.4	0.5	0.056	0.4	0.5
25/09/2017	14	0.16	0.045	0.4	0.5	1.4	0.045	0.4	0.5	0.045	0.4	0.5
26/09/2017	15	0.25	0.070	0.4	0.5	1.4	0.070	0.4	0.5	0.070	0.4	0.5
27/09/2017	16	0.24	0.068	0.4	0.5	1.4	0.096	0.4	0.7	0.096	0.4	0.7
28/09/2017	17	0.14	0.040	0.4	0.5	1.4	0.055	0.4	0.7	0.055	0.4	0.7
29/09/2017	18	0.11	0.030	0.4	0.5	1.4	0.041	0.4	0.7	0.041	0.4	0.7
30/09/2017	19	0.13	0.037	0.4	0.5	1.4	0.051	0.4	0.7	0.051	0.4	0.7
01/10/2017	20	0.22	0.086	0.4	0.7	1.4	0.086	0.4	0.7	0.086	0.4	0.7
02/10/2017	21	0.16	0.087	0.4	1.0	1.4	0.091	0.6	0.7	0.061	0.4	0.7
03/10/2017	22	0.14	0.078	0.4	1.0	1.4	0.082	0.6	0.7	0.055	0.4	0.7
04/10/2017	23	0.14	0.079	0.4	1.0	1.4	0.082	0.6	0.7	0.055	0.4	0.7
05/10/2017	24	0.21	0.118	0.4	1.0	1.4	0.124	0.6	0.7	0.082	0.4	0.7
06/10/2017	25	0.25	0.139	0.4	1.0	1.4	0.146	0.6	0.7	0.098	0.4	0.7
07/10/2017	26	0.23	0.130	0.4	1.0	1.4	0.137	0.6	0.7	0.091	0.4	0.7
08/10/2017	27	0.21	0.115	0.4	1.0	1.4	0.121	0.6	0.7	0.080	0.4	0.7
09/10/2017	28	0.22	0.124	0.4	1.0	1.4	0.131	0.6	0.7	0.087	0.4	0.7
10/10/2017	29	0.27	0.151	0.4	1.0	1.4	0.159	0.6	0.7	0.106	0.4	0.7
11/10/2017	30	0.12	0.069	0.4	1.0	1.4	0.073	0.6	0.7	0.049	0.4	0.7
12/10/2017	31	0.14	0.078	0.4	1.0	1.4	0.082	0.6	0.7	0.055	0.4	0.7
13/10/2017	32	0.17	0.093	0.4	1.0	1.4	0.098	0.6	0.7	0.065	0.4	0.7
14/10/2017	33	0.25	0.139	0.4	1.0	1.4	0.145	0.6	0.7	0.097	0.4	0.7
15/10/2017	34	0.19	0.104	0.4	1.0	1.4	0.109	0.6	0.7	0.073	0.4	0.7
16/10/2017	35	0.17	0.093	0.4	1.0	1.4	0.098	0.6	0.7	0.065	0.4	0.7
17/10/2017	36	0.14	0.077	0.4	1.0	1.4	0.081	0.6	0.7	0.054	0.4	0.7
18/10/2017	37	0.22	0.126	0.4	1.0	1.4	0.132	0.6	0.7	0.088	0.4	0.7
19/10/2017	38	0.23	0.130	0.4	1.0	1.4	0.136	0.6	0.7	0.114	0.5	0.7
20/10/2017	39	0.25	0.142	0.4	1.0	1.4	0.149	0.6	0.7	0.124	0.5	0.7
21/10/2017	40	0.29	0.161	0.4	1.0	1.4	0.169	0.6	0.7	0.141	0.5	0.7

CONTINUACIÓN ANEXO 3

Fecha	DDT	ET ₀	ET _{L_Ge}	K _{s_Ge}	K _{d_Ge}	K _{mc_Ge}	ET _{L_Ga}	K _{s_Ga}	K _{d_Ga}	ET _{L_Pe}	K _{s_Pe}	K _{d_Pe}
22/10/2017	41	0.19	0.104	0.4	1.0	1.4	0.109	0.6	0.7	0.091	0.5	0.7
23/10/2017	42	0.19	0.105	0.4	1.0	1.4	0.110	0.6	0.7	0.092	0.5	0.7
24/10/2017	43	0.16	0.090	0.4	1.0	1.4	0.094	0.6	0.7	0.078	0.5	0.7
25/10/2017	44	0.23	0.127	0.4	1.0	1.4	0.133	0.6	0.7	0.111	0.5	0.7
26/10/2017	45	0.27	0.149	0.4	1.0	1.4	0.157	0.6	0.7	0.131	0.5	0.7
27/10/2017	46	0.26	0.144	0.4	1.0	1.4	0.151	0.6	0.7	0.126	0.5	0.7
28/10/2017	47	0.23	0.128	0.4	1.0	1.4	0.134	0.6	0.7	0.112	0.5	0.7
29/10/2017	48	0.23	0.130	0.4	1.0	1.4	0.137	0.6	0.7	0.114	0.5	0.7
30/10/2017	49	0.18	0.103	0.4	1.0	1.4	0.108	0.6	0.7	0.090	0.5	0.7
31/10/2017	50	0.15	0.087	0.4	1.0	1.4	0.091	0.6	0.7	0.076	0.5	0.7
01/11/2017	51	0.23	0.126	0.4	1.0	1.4	0.151	0.6	0.8	0.132	0.6	0.7
02/11/2017	52	0.25	0.140	0.4	1.0	1.4	0.168	0.6	0.8	0.147	0.6	0.7
03/11/2017	53	0.27	0.153	0.4	1.0	1.4	0.183	0.6	0.8	0.160	0.6	0.7
04/11/2017	54	0.26	0.148	0.4	1.0	1.4	0.178	0.6	0.8	0.155	0.6	0.7
05/11/2017	55	0.25	0.141	0.4	1.0	1.4	0.169	0.6	0.8	0.148	0.6	0.7
06/11/2017	56	0.26	0.143	0.4	1.0	1.4	0.172	0.6	0.8	0.150	0.6	0.7
07/11/2017	57	0.25	0.141	0.4	1.0	1.4	0.169	0.6	0.8	0.148	0.6	0.7
08/11/2017	58	0.23	0.131	0.4	1.0	1.4	0.157	0.6	0.8	0.138	0.6	0.7
09/11/2017	59	0.23	0.127	0.4	1.0	1.4	0.152	0.6	0.8	0.133	0.6	0.7
10/11/2017	60	0.23	0.128	0.4	1.0	1.4	0.153	0.6	0.8	0.134	0.6	0.7
11/11/2017	61	0.19	0.109	0.4	1.0	1.4	0.130	0.6	0.8	0.114	0.6	0.7
12/11/2017	62	0.25	0.142	0.4	1.0	1.4	0.170	0.6	0.8	0.149	0.6	0.7
13/11/2017	63	0.27	0.151	0.4	1.0	1.4	0.181	0.6	0.8	0.159	0.6	0.7
14/11/2017	64	0.26	0.148	0.4	1.0	1.4	0.178	0.6	0.8	0.155	0.6	0.7
15/11/2017	65	0.27	0.151	0.4	1.0	1.4	0.181	0.6	0.8	0.158	0.6	0.7
16/11/2017	66	0.27	0.151	0.4	1.0	1.4	0.182	0.6	0.8	0.159	0.6	0.7
17/11/2017	67	0.26	0.147	0.4	1.0	1.4	0.177	0.6	0.8	0.155	0.6	0.7
18/11/2017	68	0.29	0.160	0.4	1.0	1.4	0.192	0.6	0.8	0.168	0.6	0.7
19/11/2017	69	0.26	0.143	0.4	1.0	1.4	0.172	0.6	0.8	0.151	0.6	0.7
20/11/2017	70	0.25	0.142	0.4	1.0	1.4	0.171	0.6	0.8	0.149	0.6	0.7
21/11/2017	71	0.27	0.154	0.4	1.0	1.4	0.185	0.6	0.8	0.161	0.6	0.7
22/11/2017	72	0.28	0.157	0.4	1.0	1.4	0.189	0.6	0.8	0.165	0.6	0.7
23/11/2017	73	0.29	0.163	0.4	1.0	1.4	0.196	0.6	0.8	0.171	0.6	0.7
24/11/2017	74	0.24	0.137	0.4	1.0	1.4	0.164	0.6	0.8	0.144	0.6	0.7
25/11/2017	75	0.25	0.141	0.4	1.0	1.4	0.169	0.6	0.8	0.148	0.6	0.7
26/11/2017	76	0.29	0.163	0.4	1.0	1.4	0.196	0.6	0.8	0.171	0.6	0.7
27/11/2017	77	0.28	0.157	0.4	1.0	1.4	0.189	0.6	0.8	0.165	0.6	0.7
28/11/2017	78	0.27	0.151	0.4	1.0	1.4	0.181	0.6	0.8	0.159	0.6	0.7
29/11/2017	79	0.29	0.160	0.4	1.0	1.4	0.192	0.6	0.8	0.168	0.6	0.7
30/11/2017	80	0.27	0.149	0.4	1.0	1.4	0.179	0.6	0.8	0.157	0.6	0.7

ANEXO 4. DATOS UTILIZADOS PARA EL CÁLCULO DE ET_L SUSTRATO EN GRUESO.

Fecha	DDT	ET_0	ET_{L_Ge}	K_{s_G} e	K_{d_G} e	K_{mc_Ge}	ET_{L_Ga}	K_{s_G} a	K_{d_G} a	ET_{L_Pe}	K_{s_P} e	K_{d_P} e
12/09/2017	1	0.25	0.070	0.4	0.5	1.4	0.056	0.4	0.4	0.070	0.4	0.5
13/09/2017	2	0.21	0.058	0.4	0.5	1.4	0.046	0.4	0.4	0.058	0.4	0.5
14/09/2017	3	0.28	0.078	0.4	0.5	1.4	0.062	0.4	0.4	0.078	0.4	0.5
15/09/2017	4	0.28	0.079	0.4	0.5	1.4	0.064	0.4	0.4	0.079	0.4	0.5
16/09/2017	5	0.24	0.068	0.4	0.5	1.4	0.054	0.4	0.4	0.068	0.4	0.5
17/09/2017	6	0.36	0.101	0.4	0.5	1.4	0.081	0.4	0.4	0.101	0.4	0.5
18/09/2017	7	0.29	0.081	0.4	0.5	1.4	0.065	0.4	0.4	0.081	0.4	0.5
19/09/2017	8	0.34	0.095	0.4	0.5	1.4	0.076	0.4	0.4	0.095	0.4	0.5
20/09/2017	9	0.27	0.074	0.4	0.5	1.4	0.059	0.4	0.4	0.074	0.4	0.5
21/09/2017	10	0.25	0.071	0.4	0.5	1.4	0.057	0.4	0.4	0.071	0.4	0.5
22/09/2017	11	0.20	0.055	0.4	0.5	1.4	0.044	0.4	0.4	0.055	0.4	0.5
23/09/2017	12	0.23	0.064	0.4	0.5	1.4	0.064	0.4	0.5	0.064	0.4	0.5
24/09/2017	13	0.20	0.056	0.4	0.5	1.4	0.056	0.4	0.5	0.056	0.4	0.5
25/09/2017	14	0.16	0.045	0.4	0.5	1.4	0.045	0.4	0.5	0.045	0.4	0.5
26/09/2017	15	0.25	0.070	0.4	0.5	1.4	0.070	0.4	0.5	0.070	0.4	0.5
27/09/2017	16	0.24	0.096	0.4	0.7	1.4	0.096	0.4	0.7	0.096	0.4	0.7
28/09/2017	17	0.14	0.055	0.4	0.7	1.4	0.055	0.4	0.7	0.055	0.4	0.7
29/09/2017	18	0.11	0.041	0.4	0.7	1.4	0.041	0.4	0.7	0.041	0.4	0.7
30/09/2017	19	0.13	0.051	0.4	0.7	1.4	0.051	0.4	0.7	0.051	0.4	0.7
01/10/2017	20	0.22	0.086	0.4	0.7	1.4	0.086	0.4	0.7	0.086	0.4	0.7
02/10/2017	21	0.16	0.061	0.4	0.7	1.4	0.076	0.5	0.7	0.061	0.4	0.7
03/10/2017	22	0.14	0.055	0.4	0.7	1.4	0.068	0.5	0.7	0.055	0.4	0.7
04/10/2017	23	0.14	0.055	0.4	0.7	1.4	0.069	0.5	0.7	0.055	0.4	0.7
05/10/2017	24	0.21	0.082	0.4	0.7	1.4	0.103	0.5	0.7	0.082	0.4	0.7
06/10/2017	25	0.25	0.098	0.4	0.7	1.4	0.122	0.5	0.7	0.098	0.4	0.7
07/10/2017	26	0.23	0.091	0.4	0.7	1.4	0.114	0.5	0.7	0.091	0.4	0.7
08/10/2017	27	0.21	0.080	0.4	0.7	1.4	0.100	0.5	0.7	0.080	0.4	0.7
09/10/2017	28	0.22	0.087	0.4	0.7	1.4	0.109	0.5	0.7	0.087	0.4	0.7
10/10/2017	29	0.27	0.106	0.4	0.7	1.4	0.132	0.5	0.7	0.106	0.4	0.7
11/10/2017	30	0.12	0.049	0.4	0.7	1.4	0.061	0.5	0.7	0.049	0.4	0.7
12/10/2017	31	0.14	0.055	0.4	0.7	1.4	0.068	0.5	0.7	0.055	0.4	0.7
13/10/2017	32	0.17	0.065	0.4	0.7	1.4	0.081	0.5	0.7	0.065	0.4	0.7
14/10/2017	33	0.25	0.097	0.4	0.7	1.4	0.121	0.5	0.7	0.097	0.4	0.7
15/10/2017	34	0.19	0.073	0.4	0.7	1.4	0.091	0.5	0.7	0.073	0.4	0.7
16/10/2017	35	0.17	0.065	0.4	0.7	1.4	0.081	0.5	0.7	0.065	0.4	0.7
17/10/2017	36	0.14	0.054	0.4	0.7	1.4	0.068	0.5	0.7	0.054	0.4	0.7
18/10/2017	37	0.22	0.088	0.4	0.7	1.4	0.110	0.5	0.7	0.088	0.4	0.7
19/10/2017	38	0.23	0.091	0.4	0.7	1.4	0.114	0.5	0.7	0.114	0.5	0.7
20/10/2017	39	0.25	0.099	0.4	0.7	1.4	0.124	0.5	0.7	0.124	0.5	0.7
21/10/2017	40	0.29	0.113	0.4	0.7	1.4	0.141	0.5	0.7	0.141	0.5	0.7

CONTINUACIÓN ANEXO 4

Fecha	DDT	ET ₀	ET _L _{Ge}	K _s _G _e	K _d _G _e	K _{mc} _{Ge}	ET _L _{Ga}	K _s _G _a	K _d _G _a	ET _L _{Pe}	K _s _{Pe}	K _d _P _e
22/10/2017	41	0.19	0.091	0.5	0.7	1.4	0.091	0.5	0.7	0.091	0.5	0.7
23/10/2017	42	0.19	0.092	0.5	0.7	1.4	0.092	0.5	0.7	0.105	0.5	0.8
24/10/2017	43	0.16	0.078	0.5	0.7	1.4	0.078	0.5	0.7	0.090	0.5	0.8
25/10/2017	44	0.23	0.111	0.5	0.7	1.4	0.111	0.5	0.7	0.127	0.5	0.8
26/10/2017	45	0.27	0.131	0.5	0.7	1.4	0.131	0.5	0.7	0.149	0.5	0.8
27/10/2017	46	0.26	0.126	0.5	0.7	1.4	0.126	0.5	0.7	0.144	0.5	0.8
28/10/2017	47	0.23	0.112	0.5	0.7	1.4	0.112	0.5	0.7	0.128	0.5	0.8
29/10/2017	48	0.23	0.114	0.5	0.7	1.4	0.114	0.5	0.7	0.130	0.5	0.8
30/10/2017	49	0.18	0.090	0.5	0.7	1.4	0.090	0.5	0.7	0.103	0.5	0.8
31/10/2017	50	0.15	0.076	0.5	0.7	1.4	0.076	0.5	0.7	0.087	0.5	0.8
01/11/2017	51	0.23	0.126	0.5	0.8	1.4	0.151	0.6	0.8	0.170	0.6	0.9
02/11/2017	52	0.25	0.140	0.5	0.8	1.4	0.168	0.6	0.8	0.189	0.6	0.9
03/11/2017	53	0.27	0.153	0.5	0.8	1.4	0.183	0.6	0.8	0.206	0.6	0.9
04/11/2017	54	0.26	0.148	0.5	0.8	1.4	0.178	0.6	0.8	0.200	0.6	0.9
05/11/2017	55	0.25	0.141	0.5	0.8	1.4	0.169	0.6	0.8	0.190	0.6	0.9
06/11/2017	56	0.26	0.143	0.5	0.8	1.4	0.172	0.6	0.8	0.193	0.6	0.9
07/11/2017	57	0.25	0.141	0.5	0.8	1.4	0.169	0.6	0.8	0.191	0.6	0.9
08/11/2017	58	0.23	0.131	0.5	0.8	1.4	0.157	0.6	0.8	0.177	0.6	0.9
09/11/2017	59	0.23	0.127	0.5	0.8	1.4	0.152	0.6	0.8	0.171	0.6	0.9
10/11/2017	60	0.23	0.128	0.5	0.8	1.4	0.153	0.6	0.8	0.172	0.6	0.9
11/11/2017	61	0.19	0.109	0.5	0.8	1.4	0.130	0.6	0.8	0.146	0.6	0.9
12/11/2017	62	0.25	0.142	0.5	0.8	1.4	0.170	0.6	0.8	0.191	0.6	0.9
13/11/2017	63	0.27	0.151	0.5	0.8	1.4	0.181	0.6	0.8	0.204	0.6	0.9
14/11/2017	64	0.26	0.148	0.5	0.8	1.4	0.178	0.6	0.8	0.200	0.6	0.9
15/11/2017	65	0.27	0.151	0.5	0.8	1.4	0.181	0.6	0.8	0.203	0.6	0.9
16/11/2017	66	0.27	0.151	0.5	0.8	1.4	0.182	0.6	0.8	0.204	0.6	0.9
17/11/2017	67	0.26	0.147	0.5	0.8	1.4	0.177	0.6	0.8	0.199	0.6	0.9
18/11/2017	68	0.29	0.160	0.5	0.8	1.4	0.192	0.6	0.8	0.216	0.6	0.9
19/11/2017	69	0.26	0.143	0.5	0.8	1.4	0.172	0.6	0.8	0.194	0.6	0.9
20/11/2017	70	0.25	0.142	0.5	0.8	1.4	0.192	0.6	0.9	0.192	0.6	0.9
21/11/2017	71	0.27	0.154	0.5	0.8	1.4	0.208	0.6	0.9	0.208	0.6	0.9
22/11/2017	72	0.28	0.157	0.5	0.8	1.4	0.212	0.6	0.9	0.212	0.6	0.9
23/11/2017	73	0.29	0.163	0.5	0.8	1.4	0.220	0.6	0.9	0.220	0.6	0.9
24/11/2017	74	0.24	0.137	0.5	0.8	1.4	0.185	0.6	0.9	0.185	0.6	0.9
25/11/2017	75	0.25	0.141	0.5	0.8	1.4	0.190	0.6	0.9	0.190	0.6	0.9
26/11/2017	76	0.29	0.163	0.5	0.8	1.4	0.220	0.6	0.9	0.220	0.6	0.9
27/11/2017	77	0.28	0.157	0.5	0.8	1.4	0.212	0.6	0.9	0.212	0.6	0.9
28/11/2017	78	0.27	0.151	0.5	0.8	1.4	0.204	0.6	0.9	0.204	0.6	0.9
29/11/2017	79	0.29	0.160	0.5	0.8	1.4	0.216	0.6	0.9	0.216	0.6	0.9
30/11/2017	80	0.27	0.149	0.5	0.8	1.4	0.201	0.6	0.9	0.201	0.6	0.9

ANEXO 5

Consumo de aguas (con solución nutritiva) en Geranium (Ge) en sustrato fino (S.Fino Ge).

S.Fino. Ge	ml medidos en el recipiente graduado				* lámina en cm			
DDT	No. De Maceta y cápsula				No. De Maceta y cápsula			
	82	175	58	99	82	175	58	99
1	28.11	39.35	33.73	56.21	0.068	0.095	0.081	0.135
2	33.73	44.97	50.59	56.21	0.081	0.108	0.122	0.135
3	73.08	56.21	78.70	61.83	0.176	0.135	0.189	0.149
4	73.08	50.59	73.08	61.83	0.176	0.122	0.176	0.149
5	84.32	61.83	84.32	78.70	0.203	0.149	0.203	0.189
6	73.08	67.45	56.21	78.70	0.176	0.162	0.135	0.189
7	84.32	67.45	78.70	73.08	0.203	0.162	0.189	0.176
8	78.70	61.83	84.32	56.21	0.189	0.149	0.203	0.135
9	73.08	61.83	67.45	56.21	0.176	0.149	0.162	0.135
10	78.70	50.59	61.83	39.35	0.189	0.122	0.149	0.095
11	67.45	56.21	56.21	56.21	0.162	0.135	0.135	0.135
12	67.45	56.21	67.45	61.83	0.162	0.135	0.162	0.149
13	61.83	44.97	56.21	39.35	0.149	0.108	0.135	0.095
14	56.21	50.59	67.45	56.21	0.135	0.122	0.162	0.135
15	61.83	56.21	73.08	56.21	0.149	0.135	0.176	0.135
16	56.21	44.97	50.59	50.59	0.135	0.108	0.122	0.122
17	56.21	44.97	56.21	44.97	0.135	0.108	0.135	0.108
18	39.35	44.97	39.35	39.35	0.095	0.108	0.095	0.095
19	44.97	56.21	39.35	39.35	0.108	0.135	0.095	0.095
20	44.97	50.59	33.73	39.35	0.108	0.122	0.081	0.095
21	33.73	44.97	39.35	33.73	0.081	0.108	0.095	0.081
22	50.59	56.21	39.35	44.97	0.122	0.135	0.095	0.108
23	44.97	44.97	39.35	44.97	0.108	0.108	0.095	0.108
24	56.21	67.45	44.97	50.59	0.135	0.162	0.108	0.122
25	44.97	56.21	50.59	44.97	0.108	0.135	0.122	0.108
26	44.97	50.59	50.59	39.35	0.108	0.122	0.122	0.095
27	50.59	44.97	50.59	39.35	0.122	0.108	0.122	0.095
28	56.21	39.35	44.97	50.59	0.135	0.095	0.108	0.122
29	50.59	67.45	44.97	39.35	0.122	0.162	0.108	0.095
30	61.83	56.21	50.59	50.59	0.149	0.135	0.122	0.122
31	61.83	50.59	67.45	50.59	0.149	0.122	0.162	0.122
32	50.59	50.59	61.83	50.59	0.122	0.122	0.149	0.122
33	61.83	50.59	67.45	44.97	0.149	0.122	0.162	0.108
34	61.83	56.21	61.83	50.59	0.149	0.135	0.149	0.122
35	50.59	44.97	44.97	39.35	0.122	0.108	0.108	0.095
36	50.59	78.70	44.97	73.08	0.122	0.189	0.108	0.176
37	50.59	44.97	44.97	33.73	0.122	0.108	0.108	0.081
38	56.21	44.97	50.59	44.97	0.135	0.108	0.122	0.108
39	73.08	50.59	61.83	56.21	0.176	0.122	0.149	0.135
40	84.32	67.45	84.32	67.45	0.203	0.162	0.203	0.162

*Para obtener la lámina en cm, se divide los ml medidos en el recipiente graduado entre la superficie de cada maceta (415.477 cm²)

CONTINUACIÓN ANEXO 5

S.Fino. DDT	ml medidos en el recipiente graduado				* lámina en cm			
	No. De Maceta y cápsula				No. De Maceta y cápsula			
	82	175	58	99	82	175	58	99
41	67.45	56.21	56.21	61.83	0.162	0.135	0.135	0.149
42	56.21	84.32	56.21	56.21	0.135	0.203	0.135	0.135
43	56.21	50.59	84.32	50.59	0.135	0.122	0.203	0.122
44	67.45	67.45	89.94	95.56	0.162	0.162	0.216	0.230
45	89.94	44.97	56.21	61.83	0.216	0.108	0.135	0.149
46	56.21	84.32	70.27	67.45	0.135	0.203	0.169	0.162
47	112.42	112.42	112.42	61.83	0.271	0.271	0.271	0.149
48	89.94	78.70	118.05	56.21	0.216	0.189	0.284	0.135
49	101.18	73.08	61.83	50.59	0.244	0.176	0.149	0.122
50	112.42	84.32	89.94	56.21	0.271	0.203	0.216	0.135
51	39.35	39.35	56.21	44.97	0.095	0.095	0.135	0.108
52	56.21	56.21	67.45	61.83	0.135	0.135	0.162	0.149
53	56.21	56.21	78.70	50.59	0.135	0.135	0.189	0.122
54	61.83	61.83	78.70	67.45	0.149	0.149	0.189	0.162
55	56.21	56.21	84.32	56.21	0.135	0.135	0.203	0.135
56	61.83	56.21	78.70	61.83	0.149	0.135	0.189	0.149
57	61.83	61.83	84.32	61.83	0.149	0.149	0.203	0.149
58	61.83	50.59	67.45	56.21	0.149	0.122	0.162	0.135
59	67.45	64.64	89.94	70.27	0.162	0.156	0.216	0.169
60	59.02	67.45	78.70	59.02	0.142	0.162	0.189	0.142
61	59.02	67.45	78.70	59.02	0.142	0.162	0.189	0.142
62	61.83	89.94	73.08	61.83	0.149	0.216	0.176	0.149
63	50.59	50.59	67.45	67.45	0.122	0.122	0.162	0.162
64	61.83	50.59	61.83	61.83	0.149	0.122	0.149	0.149
65	61.83	56.21	44.97	61.83	0.149	0.135	0.108	0.149
66	50.59	44.97	44.97	61.83	0.122	0.108	0.108	0.149
67	50.59	39.35	44.97	39.35	0.122	0.095	0.108	0.095
68	50.59	33.73	44.97	33.73	0.122	0.081	0.108	0.081
69	56.21	44.97	50.59	61.83	0.135	0.108	0.122	0.149
70	39.35	33.73	44.97	50.59	0.095	0.081	0.108	0.122
71	61.83	39.35	67.45	50.59	0.149	0.095	0.162	0.122
72	67.45	56.21	56.21	44.97	0.162	0.135	0.135	0.108
73	56.21	39.35	56.21	56.21	0.135	0.095	0.135	0.135
74	56.21	50.59	67.45	50.59	0.135	0.122	0.162	0.122
75	50.59	33.73	39.35	56.21	0.122	0.081	0.095	0.135
76	61.83	44.97	56.21	61.83	0.149	0.108	0.135	0.149
77	44.97	44.97	56.21	73.08	0.108	0.108	0.135	0.176
78	67.45	67.45	84.32	80.95	0.162	0.162	0.203	0.195
79	67.45	56.21	89.94	56.21	0.162	0.135	0.216	0.135
80	61.83	50.59	84.32	50.59	0.149	0.122	0.203	0.122

*Para obtener la lámina en cm, se divide los ml medidos en el recipiente graduado entre la superficie de cada maceta (415.477 cm²)

ANEXO 6

Consumo de agua (con solución nutritiva) en Geranium (Ge) en sustrato grueso (S.Grueso Ge).

S.Grueso. DDT	ml medidos en el recipiente graduado				* lámina en cm			
	No. De Maceta y cápsula				No. De Maceta y cápsula			
	21	36	13	32	21	36	13	32
1	28.11	33.73	39.35	44.97	0.068	0.081	0.095	0.108
2	39.35	39.35	33.73	44.97	0.095	0.095	0.081	0.108
3	39.35	33.73	39.35	50.59	0.095	0.081	0.095	0.122
4	44.97	42.16	44.97	56.21	0.108	0.101	0.108	0.135
5	50.59	44.97	39.35	53.40	0.122	0.108	0.095	0.129
6	56.21	47.78	44.97	50.59	0.135	0.115	0.108	0.122
7	56.21	50.59	56.21	56.21	0.135	0.122	0.135	0.135
8	50.59	44.97	61.83	50.59	0.122	0.108	0.149	0.122
9	56.21	50.59	50.59	56.21	0.135	0.122	0.122	0.135
10	61.83	50.59	67.45	50.59	0.149	0.122	0.162	0.122
11	67.45	50.59	73.08	44.97	0.162	0.122	0.176	0.108
12	73.08	61.83	73.08	50.59	0.176	0.149	0.176	0.122
13	78.70	56.21	73.08	61.83	0.189	0.135	0.176	0.149
14	70.27	56.21	70.27	61.83	0.169	0.135	0.169	0.149
15	70.27	61.83	70.27	50.59	0.169	0.149	0.169	0.122
16	67.45	50.59	67.45	56.21	0.162	0.122	0.162	0.135
17	73.08	50.59	73.08	73.08	0.176	0.122	0.176	0.176
18	44.97	44.97	56.21	50.59	0.108	0.108	0.135	0.122
19	50.59	44.97	56.21	39.35	0.122	0.108	0.135	0.095
20	56.21	39.35	67.45	56.21	0.135	0.095	0.162	0.135
21	61.83	39.35	84.32	56.21	0.149	0.095	0.203	0.135
22	61.83	44.97	84.32	67.45	0.149	0.108	0.203	0.162
23	50.59	39.35	50.59	44.97	0.122	0.095	0.122	0.108
24	56.21	33.73	50.59	39.35	0.135	0.081	0.122	0.095
25	78.70	50.59	78.70	56.21	0.189	0.122	0.189	0.135
26	73.08	39.35	78.70	56.21	0.176	0.095	0.189	0.135
27	89.94	67.45	89.94	56.21	0.216	0.162	0.216	0.135
28	78.70	44.97	67.45	56.21	0.189	0.108	0.162	0.135
29	67.45	50.59	67.45	67.45	0.162	0.122	0.162	0.162
30	67.45	50.59	67.45	67.45	0.162	0.122	0.162	0.162
31	78.70	56.21	78.70	73.08	0.189	0.135	0.189	0.176
32	73.08	50.59	61.83	61.83	0.176	0.122	0.149	0.149
33	61.83	56.21	73.08	67.45	0.149	0.135	0.176	0.162
34	78.70	67.45	73.08	67.45	0.189	0.162	0.176	0.162
35	67.45	50.59	56.21	61.83	0.162	0.122	0.135	0.149
36	61.83	44.97	56.21	61.83	0.149	0.108	0.135	0.149
37	50.59	44.97	50.59	44.97	0.122	0.108	0.122	0.108
38	56.21	44.97	73.08	61.83	0.135	0.108	0.176	0.149
39	73.08	56.21	56.21	61.83	0.176	0.135	0.135	0.149
40	73.08	56.21	61.83	67.45	0.176	0.135	0.149	0.162

*Para obtener la lámina en cm, se divide los ml medidos en el recipiente graduado entre la superficie de cada maceta (415.477 cm²)

CONTINUACIÓN ANEXO 6

S.Grueso.	ml medidos en el recipiente graduado				* lámina en cm			
DDT	No. De Maceta y cápsula				No. De Maceta y cápsula			
	21	36	13	32	21	36	13	32
41	95.56	56.21	84.32	56.21	0.230	0.135	0.203	0.135
42	50.59	50.59	67.45	67.45	0.122	0.122	0.162	0.162
43	67.45	44.97	67.45	61.83	0.162	0.108	0.162	0.149
44	56.21	67.45	89.94	84.32	0.135	0.162	0.216	0.203
45	73.08	44.97	61.83	61.83	0.176	0.108	0.149	0.149
46	73.08	59.02	67.45	67.45	0.176	0.142	0.162	0.162
47	106.80	84.32	89.94	73.08	0.257	0.203	0.216	0.176
48	101.18	50.59	84.32	67.45	0.244	0.122	0.203	0.162
49	92.75	75.89	53.40	56.21	0.223	0.183	0.129	0.135
50	92.75	75.89	53.40	56.21	0.223	0.183	0.129	0.135
51	84.32	39.35	56.21	50.59	0.203	0.095	0.135	0.122
52	84.32	56.21	67.45	61.83	0.203	0.135	0.162	0.149
53	84.32	44.97	73.08	67.45	0.203	0.108	0.176	0.162
54	84.32	56.21	73.08	67.45	0.203	0.135	0.176	0.162
55	84.32	50.59	73.08	61.83	0.203	0.122	0.176	0.149
56	78.70	50.59	73.08	61.83	0.189	0.122	0.176	0.149
57	73.08	50.59	78.70	67.45	0.176	0.122	0.189	0.162
58	73.08	59.02	70.27	70.27	0.176	0.142	0.169	0.169
59	73.08	59.02	70.27	70.27	0.176	0.142	0.169	0.169
60	70.27	50.59	61.83	61.83	0.169	0.122	0.149	0.149
61	70.27	50.59	61.83	61.83	0.169	0.122	0.149	0.149
62	84.32	39.35	67.45	61.83	0.203	0.095	0.162	0.149
63	44.97	44.97	89.94	67.45	0.108	0.108	0.216	0.162
64	73.08	44.97	73.08	61.83	0.176	0.108	0.176	0.149
65	73.08	39.35	67.45	39.35	0.176	0.095	0.162	0.095
66	73.08	39.35	67.45	56.21	0.176	0.095	0.162	0.135
67	67.45	44.97	56.21	61.83	0.162	0.108	0.135	0.149
68	56.21	44.97	67.45	44.97	0.135	0.108	0.162	0.108
69	56.21	44.97	73.08	61.83	0.135	0.108	0.176	0.149
70	44.97	50.59	61.83	67.45	0.108	0.122	0.149	0.162
71	89.94	53.40	73.08	78.70	0.216	0.129	0.176	0.189
72	95.56	56.21	84.32	56.21	0.230	0.135	0.203	0.135
73	50.59	50.59	67.45	67.45	0.122	0.122	0.162	0.162
74	67.45	44.97	67.45	61.83	0.162	0.108	0.162	0.149
75	44.97	56.21	61.83	50.59	0.108	0.135	0.149	0.122
76	73.08	44.97	61.83	61.83	0.176	0.108	0.149	0.149
77	58.46	47.22	73.08	53.96	0.141	0.114	0.176	0.130
78	87.69	70.83	80.95	61.83	0.211	0.170	0.195	0.149
79	101.18	50.59	84.32	67.45	0.244	0.122	0.203	0.162
80	95.56	44.97	78.70	61.83	0.230	0.108	0.189	0.149

*Para obtener la lámina en cm, se divide los ml medidos en el recipiente graduado entre la superficie de cada maceta (415.477 cm²)

ANEXO 7

Consumo de agua (con solución nutritiva) en Gazania (Ga) en sustrato fino (S.Fino Ga).

S.Fino.	ml medidos en el recipiente graduado				* lámina en cm			
DDT	No. De Maceta y cápsula				No. De Maceta y cápsula			
	132	144	127	142	132	144	127	142
1	78.70	39.35	56.21	50.59	0.189	0.095	0.135	0.122
2	101.18	106.80	95.56	56.21	0.244	0.257	0.230	0.135
3	84.32	95.56	84.32	61.83	0.203	0.230	0.203	0.149
4	61.83	84.32	78.70	56.21	0.149	0.203	0.189	0.135
5	84.32	95.56	95.56	67.45	0.203	0.230	0.230	0.162
6	67.45	84.32	84.32	101.18	0.162	0.203	0.203	0.244
7	78.70	84.32	89.94	84.32	0.189	0.203	0.216	0.203
8	78.70	73.08	73.08	67.45	0.189	0.176	0.176	0.162
9	67.45	78.70	84.32	67.45	0.162	0.189	0.203	0.162
10	50.59	56.21	56.21	50.59	0.122	0.135	0.135	0.122
11	56.21	61.83	56.21	56.21	0.135	0.149	0.135	0.135
12	61.83	67.45	61.83	61.83	0.149	0.162	0.149	0.149
13	44.97	50.59	78.70	50.59	0.108	0.122	0.189	0.122
14	56.21	67.45	61.83	61.83	0.135	0.162	0.149	0.149
15	56.21	73.08	61.83	61.83	0.135	0.176	0.149	0.149
16	44.97	56.21	61.83	56.21	0.108	0.135	0.149	0.135
17	50.59	61.83	56.21	56.21	0.122	0.149	0.135	0.135
18	44.97	50.59	44.97	39.35	0.108	0.122	0.108	0.095
19	50.59	50.59	50.59	39.35	0.122	0.122	0.122	0.095
20	22.48	44.97	56.21	50.59	0.054	0.108	0.135	0.122
21	44.97	61.83	50.59	61.83	0.108	0.149	0.122	0.149
22	50.59	44.97	56.21	50.59	0.122	0.108	0.135	0.122
23	33.73	39.35	39.35	50.59	0.081	0.095	0.095	0.122
24	44.97	44.97	39.35	50.59	0.108	0.108	0.095	0.122
25	61.83	44.97	44.97	44.97	0.149	0.108	0.108	0.108
26	61.83	61.83	50.59	50.59	0.149	0.149	0.122	0.122
27	73.08	67.45	56.21	73.08	0.176	0.162	0.135	0.176
28	73.08	73.08	50.59	44.97	0.176	0.176	0.122	0.108
29	67.45	67.45	61.83	50.59	0.162	0.162	0.149	0.122
30	67.45	61.83	67.45	50.59	0.162	0.149	0.162	0.122
31	84.32	78.70	67.45	56.21	0.203	0.189	0.162	0.135
32	78.70	56.21	67.45	61.83	0.189	0.135	0.162	0.149
33	73.08	67.45	78.70	61.83	0.176	0.162	0.189	0.149
34	78.70	78.70	73.08	67.45	0.189	0.189	0.176	0.162
35	73.08	73.08	56.21	61.83	0.176	0.176	0.135	0.149
36	56.21	61.83	56.21	56.21	0.135	0.149	0.135	0.135
37	56.21	56.21	56.21	50.59	0.135	0.135	0.135	0.122
38	67.45	61.83	73.08	61.83	0.162	0.149	0.176	0.149
39	73.08	73.08	61.83	61.83	0.176	0.176	0.149	0.149
40	106.80	101.18	101.18	67.45	0.257	0.244	0.244	0.162

*Para obtener la lámina en cm, se divide los ml medidos en el recipiente graduado entre la superficie de cada maceta (415.477 cm²)

CONTINUACIÓN ANEXO 7

S.Fino. DDT	ml medidos en el recipiente graduado				* lámina en cm			
	No. De Maceta y cápsula				No. De Maceta y cápsula			
	132	144	127	142	132	144	127	142
41	73.08	78.70	78.70	67.45	0.176	0.189	0.189	0.162
42	84.32	73.08	67.45	95.56	0.203	0.176	0.162	0.230
43	123.67	78.70	61.83	101.18	0.298	0.189	0.149	0.244
44	129.29	73.08	67.45	123.67	0.311	0.176	0.162	0.298
45	123.67	78.70	73.08	84.32	0.298	0.189	0.176	0.203
46	112.42	84.32	75.89	87.13	0.271	0.203	0.183	0.210
47	146.15	168.64	112.42	84.32	0.352	0.406	0.271	0.203
48	95.56	140.53	84.32	78.70	0.230	0.338	0.203	0.189
49	73.08	129.29	61.83	73.08	0.176	0.311	0.149	0.176
50	89.94	78.70	61.83	73.08	0.216	0.189	0.149	0.176
51	78.70	73.08	56.21	61.83	0.189	0.176	0.135	0.149
52	95.56	78.70	78.70	89.94	0.230	0.189	0.189	0.216
53	89.94	73.08	78.70	95.56	0.216	0.176	0.189	0.230
54	101.18	84.32	95.56	95.56	0.244	0.203	0.230	0.230
55	95.56	84.32	95.56	101.18	0.230	0.203	0.230	0.244
56	95.56	84.32	89.94	95.56	0.230	0.203	0.216	0.230
57	95.56	78.70	89.94	95.56	0.230	0.189	0.216	0.230
58	106.80	101.18	95.56	112.42	0.257	0.244	0.230	0.271
59	103.99	89.94	87.13	106.80	0.250	0.216	0.210	0.257
60	89.94	84.32	84.32	101.18	0.216	0.203	0.203	0.244
61	89.94	84.32	84.32	101.18	0.216	0.203	0.203	0.244
62	78.70	89.94	78.70	89.94	0.189	0.216	0.189	0.216
63	84.32	84.32	73.08	95.56	0.203	0.203	0.176	0.230
64	89.94	84.32	84.32	89.94	0.216	0.203	0.203	0.216
65	84.32	78.70	73.08	84.32	0.203	0.189	0.176	0.203
66	84.32	73.08	67.45	84.32	0.203	0.176	0.162	0.203
67	78.70	61.83	56.21	56.21	0.189	0.149	0.135	0.135
68	56.21	67.45	56.21	84.32	0.135	0.162	0.135	0.203
69	78.70	73.08	84.32	89.94	0.189	0.176	0.203	0.216
70	75.89	56.21	67.45	56.21	0.183	0.135	0.162	0.135
71	78.70	67.45	73.08	61.83	0.189	0.162	0.176	0.149
72	73.08	78.70	78.70	67.45	0.176	0.189	0.189	0.162
73	84.32	73.08	56.21	73.08	0.203	0.176	0.135	0.176
74	84.32	78.70	73.08	78.70	0.203	0.189	0.176	0.189
75	87.13	73.08	67.45	78.70	0.210	0.176	0.162	0.189
76	89.94	78.70	73.08	84.32	0.216	0.189	0.176	0.203
77	84.32	67.45	60.71	69.70	0.203	0.162	0.146	0.168
78	89.94	101.18	78.70	104.55	0.216	0.244	0.189	0.252
79	95.56	89.94	84.32	78.70	0.230	0.216	0.203	0.189
80	89.94	84.32	78.70	73.08	0.216	0.203	0.189	0.176

*Para obtener la lámina en cm, se divide los ml medidos en el recipiente graduado entre la superficie de cada maceta (415.477 cm²)

ANEXO 8

Consumo de agua (con solución nutritiva) en Gazania (Ga) en sustrato grueso (S.Grueso Ga).

S.Grueso. DDT	ml medidos en el recipiente graduado				* lámina en cm			
	No. De Maceta y cápsula				No. De Maceta y cápsula			
	52	100	47	54	52	100	47	54
1	33.73	28.11	39.35	39.35	0.081	0.068	0.095	0.095
2	33.73	33.73	50.59	16.86	0.081	0.081	0.122	0.041
3	39.35	39.35	44.97	22.48	0.095	0.095	0.108	0.054
4	44.97	44.97	44.97	56.21	0.108	0.108	0.108	0.135
5	56.21	50.59	50.59	11.24	0.135	0.122	0.122	0.027
6	44.97	56.21	56.21	33.73	0.108	0.135	0.135	0.081
7	50.59	50.59	50.59	22.48	0.122	0.122	0.122	0.054
8	56.21	44.97	39.35	33.73	0.135	0.108	0.095	0.081
9	50.59	56.21	56.21	33.73	0.122	0.135	0.135	0.081
10	50.59	56.21	56.21	28.11	0.122	0.135	0.135	0.068
11	50.59	50.59	61.83	16.86	0.122	0.122	0.149	0.041
12	56.21	61.83	61.83	16.86	0.135	0.149	0.149	0.041
13	33.73	67.45	56.21	33.73	0.081	0.162	0.135	0.081
14	50.59	61.83	39.35	16.86	0.122	0.149	0.095	0.041
15	50.59	67.45	61.83	22.48	0.122	0.162	0.149	0.054
16	39.35	56.21	61.83	22.48	0.095	0.135	0.149	0.054
17	44.97	61.83	44.97	22.48	0.108	0.149	0.108	0.054
18	39.35	39.35	44.97	16.86	0.095	0.095	0.108	0.041
19	39.35	44.97	44.97	16.86	0.095	0.108	0.108	0.041
20	44.97	44.97	50.59	22.48	0.108	0.108	0.122	0.054
21	16.86	39.35	56.21	11.24	0.041	0.095	0.135	0.027
22	44.97	50.59	44.97	22.48	0.108	0.122	0.108	0.054
23	22.48	28.11	44.97	22.48	0.054	0.068	0.108	0.054
24	28.11	39.35	39.35	16.86	0.068	0.095	0.095	0.041
25	44.97	50.59	61.83	16.86	0.108	0.122	0.149	0.041
26	33.73	50.59	61.83	33.73	0.081	0.122	0.149	0.081
27	67.45	56.21	67.45	16.86	0.162	0.135	0.162	0.041
28	50.59	61.83	67.45	11.24	0.122	0.149	0.162	0.027
29	44.97	56.21	67.45	11.24	0.108	0.135	0.162	0.027
30	44.97	67.45	61.83	16.86	0.108	0.162	0.149	0.041
31	56.21	56.21	67.45	22.48	0.135	0.135	0.162	0.054
32	50.59	61.83	61.83	16.86	0.122	0.149	0.149	0.041
33	56.21	73.08	67.45	22.48	0.135	0.176	0.162	0.054
34	50.59	67.45	61.83	16.86	0.122	0.162	0.149	0.041
35	50.59	56.21	67.45	11.24	0.122	0.135	0.162	0.027
36	50.59	61.83	61.83	16.86	0.122	0.149	0.149	0.041
37	44.97	56.21	61.83	11.24	0.108	0.135	0.149	0.027
38	89.94	78.70	73.08	11.24	0.216	0.189	0.176	0.027
39	61.83	78.70	67.45	33.73	0.149	0.189	0.162	0.081
40	78.70	84.32	73.08	16.86	0.189	0.203	0.176	0.041

*Para obtener la lámina en cm, se divide los ml medidos en el recipiente graduado entre la superficie de cada maceta (415.477 cm²)

CONTINUACIÓN ANEXO 8

S.Grueso. DDT	ml medidos en el recipiente graduado				* lámina en cm			
	No. De Maceta y cápsula				No. De Maceta y cápsula			
	52	100	47	54	52	100	47	54
41	61.83	78.70	67.45	16.86	0.149	0.189	0.162	0.041
42	44.97	84.32	89.94	11.24	0.108	0.203	0.216	0.027
43	56.21	95.56	67.45	16.86	0.135	0.230	0.162	0.041
44	78.70	101.18	73.08	28.11	0.189	0.244	0.176	0.068
45	56.21	95.56	95.56	16.86	0.135	0.230	0.230	0.041
46	61.83	101.18	84.32	14.05	0.149	0.244	0.203	0.034
47	123.67	101.18	95.56	28.11	0.298	0.244	0.230	0.068
48	61.83	112.42	101.18	16.86	0.149	0.271	0.244	0.041
49	84.32	106.80	84.32	14.05	0.203	0.257	0.203	0.034
50	84.32	106.80	84.32	28.11	0.203	0.257	0.203	0.068
51	50.59	61.83	78.70	28.11	0.122	0.149	0.189	0.068
52	56.21	89.94	101.18	140.53	0.135	0.216	0.244	0.338
53	56.21	95.56	95.56	134.91	0.135	0.230	0.230	0.325
54	56.21	118.05	112.42	134.91	0.135	0.284	0.271	0.325
55	50.59	112.42	106.80	112.42	0.122	0.271	0.257	0.271
56	44.97	123.67	112.42	118.05	0.108	0.298	0.271	0.284
57	50.59	118.05	101.18	112.42	0.122	0.284	0.244	0.271
58	53.40	129.29	109.61	109.61	0.129	0.311	0.264	0.264
59	53.40	129.29	109.61	109.61	0.129	0.311	0.264	0.264
60	47.78	103.99	95.56	92.75	0.115	0.250	0.230	0.223
61	47.78	103.99	95.56	92.75	0.115	0.250	0.230	0.223
62	44.97	163.02	95.56	101.18	0.108	0.392	0.230	0.244
63	39.35	123.67	89.94	89.94	0.095	0.298	0.216	0.216
64	44.97	123.67	95.56	84.32	0.108	0.298	0.230	0.203
65	39.35	112.42	101.18	78.70	0.095	0.271	0.244	0.189
66	39.35	112.42	84.32	78.70	0.095	0.271	0.203	0.189
67	33.73	84.32	61.83	56.21	0.081	0.203	0.149	0.135
68	44.97	56.21	61.83	11.24	0.108	0.135	0.149	0.027
69	112.42	134.91	84.32	11.24	0.271	0.325	0.203	0.027
70	33.73	50.59	39.35	11.24	0.081	0.122	0.095	0.027
71	118.05	129.29	61.83	33.73	0.284	0.311	0.149	0.081
72	61.83	95.56	112.42	16.86	0.149	0.230	0.271	0.041
73	44.97	84.32	89.94	11.24	0.108	0.203	0.216	0.027
74	56.21	95.56	67.45	16.86	0.135	0.230	0.162	0.041
75	28.11	61.83	61.83	11.24	0.068	0.149	0.149	0.027
76	56.21	95.56	95.56	16.86	0.135	0.230	0.230	0.041
77	49.47	80.95	80.95	11.24	0.119	0.195	0.195	0.027
78	74.20	121.42	121.42	16.86	0.179	0.292	0.292	0.041
79	61.83	112.42	112.42	16.86	0.149	0.271	0.271	0.041
80	56.21	106.80	106.80	11.24	0.135	0.257	0.257	0.027

*Para obtener la lámina en cm, se divide los ml medidos en el recipiente graduado entre la superficie de cada maceta (415.477 cm²)

ANEXO 9

Consumo de agua (con solución nutritiva) en Petunia (Pe) en sustrato fino (S.Fino Pe).

S.Fino.	ml medidos en el recipiente graduado				* lámina en cm			
	No. De Maceta y cápsula				No. De Maceta y cápsula			
	154	172	110	170	154	172	110	170
1	78.70	89.94	84.32	67.45	0.189	0.216	0.203	0.162
2	89.94	106.80	28.11	146.15	0.216	0.257	0.068	0.352
3	89.94	73.08	39.35	112.42	0.216	0.176	0.095	0.271
4	101.18	84.32	28.11	101.18	0.244	0.203	0.068	0.244
5	101.18	95.56	44.97	118.05	0.244	0.230	0.108	0.284
6	95.56	95.56	44.97	118.05	0.230	0.230	0.108	0.284
7	89.94	73.08	39.35	112.42	0.216	0.176	0.095	0.271
8	73.08	78.70	39.35	106.80	0.176	0.189	0.095	0.257
9	61.83	78.70	28.11	101.18	0.149	0.189	0.068	0.244
10	56.21	56.21	50.59	78.70	0.135	0.135	0.122	0.189
11	73.08	78.70	44.97	84.32	0.176	0.189	0.108	0.203
12	67.45	70.27	50.59	70.27	0.162	0.169	0.122	0.169
13	61.83	56.21	67.45	73.08	0.149	0.135	0.162	0.176
14	67.45	61.83	50.59	75.89	0.162	0.149	0.122	0.183
15	67.45	61.83	33.73	75.89	0.162	0.149	0.081	0.183
16	56.21	56.21	39.35	50.59	0.135	0.135	0.095	0.122
17	56.21	61.83	50.59	56.21	0.135	0.149	0.122	0.135
18	44.97	44.97	39.35	56.21	0.108	0.108	0.095	0.135
19	50.59	44.97	44.97	56.21	0.122	0.108	0.108	0.135
20	44.97	22.48	50.59	50.59	0.108	0.054	0.122	0.122
21	44.97	67.45	39.35	61.83	0.108	0.162	0.095	0.149
22	44.97	56.21	44.97	78.70	0.108	0.135	0.108	0.189
23	33.73	50.59	112.42	67.45	0.081	0.122	0.271	0.162
24	44.97	50.59	84.32	56.21	0.108	0.122	0.203	0.135
25	44.97	73.08	106.80	84.32	0.108	0.176	0.257	0.203
26	56.21	67.45	84.32	84.32	0.135	0.162	0.203	0.203
27	56.21	84.32	106.80	112.42	0.135	0.203	0.257	0.271
28	73.08	73.08	84.32	95.56	0.176	0.176	0.203	0.230
29	50.59	61.83	84.32	101.18	0.122	0.149	0.203	0.244
30	50.59	61.83	78.70	101.18	0.122	0.149	0.189	0.244
31	73.08	78.70	101.18	123.67	0.176	0.189	0.244	0.298
32	67.45	78.70	78.70	106.80	0.162	0.189	0.189	0.257
33	73.08	84.32	89.94	129.29	0.176	0.203	0.216	0.311
34	73.08	56.21	84.32	134.91	0.176	0.135	0.203	0.325
35	73.08	73.08	78.70	118.05	0.176	0.176	0.189	0.284
36	67.45	67.45	73.08	118.05	0.162	0.162	0.176	0.284
37	56.21	56.21	78.70	118.05	0.135	0.135	0.189	0.284
38	73.08	78.70	89.94	146.15	0.176	0.189	0.216	0.352
39	61.83	67.45	73.08	140.53	0.149	0.162	0.176	0.338
40	61.83	129.29	123.67	179.88	0.149	0.311	0.298	0.433

*Para obtener la lámina en cm, se divide los ml medidos en el recipiente graduado entre la superficie de cada maceta (415.477 cm²)

CONTINUACIÓN ANEXO 9

S.Fino. Pe	ml medidos en el recipiente graduado				* lámina en cm			
DDT	No. De Maceta y cápsula				No. De Maceta y cápsula			
	154	172	110	170	154	172	110	170
41	89.94	84.32	140.53	185.50	0.216	0.203	0.338	0.446
42	73.08	84.32	118.05	163.02	0.176	0.203	0.284	0.392
43	78.70	78.70	106.80	163.02	0.189	0.189	0.257	0.392
44	129.29	89.94	151.77	168.64	0.311	0.216	0.365	0.406
45	78.70	101.18	123.67	191.12	0.189	0.244	0.298	0.460
46	81.51	92.75	112.42	182.69	0.196	0.223	0.271	0.440
47	84.32	185.50	224.85	185.50	0.203	0.446	0.541	0.446
48	89.94	84.32	123.67	196.74	0.216	0.203	0.298	0.474
49	73.08	78.70	84.32	151.77	0.176	0.189	0.203	0.365
50	73.08	78.70	84.32	151.77	0.176	0.189	0.203	0.365
51	73.08	61.83	101.18	134.91	0.176	0.149	0.244	0.325
52	89.94	89.94	129.29	168.64	0.216	0.216	0.311	0.406
53	101.18	101.18	140.53	196.74	0.244	0.244	0.338	0.474
54	101.18	106.80	168.64	213.61	0.244	0.257	0.406	0.514
55	101.18	106.80	163.02	213.61	0.244	0.257	0.392	0.514
56	106.80	101.18	157.39	207.99	0.257	0.244	0.379	0.501
57	95.56	95.56	151.77	196.74	0.230	0.230	0.365	0.474
58	53.40	98.37	120.86	202.36	0.129	0.237	0.291	0.487
59	106.80	98.37	120.86	202.36	0.257	0.237	0.291	0.487
60	95.56	95.56	126.48	196.74	0.230	0.230	0.304	0.474
61	95.56	95.56	126.48	196.74	0.230	0.230	0.304	0.474
62	101.18	95.56	151.77	196.74	0.244	0.230	0.365	0.474
63	89.94	84.32	163.02	196.74	0.216	0.203	0.392	0.474
64	78.70	89.94	146.15	191.12	0.189	0.216	0.352	0.460
65	95.56	84.32	151.77	168.64	0.230	0.203	0.365	0.406
66	95.56	73.08	140.53	168.64	0.230	0.176	0.338	0.406
67	67.45	67.45	73.08	118.05	0.162	0.162	0.176	0.284
68	56.21	56.21	78.70	118.05	0.135	0.135	0.189	0.284
69	39.35	78.70	89.94	129.29	0.095	0.189	0.216	0.311
70	56.21	112.42	146.15	134.91	0.135	0.271	0.352	0.325
71	140.53	163.02	157.39	129.29	0.338	0.392	0.379	0.311
72	89.94	84.32	140.53	185.50	0.216	0.203	0.338	0.446
73	73.08	84.32	118.05	163.02	0.176	0.203	0.284	0.392
74	78.70	78.70	106.80	163.02	0.189	0.189	0.257	0.392
75	56.21	28.11	50.59	140.53	0.135	0.068	0.122	0.338
76	78.70	101.18	123.67	191.12	0.189	0.244	0.298	0.460
77	65.21	74.20	89.94	146.15	0.157	0.179	0.216	0.352
78	97.81	111.30	134.91	168.64	0.235	0.268	0.325	0.406
79	89.94	84.32	123.67	196.74	0.216	0.203	0.298	0.474
80	84.32	78.70	118.05	191.12	0.203	0.189	0.284	0.460

*Para obtener la lámina en cm, se divide los ml medidos en el recipiente graduado entre la superficie de cada maceta (415.477 cm²)

ANEXO 10

Consumo de agua (con solución nutritiva) en Petunia (Pe) en sustrato grueso (S.Grueso Pe).

S.Grueso.	ml medidos en el recipiente graduado				* lámina en cm			
DDT	No. De Maceta y cápsula				No. De Maceta y cápsula			
	109	75	81	71	109	75	81	71
1	39.35	33.73	22.48	44.97	0.095	0.081	0.054	0.108
2	44.97	33.73	25.30	44.97	0.108	0.081	0.061	0.108
3	44.97	39.35	28.11	39.35	0.108	0.095	0.068	0.095
4	50.59	44.97	33.73	44.97	0.122	0.108	0.081	0.108
5	56.21	33.73	39.35	50.59	0.135	0.081	0.095	0.122
6	61.83	39.35	44.97	50.59	0.149	0.095	0.108	0.122
7	56.21	44.97	50.59	56.21	0.135	0.108	0.122	0.135
8	50.59	50.59	50.59	61.83	0.122	0.122	0.122	0.149
9	61.83	56.21	56.21	56.21	0.149	0.135	0.135	0.135
10	56.21	39.35	56.21	50.59	0.135	0.095	0.135	0.122
11	64.64	50.59	64.64	64.64	0.156	0.122	0.156	0.156
12	61.83	73.08	64.64	64.64	0.149	0.176	0.156	0.156
13	67.45	78.70	50.59	84.32	0.162	0.189	0.122	0.203
14	70.27	61.83	56.21	67.45	0.169	0.149	0.135	0.162
15	70.27	50.59	44.97	61.83	0.169	0.122	0.108	0.149
16	61.83	50.59	56.21	56.21	0.149	0.122	0.135	0.135
17	67.45	50.59	56.21	61.83	0.162	0.122	0.135	0.149
18	50.59	39.35	44.97	50.59	0.122	0.095	0.108	0.122
19	56.21	39.35	56.21	50.59	0.135	0.095	0.135	0.122
20	95.56	50.59	50.59	56.21	0.230	0.122	0.122	0.135
21	67.45	44.97	56.21	56.21	0.162	0.108	0.135	0.135
22	73.08	56.21	61.83	73.08	0.176	0.135	0.149	0.176
23	50.59	33.73	50.59	50.59	0.122	0.081	0.122	0.122
24	56.21	39.35	50.59	61.83	0.135	0.095	0.122	0.149
25	73.08	44.97	73.08	101.18	0.176	0.108	0.176	0.244
26	73.08	61.83	61.83	89.94	0.176	0.149	0.149	0.216
27	56.21	67.45	61.83	112.42	0.135	0.162	0.149	0.271
28	73.08	61.83	61.83	101.18	0.176	0.149	0.149	0.244
29	73.08	73.08	67.45	118.05	0.176	0.176	0.162	0.284
30	78.70	61.83	67.45	101.18	0.189	0.149	0.162	0.244
31	78.70	56.21	95.56	89.94	0.189	0.135	0.230	0.216
32	61.83	50.59	78.70	106.80	0.149	0.122	0.189	0.257
33	67.45	61.83	84.32	118.05	0.162	0.149	0.203	0.284
34	73.08	61.83	84.32	118.05	0.176	0.149	0.203	0.284
35	67.45	50.59	78.70	118.05	0.162	0.122	0.189	0.284
36	61.83	39.35	78.70	112.42	0.149	0.095	0.189	0.271
37	50.59	44.97	73.08	112.42	0.122	0.108	0.176	0.271
38	67.45	44.97	84.32	129.29	0.162	0.108	0.203	0.311
39	67.45	44.97	78.70	95.56	0.162	0.108	0.189	0.230
40	106.80	56.21	101.18	168.64	0.257	0.135	0.244	0.406

*Para obtener la lámina en cm, se divide los ml medidos en el recipiente graduado entre la superficie de cada maceta (415.477 cm²)

CONTINUACIÓN ANEXO 10

S.Grueso.	ml medidos en el recipiente graduado				* lámina en cm			
DDT	No. De Maceta y cápsula				No. De Maceta y cápsula			
	109	75	81	71	109	75	81	71
41	84.32	50.59	95.56	129.29	0.203	0.122	0.230	0.311
42	61.83	39.35	101.18	89.94	0.149	0.095	0.244	0.216
43	67.45	28.11	106.80	134.91	0.162	0.068	0.257	0.325
44	78.70	50.59	163.02	185.50	0.189	0.122	0.392	0.446
45	89.94	39.35	101.18	140.53	0.216	0.095	0.244	0.338
46	73.08	47.78	109.61	134.91	0.176	0.115	0.264	0.325
47	146.15	95.56	106.80	168.64	0.352	0.230	0.257	0.406
48	61.83	50.59	129.29	151.77	0.149	0.122	0.311	0.365
49	56.21	28.11	95.56	103.99	0.135	0.068	0.230	0.250
50	56.21	56.21	95.56	103.99	0.135	0.135	0.230	0.250
51	56.21	33.73	112.42	101.18	0.135	0.081	0.271	0.244
52	78.70	39.35	118.05	134.91	0.189	0.095	0.284	0.325
53	67.45	44.97	129.29	151.77	0.162	0.108	0.311	0.365
54	67.45	39.35	140.53	157.39	0.162	0.095	0.338	0.379
55	56.21	33.73	123.67	129.29	0.135	0.081	0.298	0.311
56	67.45	33.73	112.42	134.91	0.162	0.081	0.271	0.325
57	73.08	33.73	112.42	134.91	0.176	0.081	0.271	0.325
58	61.83	39.35	123.67	132.10	0.149	0.095	0.298	0.318
59	61.83	39.35	123.67	132.10	0.149	0.095	0.298	0.318
60	64.64	30.92	106.80	126.48	0.156	0.074	0.257	0.304
61	64.64	30.92	106.80	126.48	0.156	0.074	0.257	0.304
62	84.32	33.73	101.18	61.83	0.203	0.081	0.244	0.149
63	61.83	28.11	118.05	112.42	0.149	0.068	0.284	0.271
64	56.21	33.73	112.42	112.42	0.135	0.081	0.271	0.271
65	61.83	33.73	112.42	118.05	0.149	0.081	0.271	0.284
66	56.21	28.11	112.42	112.42	0.135	0.068	0.271	0.271
67	61.83	39.35	78.70	112.42	0.149	0.095	0.189	0.271
68	50.59	44.97	73.08	112.42	0.122	0.108	0.176	0.271
69	67.45	44.97	84.32	129.29	0.162	0.108	0.203	0.311
70	112.42	39.35	50.59	67.45	0.271	0.095	0.122	0.162
71	140.53	44.97	140.53	146.15	0.338	0.108	0.338	0.352
72	84.32	50.59	118.05	129.29	0.203	0.122	0.284	0.311
73	61.83	39.35	101.18	89.94	0.149	0.095	0.244	0.216
74	67.45	28.11	106.80	134.91	0.162	0.068	0.257	0.325
75	39.35	33.73	56.21	129.29	0.095	0.081	0.135	0.311
76	89.94	39.35	101.18	140.53	0.216	0.095	0.244	0.338
77	58.46	38.22	87.69	107.93	0.141	0.092	0.211	0.260
78	87.69	57.34	131.54	161.89	0.211	0.138	0.317	0.390
79	61.83	50.59	129.29	151.77	0.149	0.122	0.311	0.365
80	56.21	44.97	123.67	146.15	0.135	0.108	0.298	0.352

*Para obtener la lámina en cm, se divide los ml medidos en el recipiente graduado entre la superficie de cada maceta (415.477 cm²)

ANEXO 11. ESPECIES HORTÍCOLAS PARA ESPACIOS VERDES EN ZONAS TEMPLADAS

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas ambientales que se han detectado en las grandes ciudades está vinculado a la falta de espacios verdes per cápita, que trae como consecuencia, inundaciones, isla de calor urbano, pérdida de biodiversidad, gasto energético excesivo, polución atmosférica, stress, detrimento de calidad de vida, etc. Ante esta problemática, la implementación de techos y muros verdes sugiere una opción interesante.

Algunos de los principales factores por los que fracasan los techos y muros verdes se debe a la inadecuada selección de especies y el manejo agronómico del sistema. Así las especies vegetales deben ser aptas al medio ambiente local, así como llevar un manejo adecuado del agua.

Aunque México cuenta con una gran variedad de especies hortícolas, existe poca información cuantitativa sobre los requerimientos de luminosidad, temperatura, riego y fertilización. Por lo que los techos verdes son diseñados con especies crasuláceas que se caracterizan por su resistencia a la sequía y al bajo mantenimiento. (Tovar, 2013) presenta una guía sobre la vegetación que debe tener un techo verde extensivo o semi extensivo, para cumplir con los requisitos exigidos en el Área Metropolitana de la Ciudad de México. Esta lista de especies sobrevive con bajo mantenimiento capaz de permanecer perenne todo el año y densamente cubierto, debido a que propone en su mayoría especies crasuláceas.

Del mismo modo en Sudamérica, (Silvina *et al.*, 2011) evaluaron especies que prosperaron con éxito en Argentina, principalmente especies *Sedum* y un pequeño porcentaje de especies nativas, rastreras, tapizantes, erectas, con floración en primavera y otoño.

Con el objetivo de proporcionar una guía que apoye en la toma de decisión para la selección de vegetación en techos verdes, que prospere con éxito en zonas templadas de México, adicionales a las que ya existen, se propone una lista de especies de ornato adaptadas a zonas templadas, con disponibilidad en el mercado, moderado mantenimiento, y expuestas a la radiación solar.

ESPECIES PARA TECHOS VERDES

Los techos verdes son espacios donde la cubierta vegetal se planta sobre un sustrato de poca profundidad. En este punto es importante diferenciar los dos sistemas de cubiertas verdes; los intensivos y los extensivos. Los primeros se asocian a un jardín de altura donde generalmente son accesibles, presentan profundidades de sustrato mayores que los extensivos, que se conforman por una amplia variabilidad de especies que en su mayoría requieren riego y alto mantenimiento. Por otra parte, están los sistemas extensivos que son ligeros, de poca profundidad (5–15 cm), generalmente no son accesibles y presentan un bajo mantenimiento sin suministro de riego (Silvina *et al.*, 2011).

Como parte del medio ambiente, la radiación solar no sólo se mide por su intensidad; pero influye en el crecimiento o la floración que normalmente se asocian a la duración del día o la noche. El metabolismo de las plantas es una relación directa no solo de la temperatura, sino de la calidad y

duración de la luz recibida (Byrd, 1970). Por otro lado, la temperatura regula la actividad de las plantas y el crecimiento que generalmente se incrementa con temperaturas altas, y se retarda, si las temperaturas son bajas. La temperatura afecta el crecimiento a través de su influencia sobre todas las actividades metabólicas: fotosíntesis, respiración, digestión, transpiración, absorción de agua y crecimiento de la raíz (Byrd, 1970). El agua constituye el principal factor limitante del crecimiento de las plantas (Hanson & Hitz, 1982). Incluso, cuando el déficit hídrico se desarrolla lentamente, se dan cambios en procesos de desarrollo que tienen varios efectos sobre el crecimiento, principalmente la limitación específica de la expansión foliar (Moreno, 2009).











(Byrd, 1970) describe varias especies ornamentales para exterior e interior aportando datos cuantitativos sobre radiación solar, exposición al viento, rango de temperaturas donde prosperan adecuadamente.












Dependiendo del efecto deseado, las texturas y los colores que ofrecen diversas especies de plantas producen un diseño y apariencias distintas, pues influye la época de floración en el año, por lo que la elección cuidadosa de las especies es un elemento crítico (Fernandez-Cañero, Perez-Urrestarazu, & K., 2018).












En cuanto a diversidad de especies, México registra un inventario actualizado de plantas vasculares nativas de 23,314 especies, distribuidas en 2,854 géneros, 297 familias y 73 órdenes. Ocupando así el cuarto lugar a nivel mundial (Villaseñor, 2016). Tan solo desde el punto de vista florístico, el Valle de México tiene una situación privilegiada, pues a la gran diversidad de hábitats se une su ubicación en la mitad meridional de la República que se considera como una de las regiones más ricas en el mundo en cuanto a su flora. Así, con una superficie de 7500 km² el Valle de México posee un número de especies vegetales comparable con el de muchos países europeos y con el de diversos estados de la Unión Americana (Calderón & Rzedowski, 2005).












Para cumplir con el objetivo se propone una lista de especies ornato adaptadas a zonas templadas, donde las temperaturas medias oscilan de 18 a 21°C y expuestas al sol, donde la radiación solar se encuentre entre 63-126 watts/m², con base en las publicaciones de (Byrd, 1970) (Villaseñor, 2016) (Tovar, 2013) (Silvina *et al.*, 2011) y disponibilidad verificada en tres viveros de Texcoco, Xochimilco, Ciudad de México y Atlixco Puebla.

Nombre científico	
<i>Acalypha hispida</i>	
<i>Cineraria sp</i>	

<i>Lavandula dentata</i>		
<i>Eustoma grandiflorum</i>		
<i>Mentha piperita</i>		
<i>Cuphea hyssopifolia</i>		
<i>Ageratum houstonianum</i>		
<i>Allamanda cathartica hendersonii</i>		
<i>Alstroemeria ligtu</i>		
<i>Antirrhinum majus</i>		
<i>Azalea</i>		
<i>Azalea concinna</i>		

<i>Calendula officinalis</i>	
<i>Campanula fragilis</i>	
<i>Chrysanthemum frutescens</i>	
<i>Clarkia elegans</i>	
<i>Clematis lawsoniana ramona</i>	
<i>Commelina benghalensis variegata</i>	
<i>Commelina communis aureo-striata</i>	
<i>Crinum</i>	
<i>Dahlia pinnata</i>	
<i>Delphinium</i>	
<i>Dichondra repens</i>	

<i>Erica gracilis</i>		
<i>Euphorbia marginata</i>		
<i>Gardenia jasminoides</i>		
<i>Gazania rigens</i>		
<i>Gypsophila elegans</i>		
<i>Helianthus annuus florepleno</i>		
<i>Hydrangea</i>		
<i>Jasminum rex</i>		
<i>Lantana camara</i>		
<i>Lilium tigrinum</i>		
<i>Lobularia maritima</i>		

<i>Narcissus cyclamineus</i>		
<i>Passiflora incarnata</i>		
<i>Passiflora racemosa</i>		
<i>38Pelargonium domestic</i>		
<i>Pelargonium peltatum</i>		
<i>Petunia hybrida californica</i>		
<i>Salvia leucantha</i>		
<i>Solanum jasminoides</i>		
<i>Verbena hortensis</i>		
<i>Verbena peruviana</i>		
<i>Zinnia elegans</i>		

4.3 BIBLIOGRAFÍA

- Byrd, A., 1970. *Exotic Plant Manual. Fascinating plants to live with* 2da ed., New Jersey USA: Roehrs Company.
- Calderón, G. & Rzedowski, J. y colaboradores, 2005. *Flora fanerogámica del Valle de México* 2a. Ed., Pátzcuaro (Michoacán): Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Available at: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cbdv.200490137/abstract> \n<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Flora+fanerogámica+del+Valle+de+México#0>.
- Fernandez-Cañero, R., Perez-Urrestarazu, L. & K., P., 2018. Vertical Greening Systems: Classifications, Plant Species, Substrates. In *Nature Based Strategies for Urban Building Sustainability*. Available at: Nature Based Strategies for Urban and <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812150-4.00004-5>.
- Hanson, A. & Hitz, W., 1982. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Annual Review of Plant Physiology*, 33(1), pp.163–203.
- Moreno, P., 2009. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 27(2), pp.179–191.
- Silvina, M. et al., 2011. *Catálogo de plantas para techos verdes* INTA, ed., Buenos Aires, Argentina: Presidencia de la Nación. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca.
- Tovar, E.I., Figueroa, A. & Gordon, M., 2013. Criteria for selection of plant species for its deployment in thermally efficient architectural green roofs in the Metropolitan Area of Mexico City: methodological guidelines. *Energy Procedia*, 57, pp.1798–1807.
- Villaseñor, J.L., 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87, pp.559–902. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>.