UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA
FACULTAD DE ARQUITECTURA

El desempeño térmico e hídrico del sustrato en los sistemas de naturación extensiva de cubiertas

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
DOCTORA EN ARQUITECTURA

PRESENTA:
ILSE GARCÍA VILLALOBOS

Director de tesis:
Dra. Isabel Rocío López de Juambelz
Facultad de Arquitectura

Miembros del comité tutor:

Dr. José Diego Morales Ramírez - Facultad de Arquitectura
M. en Arq. Francisco Reyna Gómez - Facultad de Arquitectura
Dr. Alberto Muciño Vélez - Facultad de Arquitectura
Dr. Gilberto Ángel Navas Gómez - Universidad Autónoma Chapingo

Ciudad Universitaria, CDMX Enero 2018

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

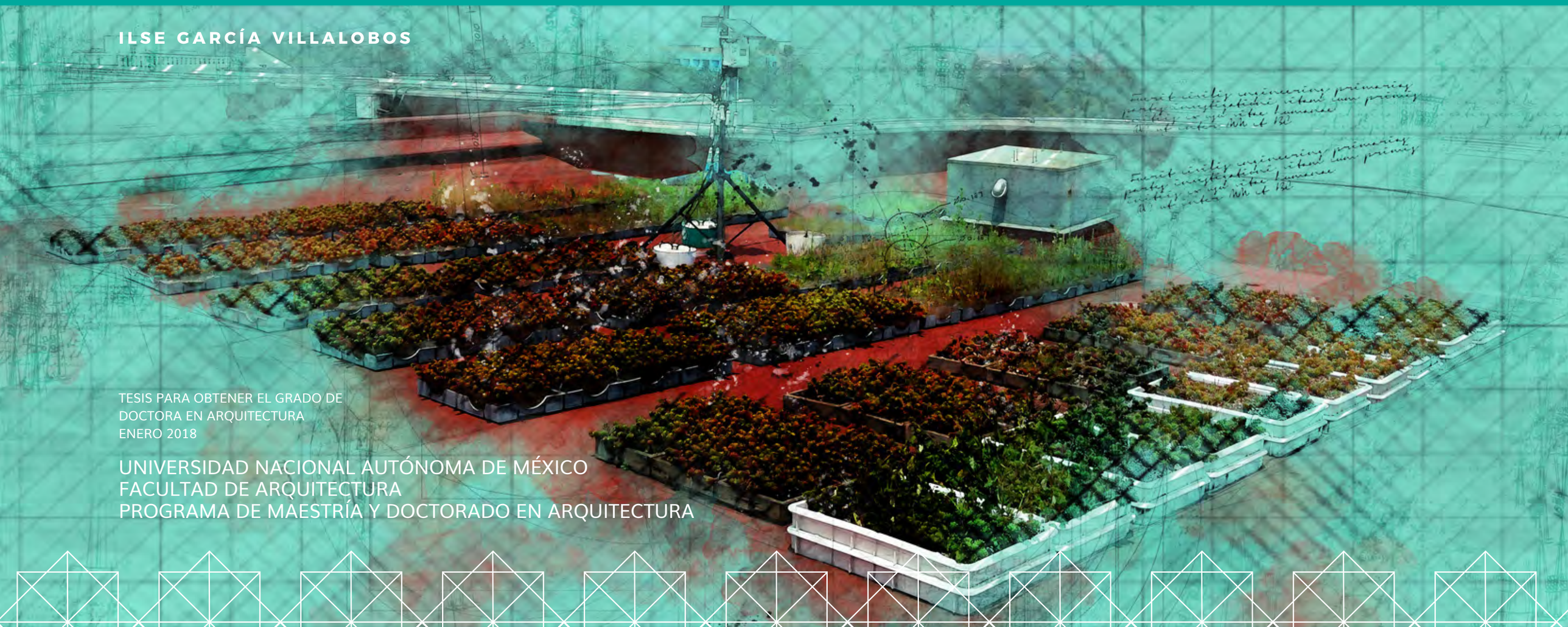
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

EL DESEMPEÑO TÉRMICO E HÍDRICO DEL SUSTRATO

EN LOS SISTEMAS DE NATURACIÓN EXTENSIVA DE CUBIERTAS

ILSE GARCÍA VILLALOBOS



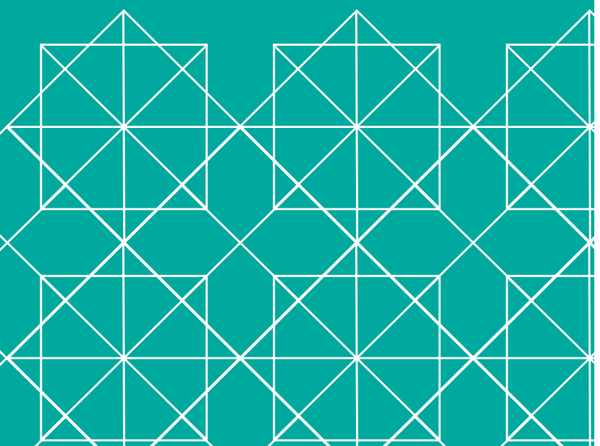
TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORA EN ARQUITECTURA
ENERO 2018

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ARQUITECTURA
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO
POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU

FACULTAD DE ARQUITECTURA

INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Arquitectura

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura

EL DESEMPEÑO TÉRMICO E HÍDRICO DEL SUSTRATO

EN LOS SISTEMAS DE NATURACIÓN EXTENSIVA DE CUBIERTAS

Tesis para obtener el grado de Doctora en Arquitectura presenta:

M. en Arq. Ilse García Villalobos

Jurado

Director de tesis:

- Dra. Isabel Rocío López De Juambelz

Sinodales:

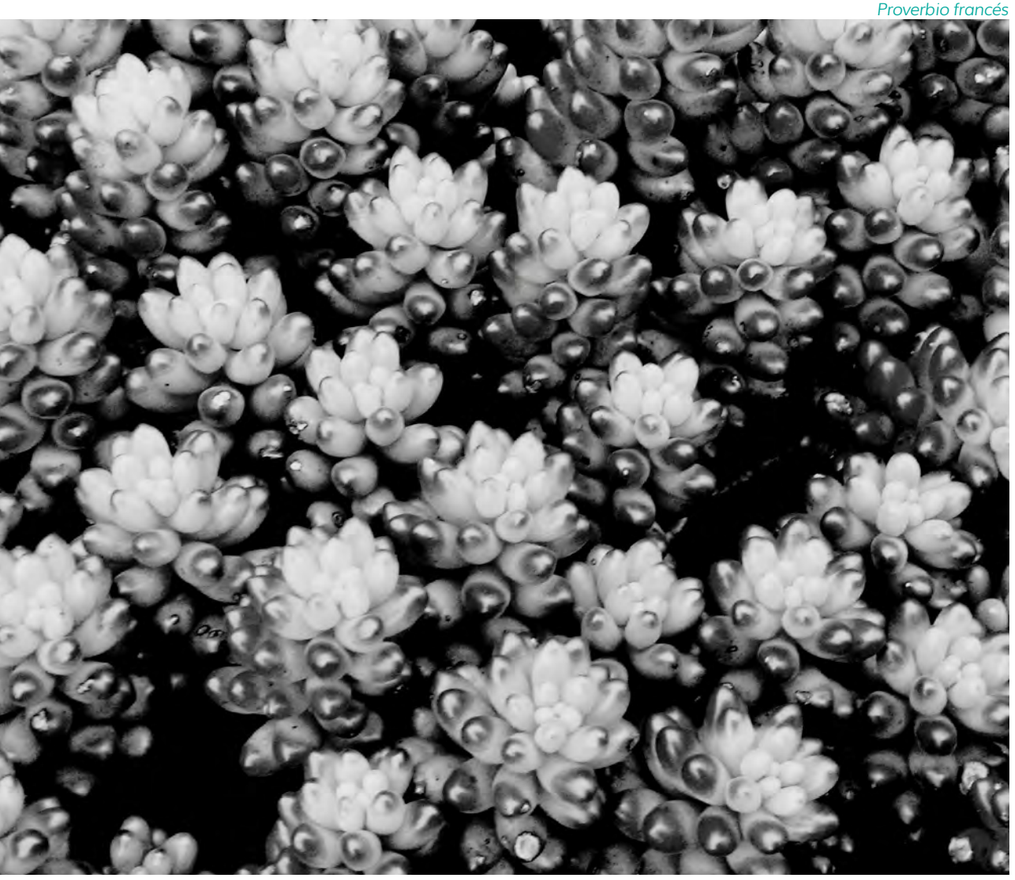
- Dr. José Diego Morales Ramírez
- M. en Arq. Francisco Reyna Gómez
- Dr. Alberto Muciño Vélez
- Dr. Gilberto Ángel Navas Gómez

Ciudad de México 2018

Agradecimientos

La gratitud es la memoria del corazón

Proverbio francés



Agradezco especialmente a la Dra. Rocío López de Juambelz por dirigir esta investigación, por sus enseñanzas, disposición y cariño.

Al Dr. Diego Morales agradezco su confianza y apoyo incondicional en todo momento y por ser quien motivó mi gusto por este campo de la arquitectura.

Al Mtro. Francisco Reyna y al Dr. Alberto Muciño por sus comentarios y opiniones.

Al Dr. Gilberto Navas por su apoyo y colaboración para la realización de ésta investigación.

Al Ing. Ernesto González por su contribución y solidaridad desde el inicio del proyecto.

A la UNAM por brindarme la alegría de seguir descubriendo la inmensidad del conocimiento y permitirme pertenecer a su extraordinaria comunidad, en donde he encontrado fraternidad, confianza, protección y ayuda de quienes la integran.

Atesoro y agradezco profundamente la presencia de todas las personas que compartieron este sorprendente trayecto, en ocasiones súbito e inesperado, apesadumbrado o alegre, pero siempre dichoso al saberme protegida y acompañada por ellas.

Dedicatorias.

Dedicado con amor a mi familia y a todos mis seres queridos, no es necesario mencionar sus nombres en papel porque cada uno sabe que ocupa un lugar en mi corazón.

El presente trabajo ha sido realizado bajo el auspicio de los proyectos del Laboratorio de Conservación del Patrimonio Natural y Cultural, de la Facultad de Arquitectura, UNAM:

- PAPIME PE401613 "Consolidación del laboratorio para la conservación del patrimonio cultural y natural", en la línea de investigación "Sustentabilidad para la Unidad Mixta de Posgrado".
- PAPIIT No. IG400714 "Incorporación de nuevas tecnologías como alternativas para generar lineamientos de conservación y restauración en zonas patrimoniales sujetas a diversas condiciones ambientales", periodo 2014/2016.
- Proyecto INFRA 2014 No. 225248 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT "Fortalecimiento del Laboratorio de Conservación del Patrimonio Natural y Cultural, mediante un sistema eficaz de detección, medición y análisis: Levantamiento a escalas menores, determinación química, evaluación de impactos sobre el patrimonio".

Así mismo con el apoyo del Programa de Becas para Estudios de Posgrado CONACyT y del Programa de Apoyo a los Estudios de Posgrado PAEP.

Índice

01 INTRODUCCIÓN

03 CAPÍTULO 1
Generalidades

06 CAPÍTULO 2
El suelo

12 CAPÍTULO 3
El sustrato

16 CAPÍTULO 4
Beneficios de la naturación donde predomina el sustrato

18 CAPÍTULO 5
Metodología experimental

25 CAPÍTULO 6
Resultados

69 CAPÍTULO 7
Discusión de resultados

75 CONCLUSIONES

77 BIBLIOGRAFÍA

79 ANEXOS

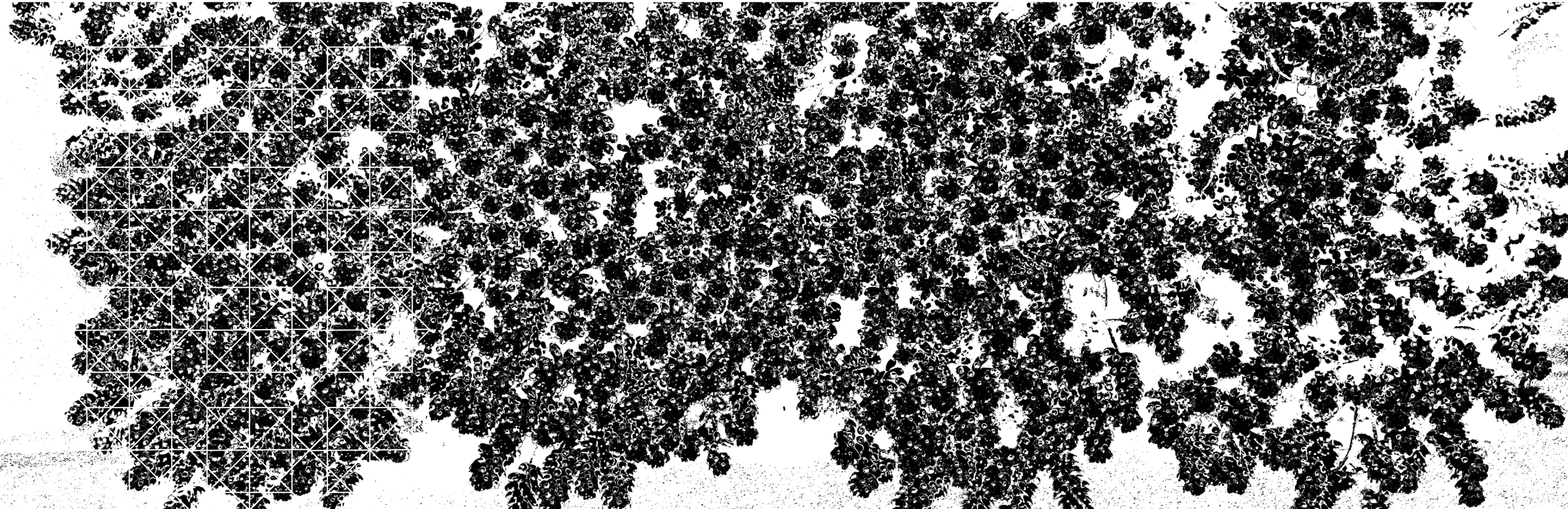
80 GLOSARIO

INTRODUCCIÓN

La envolvente de las edificaciones está formada por todos los elementos que separan los espacios interiores del ambiente exterior. Las condiciones al interior de las edificaciones es el resultado de los flujos energéticos que se crean como consecuencia de las condiciones ambientales y de las cargas internas del edificio, por tanto, el edificio está sujeto constantemente a pérdidas y ganancias térmicas a través de su envolvente, el problema surge cuando no se toman en cuenta estas diferencias térmicas, creando disminución e incluso la pérdida de condiciones de confort al interior de los espacios.

En la envolvente, la cubierta es el elemento que está sujeto a mayores fluctuaciones térmicas, ya que durante el día alcanza elevadas temperaturas por su exposición directa a la radiación solar y, durante la noche, es la parte de la construcción que más calor pierde por radiación hacia la bóveda celeste. Muchos sistemas de envolventes fueron desarrollados con base en esta preocupación, intentando minimizar los flujos energéticos a través de la cubierta además de cumplir con los requisitos esenciales a los que debe responder: estabilidad y resistencia mecánica, seguridad en caso de incendio, salubridad, seguridad de uso, protección contra el ruido, ahorro de energía y protección térmica[1] , uno de estos sistemas es la naturación.

La naturación es una herramienta utilizada en las envolventes, para transformarlas y brindarles el mejor recurso: darles vida. Surge como una nueva corteza arquitectónica, como una proyección de la piel humana, que siente y comunica, que reacciona a cualquier estimulo, que protege y embellece, e incluso hasta que puede morir; brindándole diversos beneficios que mejoran la habitabilidad espacial, entre ellos la regulación térmica de la envolvente.
La naturación en cubiertas ha sido utilizada desde épocas ancestrales, los materiales y técnicas constructivas han cambiado de acuerdo a las regiones, climas y recursos disponibles en cada zona, poco a poco han evolucionado, logrando ampliar su uso y siendo más eficientes; sin embargo, los elementos funcionales compositivos siguen siendo los mismos.
Los sistemas de naturación han sido poco valorados debido a la falta de conocimiento sobre su funcionamiento y composición; por ello la importancia de realizar investigación sobre los efectos que generan los sistemas de naturación en nuestro país, para lograr incluirlos e incentivar su explotación como una verdadera herramienta arquitectónica y no solo como un producto de mercado inmobiliario. Por tal motivo se decidió realizar investigación sobre los sistemas de naturación, analizando el efecto térmico e hídrico del componente sustrato estudiando cinco diferentes tipos de mezclas utilizadas en México.



Esta investigación se basa en distintas metodologías, entre ellas la investigación histórica y la descriptiva: donde se detalla los estudios sobre suelos y sustratos, sus componentes, sus principales beneficios, sus características, los estudios análogos sobre el tema, la descripción de la especie vegetal, descripción del lugar de estudio, etc., y una investigación experimental: donde se analizó el desempeño térmico e hídrico del sustrato en los sistemas de naturación extensiva por medio del diseño de un modelo experimental factorial, el cual se monitoreó con una serie de sensores ubicados en distintas posiciones en los módulos de prueba para comparar y evaluar las variables de análisis.

El presente trabajo está compuesto por siete capítulos, una sección de conclusiones, anexos, glosario, listado de figuras, fotografías, imágenes, tablas y gráficas presentes en el documento; a continuación, se describe en forma general el capitulado del documento:

- Capítulo 1. Generalidades. Describe los objetivos, hipótesis y definición general del diseño experimental.
- Capítulo 2. El suelo. Comprende la definición, formación y caracterización de los parámetros físicos y químicos del suelo.
- Capítulo 3. El sustrato. Abarca la definición, propiedades y características deseables de un sustrato como medio para el desarrollo vegetal.
- Capítulo 4. Beneficios del sustrato en los sistemas de naturación. Describe los beneficios donde el efecto del sustrato predomina en los sistemas de naturación: regulación térmica, retención hídrica y reducción acústica; además incluye aspectos normativos referentes a los sustratos en la naturación.
- Capítulo 5. Metodología experimental. Explica los dos tipos de experimentación que abarcó la investigación: de campo y laboratorio, describiendo los materiales, y los procedimientos técnicos y metodológicos utilizados.
- Capítulo 6. Resultados. Muestra los resultados de análisis de acuerdo al tipo de experimentación y variables analizadas, por medio del uso de fichas de análisis.
- Capítulo 7. Discusión de resultados. Se comparan, contrastan y discuten los resultados obtenidos según la variable analizada.
- Conclusiones. Se concluye la investigación por medio del uso de los resultados de todo el capitulado, se analiza y habla sobre el cumplimiento de las hipótesis y finalmente se muestran propuestas de líneas de investigación a seguir.

---

1 (Machado, Britto, & Neila, 2000)

EL DESEMPEÑO TÉRMICO E HÍDRICO DEL SUSTRATO EN LOS SISTEMAS DE NATURACIÓN EXTENSIVA DE CUBIERTAS

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

Las investigaciones sobre los sistemas de naturación se han limitado a analizarlos como un solo elemento constructivo, entendiendo su funcionamiento en forma general, pero impidiendo conocer la influencia de cada uno de sus componentes que lo integran[2] , dificultando optimizar su desempeño y beneficios de los sistemas en cubiertas. El sustrato se ha identificado como uno de los componentes más significativos de la naturación ya que afecta de manera preponderante en la mayoría de los beneficios de la naturación[3] , pero, ¿qué características del sustrato influyen en el desempeño térmico e hídrico de los sistemas de naturación de cubiertas qué puedan ser manipuladas para mejorar el rendimiento y optimizar el sistema?

JUSTIFICACIÓN

Se seleccionó el sustrato como tema susceptible de investigación debido a las conclusiones de estudios previos, donde se analizó el efecto térmico de la vegetación en los sistemas de naturación extensiva de cubiertas[4] , y se concluyó que el componente que impacta de mayor manera en el desempeño térmico del sistema es la capa sustrato, ya que brinda el mayor efecto de reducción y regulación térmica a todo el sistema, por lo cual es de vital importancia profundizar en el estudio de éste componente.

Al incluir los sistemas de naturación componentes bióticos[5] no es posible uniformizar su desempeño en todas las áreas donde se emplee, esto debido a que en ellos influyen distintos factores abióticos[6] , entre los que destacan: radiación solar, temperatura ambiente, presión atmosférica, humedad, latitud, longitud y altitud; por lo que es indispensable realizar investigación de cada componente en las diferentes regiones donde se utilice el sistema.

Otro aspecto determinante para realizar esta investigación es la falta de datos numéricos sobre la caracterización del sustrato, lo que limita la selección y diseño de sus componentes y por tanto impide la predicción del desempeño, cálculo y diseño del sistema completo en forma adecuada.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Por qué las características del sustrato modifican el desempeño térmico e hídrico de los sistemas de naturación en cubiertas?
- ¿El efecto de aislante térmico del sustrato depende solamente del espesor de la capa o influye su composición físico-química?
- ¿Se podrá tener mejor efecto térmico modificando su composición física y reduciendo su espesor?
- ¿Cuál es la composición óptima de materiales químicamente activos e inertes que mejoran la estructura interna del sustrato, que permita un mejor desempeño hídrico sin detrimento de su estabilidad física ni del soporte físico-biológico para la vegetación?
- Las características del sustrato siempre han sido definidas por el tipo de vegetación utilizada en los sistemas de naturación, pero al descubrir que el sustrato es el componente que tiene mayor impacto positivo en la generación de los beneficios ¿será posible modificar la condición de esta relación de dependencia, y lograr un diseño integral entre sustrato-vegetación en los sistemas de naturación?

OBJETIVOS

General

- **Determinar las propiedades y características del componente sustrato que eficientan el desempeño térmico e hídrico de los sistemas de naturación extensiva de cubiertas, para beneficiar a la sustentabilidad ambiental y crear mayores índices de confort en las edificaciones.**

Particulares

- Analizar el desempeño térmico e hídrico de cinco sustratos utilizados en la Ciudad de México para los sistemas de naturación extensiva de cubiertas por medio del monitoreo de un modelo experimental factorial.
- Caracterizar física y químicamente los cinco sustratos utilizados.
- Identificar las características y propiedades que otorgan el óptimo desempeño térmico e hídrico al sustrato en los sistemas de naturación extensiva.
- Comparar y evaluar el desempeño térmico e hídrico entre una cubierta sin naturación y cinco con un sistema de naturación con distintos tipos de sustratos.
- Evaluar la densidad vegetal en los cinco diferentes tipos de sustratos analizados.
- Evaluar la densidad vegetal en relación a los dos espesores de sustrato analizados.
- Registrar el desarrollo de la vegetación de acuerdo a la estacionalidad.

HIPÓTESIS

Principal

- **Los sustratos poseen características que modifican y mejoran el desempeño térmico e hídrico en los sistemas de naturación extensiva de cubiertas, lo que enriquece cualitativa y cuantitativamente los beneficios que brinda el uso de naturación a las edificaciones.**

Secundarias

- Si en los sistemas de naturación el componente sustrato es el que brinda el mayor efecto de regulación térmica[7] , entonces al incrementar su espesor la fluctuación térmica disminuirá.
- Si las características del sustrato influyen en el desempeño térmico e hídrico de los sistemas de naturación en cubiertas, entonces dichos desempeños podrán modificarse de acuerdo al diseño del sustrato.

---

2 Los sistemas de naturación se conforman de capas, las cuales cumplen al menos con seis funciones básicas: soporte, impermeable, drenante, filtrante, sustrato y vegetal.

3 (Ampim, Sloan, Cabrera, Harp, & Jaber, 2010; Briz, 2004; Dunnett, 2008; Köhler & Clements, 2012; Lazzarin, Castellotti, & Busato, 2005; Machado, 2003; Martin, 2008; Matt, 2008; Niachou, 2000; Rosatto et al., 2010; Sailor, Hutchinson, & Bokovoy, 2008; Van Renterghem & Botteldooren, 2009; Vecchia, 2006)

4 (García Villalobos, 2011, pp. 105–108)

5 Se denomina componente biótico a todo organismo vivo que interactúan en un ecosistema, por ejemplo, animales, vegetales y microrganismos. (Sánchez, Guerrero, & Castellanos, 2005, p. 43)

6 Los factores abióticos son los componentes físicos y químicos que afectan a los organismos, carecen de vida y de los cuales depende cualquier comunidad biológica (Sánchez et al., 2005, p. 45)

7 (García Villalobos, 2011, pp. 105–108)

DISEÑO EXPERIMENTAL

Con el fin de describir el efecto del sustrato en los sistemas de naturación extensiva se realizó un diseño experimental, en donde se determinó de éste tres variables independientes[8] , manipulando intencionalmente el tipo de sustrato y su espesor, así como con y sin la presencia de vegetación (Figura 1), para así conocer el efecto que producen en el desempeño térmico e hídrico y en el desarrollo de la cobertura vegetal del sistema, estos tres efectos son las variables dependientes[9] .

Este diseño experimental es de carácter factorial dado que las dos variables independientes incluyen en más de una modalidad. Cada variable independiente relaciona sus modalidades obteniendo una matriz de relación de variables, dando como resultado los sujetos de prueba de la muestra (Figura 2).

Se igualaron tres variables que intervienen en el modelo experimental para evitar alteraciones en los resultados, denominándolas variables constantes, por tanto, se utilizó una sola especie vegetal, el mismo tipo y cantidad de riego (solamente en la etapa de consolidación vegetal) y la ubicación del sitio donde se lleva a cabo el experimento.
A continuación, se describirán cada una de las variables que intervienen en el diseño experimental.

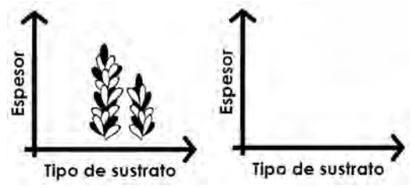


Figura 1 Relación de variables con y sin presencia de vegetación. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

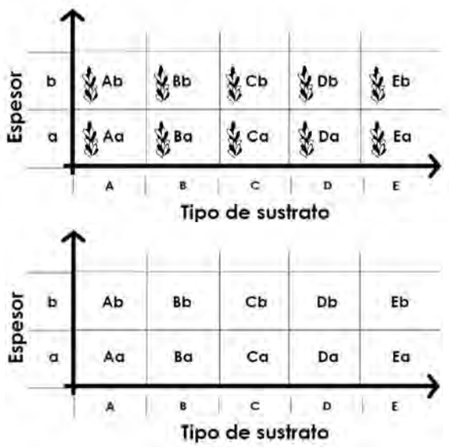


Figura 2 Esquema de relación de variables del diseño factorial. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Variables independientes

Tipo de sustrato. Para conocer el efecto que genera el sustrato en el sistema de naturación se seleccionaron cinco distintos tipos de mezclas, todo ellos han sido utilizados en la Ciudad de México, sitio donde se realiza el diseño experimental; tres fueron diseñados y utilizados en dos instituciones de educación superior del país[10] , otro es un sustrato diseñado y empleado comercialmente por una empresa dedicada a la instalación de sistemas de naturación en el mercado mexicano y el quinto fue realizado siguiendo las recomendaciones de la Norma Ambiental NADF-013-RNAT-2007[11] .
A cada tipo de sustrato se le designo una letra para su identificación y manejo en el diseño experimental (Tabla 1).

Figura 3 Tipos de sustratos. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

A	Institución: Facultad de Arquitectura, UNAM
B	Institución: Facultad de Arquitectura, UNAM
C	Institución: Universidad Autónoma de Chapingo
D	Empresa nacional dedicada a la instalación de naturación de cubiertas
E	Realizada según las recomendaciones de la norma NADF-013-RNAT-2007

Tabla 1 Tipos de sustratos. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

---

8 Variable independiente es la característica o propiedad que suponemos es la causa del fenómeno estudiado, al manipularse generan la variación observada en las variables dependientes (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2006, pp. 161–162).
9 Variable dependiente recopila las modificaciones que tiene lugar al manipular la variable independiente, es el efecto medido en el experimento (Hernández Sampieri et al., 2006, p. 162)
10 Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México y de la Universidad Autónoma de Chapingo.
11 Norma constituida por la Secretaria del Medio Ambiente del Distrito Federal, la cual establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación en el Distrito Federal, publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el día 24 de diciembre de 2008(Secretaría de Medio Ambiente, 2008)
12 Para poder considerarse un sistema de naturación extensivo el espesor del sustrato no debe superar 12 centímetros (García Villalobos, 2011, pp. 9–10)
13 (Palomino, 2012, p. 165)

Espesor de sustrato. Se propuso utilizar dos espesores de sustrato en el diseño experimental: seis y ocho centímetros, dichos espesores se encuentran dentro de la categoría de los sistemas extensivos[12] . Investigaciones previas han registrado que existe un adecuado crecimiento vegetal del género Sedum en sustratos con 8 cm de espesor en sistemas de naturación[13] . La finalidad de utilizar diferentes espesores es observar si existen cambios significativos en el desempeño térmico, hídrico y en el desarrollo de la cobertura vegetal en cada tipo de sustrato.
Para identificar cada espesor en el modelo experimental se le designo a cada sujeto de prueba el número seis u ocho (6 u 8), correspondiente a la profundidad dada en centímetros en cada tipo de sustrato (Figura 5).

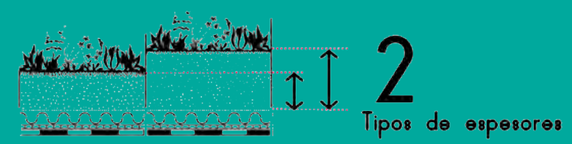
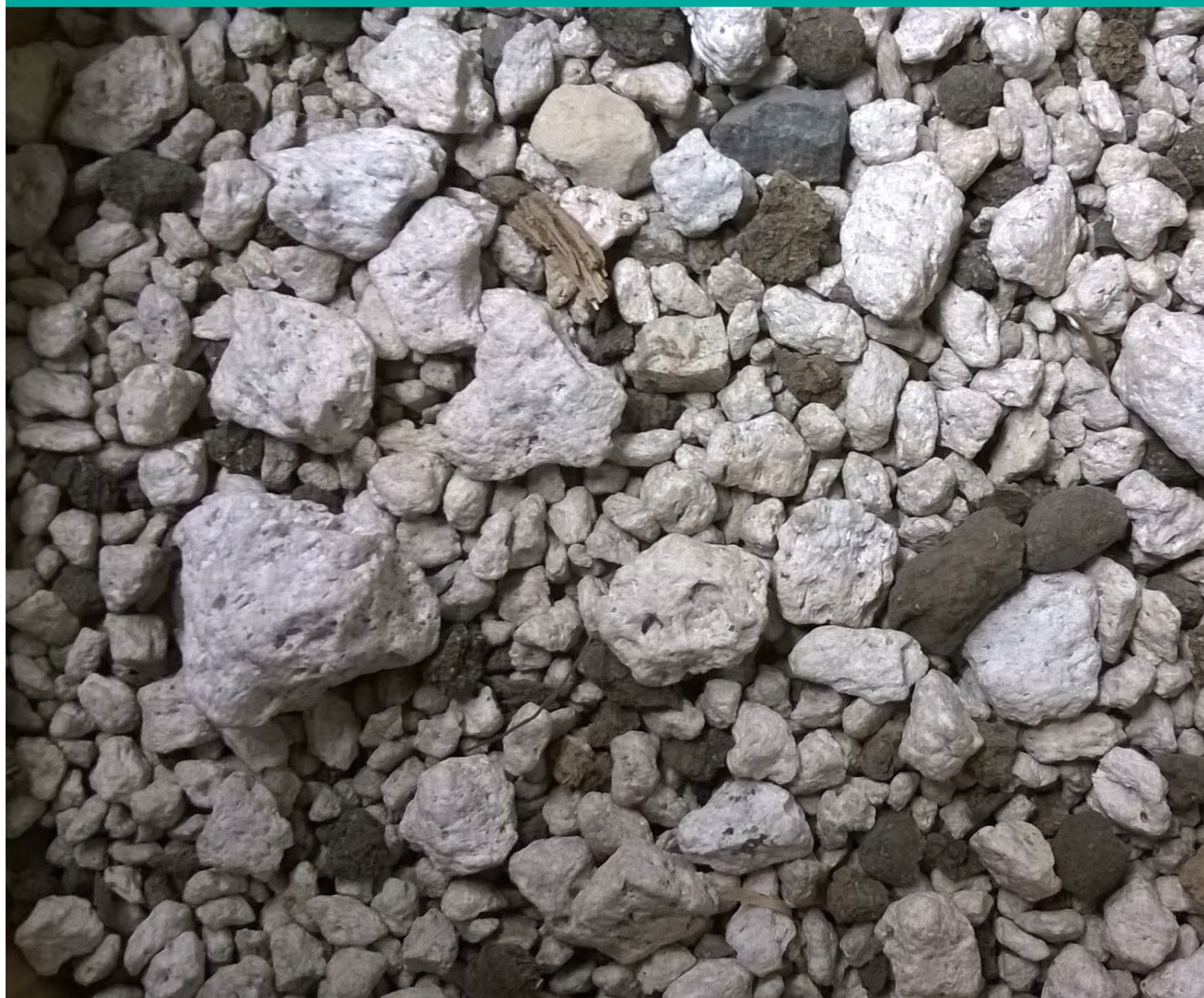
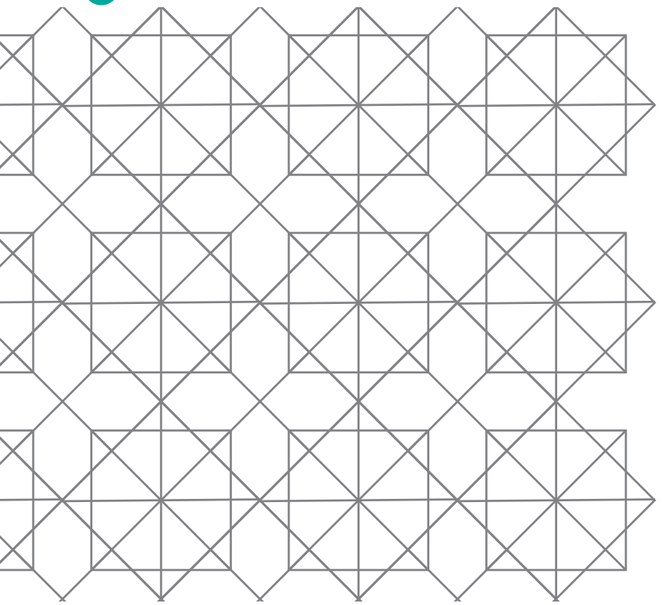


Figura 4 Dos espesores. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Figura 5 Identificación de espesores según tipo de sustrato. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.





Variables dependientes

La relación de las propiedades de las variables independientes (tipo y espesor del sustrato) da como resultado la matriz de sujetos de prueba (Ver Figura 2), en cada uno de ellos se registrará los efectos analizados en el experimento. Los efectos son:

Desempeño térmico. Se define como desempeño térmico al grado de fluctuación térmica que se realiza en la capa sustrato del sistema de naturación extensiva de cubierta en relación a las condiciones ambientales presentes en el sitio, ésta oscilación es medida por medio del registro de temperaturas de la superficie superior e inferior del sustrato.

Desempeño hídrico. Se define como desempeño hídrico al modo en que se realiza la distribución y movimiento del recurso hídrico en la capa sustrato del sistema de naturación extensiva de cubierta. Estos efectos son medidos por la cantidad de precipitación, cantidad de líquido almacenado y cantidad de líquido drenado por el sustrato.

Cobertura vegetal. Se define como cobertura vegetal a la capa de material de origen vegetal, ya sea vivo o muerto que se encuentra directamente sobre un área determinada[14] , en este caso sobre el sustrato del sistema de naturación extensiva. El desarrollo de la cobertura se analizará a lo largo de un periodo de tiempo.

Variables constantes

Existen otras variables que debido a su relevancia se incluyen en este diseño experimental, pero de forma controlada, teniendo las mismas características en todos los sujetos de muestra para evitar que sus variaciones alteren e influyan en la forma en la que las variables independientes afectan a las variables dependientes. Las variables controladas son:

Localización. El modelo experimental se ubica en el edificio de la Unidad de Posgrado de la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM, en Ciudad Universitaria en el Pedregal de San Ángel, al sur de la Ciudad de México, en la Delegación Coyoacán (Figura 6). Geográficamente se encuentra sobre las coordenadas 19º 25´Latitud N y Longitud W 99º 08´, a una altitud de 2273 msnm[15] .

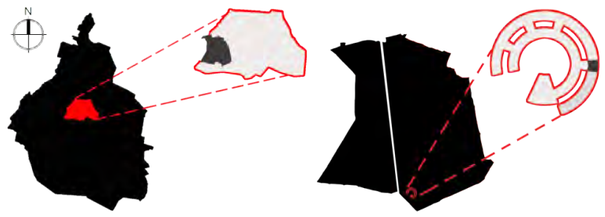


Figura 6 Esquema de ubicación de Ciudad Universitaria en la CDMX y localización del edificio de posgrado. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Su clasificación climática es Cb(w0)(w)(i´)g[16] , el cual corresponde a un clima templado subhúmedo, con lluvia de verano y solamente el 3.4% de la precipitación anual sucede durante el invierno, el verano es fresco y largo. Presenta poca oscilación térmica, la diferencia es de 5.2ºC entre la media máxima y mínima. Presenta marcha Ganges, lo que indica que el mes más cálido corresponde a la primavera en el mes de mayo con una temperatura media de 18.9ºC. La temperatura media anual es de 16.3ºC, y una mínima de 13.7ºC[17] en el mes de enero. La precipitación anual es de 691mm, con una máxima de 138.7 mm en el mes de julio. En el pedregal de San Ángel se pueden observar dos estaciones bien marcadas: la temporada de secas, que va de noviembre a abril, y la de lluvias, de mayo a octubre[18] .

---

14. (Heuveldop, 1986, p. 96)
15. Los datos se obtuvieron de la estación meteorológica número 09-020 Facultad de Ingeniería de Ciudad Universitaria (García, 2004)
16. Datos de la estación meteorológica número 09-020, Facultad de Ingeniería (García, 2004)
17. (Camacho, 1993, p. 40)
18. (Carrillo, 1995, p. 65)
19. (Guillot Ortiz, Laguna Lumbreras, & Rosselló Picornell, 2009, pp. 86–88)
20. (Ortega, Morales, López, & Canseco, 2010; Palomino, 2012)
21. Debido a las características de los sistemas de naturación extensiva no se considera necesario realizar riego, en el diseño experimental se determinó un periodo corto de riego solamente para fortalecer y consolidar el establecimiento vegetal, después de dicho periodo comenzó la época de lluvias.
22. El cálculo de riego fue realizado con el apoyo de la Biol. Jamie Zabicky López, utilizando el método de riego Whitaker.

Riego. Se determinó realizar riego durante un periodo de 15 días a partir de la fecha de plantación, del 6 al 20 de mayo de 2015, para fortalecer el establecimiento vegetal[21] . La lámina de riego fue calculada tomando en cuenta las propiedades del tipo de sustrato y de la vegetación; se obtiene al multiplicar la humedad aprovechable por la densidad aparente y por la profundidad de raíz (Tabla 2).
El cálculo de riego se obtuvo multiplicando la lámina de riego diaria por el área del módulo de prueba, el cual es de 0.18 m^2 [22] .
También se calculó el gasto total de agua en m^3 en todo el modelo experimental para el mes de mayo (Tabla 3), y el gasto de agua diario en lt/m^2 para un día del mes de mayo (Tabla 4).

Sustrato	Espesor (cm)	Humedad aprovechable (cm)	Densidad aparente (g/cm^3)	Profundidad de raíz (m)	Textura	Lámina de riego (cm)	Cantidad de agua (litros) por riego	Núm de riegos por día
A	8	4.75	0.415	0.08	Franco limosa	0.1578	0.09502	2
	6	4.75	0.415	0.06	Franco limosa	0.1184	0.06334	3
B	8	4.75	0.312	0.08	Franca	0.1185	0.06334	3
	6	4.75	0.312	0.06	Franca	0.0889	0.06334	3
C	8	4.5	1.142	0.08	Franco arcillo arenosa	0.4110	0.19003	1
	6	4.5	1.142	0.06	Franco arcillo arenosa	0.3082	0.19003	1
D	8	3	0.776	0.08	Franco arenosa	0.1862	0.09502	2
	6	3	0.776	0.06	Franco arenosa	0.1397	0.09502	2
E	8	3	0.713	0.08	Franco arenosa	0.1710	0.09502	2
	6	3	0.713	0.06	Franco arenosa	0.1283	0.09502	2

Tabla 2 Resultados del cálculo de riego para el mes de mayo. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Gasto total de agua en m^3 - Mes de Mayo			
Superficie m^2	Vol mens m^3	Vol lluvia efectiva m^3	Necesidad de riego m^3
6.8	0.527	0.304	0.22

Tabla 3 Gasto total de agua para el mes de Mayo. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Gasto de agua diario en lt/m^2 - Mes de Mayo		
UC diario Lt/m^2	Lluvia efectiva diario Lt/m^2	Riego en Lt/m^2 x día
2.498	1.443	1.056

Tabla 4 Gasto de agua diario para el mes de Mayo. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Especie vegetal. Al ser una variable constante sólo se utiliza una especie vegetal en todas las pruebas en los distintos sustratos, seleccionando a la especie *Sedum x rubrotinctum*[19] , perteneciente a la Familia Crassulaceae, llamada comúnmente "dedos rojos" o "deditos"; la elección de se realizó tomando en cuenta sus características físicas y adaptabilidad a las condiciones extremas, su capacidad para desarrollar una buena cobertura horizontal y excelente supervivencia en los sistemas de naturación extensiva[20] , otro factor de selección fue debido a los cambios de tonalidad que las hojas presentan, tomándolo como referencia visual entre los distintos sustratos.

Sedum x rubrotinctum

Etimología Rubrotinctum, en referencia probablemente a la coloración rojiza de las hojas

Nombre común Sedum, dedos rojos, deditos

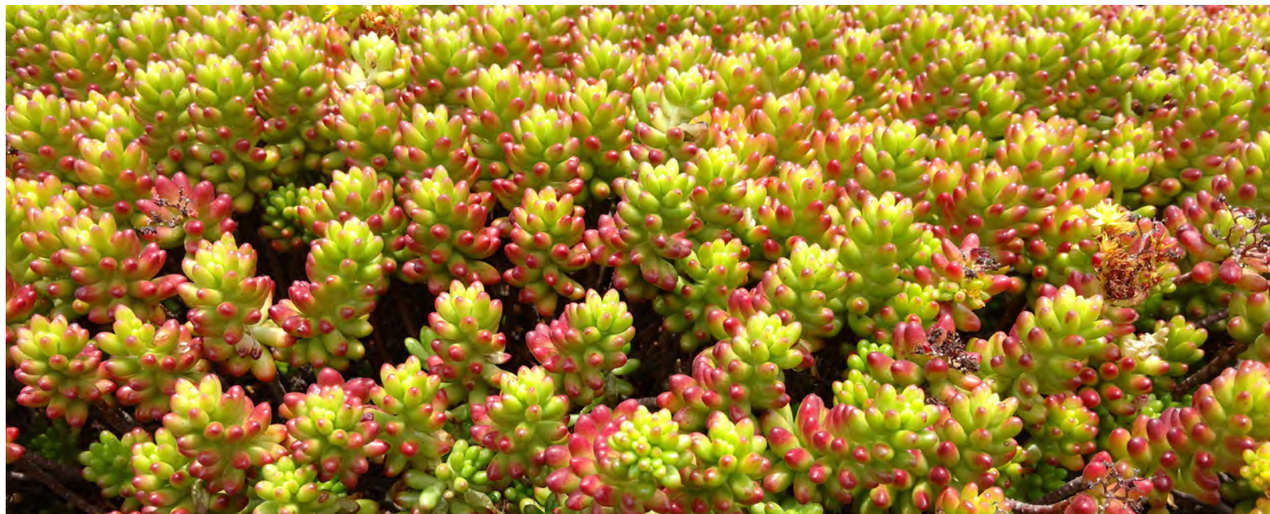
Sinónimos *S. pachyphyllum x S. stahlii* Solms

Corología E, C y S de México, de origen desconocido

Descripción Subarbustiva perenne glabra, de hasta 15 cm de altura o más, hojas alternas, densamente apiñadas, claviformes, cilíndricas, túrgidas, de 4-21 x 2-8 mm, 2-7 mm de grosor, verdoso-rojo, ramas floríferas erectas, inflorescencia densa cimas, brácteas oblanceoladas a elípticas, de 4-7 mm, pedicelos de aproximadamente 1 mm, flores pentámeras, sépalos desiguales, linear-oblongos, a oblanceolados, obtusos, de 3´5-5 x 0´8-1´8 mm, verdoso-rojo, pétalos lanceolados, agudos, doblemente aristados, de aproximadamente 6´6 x 2´2 mm, amarillos, filamentos amarillos, anteras amarillas.

Xenotipo Diáfito ergasiofigófito.

Multiplicación Se reproduce en cultivo por esquejes del tallo o ramas, que pueden estar enraizados, ya que las ramas en contacto o no con el sustrato forman numerosas raíces, o por hojas que caen fácilmente y forman nuevas plántulas en la base, en contacto con el sustrato, método que pensamos debe de haber utilizado para escapar de cultivo.



EL DESEMPEÑO TÉRMICO E HÍDRICO DEL SUSTRATO EN LOS SISTEMAS DE NATURACIÓN EXTENSIVA DE CUBIERTAS

CAPÍTULO 2. EL SUELO

DEFINICIÓN

Se reconoce al suelo como la capa superficial de la corteza terrestre conformada por material mineral, materia orgánica, agua y aire, donde existen los microorganismos y se sustenta la vida vegetal [23] . La palabra suelo deriva del latín Solum que significa piso o superficie sólida de la tierra [24]; el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos USDA, define al suelo como la parte superficial de la corteza terrestre que ha estado sujeta al intemperismo y soporta vegetación, cuyos límites laterales son las nieves eternas, los océanos y los lagos; su límite superior es la atmósfera, y el inferior los materiales no intemperizados [25] .

El suelo constituye un medio natural de reciclaje, ya que cuenta con la capacidad de absorber, intercalar, oxidar y precipitar la materia, además de dotar de nutrientes a la vegetación. Se clasifica como recurso lentamente renovable debido a que se regenera de manera continua por procesos naturales aunque este proceso requiere de una gran cantidad de años[26] .
Un suelo se estudia al analizar su perfil, el perfil es el conjunto o a la sucesión de horizontes que lo forman. Un horizonte se define como una capa de suelo, aproximadamente paralela a la superficie del terreno, se distinguen unos de otros por diferencias de granulometría de partículas, color, estructura, contenido de materia orgánica, pedregosidad u otras propiedades edáficas producidas por los procesos formadores del suelo[27] ; entre los horizontes existe una relación genética y evolutiva[28] . Los horizontes se han clasificado clásicamente en tres tipos, designándolos a parir de la superficie terrestre con la siguiente denominación: 0, A, B y C; y se subdividen según diferencias secundarias[29] . A continuación, se describe cada tipo de horizonte mencionando sus principales características:

- Horizonte 0 . Se forma del mantillo orgánico derivado de plantas y animales, y depositado en la superficie mineral. Estos horizontes se miden hacia arriba a partir del tope del mineral subyacente, esto es generalmente hasta 15 cm.

- Horizonte A. Son horizontes minerales que se formaron en la superficie del duelo o por debajo del horizonte 0[30] , en una zona que ha sufrido intenso intemperismo, en donde la actividad de las plantas y animales es mayor, está constituido materia orgánica humificada íntimamente mezclada con la fracción mineral. En él se lleva a cabo la lixiviación de los diversos materiales. Su color es tan oscuro o más que los horizontes subyacentes, debido a la presencia de la materia orgánica.

- Horizonte E . Estos son horizontes minerales, yace bajo un horizonte 0 o A. Contiene menos materia orgánica, presenta una acumulación de minerales resistentes y generalmente es de color más claro. Su rasgo principal es la pérdida de arcilla silicatada, hierro, aluminio, o la combinación de éstos, dejando una concentración de arena y partículas de limo y que la mayor parte de la estructura rocosa original ha sido completamente desintegrada.

- Horizonte B . El rasgo dominante de este horizonte es la desintegración de toda o la mayoría de la estructura rocosa original. Se compone principalmente de suelo mineral de colores, aunque también contienen capas de humus y raíces vegetales. En este horizonte se recolecta el material deslavado en el horizonte superior, por lo que constituye un horizonte de acumulación.

- Horizonte C. La mayoría son estratos o capas minerales. Zona con poco intemperismo. Está formado por rocas parcialmente descompuestas cuando el perfil ha sido originado en este sitio, o de otro material de origen identificable si el perfil ha sido originado en una región transformada.

- Capa R. Consiste en lechos de roca dura que subyacen al suelo. Zona formada por la roca madre o parental, ya no se considera horizonte del suelo.

La naturaleza de los horizontes presentes en un perfil de suelo, dependen de su pedogénesis, por lo tanto no todos los suelos tienen los mismos horizontes, estos son de espesor variable, y la complejidad de los horizontes presentes depende de la intensidad con que han operado los fenómenos de aportes, pérdidas, translocaciones y transformaciones del suelo [31] .

---
23 (López de Juambelz & Cabeza Pérez, 2000, p. 9)
24 (Gómez de Silva, 1999, p. 655)
25 (León Arteta, 1991, p. 23)
26 (Palos Macías, 1998, p. 2)
27 (Hodgson, 1987, p. 5)
28 (Horonato, 2000, p. 15)
29 (Boul, Hole, & McCracken, 2013, pp. 46–50; Palos Macías, 1998, p. 2)
30 (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2009, p. 70)
31 (Boul et al., 2013, p. 18)

FORMACIÓN DE LOS SUELOS

El origen y las características del suelo están determinados por la interacción de factores cuya importancia varía dentro del proceso de su formación. Un factor de formación del suelo es un agente, una fuerza, una condición, una relación o una combinación de ellos, que afecta, ha afectado o puede influir en un material original del suelo, con potencial para cambiarlo[32] .

Se consideran cinco los principales factores en la formación del suelo[33] :

Material Parental - Clima - Organismos - Relieve - Tiempo

Los primeros cuatro son factores tangibles que interactúan con el quinto factor, el tiempo, para crear un cierto número de procesos específicos, algunos investigadores han considerado a los factores como variables independientes; considerando que cada factor puede cambiar y variar de un lugar a otro sin influencia de ninguno de los otros, es importante decir que otros estudios consideran solamente al tiempo como una variable independiente; los otros cuatro dependen en mayor o menor grado uno de otro, del suelo mismo o de algún otro factor[34] . A continuación, se describen los factores que intervienen en la formación de los suelos:

- Material parental. El material parental es presumiblemente donde se formó el suelo, debe ser descrito de la manera más precisa posible, indicando su origen y su naturaleza. Existen básicamente dos grupos de material parental sobre el cual el suelo se formó: materiales no consolidados y material intemperizado que se encuentra sobre la roca que le dio origen. Existen casos transicionales, como los materiales parcialmente consolidados y que fueron transportados, por agua, llamados alluvium, o por gravedad, llamados coluvial[35] .

  La influencia del material parental se manifiesta en la composición, permeabilidad y área superficial de las partículas y, por lo general, se muestra con más intensidad en las etapas iniciales de la formación del suelo. Finalmente, los procesos de formación de los suelo tienden a reducir al mínimo y hasta nulificar la influencia del material parental[36] .

- Clima. El clima de un lugar es una descripción de las condiciones atmosféricas prevalentes y por simplicidad se define en términos de los promedios de sus componentes[37].

  La profundidad y grado de alteración de los materiales que forman el suelo están fuertemente definidos por el clima, principalmente por los efectos de la temperatura y la humedad. Así, los lugares en donde se presentan elevadas precipitaciones y altas temperaturas, la profundidad de la alteración y el grado de transformación de los materiales es mayor, porque existe mayor intemperización.

  Los efectos del clima influyen en otros factores formadores del suelos, como son el de organismos y de los del relieve, mediante la erosión y la deposición de materiales de los suelos[38] .

- Organismos. Los organismos que influyen en el desarrollo del suelo abarcan desde bacterias microscópicas hasta grandes mamíferos, incluyendo al hombre, es así que cada organismo que vive sobre el suelo afecta el desarrollo del mismo de una u otra forma[39] .

  Los organismos influyen en el suelo a través de:
  - Acumulación de material orgánica de composición variada
  - Desarrollo de horizontes orgánicos
  - Ciclo biológico o reciclaje de los elementos
  - Reacciones bioquímicas en el suelo
  - Estabilidad estructural y aireación
  - Modificación del clima del suelo

- Relieve. El relieve es la configuración de la superficie de la tierra, es consecuencia de los procesos geomorfológicos y de meteorización que actúan sobre los materiales geológicos. Incluye las irregularidades, elevaciones y depresiones de la tierra consideradas en conjunto. La pendiente, que es una de las características del relieve, modifica las condiciones del suelo como el drenaje, la profundidad, la susceptibilidad a la erosión, la acumulación de materiales, etc., afectando el desarrollo y la evolución del perfil, su grado de utilidad agrícola así como su clasificación dentro de un sistema establecido[40] .
  El relieve modifica la influencia del material parental, por los cambios de erosión y deposición que se produce, también modifica al factor clima mediante el control que tiene sobre los escurrimientos, el nivel freático y la topografía. Debido a las modificaciones del clima el factor vegetativo se ve modificado por el relieve. El papel desempeñado por el relieve sólo se puede evaluar en una zona regional o local, ya que su papel como factor de formación de suelos cambia de unas zonas a otras[41] .

- Tiempo. El tiempo es un factor clave ya que se necesita el paso de éste para que se desarrollen los procesos de formación. Su actuación sobre el suelo se pude definir de dos formas:

  - Por la variación que experimentan los demás factores de formación con el tiempo.
  - Por la variación de los efectos de las relaciones pedogénicas con el tiempo.

  En relación al factor tiempo los suelos se pueden clasificar en:
  - Monogenéticos: cuando se han formado bajo un conjunto de valores del factor durante un cierto periodo de tiempo.
  - Poligenéticos: cuando se han formado bajo más de un conjunto de valores.

  Los suelos más antiguos son los que muestran un mayor desarrollo en profundidad del perfil y una mayor diversificación de horizontes. La velocidad de formación del suelo va desde 1 mm/año hasta 0.001 mm/año[42] .

---

32 (Boul et al., 2013, p. 126)
33 (Buckman & Brady, 1991, p. 310; FitzPatrick, 1993, p. 25)
34 (FitzPatrick, 1993, p. 25)
35 (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2009, p. 17)
36 (FitzPatrick, 1993, p. 350)
37 (FitzPatrick, 1993, p. 43)
38 (Boul et al., 2013, p. 155)
39 (FitzPatrick, 1993, p. 60)
40 (Nuñez Solis, 2000, p. 23)
41 (Boul et al., 2013, p. 153)
42 (Jordán López, 2005, p. 9)

CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

El suelo presentará características físicas y químicas particulares dependiendo de los factores que hayan contribuido a su formación, a estas características se les denominan parámetros lo cuales determinan la calidad, potencialidad y fertilidad que un suelo posee [43]. Para su estudio los parámetros se dividen en físicos y químicos, a continuación, se mencionan algunos de ellos.

Parámetros físicos.

Los parámetros físicos hacen referencia a características relacionadas con el estado y forma independiente a la composición atómica o molecular. Permiten entender la parte organización estructural y morfológica, así como la relación que el suelo tiene con el agua y el aire, sin que estos elementos participen de la composición química[44] . Se utilizan para describir el suelo y son determinados en laboratorio[45] .

Textura. Es la proporción relativa de los tamaños de partículas: arena, limo y arcilla, que al combinarse categorizan al suelo en 12 clases texturales (Figura 7). La textura del suelo depende de la naturaleza de la roca madre y de los procesos de evolución y formación del suelo[46] .

Existen tres tipos de partículas: arcilla, limo y arena. La diferencia entre ellas se basa en la distinción arbitraria que asocia a cada fracción propiedades relacionadas a su tamaño.

Naturaleza física y mineralógica de las partículas.

- Arenas: Fragmentos de rocas de dimensiones comprendidas entre 1/16 y 2 mm. Las arenas suelen ser fragmentos de minerales duros, silíceos en la mayoría de los casos, que no han sufrido más que disgregaciones físicas. Las arenas son depositadas después de haber sido transportadas [47]. Se originan por la meteorización de las rocas y que ha sido seleccionado por los agentes de transporte.
- Limos: sedimento sólido, resultante de la destrucción de una roca anterior por agentes físicos, que puede ser transportado, cuyas partículas tienen un tamaño medio comprendido entre 0.02 y 0.002 mm [48].
- Arcilla: partículas finas de dimensiones menores de 1/256 mm. provenientes de la alteración física y química de las rocas y minerales. Los principales tipos de arcilla son: el caolín, la bentonita, la montmorillonita. Las propiedades más importantes son la plasticidad, cohesión, resistencia a la tensión, poder de secado, y poder de aglutinación. Casi todas las arcillas son silicatos alumínicos complejos hidratados, contienen potasio, sodio, calcio, magnesio, hierro, etc [49].

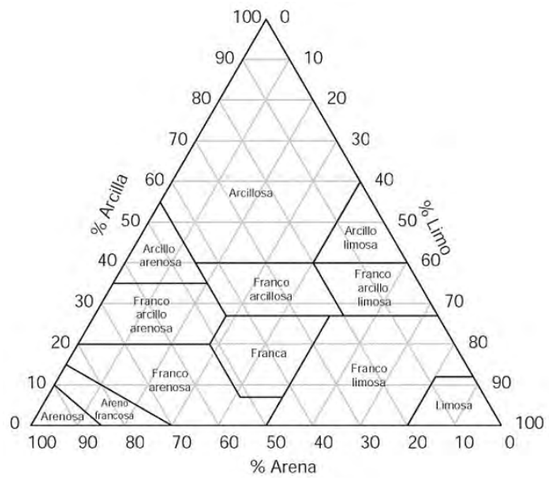


Figura 7 Diagrama triangular de las clases textuales básicas del suelo según el tamaño de las partículas, de acuerdo con el U.S.D.A. Fuente: Archivo García, Ilse.

El predominio del tipo de alguna partícula afecta el comportamiento del suelo de la siguiente forma:

- Arcillas:
  - fracción coloidal
  - carga eléctrica negativa
  - alta plasticidad y adhesividad
  - capacidad de expansión y contracción
  - alta capacidad de retención de agua
  - alta capacidad de retención de iones
  - superficie específica alta
  - permeabilidad e infiltración bajas
  - microporosidad elevada
- Limos:
  - partículas de forma irregular
  - alta plasticidad y adhesividad media
  - capacidad media de retención de agua
  - permeabilidad e infiltración media a baja
  - poca actividad química
  - escasa o nula capacidad de retención de iones
  - baja fertilidad física
  - riesgo de sellado y encostramiento superficial
- Arenas:
  - partículas de forma irregular
  - baja adhesividad y plasticidad
  - poca capacidad de retención de agua
  - inactividad química
  - macroporosidad alta
  - infiltración alta
  - permeabilidad alta

Importancia de la textura. La textura es la propiedad física más importante del suelo, dado que afecta esencialmente a todas las propiedades físicas y muchas propiedades químicas y biológicas se correlacionan con ésta.

Influencia de la textura del suelo:

- Porosidad total
- Aireación
- Retención y movimiento del agua en el suelo
- Escurrimiento superficial e infiltración
- Drenaje y permeabilidad
- Desarrollo de la estructura y estabilidad de los agregados
- Susceptibilidad a la erosión
- Fertilidad y contenido de materia orgánica

Factores de manejo/Textura de suelo	Arenosos	Francos	Arcillosos
Relaciones hídricas			
Infiltración: Ingreso de agua al perfil	Rápida	Media	Muy Lenta
Percolación: Drenaje interno y lavado	Excesiva	Buena	Rápida con grietas/ Muy lenta
Almacenamiento de agua	Muy bajo	Media	Alta
Aireación: Movimiento de O2 en la zona radical	Muy buena	Moderada	Pobre
Laboreo y erosión			
Potencia requerida	Baja	Media	Alta
Laboreo: facilidad para la preparación de la cama de semilla	Fácil	Moderado	Difícil
Erodabilidad por viento y transporte	Moderada	Alta	Baja-Media
Erodabilidad por agua y transporte	Baja	Alta	Baja-Media
Fertilizantes químicos			
Fertilidad potencial: aporte de nutrientes	Baja	Media	Alta
Recomendaciones de fertilizantes	Baja	Media	Alta

Tabla 5 Factores de manejo de suelo según su tipo de textura.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Estructura del suelo. Se denomina estructura al arreglo o disposición de las partículas del suelo. La estructura modifica la influencia de la textura respecto a las relaciones de humedad y aireación, la disponibilidad de los nutrientes para la vegetación, la acción de los microorganismos y el desarrollo de las raíces[50] .

La estructura de un suelo se forma gracias a la presencia de materia orgánica, cuando ésta se degrada libera azucares que forman puentes de hidrógeno entre las partículas, manteniéndolas en agregados; la erosión, la tala inmoderada y por tanto desaparición de la materia orgánica, la compactación y el intemperismo son factores que afectan la estructura de un suelo, provocando su infertilidad[51] .

Los tipos de estructuras que encontramos dependiendo del tipo de partículas de que se traten son (Figura 8):

- Granular: en suelos arenosos.
- Bloques: en suelos arcillosos y limosos
- Columnar: en suelos arcillosos y limosos
- Laminar: en suelos arcillosos

Importancia de la estructura:

- Capacidad de retención e infiltración hídrica
- Intercambio gaseoso
- Compactibilidad del suelo
- Desarrollo radical
- Susceptibilidad a la erosión

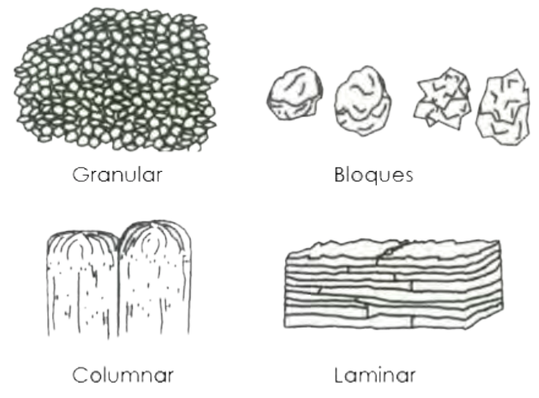


Figura 8 Tipos de estructura del suelo.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

---

43 (López de Juambelz & Cabeza Pérez, 2000, p. 10)
44 (López de Juambelz & Sainz, 2015, p. 51)
45 (Honorato Pinto, 2000, p. 75)
46 (Secretaría de Medio Ambiente, 2008, p. 25)
47 (Dávila Burga, 2011, p. Término 924)
48 (Dávila Burga, 2011, p. Término 307)
49 (Dávila Burga, 2011, p. Término 905)
50 (Foth, 1997, p. 47)
51 (López de Juambelz & Cabeza Pérez, 2000, p. 11)

Porosidad. Corresponde a la porción de un volumen dado de suelo no ocupado por sólidos, sino por aíre y agua. El tamaño, la forma y la continuidad de los poros determinan en gran medida el movimiento del aire y del agua en el suelo, por lo que define el drenaje y la aireación del suelo. Las características de los poros están en cierto modo determinadas por el tipo y estructura del suelo[52] .

La porosidad se ve gravemente afectada por la compactación del suelo, dado que es el espacio ocupado para el establecimiento del sistema radical disminuye, repercutiendo en el desarrollo de las plantas[53] .

La porosidad afecta[54] :

- Almacenamiento e infiltración del agua
- Aireación
- Penetración y arraigamiento radical
- Labores y manejo del suelo

Humedad. Se refiere a la capacidad de retención de agua que tiene el suelo. En el suelo el agua se encuentra tres diferentes formas:

- el agua higroscópica: que se encuentra dentro de la estructura del suelo, por lo cual no está disponible para las plantas.
- el agua capilar: que se aloja en los intersticios y puede ser utilizada por las plantas.
- el agua gravitacional: que es la que forma encharcamientos y puede causar la falta de oxígeno en el suelo, afectando el desarrollo vegetal.

El grado de humedad de un suelo, dependerá de la textura, estructura y porosidad que esté presente, así como del suministro de agua y el drenaje que permita el subsuelo[55] .

Drenaje. Es la capacidad que tiene el suelo para eliminar el exceso de agua, ya sea proveniente del riego o las precipitaciones pluviales[58] .

El drenaje de un suelo está dado por la constitución de la capa de roca madre y la de los materiales del mismo, lo que permite el paso de agua hacia los mantos freáticos, evitando la inundación o encharcamiento[59] .

Escurrimientos. El escurrimiento es la cantidad de agua que no se infiltra en el suelo y que fluye sobre la superficie; la cantidad y velocidad de ésta depende de muchos factores, tales como: permeabilidad, capacidad de campo, drenaje, cantidad de precipitación pluvial, corrientes fluviales, capa vegetal, entre otros.

Tipo de poro	Función	Ø cilíndrico
Poros de transmisión	Movimiento del aire y del drenaje de exceso de agua	>50
Poros de almacenamiento	Retención de agua contra la gravedad	0.5 – 50
Poros residuales	Retención y dispersión de iones en solución	0.005 – 0.5
Espacios de enlaces	Soporta las fuerzas más importantes entre las partículas del suelo	<0.005

Tabla 5 Factores de manejo de suelo según su tipo de textura.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2017.

Capacidad de campo. Es la capacidad que tiene el suelo de impregnarse de agua y servir de reservorio para el suministro de ésta a las plantas, depende en gran medida del tipo de textura. El agua que se deposita en un suelo de textura gruesa o en un suelo arenoso se infiltrará rápidamente, pero el agua depositada en suelos de textura muy fina frecuentemente permanece sobre la superficie por días, donde la tasa de evaporación es frecuentemente más alta que la tasa de infiltración[56] .

El término de capacidad de campo, se ha empleado como el indicador del límite superior de almacenamiento de agua del suelo para el crecimiento de las plantas, mientras que el punto de marchitez permanente, como la cantidad de agua del suelo en el que las plantas se marchitan permanentemente, refiriéndose al límite más bajo de agua[57] .

Permeabilidad. Es la capacidad del suelo para permitir el paso de un fluido sin que dicho tránsito altere su estructura interna.

Diversos los factores que determinan la permeabilidad del suelo, los más significativos son:

- Granulometría: tamaño de grano y distribución granulométrica.
- Composición química del material: naturaleza mineralógica.

Se considera que, a menor tamaño de grano menor es la permeabilidad, y para una granulometría semejante (arenas, por ejemplo) a mejor gradación, mayor permeabilidad.

Químicamente para el caso de arcillas y limos, la presencia de ciertos cationes es un factor que disminuye la permeabilidad en relación a otros.

---

52 (Boul et al., 2013, p. 44)
53 (López de Juambelz & Cabeza Pérez, 2000, p. 11)
54 (Honorato Pinto, 2000, p. 94)
55 (López de Juambelz & Cabeza Pérez, 2000, p. 11)
56 (García Casillas & Briones Sánchez, 1997, p. 12)
57 (León Arteta, 1991, p. 106)
58 (Honorato Pinto, 2000, p. 105)
59 (López de Juambelz & Cabeza Pérez, 2000, p. 11)

Parámetros químicos.

Los parámetros químicos son aquellos que nos permiten reconocer ciertas cualidades del suelo que alteran su composición y acción, tales como disponibilidad de nutrientes y nivel de acidez.

pH. El potencial de hidrógeno determina el grado de adsorción de iones (H+) por las partículas del suelo y muestra el grado de acidez o alcalinidad presente en él. Es el indicador principal en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la solubilidad, movilidad, disponibilidad y de otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo.

El pH influye en[60] :

- Procesos involucrados en la formación y desarrollo de los suelos.
- Disponibilidad y absorción de nutrientes.
- Actividad de organismos del suelo.
- Presencia y ausencia de elementos tóxicos.
- Descomposición de la materia orgánica.
- La productividad y rangos de adaptabilidad vegetal.

La asimilación de los nutrientes en el suelo está influenciada por el pH, ya que determinados nutrientes se pueden bloquear en determinadas condiciones de pH impidiendo así ser asimilados[61] , la Figura 8 muestra gráficamente la disponibilidad de los nutrientes según los niveles de pH, tanto más gruesa la banda, más disponible el nutriente. La máxima disponibilidad de nutrientes para suelos minerales se da con pH de 6.5, comparado con el pH 5.5 para suelos orgánicos.

En un pH ácido permite mayor disponibilidad de nutrientes en las partículas del suelo por lo que pueden perderse fácilmente mediante la lixiviación, también un pH ácido influye en que los microrganismos sean menos activos, facilita la liberación de sustancias tóxicas para las plantas, favorece acciones parasitarias en las raíces y dificulta la retención del nitrógeno por parte de los microorganismos del suelo.

En un pH alcalino los nutrientes se encuentran adheridos a las partículas del suelo, por lo que su disponibilidad para la vegetación se dificulta, además un pH alcalino presenta problemas de toxicidad, bloqueo de elementos y favorece ataques criptógamos a las plantas.

Materia orgánica. Está formada por los restos y productos de descomposición de flora y fauna que se acumulan en el suelo. La mayor cantidad de materia orgánica del suelo se derivada de la vegetación, tanto de sus partes aéreas como de las raíces[62].

La materia orgánica es la responsable de la estructura del suelo, ya que aumenta la estabilidad y disminuye la capacidad de humedecimiento[63] , además es un reservorio de nutrimentos disponible para las plantas y también ayuda a mantener estable el pH del suelo[64] .

La fracción más fina de la materia orgánica del suelo recibe el nombre de humus, y es el compuesto orgánico que ha perdido todo vestigio de organización y olor.

Las principales funciones de la materia orgánica en el suelo son:

- Amortigua del pH.
- Mejora la estructura facilitando la reacción y aireación
- Es un depósito de elementos químicos
- Es fuente de energía
- Ayuda a reducir los cambios de temperatura

Elementos nutritivos. Son aquellos elementos que sirven de alimento a las plantas, y que son capaces de asimilarlos en forma inorgánica directamente del suelo, se dividen en macronutrimentos y micronutrimentos.

La vegetación requiere de macronutrimentos en mayores cantidades (gr/l), dividiéndose en primarios que son Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), los cuales son necesarios para la formación de su estructura vegetal, y los macronutrimentos secundarios que son el Magnesio, Azufre y Calcio (Mg-S-Ca) que también participan en la formación de moléculas estructurales, como el magnesio en la formación de la clorofila y el calcio en la estructura de la pared celular.

Los microelementos son requeridos por la planta en menor cantidad (mg/l), o sea por partes por millón (ppm); estos son Boro (B), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Fierro (Fe), Manganeso (Mn), Molibdeno (Mo), Zinc (Zn), y Cloro (Cl). Los microelementos son requeridos por las plantas para la formación de enzimas, coenzimas o en la canalización de algunas reacciones.

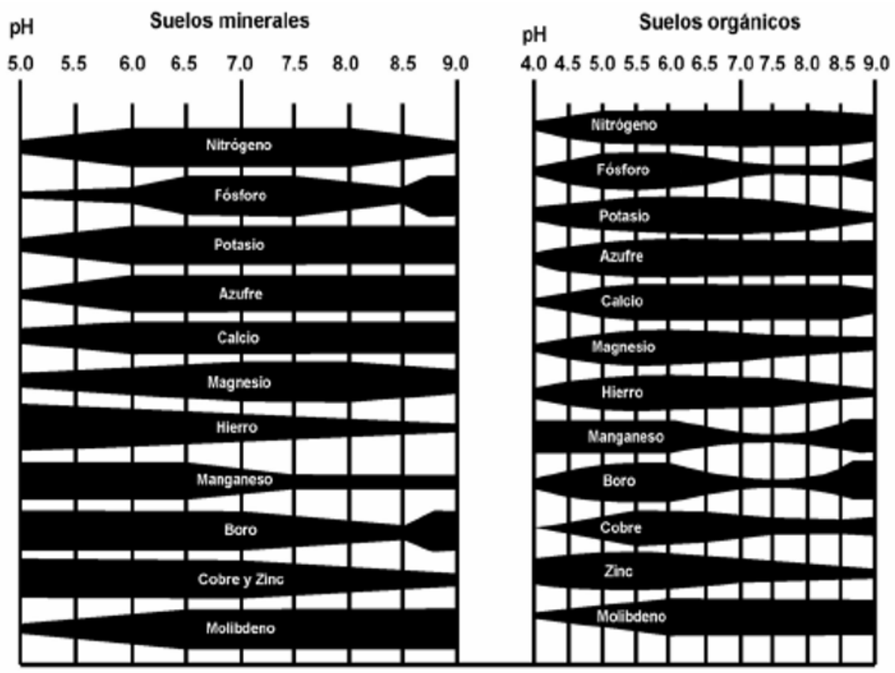


Figura 9 Disponibilidad relativa de los varios nutrientes minerales en suelos con base mineral y con base orgánica. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Funciones de algunos nutrimientos:

- Nitrógeno: Esencial para el crecimiento y el desarrollo vigoroso de la planta (tallos, hojas, brotes y frutos) proporciona el color verde intenso a la hoja ya que imprescindible para que pueda realizarse la fotosíntesis al sintetizar la clorofila; e incrementa los niveles de proteínas, importante durante todo el ciclo del cultivo
- Fósforo: Desempeña un papel importante en el desarrollo del sistema radicular, interviene en la formación del tejido leñoso y además en la fructificación, formación y maduración del fruto, esencial en la formación de semillas.
- Potasio: Importante para el metabolismo del nitrógeno, el transporte, formación de azúcares y almidones, regula la apertura de los estomas haciéndolo importante en las relaciones hídricas, interviene en la constitución de tejidos dando así resistencia a la planta contra enfermedades.
- Magnesio: Es el principal componente de la molécula de clorofila de allí el color verde de la hoja y su importancia en el proceso fotosintético, indispensable en la absorción y metabolismo del fósforo, interviene en el aprovechamiento del potasio y la acumulación de azúcares.
- Azufre: Importante en la metabolización del Nitrógeno y el Fósforo, interviene en la formación de clorofila, necesario para la síntesis de Proteínas y vitaminas, también interviene en la formación de semillas.
- Calcio. Requerido por todas las plantas, actúa como regulador del crecimiento, responsable en la constitución de tejidos.
- Hierro: Actúa en zonas de crecimiento, relacionado con la formación de clorofila y actúa como aportador de oxígeno, es el encargado del proceso de extracción de energía a partir de los azúcares.
- Manganeso: ayuda a la respiración celular.
- Zinc: Importante en el crecimiento y producción, ayuda mucho en el tamaño de los entrenudos, fácilmente absorbido vía foliar, además interviene en la conservación de las hormonas de crecimiento vegetales, las auxinas.
- Cobre: Activador de varias enzimas, ayuda a un buen forzamiento de tejidos, necesario para la formación de clorofila. Vía foliar es la mejor forma de suministrarlo
- Boro: Importante en la actividad de crecimiento y producción, al promover la división de las células, floración y la producción de semillas; útil en la división celular y la traslocación de azúcar y almidón, importante en la absorción del fósforo y cloruros y actúa como regulador en la relación Potasio - Calcio.
- Molibdeno: es vital para fijar el Nitrógeno de la atmósfera.
- Cloro: favorece el crecimiento, y fortalece el sistema de defensas de la planta.
- Níquel: el níquel resulta ser un microelemento esencial para la alimentación de los seres vegetales, ya que influye en el metabolismo de formación de urea.
- Manganeso: Interviene en el metabolismo del fósforo y el nitrógeno, aumenta la disponibilidad del fósforo y calcio, desarrolla un papel directo en la fotosíntesis y ayuda a la síntesis de la clorofila, acelera la germinación y la madurez, importantísimo en la calidad de frutos.

---

60 (Honorato Pinto, 2000, p. 155)
61 (León Arteta, 1991, p. 147)
62 (FitzPatrick, 1993, p. 151)
63 (León Arteta, 1991, p. 168)
64 (López de Juambelz & Cabeza Pérez, 2000, p. 12)

EL SUELO COMO MEDIO DE DESARROLLO DE LA VEGETACIÓN

El suelo debe poseer ciertas características y proporcionar adecuadas condiciones para propiciar el crecimiento y desarrollo de la vegetación; a continuación se mencionan algunas de dichas funciones[65] :

Soporte físico. El suelo deberá servir como soporte físico para la planta, permitiendo un buen anclaje del sistema radicular, logrando que la planta permanezca erecta y se desarrollarse adecuadamente.

Dotar de nutrientes. La mayoría de los nutrientes necesarios para la vegetación están presentes en los elementos que conforman el suelo, destacando los elementos minerales y la materia orgánica, en muchas ocasiones los nutrientes se encuentran insolubles, por tanto, no disponibles para las plantas. Los nutrientes se vuelven disponibles mediante la intemperización de los minerales y la descomposición de la materia orgánica; así las plantas podrán absorberlos de la solución del suelo o de las superficies de los coloides[66] .

Proporcionar agua. El suelo debe tener la capacidad de retener agua en contra de la fuerza de gravedad para que las raíces puedan disponer de ella cuando sea necesario. El suelo no debe contar con una retención excedente de agua, ya que se saturaría y esto afectaría las necesidades de oxígeno del sistema radicular.

Proporcionar oxígeno. Es indispensable que el suelo cuente con oxígeno para permitir al sistema radicular de la vegetación absorberlo y difundirlo a las células de la raíz, donde es usado en la respiración de la planta; posteriormente la raíz libera bióxido de carbono el cual se difunden en el suelo. También los microorganismos aeróbicos presentes en el suelo[67] , como bacterias y hongos, utilizan el oxígeno de la atmósfera del suelo.

Ausencia de factores inhibidores del desarrollo vegetal. El suelo debe proporcionar un medio libre de factores inhibidores, tales como acidez o alcalinidad extrema, sustancias tóxicas, excesos de sales o capas impermeables.

---

65 (Foth, 1997, pp. 27–35)
66 Los cationes tienen carga positiva y los aniones carga negativa.
67 Estos organismos son los principales responsables de la conversión de los nutrimentos de la materia orgánica en formas solubles que las plantas pueden utilizar.

CAPÍTULO 3. EL SUSTRATO

DEFINICIÓN

El término sustrato se refiere a todo material sólido, natural, sintético o residual, mineral u orgánico, distinto del suelo natural (in situ), que, colocado dentro de un contenedor, ya sea en forma única o en mezcla con otros materiales, permite el anclaje del sistema radicular, sirviendo como soporte para la vegetación.

El sustrato puede o no intervenir en el proceso de nutrición de la planta[68] , de acuerdo a su composición material, ya sean químicamente activos o materiales inertes.

Burés define a un sustrato como cualquier medio que se utilice para cultivar plantas en contenedor. Se entiende el término contenedor como cualquier recipiente con una altura limitada y su base se encuentre a presión atmosférica, es decir, con drenaje libre.

La diferencia básica de los sustratos respecto a los suelos radica en la composición distinta de la matriz sólida, que a su vez genera una configuración de poros diferentes en ambos casos[69] , un suelo es un recurso natural mientras que un sustrato en un suelo artificial, es decir creado por el hombre.

El sustrato debe cumplir funciones básicas:

- Asegurar el anclaje mecánico de la planta.
- Constituir la reserva hídrica de la cual las raíces pueden tomar el agua que requiere la planta para cubrir sus necesidades básicas.
- Proporcionar el oxígeno necesario para el correcto desarrollo de la vegetación.

El cultivo en sustrato proporciona, en relación al cultivo en suelo, una mayor capacidad de control de los factores de producción relacionados con el sistema radicular de la planta. Esta capacidad de control es posible por la reducción de la capacidad tampón del medio, debida a la reducción del volumen explorado por las raíces y a las características propias de los materiales empleados como sustratos de cultivo[70] .

El sustrato está formado por tres fases[71] :

- Sólida: partículas
- Líquida: agua y nutrimentos
- Gaseosa: oxígeno y dióxido de carbono

La fase sólida del sustrato deberá de ser capaz de retener suficiente cantidad de agua y aire para que estén disponibles al sistema radicular de la vegetación, dado que el sustrato cuenta con un volumen inferior a la de un suelo natural, por lo que tiene pérdida elevadas de agua por evapotranspiración.

Los criterios básicos que deben poseer los materiales que integran un sustrato son: adecuada uniformidad de partículas, estabilidad en la composición química, facilidad de mezcla, posibilidad de ser reciclados, adecuada aireación, resistencia al lavado de nutrientes, fertilidad adecuada, bajo costo, apropiada retención de humedad, bajo peso, control de pH y adecuado contenido de micronutrientes[72] .

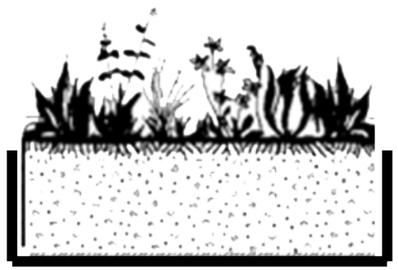


Figura 10 Esquema contenedor. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

---

68 (Hernández Escobar, 2009, p. 3; Terés, 2011, p. 3)
69 (Burés, 1997, p. 49)
70 (Terés, 2011, p. 6)
71 (Hernández Escobar, 2009, p. 3)
72 (Burés, 1997, p. 23)
73 (Burés, 1997, p. 49)
74 (Hernández Escobar, 2009, p. 3)
75 (Burés, 1997, p. 50)

CARACTERIZACIÓN DE LOS SUSTRATOS

En la caracterización de los sustratos se suelen distinguir tres tipos de propiedades:

- Físicas
- Químicas
- Biológicas

La importancia del conocimiento de estas propiedades radica en que de ellas dependerá el éxito del cultivo. Para entender las propiedades de los sustratos y sus repercusiones es necesario considerarlo como un sistema de matriz sólida-porosa, de forma similar al que se utiliza en edafología para definir a los suelos en forma natural[73] .

La estructura física de un sustrato está formada básicamente por elementos sólidos que conforman una serie de espacios de poros, los cuales pueden ser ocupados por agua y/o aire, dichos espacios se encuentran situados entre las partículas sólidas del sustrato o dentro de ellas. La estructura sólida y el espacio poroso de los sustratos están definidos por la naturaleza del material y por el tipo de empaquetamiento, lo cual dependerá del tipo de material y de su granulometría, mezcla e isotropía (igualdad de las propiedades físicas en todas las direcciones) y su configuración espacial. Bajo esta perspectiva, un mismo sustrato presentará distintas propiedades dependiendo de la granulometría y empaquetamiento de las partículas[74] .

Igualmente que en el suelo, la combinación de la estructura generada por las partículas de sustrato en el espacio y las características del material determinarán las características físicas y químicas de un sustrato[75].

- La estructura interna de las partículas del material determina la porosidad interna y la densidad real, mientras que la granulometría y el tipo de empacamiento determina la distribución de tamaños de poros interparticulares. De la densidad aparente y la porosidad dependerán las propiedades hídricas del sustrato, como la retención de agua y la permeabilidad.
- La composición elemental y el modo de estar los elementos fijados a la matriz de un material determinan el contenido de nutrientes y el contenido de elementos fitotóxicos, como los metales pesados, y las actividades de intercambio de iones; también el pH, la capacidad tampón y el contenido de sales del sustrato se derivan de la actividad química del material.
- Tradicionalmente se han clasificado los sustratos en orgánicos e inorgánicos. La materia orgánica fresca es susceptible de descomposición dando como productos finales los ácidos húmicos y fúlvicos. También la materia orgánica confiere una serie de propiedades a los sustratos, como son la actividad enzimática, actividad reguladora del crecimiento y actividad supresora frente a patógenos.

Las propiedades físicas de los sustratos pueden ser aditivas, sustractivas o promedios dependiendo del tipo de mezcla y del tamaño de partícula, por lo que la selección de la mezcla de sustrato debe de estar en función de las necesidades hídricas de las plantas. Las propiedades físicas de los sustratos son las de mayor importancia, ya que deben ser óptimas desde el establecimiento del cultivo, dado que, a diferencia de las propiedades químicas, no pueden modificarse una vez establecida la vegetación[76] .

El volumen de los componentes de una mezcla de sustrato es mayor al volumen final de ésta, debido a que las partículas de distintos tamaños se empaquetan, de modo que los espacios interparticulares son llenados por las partículas más pequeñas, reduciendo el espacio poroso, además del volumen total de la mezcla. La reducción del volumen depende de la granulometría de los materiales de manera que cuando mayor sea la diferencia de tamaños, mayor será la reducción del volumen final. El volumen final de las mezclas y sus propiedades son una función no lineal, por lo que es difícil predecir las propiedades de éstas con el simple conocimiento de las partes que lo integran[77] .
Hace falta generar información que ayude a comprender el comportamiento de materiales usados para sustratos, especialmente en cuanto a sus parámetros físicos y químicos, sobre todo en mezclas, que sirva de base para la preparación de sustratos acordes con los requerimientos de cada cultivo y, de esta forma hacer un uso eficiente y racional de los recursos[78].

CARACTERÍSTICAS DESEABLES EN UN SUSTRATO

En los sistemas de naturación el sustrato es un componente esencial, dado que sin él la vegetación no podría subsistir; de ahí la importancia del conocimiento de las características y propiedades que debe poseer, logrando el éxito del cultivo vegetal y con ello los propios de los sistemas de naturación.
A continuación, se mencionan las características deseables en los sustratos utilizados en los sistemas de naturación:

Apropiada distribución de partículas. Los sustratos están constituidos por partículas sólidas, en ocasiones son de tamaño y forma similares, algunos otros se integran por mezclas de distintos tamaños y formas. Es recomendable que un sustrato presente una distribución de partículas de distintas dimensiones, ya que muchas de las propiedades y características de los sustratos varían en función del tamaño, distribución de las partículas y de los poros que los integran, una con mayor impacto es el balance entre el contenido de agua y de aire del sustrato. Por lo tanto, es de gran importancia la caracterización granulométrica de los materiales que conforman los sustratos.

Capacidad de retención hídrica. La retención de agua debe realizarse de forma uniforme en el sustrato y en cantidades apropiadas de acuerdo al tipo de sistema de naturación y de vegetación.
La capacidad de retención de humedad está en función de las propiedades físicas del sustrato, entre las que destacan la porosidad y la capilaridad. La porosidad de un sustrato es el porcentaje de su volumen que no está ocupado por material sólido. Los poros que constituyen el sistema poroso del sustrato están constituidos por los espacios interparticulares y por los poros internos de las propias partículas que constituyen el sustrato. El tamaño de los primeros depende del tamaño de las partículas y de su grado de empaquetamiento, y el tamaño de los poros internos depende del tamaño de las partículas, pero, sobre todo, de los procesos que han dado lugar a la estructura de la partícula, sean naturales o artificiales. Tanto el empaquetamiento de las partículas como la estructura de las mismas dan lugar a poros de diferentes tamaños, con una distribución de tamaño característica de cada sustrato[79] .

El tamaño de los espacios libres determina la capilaridad, poros pequeños tienen mayor capilaridad y retienen más humedad en comparación con los poros más grandes, por tanto es necesario que la distribución de tamaños de poro en el sustrato sea la adecuada para que retenga las cantidades idóneas de agua[80] .

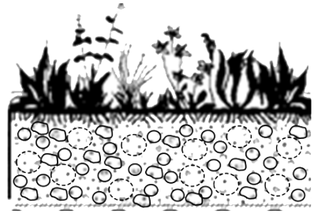


Figura 11 Apropiada distribución de partículas. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

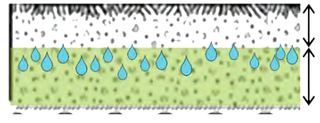


Figura 12 Capacidad de retención hídrica. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

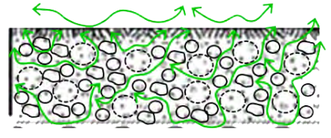


Figura 13 Circulación eficiente de aire. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Es importante saber que no sólo basta que la cantidad de agua retenida sea la requerida para la planta, ya que el agua puede estar retenida en el sustrato con una fuerza mayor a la de succión que es capaz de ejercer la planta, por lo tanto, no toda el agua retenida estará disponible para la planta. El valor de agua disponible dependerá de la cantidad total de agua retenida por el sustrato y de la forma en que dicha agua se encuentra distribuida entre los poros; si éstos son grandes se perderá por gravedad gran parte del agua; y si son pequeños, puede quedar fuertemente retenida, sin que la planta sea capaz de absorberla[81] . El valor ideal de agua disponible que los sustratos deberán tener será entre el 35 al 45% del volumen total[82] .
Generalmente un sustrato debe poseer una capacidad máxima de retención de humedad del 55 al 70%[83] , es decir, el porcentaje de la cantidad total de agua que el sustrato puede contener y la cantidad que retiene después de que el líquido ha sido drenado. Cabe mencionar que mientras más elevada sea la capacidad de retención de agua en un sustrato, será menos frecuente la necesidad de realizar periodos de riegos al sistema de naturación; ya que el riego es calculado tomando en cuenta el uso consultivo[84] y el aporte de lluvia.

Circulación eficiente de aire. El sistema radicular de la vegetación requiere un suministro de aire el cual obtiene por medio de los poros libres del sustrato, de donde recibe el oxígeno necesario para realizar el proceso de respiración de la planta, y es también el lugar en donde desaloja el CO_2 que genera.

La aireación está determinada por la porosidad, la cual está en función del tamaño y distribución de las partículas de los materiales que conforman el sustrato. Partículas grandes determinan espacios o poros de mayor tamaño, mismos que permiten una mejor aireación, mientras que materiales de partículas pequeñas tienen espacios porosos de menor tamaño en los que el flujo de gases ocurre en menor medida y más despacio.
Un sustrato deberá contar con una porosidad elevada, entre 70%[85] y 85%[86] del volumen total, para que pueda alojar y permitir el flujo adecuado de aire y agua.

Drenaje eficaz. El sustrato necesita proveer un drenaje que permita eliminar de manera eficiente el exceso de agua después de un periodo de lluvia o de riego, para así posibilitar el ingreso de aire y permitir su renovación en el entorno de las raíces.

El calendario de riego indicará la cantidad y frecuencia con la que se realice el riego, por lo que nunca debe dejarse inundado el sustrato por largos periodos de tiempo con el fin de evitar episodios de riego, ya que las raíces pueden asfixiarse por falta de oxígeno, dado que una mala aireación provocaría la pudrición del sistema radical.

Baja densidad. La densidad aparente de un sustrato se define como el peso por unidad de volumen, se expresa en gr/cm^3. El volumen del sustrato incluye las partículas sólidas y los espacios libres, entre mayor sea la densidad mayor será el peso, de preferencia los sustratos deben tener una densidad de intermedia a baja, ya que el peso del debe tomarse en cuenta en la capacidad de carga de las cubiertas.

El anclaje de la planta también debe ser considerado como un factor de importancia en la densidad aparente del sustrato, ya que cuanto más alta sea la planta, más fuerte deberá ser el sustrato para permitir el anclaje mecánico de la planta.
Cuando el cultivo está protegido del viento y éste no supone un peligro para la estabilidad de la planta, la densidad aparente del sustrato puede ser tan baja como 0. 15 g/cm^3, pero para plantas que crecen sin ninguna protección la densidad debe ser más elevada, entre 0.50 y 0.75 g/cm^3.

---
76 (Hernández Escobar, 2009, p. 1)
77 (Hernández Escobar, 2009, p. 11)
78 (Hernández Escobar, 2009, p. 1)
79 (Terés, 2011)
80 (Ansorena Miner, 1994)
81 (Ansorena Miner, 1994)
82 (Ampim et al., 2010)
83 (Ansorena Miner, 1994; Bastida Tapia, 1999)
84 El uso consuntivo es la cantidad total de agua que necesita un cultivo determinado para realizar la evapotranspiración y la construcción celular, desde la plantación hasta la cosecha, en un régimen climático específico.
85 (Bastida Tapia, 1999)
86 (Ansorena Miner, 1994)

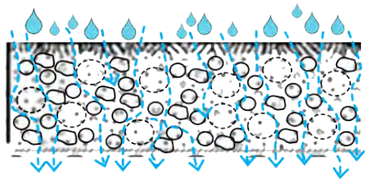


Figura 14 Drenaje eficaz. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

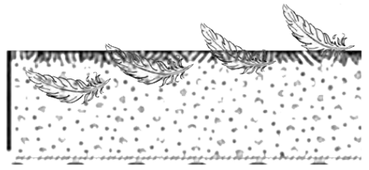


Figura 15 Baja densidad. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

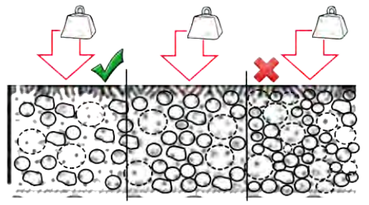


Figura 16 Buena estabilidad física. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Figura 17 Capacidad de intercambio catiónico. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Buena estabilidad física. La estabilidad física de un sustrato se refiere a la característica que permite conservar el tamaño de las partículas y por ende el volumen que ocupan, lo deseable es que los sustratos mantengan su estabilidad física y no disminuyan su volumen.

Mantener la estabilidad física del sustrato depende de varios factores entre los que destacan la velocidad de descomposición y la disgregación de los materiales, los cuales deberán realizarse lo más lentamente posible. Por lo tanto, los materiales menos adecuados son aquellos que se disgregan fácilmente con la acción del agua y el manejo. También es necesario que el material no sufra compactación que ocasione la disminución de la cantidad de espacios porosos y provoque la compresión de las raíces; el nivel máximo de contracción del volumen permisible en un sustrato es del 30%[87] .

Capacidad de intercambio catiónico. La mayoría de los nutrientes necesarios para el desarrollo de la vegetación están disponibles en forma de cationes. Los cationes adsorbidos en la superficie de las partículas de arcilla del sustrato pueden ser remplazados por otros cationes, actuando de este modo como reserva de elementos nutritivos en el sustrato, este proceso se denomina intercambio catiónico[88] .

Es por medio de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) que un sustrato puede absorber o retener por adherencia en sus partículas los elementos nutritivos en forma de cationes e intercambiarlos con lo solución acuosa como vía para que penetren en las raíces de la vegetación.

Los sustratos de textura fina formados por partículas de arcilla presentan mayor capacidad de intercambio catiónico y los que contienen materia orgánica presentan mayor capacidad que los que no la tienen. Una CIC elevada supone una reserva de nutrientes disponibles para las plantas mientras que los sustratos con baja CIC, como los sustratos minerales, requieren una aplicación frecuente de fertilizantes.

pH. El pH ejerce sus efectos principalmente sobre la asimilabilidad de los nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica del sustrato, por ello es que se debe tomar en cuenta la influencia de cada uno de los valores de pH de los materiales que lo integran y de factores que puedan ejercer un cambio en él, como lo son algunos problemas ambientales locales, tal es el caso de lluvias ácidas, también influye la calidad del agua de riego y la fertilización.

El valor del pH de un sustrato puede variar pero siempre debe estar dentro de un rango que permita a la planta la absorción de nutrientes[89] , en el rango de pH que va de 4 a 8.5, donde la mayoría de los nutrientes se encuentran disponibles[90] . Cada cultivo presenta sus propios requerimientos aunque un rango de pH entre 5.2 y 6.5 [91] es adecuado para los sustratos de cultivo.

La capacidad tampón de un sustrato se refiere al poder amortiguador que tiene sobre cambios rápidos de pH, ésta aumenta con la capacidad de intercambio catiónico. El poder tampón de los sustratos orgánicos es el general superior al de los inorgánicos puesto que las sustancias húmicas proporcionan capacidad tampón frente a un amplio margen de pH[92] .

Libre de enfermedades, maleza, plagas y sustancias tóxicas. Siempre debe evitar emplear sustratos que podrían estar contaminados por alguna enfermedad o plaga y que contengan semillas de plantas no deseables, así como aquellos que estén contaminados con productos químicos o que contengan sustancias tóxicas para la vegetación, como sales solubles en exceso.

---
87 (Ansorena Miner, 1994; Terés, 2011)
88 (Burés, 1997)
89 (Ampim et al., 2010)
90 (Bastida Tapia, 1999)
91 (Ansorena Miner, 1994; Guerrero & Masaguer, 2004)
92 (Burés, 1997)

Disponibilidad y bajo costo. El sustrato más apropiado para utilizarse en una región es el que integre materiales fácilmente disponibles en la zona, por lo que serán de fácil adquisición tanto en cantidad como en tiempo, además su costo disminuirá y se tornará más accesible a comparación de otros.

Uniformidad de características. Los sustratos deben ser uniformes en cuanto a sus características físicas y químicas, no deben presentar grandes variaciones de un lote a otro para asegurar un buen manejo de los mismos en el sistema de naturación; ya que un cambio en las propiedades puede alterar el desarrollo de la vegetación y ocasionar pérdidas graves de ella.

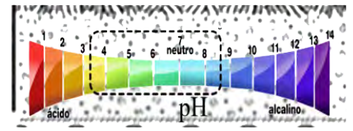


Figura 18 pH apropiado. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Figura 19 Libre de enfermedades, plagas y sustancias tóxicas. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Figura 20 Disponibilidad y bajo costo. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

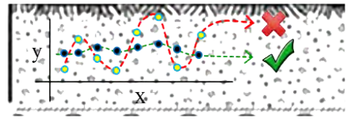


Figura 21 Uniformidad de características. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

EL SUSTRATO EN LOS SISTEMAS DE NATURACIÓN

La naturación surge como una técnica tradicional constructiva en distintas partes del planeta, en todo tipo de regiones y de climas[93] , manteniendo una estructura similar de elementos compositivos y funciones, pero incorporando gran diversidad de materiales y recursos dependiendo la disponibilidad de cada uno de ellos.

La técnica tradicional fue evolucionando a través del tiempo desde el primer ejemplo conocido entre los años de 605 y 562 a.C. por los Jardines Colgantes de Babilonia[94] hasta la actualidad, debido a los cambios y desarrollo de los materiales de construcción y a las nuevas percepciones y conceptos de la arquitectura; claro está que hubo momentos dentro del desarrollo de ciudades en donde no fue utilizada debido a su desconocimiento, pero ahora en las últimas décadas ha retomado su uso e importancia por las nuevas tendencias arquitectónicas, pero sobre todo por los grandes beneficios que brinda su uso. La transformación de los sistemas de naturación fue debido a los estudios sobre los materiales que los conforman, sus desempeños y beneficios que genera. Poco a poco estas investigaciones lograron la evolución de la técnica a tecnología constructiva, ya que se conoció el comportamiento de los sistemas, por medio de su conocimiento operativo [95] .

A nivel América Latina, México es el principal promotor y usuario de cubiertas naturadas, donde existen de 10 a 11 mil m^2, de los cuales 90% se encuentran en la Ciudad de México, muy poca extensión comparada con la existente en Alemania, país con mayor desarrollo, promoción y demanda de sistemas de naturación, donde se cuantifican más de 15 millones de metros cuadrados con naturación[96] .

Los sistemas de naturación integra varios elementos (Figura 22) que cumplen funciones esenciales[97].

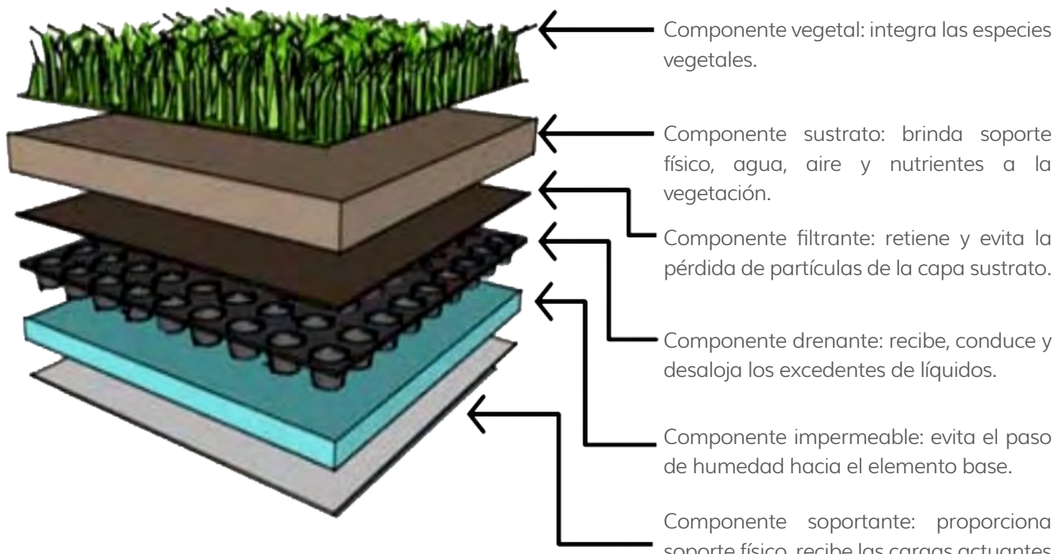


Figura 22 Esquema de componentes de los sistemas de naturación.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

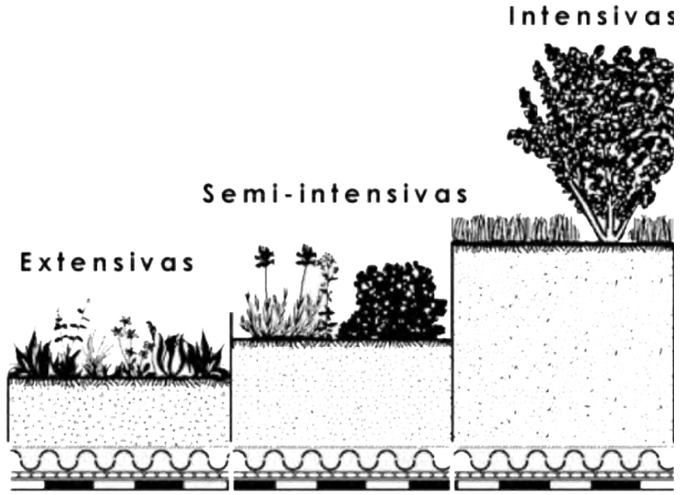


Figura 23 Esquema comparativo de los tipos de sistemas de naturación en cubiertas.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Existen diferentes tipos de sustratos según el sistema de naturación, generalmente se clasifican en tres tipos[98] , lo cuales se generan con base al espesor del sustrato y al tipo de vegetación (Figura 23):

- Intensivos: el espesor del sustrato deberá ser mayor de 30 cm, lo que permite el uso de cualquier tipo de vegetación, incluso plantas de gran tamaño como árboles o palmeras. El costo y mantenimiento del sistema son elevados ya que requiere de riego, fertilización y poda constante de la vegetación. Se procura que este tipo de sistemas se realice en construcciones nuevas, ya que es necesario un cálculo estructural detallado debido a que el peso del sistema es superior a los 250 kg/m^2.
- Semi-intensivos: el espesor del sustrato oscila entre los 12 y 30 cm, por lo cual disminuye las opciones de selección de especies vegetales en comparación con el sistema intensivo, aunque brinda mayores posibilidades que el sistema extensivo. Requiere de un mantenimiento regular. El peso aproximado del sistema es entre 120 y 250 kg/m^2.
- Extensivos: el espesor del sustrato no debe ser superior a 12cm. La vegetación es de bajo porte, usando generalmente especies endémicas o adaptadas a las condiciones ambientales, por ello su mantenimiento será bajo o casi nulo. El peso aproximado del sistema oscila entre 60 y 140 kg/m^2. Es el más apto para ser utilizado en construcciones existentes.

La Tabla 7 muestra las principales características de las tres categorías de los sistemas de naturación [99] .

Clasificación	Extensivo	Semi-intensivo	Intensivo
Espesor del sustrato (cm)	6-12	12-30	+30
Peso (Kg/m^2)	60-150	120-250	+250
Riego	Nulo	Periódico	Constante
Mantenimiento	Mínimo	Medio	Alto
Altura aprox. vegetación (cm)	5-50	5-100	5-400
Costo (entre ellos)	Menor	Medio	Mayor

Tabla 7 Clasificación de los sistemas de naturación.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

93 (Minke & Lagrotta, 2010, pp. 7–8)
94 (Neila, 2004)
95 (García Villalobos, 2011, p. 104)
96 (Tovar, Figueroa, & Gordon, 2010)
97 (García Villalobos, 2010, p. 1)
98 (García Villalobos, 2009, pp. 16–17)
99 (García Villalobos, 2009, p. 17)

CAPÍTULO 4. BENEFICIOS
DE LA NATURACIÓN DONDE PREDOMINA EL SUSTRATO

Los mayores beneficios del uso de naturación en cubiertas en donde el sustrato tiene la mayor aportación y por los que se decidió realizar esta investigación son tres: regulación térmica, retención hídrica y reducción acústica; a continuación, se explican brevemente cada uno de ellos.

Regulación térmica. La cubierta es la parte de la edificación que está sujeta a las mayores fluctuaciones térmicas, por el día registra elevadas temperaturas por su exposición directa a la radiación solar y, durante la noche, es la parte de la edificación que más calor pierde por radiación. Su aislamiento se impone como una medida de prioridad y puede solucionar parte del problema de almacenamiento y los flujos de calor.
Muchos sistemas de cubierta fueron desarrollados en base a estas preocupaciones, intentando minimizar los flujos energéticos entre el ambiente interior y el exterior a través, la naturación es una respuesta eficiente a éstos y otros requisitos, con comprobadas ventajas sobre otros tipos de cubierta aislantes[100] .
La naturación tiene un efecto de regulación térmica en la cubierta que se ve determinado por el tipo de materiales inertes seleccionados, principalmente por el espesor y el efecto de masa térmica del sustrato.

Mediciones realizadas en una cubierta con vegetación en Kassel, Alemania[101] , compuesta de un sustrato de 16cm de espesor, registran para una semana de verano una temperatura exterior al medio día de 30°C, en la vegetación es de 23°C y bajo la capa de sustrato se reduce hasta 17.5°C, teniendo una diferencia de más de 12°C (Figura 24); las mediciones realizadas en una semana de invierno, marcan que la temperatura exterior fue de -14 °C, y de 0 °C bajo la capa de sustrato, siendo mayor la regulación térmica que en verano (Figura 25), esto demuestra que una cubierta naturada tiene un efecto de regulación térmica, traducido comúnmente a una sensación de enfriamiento en verano y de aislante térmico en invierno.
En Toronto, Canadá, el registro de temperatura a una cubierta sin naturación por la tarde fue de 70°C, mientras que en una cubierta naturada fue de sólo 25°C; otro estudio han registrado las fluctuaciones diarias de una cubierta convencional y otra con sistema de naturación, la primera marcó una oscilación de 50°C, mientras que la segunda solamente de 3°C[102] .

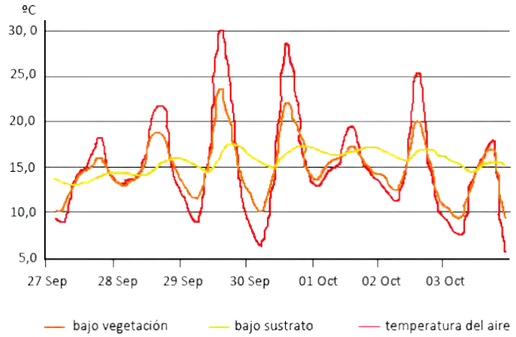


Figura 24 Registros de temperatura en una cubierta naturada con un sustrato de 16cm, durante una semana de verano en Kassel, Alemania. Fuente: Minke & Lagrotta, 2010.

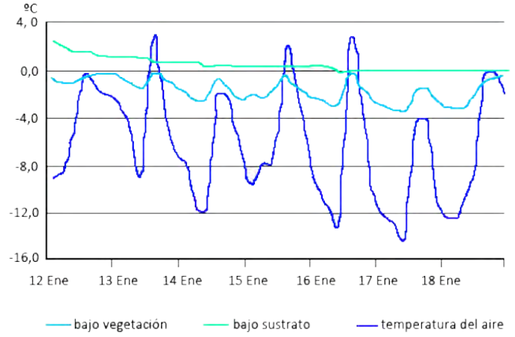


Figura 25 Registros de temperatura en una cubierta naturada con un sustrato de 16cm, durante una semana de invierno en Kassel, Alemania. Fuente: Minke & Lagrotta, 2010.

En México se han realizado algunas investigaciones referentes al desempeño térmico de los sistemas de naturación, entre ellas destacan la investigación realizada por Trujillo, Rangel y Castañeda, en laboratorio de Arquitectura Bioclimática, de la Universidad Autónoma de Chiapas, analiza en un clima cálido subhúmedo el ahorro de energía eléctrica destinada a sistemas de climatización, registrando el consumo de dos espacios con las mismas características pero distinto tipo de techo, uno de losa de concreto armado de 10 cm de espesor y el otro con una losa modular de concreto con naturación con una capa de sustrato de 10 cm de espesor y pasto como vegetación, ésta última registrando una reducción del 28% promedio anual del consumo eléctrico frente a la primera[103] .

Otra investigación llevada a cabo en el Departamento de Arquitectura y Diseño de la Universidad de Sonora, por Alpuche, Moreno, Ochoa y Marincic, compara una misma vivienda utilizando dos distintos techos, uno de concreto armado y el otro naturado, en un clima cálido seco; el análisis térmico se realizó utilizando los softwares de simulación DesignBuilder y EnergyPlus. Los resultados indicaron en la vivienda con techo naturado una disminución de hasta 5°C de la temp. al interior en relación con la temperatura exterior y de 6°C respecto a la temp. interior del modelo con techo de concreto; dichas diferencias térmicas representan un ahorro energético de la vivienda con techo naturado del 16% sobre el consumo total de electricidad en el uso de aire acondicionado[104] .

La investigación realizada por García Villalobos, perteneciente al proyecto PAPIIT número IN404608 "Quinta fachada: una propuesta estética y técnica" de la Facultad de Arquitectura, UNAM, analiza experimentalmente el desempeño térmico de la cubierta naturada ubicada en la Del. Xochimilco, en un clima templado Subhúmedo, en un departamento de 50 m^2, con losa de concreto armado de 10 cm de espesor que incluye sistema de naturación, con capa de sustrato de 7.5 cm de espesor y 3 áreas con diferentes especies vegetales, obteniendo el registro térmico en distintas posiciones del sistema: sobre y dentro del sustrato, en el lecho alto y bajo de losa y al interior del departamento. Los resultados reportan una reducción térmica promedio de la fluctuación total diaria de la losa sin y con naturación en lecho alto de losa de 28.6 °C en enero y de 29.6 °C en junio; y al interior del departamento de 10.7 °C en enero y de 5.8 °C en junio. La mayor regulación térmica es dada por la capa sustrato registrando un promedio de reducción de la fluctuación total diaria de 18.08 °C el enero y de 14.12 °C para el mes de junio[105] (Ver anexo 1). Estas reducciones térmicas logran mayores índices de confort ambiental al interior, lo que trae como consecuencia mayor productividad de las personas, además de disminuir los consumos energéticos por acondicionamiento de aire, eliminando gasto en recursos energéticos y económicos.

100 (Machado, 2003, pp. 15–29)
101(Minke & Lagrotta, 2010, pp. 12–13)
102 (Getter & Rowe, 2006)
103 (Trujillo, Rangel, & Castañeda, 2015)
104 (Alpuche, Moreno, Ochoa, & Marincic, 2010, pp. 64–66)
105 (García Villalobos, 2011)

Retención de agua. En las áreas urbanas se reduce la cantidad de agua que puede infiltrarse al subsuelo debido a la gran cantidad de superficies impermeables presentes en ella.

Cuando la lluvia cae sobre áreas abiertas naturales, alrededor del 30% de esa agua llega a los acuíferos poco profundos, otro 30% llega y nutre los acuíferos más profundos, y aproximadamente el 40% restante es devuelto casi inmediatamente a la atmósfera a través de la evaporación y transpiración de la vegetación; pocas veces no existe ningún escurrimiento superficial.

En las áreas urbanas en donde la superficie impermeable cubre del 75 al 100% de la superficie total, el agua de lluvia se distribuye de manera muy diferente, sólo el 5% se infiltra en los acuíferos superficiales y profundos, se evapora el 15% en el aire a través de la vegetación y el 80% restante se convierte en agua de escorrentía[106] . Esta baja capacidad de infiltración de agua al suelo natural trae como consecuencia el aumento de posibilidad de inundación cuando se presentan fuertes precipitaciones pluviales y no se tiene la capacidad de desalojar este volumen de agua. Además, si no se cuenta con un sistema de colección se agua pluvial, el agua se combinará con la vertida en el drenaje, lo que resulta en una gran pérdida y contaminación de grandes cantidades de agua.

Las cubiertas naturadas disminuyen este problema, dado que el agua de lluvia es almacenada en la capa sustrato, donde posteriormente es absorbida por la vegetación y luego devuelta a la atmosfera por medio de los procesos de evaporación y transpiración.

Dependiendo de la intensidad de la precipitación pluvial y características del sustrato, una cubierta naturada puede reducir la escorrentía de una edificación, disminuir la tasa de flujo máximo y el volumen del sistema de alcantarillado en las ciudades, se estima que pueden absorber, filtrar, retener y almacenar un promedio de alrededor de 75% de la precipitación anual que cae sobre las cubiertas[107] .

En una prueba del Instituto del Estado Federado de Baviera para Viticultura y Horticultura en Veitshöchheim[108] , se determinó que en una cubierta naturada con un sustrato de 10 cm de espesor, para una intensidad de lluvia de 20 l/m^2 con duración de 15 minutos, solamente desaguan 5 l/m^2, contra 16 l/m^2 en un techo con grava durante el mismo tiempo (Figura 26).

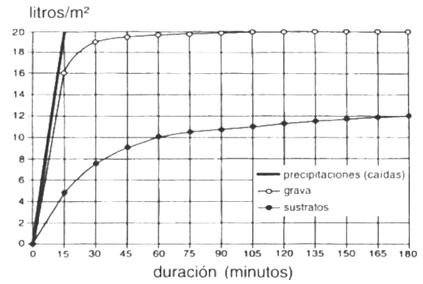


Figura 26 Gráfica de la escorrentía pluvial de una cubierta con un sustrato de 10 cm de espesor en comparación con una cubierta plana con grava. Fuente: Minke & Lagrotta, 2010.

La naturación también retarda la escorrentía debido al tiempo que tarda el sustrato en saturarse, se puede retrasar alrededor de 95 min[109] y 4 h[110] , en comparación con cubiertas sin algún sistema de naturación, en donde la escorrentía es casi instantánea. Registros de una investigación muestra que para una precipitación de 2.8 mm/h, la escorrentía de una cubierta naturada se redujo a sólo 0.5 mm/h[111] . Estudios realizados indican la cantidad de retención de agua con respecto al espesor del sustrato[112] , donde para un espesor de 2.5 cm se puede mantener un promedio de 58% de la precipitación anual, y cuando el espesor aumenta a 6 cm también aumenta la retención a un promedio de 67% y finalmente, cuando el sustrato es de 10 cm de espesor pueden mantener un promedio de 71% de la precipitación anual (Figura 27). Se concluye que el espesor y características físicas del sustrato, como estructura, densidad, porosidad, humedad, capacidad de campo, etc., influyen y determinan la capacidad de retención hídrica en los sistemas de naturación.

Reducción acústica. El ruido se define como energía acústica audible o sonido no deseado debido a los efectos negativos que genera sobre las personas en sus sistemas auditivo, fisiológico no auditivo y psicológico[113] .

En las ciudades el ruido se ha incrementado en los últimos años debido al aumento tanto de fuentes sonoras como de su intensidad y a la gran cantidad de superficies duras, que reflejan las ondas sonoras. Una forma de disminuir este problema es por medio del uso de superficies blandas que absorban el sonido. Los sistemas de naturación actúan como una superficie blanda, debido a la naturaleza de los materiales que los integran, principalmente la vegetación y el sustrato, que tienen la capacidad de absorber energía acústica, lo que reduce los niveles de ruido ambiental.

Aunque las plantas reducen el ruido mediante absorción (transformación de la energía sonora en energía de movimiento y calórica), reflexión y deflexión (dispersión), su efecto de absorción acústica no es decisivo en los sistemas de naturación, el mayor efecto es por medio del sustrato[114] .

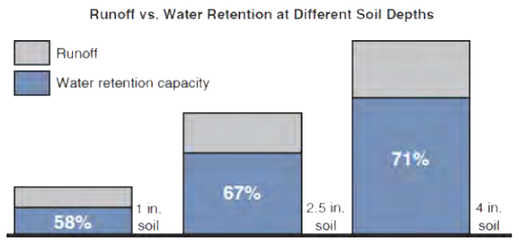


Figura 27 Gráfica comparativa entre retención de agua pluvial y espesor de sustrato. Fuente: Tanner & Scholz-Barth, 2004.

Para un ángulo vertical de incidencia sonora, la capa de plantas consigue por absorción solamente una insignificante disminución del sonido de alta frecuencia, mientras que investigaciones han demostrado que con una capa de sustrato con un espesor de 12 cm se consigue una absorción de 40 dB[115,116] , , la cubierta naturada ubicada en la Sede de Gap Inc. en San Bruno, CA disminuye la transmisión del sonido por 50 dB[117] , y se tienen registros de cubiertas que atenúan hasta 60dB[118] con sustratos con espesores mayores.

La capacidad de reducción acústica de los sistemas de naturación en cubiertas es variante, se ve afectada principalmente por el sustrato, sin embargo, la investigación realizada hasta el momento para este material ha sido de manera muy general, lo que ha limitado el gran potencial que tiene como aislante acústico, por lo que es vital realizar investigación de las características y propiedades del sustrato que incrementan dicho efecto.

GUÍAS, MANUALES Y NORMATIVIDAD SOBRE SUSTRATOS

Actualmente existen documentos que establecen lineamientos y criterios para la creación de los sistemas de naturación distintos países alrededor del mundo, los cuales brindan orientación para un buen establecimiento de estos sistemas de naturación en las edificaciones. Alemania como país pionero en el uso de estos sistemas quien ha gestionado las primeras políticas ambientales de su uso, entre dichos documentos destacan los publicados por la Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), las "Guidelines for the Planning, construction and maintenance of green roofing, 2008", que muestra las pautas y criterios más conocidos para cubiertas verdes en Alemania.

ASTM International, anteriormente conocida como American Society for Testing and Materials, mediante su grupo de trabajo E 06.71, ha desarrollado normas internacionales con criterios para los sistemas de naturación, entre ellas destacan:

- E2396-05 Standard Test Method for Saturated Water Permeability of Granular Drainage Media [Falling-Head Method] for Green Roof Systems
- STM E2397 - 05 Standard Practice for Determination of Dead Loads and Live Loads associated with Green Roof Systems
- ASTM E2398 - 05 Standard Test Method for Water Capture and Media Retention of Geocomposite Drain Layers for Green Roof Systems
- ASTM E2399 - 05 Standard Test Method for Maximum Media Density for Dead Load Analysis of Green Roof Systems
- ASTM E2400 - 06 Standard Guide for Selection, Installation, and Maintenance of Plants for Green Roof Systems

Distintas compañías de la industria de la construcción, dedicadas tanto a la producción de materiales usados en los sistemas de naturación, como también compañías de seguros y manejo de riesgos, ejemplo de estas compañías Factory Mutual Global (FM Global, quien publicó "Property Loss Prevention Data Sheets 1-35: Green Roof"), han publicado documentos donde establecen pautas y criterios para los sistemas de naturación.

También existen manuales donde sus objetivos son puramente de divulgación con fines educativos, como el publicado por la National Roofing Contractors Association "The NRCA Green Roof Systems Manual", en Estados Unidos.

En nuestro país, la Ciudad de México es el primer lugar en Latinoamérica en contar con un documento guía en relación al tema de naturación en las edificaciones, por medio de la publicación de la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007, que establece las Especificaciones Técnicas para la Instalación de Sistemas de Naturación en el Distrito Federal. Esta Norma de carácter voluntario fue dada a conocer el 24 de diciembre de 2008 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. En cuanto a la capa sustrato la norma da criterios sobre:

Tipos de sistemas de sustratos

- Materiales y características de la capa sustrato
  -Materiales adecuados para la conformación de la capa sustrato
- Materiales para mejorar la mezcla de sustrato
- Características de los elementos de la mezcla sustrato

Hagamos énfasis que la creación y publicación de normas, guías y reglamentos, generan distintos tipos de beneficios, entre ellos los económicos mediante la creación de normatividad para los procesos que conlleva el desarrollo de los proyectos de naturación y en los recursos tanto económicos, materiales y humanos que intervienen. Otros son los beneficios políticos dado que regulan su establecimiento de acuerdo a las políticas de desarrollo urbano y social presentes en cada región. Y también están los beneficios sociales al crear estándares que aumentan la efectividad del sistema, reflejados en los efectos y externalidades positivas en la población. Todos estos conjuntos de beneficios generan el uso y establecimiento de estas normatividades y guías, logrando mayor factibilidad en la creación y uso de esta tecnología.

---
106 (Scholz, 2001)
107 (Tanner & Scholz-Barth, 2004)
108 (Minke & Lagrotta, 2010, pp. 20–21)
109 (Liu, 2003)
110 (Morán, Hunt, & Jennings, 2004)
111 (Liu, 2003)
112 (Tanner & Scholz-Barth, 2004)
113 (Estrada, 2007)
114 (Minke & Lagrotta, 2010, p. 17)
115 (Minke & Lagrotta, 2010, p. 20)
116 (Peck & Kuhn, 2001)
117 (Environmental Affairs Department City of Los Angeles, 2006)
118 (Tolderlund, 2010)

CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La investigación consta de dos tipos de experimentación para la obtención de resultados: • Experimentación de campo. Donde se desarrolla el modelo experimental y • Experimentación de laboratorio. Donde se realiza la caracterización física y química de los distintos sustratos. El primer paso a realizar fue contar con los sustratos a analizar. A continuación, se describen los procesos utilizados en cada tipo de experimentación.

PREPARACIÓN DE SUSTRATOS

Los tipos de sustratos fueron dados por cinco mezclas distintas (Tabla 8), tres de ellas A, B y E, fueron preparados en sitio (Figura 6), conociendo las proporciones de composición indicadas por sus diseñadores. Las mezclas de los sustratos C y D fueron donadas ya preparadas para su uso en el diseño experimental, los porcentajes de su composición fueron inferidos mediante la comparación de las características de las tres mezclas conocidas; en la Tabla 8 se muestran los porcentajes que conforma cada material en las mezclas de sustrato.

A continiación de definen los tres grupos de composición de las mezclas, así como tambien la descripción de algunos de los materiales que corresponden a cada grupo, los cuales estan presentes en los sustratos del diseño expelimental.

Material orgánico. Consta de tejido vegetal o animal en diversas etapas de descomposición, de acuerdo a sus características físicas reduce el impacto de gota de lluvia, proporciona estructura, aumenta el espacio poroso, incide en el balance hídrico, minimiza la erosión y reduce la oscilación térmica. Sus características químicas suministran nutrimentos esenciales, actúa como regulador de pH al acidificarlo, amortigua compuestos tóxicos y es reservorio de nutrimentos e incide en el intercambio catiónico[119] . Los materiales utilizados en las mezclas de sustratos fueron:

- Tierra de hoja. Contiene partículas de diversos tamaños en diferentes etapas de descomposición. Presenta buen drenaje, buena aireación y retención de humedad apropiada, generalmente su pH es bajo y aporta nutrientes, presenta poca estabilidad física y en medida que avanza su descomposición disminuye de volumen. Tiene buena capacidad amortiguadora y contenido de sales variable. En México su uso en forma indiscriminada está prohibido, debido al daño ecológico que representa su extracción[120] .
- Abono de borrego. Se emplean como mejorador de sustrato y para aportar materia orgánica. Presenta retención de humedad de media a alta, aireación y drenaje medio, densidad intermedia, pH variable, aporte de nutrientes variable tendiendo a alto, alta capacidad amortiguadora y estabilidad física media[121] .
- Composta. Es un abono orgánico obtenido mediante la descomposición de productos orgánicos, como rastrojos, pajas, pulpa de café, estiércoles, restos de animales y basuras orgánicas. La composta aporta algunos nutrientes al sustrato, suele tener una salinidad elevada y contenido elevado de nitrógeno, una elevada porosidad y aireación[122] .

Fotografía 1 Tierra de hoja.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Fotografía 2 Abono de borrego.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Fotografía 3 Composta
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Fotografía 4 Tierra negra.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Material mineral. Brinda de estructura física al sustrato, la cual importa para la circulación y la retención del agua y la aireación, aporta nutrientes y bases para la regulación del pH[123] . Los materiales empleados en las mezclas de sustratos fueron:

- Tierra negra. De textura fina con partículas pequeñas, que presentan mala aireación y drenaje deficiente, cuando está seca se dificulta hidratarlas, pero presenta buena retención de humedad, su pH es ácido y tiene alta capacidad de intercambio catiónico, aportando nutrientes al complejo de la fertilización de las plantas, presenta capacidad amortiguadora variable[124] .

- Dolomita. Es un carbonato doble de Calcio y Magnesio $CaMg(CO3)^2$. Se utiliza como abono sólido en los suelos para corregir los niveles de Calcio y Magnesio, neutraliza los suelos ácidos mejorando la producción de los cultivos ya actúa como regulador de pH, mejora la estructura del suelo, favorece la actividad de las bacterias y de otros microorganismos beneficiosos para la vegetación, reduce la toxicidad por presencia de aluminio[125] .

- Carbonato de calcio. Es el primordial componente de la piedra caliza, su principal uso es neutralizar la acidez del suelo y suministrar calcio para la nutrición de la vegetación[126] .

Fotografía 5 Dolomita.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Fotografía 6 Carbonato de calcio.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Fotografía 7 Agrolita.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Fotografía 8 Tepojal.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Fotografía 9 Tezontle.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Material drenante. Está constituido por materiales granulares los cuales determinan la estructura del sustrato y permite el flujo de agua y aire en él. Es sumamente importante que el sustrato cuente con un adecuado drenaje para evitar la asfixia del sistema radicular de la vegetación y la creación de microrganismos como el moho. Los materiales empleados en las mezclas de sustratos fueron:

- Agrolita o perlita. Es un mineral sílico, de origen volcánico. Proporciona buena aireación, buen drenaje, no contiene nutrientes por lo que se considera material inerte, pH neutro a ligeramente alcalino, baja capacidad de intercambio catiónico[127] . Su baja densidad aparente hace que sea susceptible de ser llevada por las corrientes de aire. Es un material frágil que se rompe con facilidad, y es propenso a que se desarrollen algas en la superficie de los contenedores[128] .
- Tepojal, jal, pumita o piedra pómez. Es un material ligero derivado de la espuma volcánica, presenta partículas de varios tamaños, porosidad interna alta, con buena retención de humedad, buena aireación y drenaje apropiado, baja densidad, poco aporte de nutrientes, pH cercano al neutro, contenido de sales solubles variable, baja capacidad amortiguadora y presenta buena estabilidad física. Es un material apropiado para aligerar el peso y mejorar el drenaje de mezclas[129] .
- Tezontle. Es un material de fácil disposición que se encuentra en grandes depósitos derivados de la actividad volcánica, puede ser de color rojo o negro, presenta partículas de varios tamaños, tiene buena aireación, la retención de humedad está en función del tamaño de la partícula, tiene buen drenaje, densidad baja, poco aporte de nutrientes, baja capacidad amortiguadora, contenido de sales variable, baja capacidad de intercambio catiónico, porosidad interna de las partículas grandes, pH ligeramente neutro, generalmente está libre de sustancias tóxicas. Tiene buena estabilidad física y densidad de media a alta[130] .

---

119 (López de Juambelz & Sainz, 2015, p. 69)
120 (Bastida Tapia, 1999, p. 17)
121 (Bastida Tapia, 1999, p. 19)
122 (Burés, 1997, p. 186)
123 (Ávila, 2011, p. 22)
124 (Bastida Tapia, 1999, p. 16)
125 (Coordinación General de Minería, 2014, p. 1,21)
126 (International Plant Nutrition Institute, 2007)
127 (Bastida Tapia, 1999, p. 22)
128 (Burés, 1997, pp. 242–243)
129 (Bastida Tapia, 1999, p. 15)
130 (Bastida Tapia, 1999, p. 15)

Figura 28 Proceso de preparación de mezclas de sustratos en sitio. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

La preparación de las mezclas de los sustratos A, B y E se realizaron en la azotea del edificio J de la Unidad de Posgrado, la Figura 28 muestra el proceso de elaboración:

1. Disposición de componentes según su proporción.
2. Integración de los materiales.
3. Obtención de una mezcla homogénea.
4. Colocación de la mezcla en los distintos módulos de prueba.

En las siguientes tablas se muestran la conductividad térmica de algunos de los materiales utilizados en las mezclas de sustratos (Tabla 9), y de la especie vegetal utilizada en el modelo experimental (Tabla 10). Estos datos deben incorporarse en los modelos matemáticos y de simulación de cálculo térmico en edificaciones que incorporen sistemas de naturación.

Material de sustrato	Conductividad térmica (W/m °C)
abono seco	0.20
abono saturado en agua	0.50
composta seca	0.35
composta saturada en agua	0.53
tierra de hoja	1.80
tierra negra	0.80
tepojal	0.12
tezontle	0.19
agrolita	0.046
carbonato de calcio	1.50
dolomita	1.56

Tabla 9 Conductividad térmica de los materiales utilizados en las mezclas de sustratos. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2016.

Especie vegetal		Conductividad térmica (W/m °C)
Nombre científico	Nombre común	
Sedum x rubrotinctum	Dedos rojos	0.063
Tradescantia pallida 'purpurea'	Niña en barco	0.077
Mesembryanthemun educe	Dedo moro	0.053
Senecio cineraria	Cenizo	0.058

Tabla 10 Conductividad térmica de los materiales utilizados en las mezclas de sustratos. Fuente: García, Ilse, 2011, pp. 86.

EXPERIMENTACIÓN DE CAMPO

Los experimentos de campo son diseños de investigación experimental que se realizan en el entorno natural de la prueba, es decir sometiéndolos a las condiciones ambientales en tiempo real, en este caso de estudio se situó al modelo experimental a las condiciones reales de un sistema de naturación de cubierta, realizándolo en la cubierta del edificio J de la Unidad de Posgrado (Figura 29).

Para monitorear las condiciones ambientales del sitio, se instaló una estación meteorológica Modelo U30, marca Onset HOBO(Fotografía 10), la cual registra los datos de temperatura y humedad relativa (sensor S-THB-M002), radiación solar (sensor S-LIB-M003), humedad de rocío (sensor S-LWA-M003), y precipitación pluvial (sensor RG3-M).

Fue necesario instalar una toma de agua en área de la cubierta, para abastecer del agua necesaria para realizar los trabajos de riego y limpieza.

Figura 29 Ubicación del modelo experimental en el edificio de la Unidad de Posgrado. Fuente: https://earth.google.com

El diseño experimental utiliza distintos modelos de prueba dependiendo la variable dependiente a analizar:

- Desempeño térmico
- Desempeño acústico

Fotografía 10 Estación meteorológica. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015

Desempeño térmico

Los sujetos de prueba para analizar el desempeño térmico del sustrato fueron obtenidos mediante la matriz generada por la relación de variables independientes (Figura 2), obteniendo 20 distintos sujetos de prueba (Figura 30), para validar el registro de los datos se realizaron cuatro repeticiones de cada uno, teniendo un total de 80 muestras.

Cada sujeto de prueba se colocó en contenedores de polipropileno reciclado, con una dimensión de 60 cm de largo, 30 cm de ancho y 4.5 cm de alto (Figura 31), dichos contenedores se utilizan comercialmente para la instalación de sistemas de naturación de cubiertas de tipo modular, cada uno cuenta con ranuras de drenaje para brindar escurrimiento hídrico.
Fue necesario incluir perimetralmente en los módulos una cita de polipropileno de 10 cm de altura que permitiera contener el espesor de 6 u 8 cm de sustrato según sea el caso de análisis. Además para evitar pérdida de partículas de sustrato por las ranuras del módulo se colocó un geotextil[131] , Pavitex Mca. Geo-Productos Mexicanos, de poliéster no tejido, punzonado (Figura 32), posteriormente se realizó el llenado de los módulos según el tipo de sustrato.

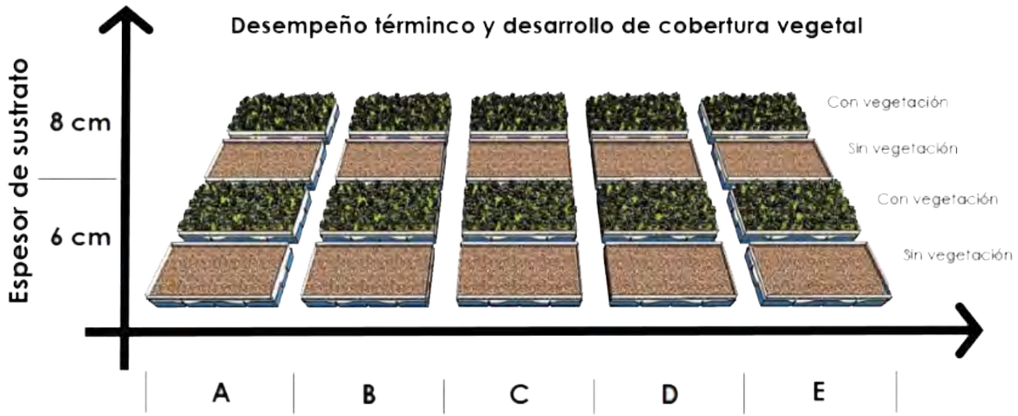


Figura 30 Matriz de sujetos de prueba para estudio del desempeño térmico. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

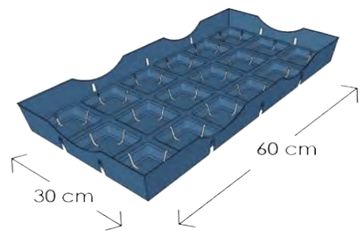


Figura 31 Esquema de contenedores.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Figura 32 Esquema de contenedor con cinta perimetral y geotextil.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

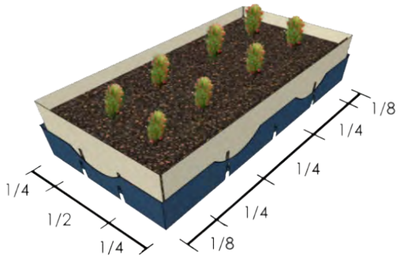


Figura 33 Esquema de distribución vegetal.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

En cada uno de los módulos con presencia de vegetación se utilizaron esquejes de la especie Sedum x rubrotinctum, siendo éstos de una talla aproximada de 8 cm de altura (Fotografía 11), su distribución se realizó siguiendo un diseño de plantación de retícula (Figura 33). Se decidió colocar 8 individuos vegetales por módulo, con la finalidad de documentar el desarrollo de la cobertura vegetal mensualmente. En los módulos de prueba se colocaron distintos sensores con la finalidad de monitorear y registrar la temperatura del sustrato en distintas posiciones, en los módulos con vegetación se utilizaron tres sensores, los cuales se ubicaron en el Lecho Alto del sustrato (L.A.), otro en el Lecho Bajo del sustrato (L.B.) y al interior del sustrato (Figura 34). En los módulos sin vegetación se colocaron dos sensores: en el Lecho Alto del sustrato (L.A.), y otro en el Lecho Bajo del sustrato (L.B.).

Los sensores utilizados son tipo Pendant Mca. Onset HOBO, modelo UA-01-64 para el registro de L.A y L.B (Fotografía 12), y sensores modelo S-TMB-M006 para el registro de temperatura interior.
El monitoreo y registro de los datos de los sensores térmicos comenzó en el mes de junio de 2015; se decidió analizar mensualmente cada sujeto de prueba y realizar análisis estadístico con los datos de las repeticiones, posteriormente comparar dichos datos entre cada tipo y espesor de sustrato, y con y sin presencia de vegetación.
Los meses con mayor interés para analizar el desempeño térmico son los que presentan los registros de la temperatura media mensual más alta y más baja del año[132] (Gráfica 1), denominándolos como el mes más cálido y el mes más frio, siendo mayo y enero respectivamente.

Fotografía 11 Esquejes Sedum x rubrotinctum.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Fotografía 12 Sensores de temperatura tipo Pendant UA-01-64. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

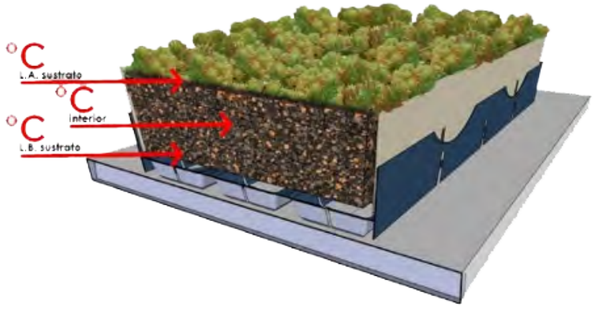


Figura 34 Distribución de sensores térmicos en módulos con vegetación. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

---
131 Los geotextiles se definen como un material textil plano, permeable y polimérico, fabricados con polímeros generalmente de origen sintético como son las poliamidas, poliésteres y las poliolefinas (polietileno y polipropileno), a base de elementos individuales ya sean fibras, filamentos o cintas, que, siguiendo diversos patrones de distribución se reúnen y entrelazan entre sí, obteniendo estructuras continuas, relativamente delgadas, porosas y permeables en forma de hojas. Son utilizados principalmente para desempeñar funciones simultaneas: separación, filtración, antipunzonamiento, drenaje, refuerzo y contención(Ballester, Castro, & Oceja, 2000, pp. 122–123).
132 (García, 2004)

Fotografía 13 Instalación del modelo experimental – junio 2015. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Además, se realizó la captura mensual de imágenes térmicas a través de captar la radiación infrarroja del espectro electromagnético (Figura 35), con el uso de una cámara termográfica Marca Testo, modelo 890, para obtener información sobre la temperatura superficial de cada módulo de prueba, logrando localizar fácilmente las diferentes zonas térmicas de acuerdo al desarrollo y cobertura vegetal.
El modelo experimental para el desempeño térmico abarca una superficie aproximada de 30 m2 de la cubierta (Fotografía 13).

Gráfica 1 Temperaturas medias mensuales Ciudad Universitaria.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

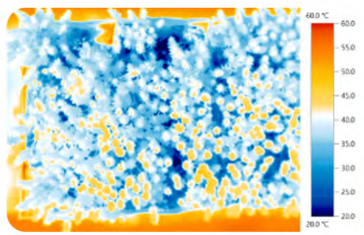


Figura 35 Imagen termográfica de un módulo de prueba.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2016.

Desempeño hídrico

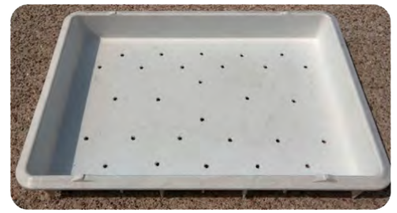
Los sujetos de prueba para analizar el desempeño hídrico del sustrato fueron obtenidos mediante la matriz generada por la relación de variables independientes: tipo de sustrato, espesor de sustrato y presencia de vegetación, generando 10 distintos sujetos de prueba (Figura 36).

Los datos a registrar en el desempeño hídrico son:

- Volumen de lluvia
- Volumen de líquido drenado del sustrato
- Volumen de líquido retenido por el sustrato

Los datos del volumen de lluvia fueron cuantificados mediante los registros del pluviómetro instalado en la estación meteorológica presente en la cubierta
Para poder contabilizar la cantidad de líquido drenado por el sustrato, fue necesario emplear distintos módulos de prueba que los utilizados para el desempeño térmico, ya que era necesario contar con un depósito para la escorrentía de cada módulo, por lo que se decidió emplear contenedores apilables en este modelo experimental (Fotografía 14).
Los contenedores son de polipropileno, con una dimensión de 60 cm de largo, 40 cm de ancho y 8.5 cm de alto. Cada sujeto de prueba se compone de dos contenedores apilados, logrando que el situado en la parte superior tenga el sistema de naturación y el inferior funcione como contenedor de la escorrentía.
En los módulos superiores fue necesario realizar una serie de perforaciones para permitir el adecuado drenado de los excedentes hídricos (Fotografía 15), y para evitar la pérdida de partículas del sustrato se utilizó el geotextil Pavitex Mca. Geo-Productos Mexicanos, de poliéster no tejido, punzonado (Fotografía 16), finalmente se colocó la capa de sustrato de acuerdo al espesor indicado (Fotografía 17).
Se utilizó el diseño de retícula para la plantación de esquejes, empleando 15 individuos vegetales por módulo (Fotografía 18).

Fotografía 14 Módulos de pruebas hídricas. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2016.



Fotografía 15 Perforación de contenedores. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2016.

Fotografía 16 Geotextil en módulos. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2016.

Figura 37 Sensor de humedad del suelo.
Fuente: http://www.onsetcomp.com

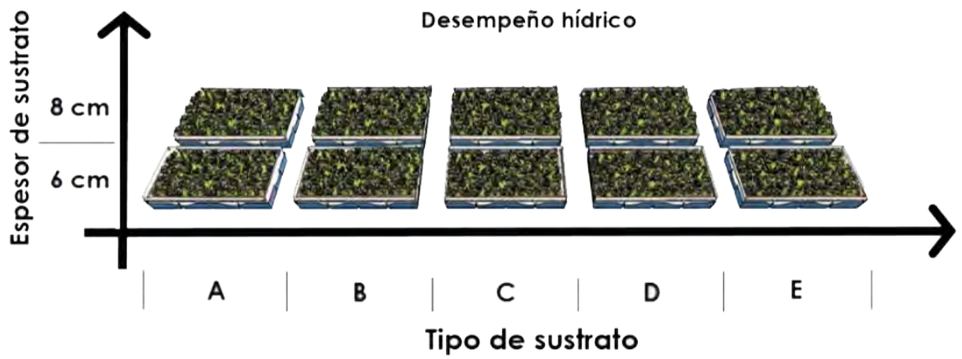
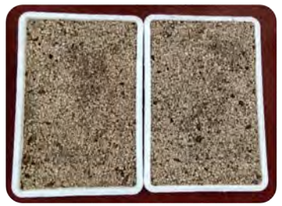
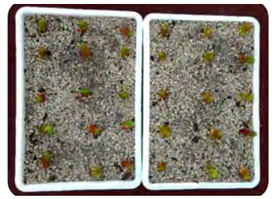


Figura 36 Matriz de sujetos de prueba para estudio del desempeño hídrico. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

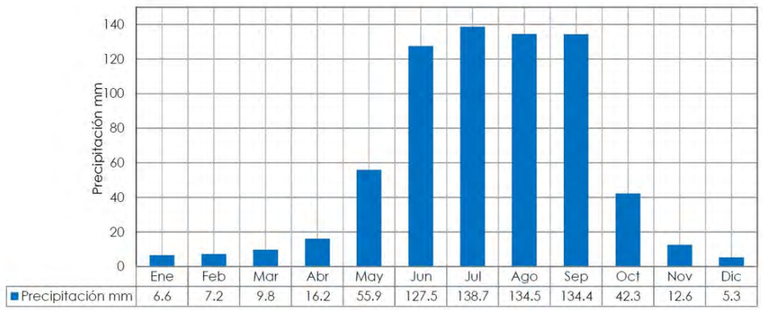
Los meses con mayor interés para analizar el desempeño hídrico son los que presentan los registros de precipitación promedio mensual más altas[133] (Gráfica 2), siendo junio, julio, agosto y septiembre, que pertenecen a la temporada de lluvias. En cada uno de los módulos de prueba con 8 cm de espesor de sustrato, se colocaron sensores de humedad Mca. Onset HOBO, modelo S-SMC-M005 (Figura 37), cuyos registros proporcionan el contenido de agua volumétrico presente en el módulo. El modelo experimental hídrico abarca una superficie aproximada de 5m^2 de la cubierta (Fotografía 19).
El líquido drenado de cada módulo se analizó en laboratorio con la finalidad de conocer los nutrimentos existentes por lixiviados (Fósforo, Sodio, Potasio y Calcio) y elementos tóxicos (arsénico, mercurio y plomo).



Fotografía 17 Llenado de módulos con sustrato.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2016..



Fotografía 18 Distribución de esquejes en los módulos.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2016.



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación mm	6.6	7.2	9.8	16.2	55.9	127.5	138.7	134.5	134.4	42.3	12.6	5.3

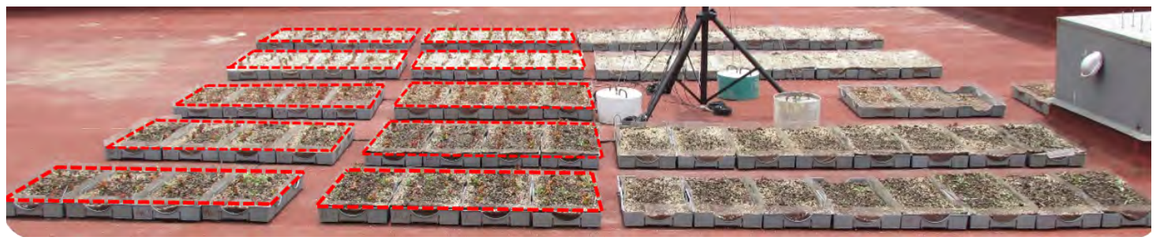
Gráfica 2 Precipitación promedio mensual. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Fotografía 19 Modelo experimental hídrico. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2016.

Cobertura vegetal

Los sujetos de prueba para analizar el desarrollo de la cobertura vegetal fueron los mismos módulos utilizados para el análisis del desempeño térmico (Figura 30). Se entiende como cobertura a la medida de la estructura de la comunidad vegetal referida al porcentaje de área ocupada por la proyección de todas las partes aéreas de las plantas[134] , sobre la superficie del suelo y se expresa como porcentaje de área de la superficie analizada. Se realizó un registro fotográfico mensual, cada fotografía abarcaba la toma de los cuatro módulos correspondientes a cada sujeto de prueba (Fotografía 20).

El desarrollo de la cobertura vegetal se analizó mediante imágenes RGB, haciendo una superposición de bandas de color para identificar la cantidad de vegetación presente en los módulos, dada en porcentaje de área. Con el registro fotográfico también se determinó la coloración de la vegetación con mayor relevancia en cada tipo de sustrato mensualmente, reportando los colores en valores RGB.



Fotografía 20 Sección de área para fotografías de análisis de cobertura vegetal. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

EXPERIMENTACIÓN DE LABORATORIO

La experimentación en laboratorio consistió en realizar la caracterización física y química de los distintos sustratos utilizados en el modelo experimental; las pruebas fueron realizadas en el Laboratorio de Conservación del Patrimonio Natural y Cultural, de la Unidad de Posgrado, UNAM; utilizando las metodologías conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, la cual establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos; y al Manual de técnicas de análisis: materiales ecológicos y constructivos[135] , manual editado por el mismo laboratorio.
Los parámetros analizados para caracterización física y química son:

- Parámetros físicos: textura, densidad real, densidad aparente, porosidad, humedad, granulometría y color.
- Parámetros químicos: pH, materia orgánica y determinación de nutrimentos.

De cada sustrato se tomaron cuatro muestras, de cada una de ellas se realizan tres pruebas para cada análisis, teniendo un total de 12 repeticiones por tipo de sustrato para su validación (Figura 38).

Preparación de las muestras

La primera actividad es la preparación de las muestras de prueba de cada uno de los sustratos; esta actividad permite homogeneizar el material, esta preparación consiste en los procesos de secado, tamizado y almacenaje.
El primer paso consiste en secar las muestras a temperatura ambiente (Fotografía 21) hasta obtener peso constante de ellas al menos por tres días consecutivos (Fotografía 22). Es primordial utilizar una bitácora de trabajo en laboratorio, donde se reportan los avances y resultados preliminares. Las pruebas requieren que el tamaño de las partículas de la muestra sea igual o menor de 2 mm, por tal motivo después de realizar el secado se procede a tamizar los sustratos, para tal trabajo se utilizó una tamizadora de ensayo W.S. Tyler, modelo RX-812 (Fotografía 23), con tamiz número. 10, cuya apertura de malla es de 2 mm, por un lapso de tiempo de 15 minutos (Fotografía 24).

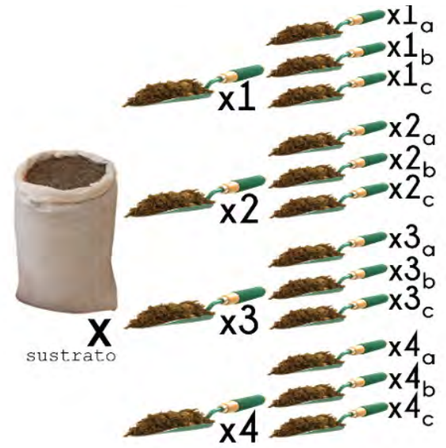
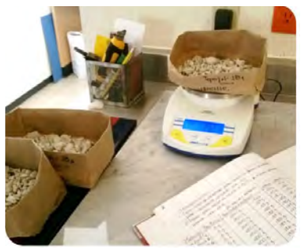


Figura 38 Esquema repeticiones de prueba por material. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015

Fotografía 21 Secado de muestras a temperatura ambiente.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.



Fotografía 22 Pesaje de muestras.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Fotografía 23 Tamizadora digital.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Fotografía 24 Muestras de sustratos tamizados.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

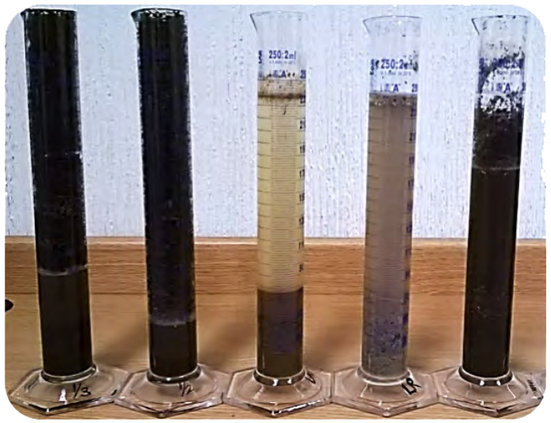
Fotografía 25 Identificación y almacenaje muestras.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

---
133 (García, 2004)
134 (López de Juambelz, 2008, p. 320)
135 (López de Juambelz & Sainz, 2015)

Parámetros físicos.

Determinación de textura. La división arbitraria del suelo en las tres fracciones según el tamaño de las partículas minerales recibe el nombre de: arenas, limos y arcillas, y en términos de su porcentaje, se le denomina textura.

El método que se utilizó para determinar la textura fue el de probeta por sedimentación (Fotografía 26), la cual consiste colocar 75g de muestra en un vaso de precipitados, humedecer la mezcla utilizando 50 ml de agua, posteriormente calentar en la parrilla eléctrica y añadir 25 ml de peróxido de hidrógeno H_2O_2 para eliminar la materia orgánica. Retirar la mezcla y agregarla a una probeta de 250 ml y adicionar agua hasta 225 ml y esperar la sedimentación de las partículas. Cuando se haya sedimentado la muestra, se procede a medir con una regla del cero de la probeta hasta donde termina la muestra, esta medida corresponde al 100% de materia, identificar en la columna de la probeta los cambios granulométricos y registrar la dimensión de cada estrato y mediante una regla de tres definir el porcentaje de cada textura, finalmente comparar los resultados con el triángulo de texturas (ver valores de referencia).



Fotografía 26 Determinación de textura - Método de probeta.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Fotografía 28 Colocación de muestras en la mufla para su secado.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015..

Determinación de densidad aparente. La densidad aparente se utiliza para calcular el peso de un volumen de sustrato, así como para el cálculo de láminas de riego y dosis de aplicación de fertilizante, abonos o mejoradores químicos. El aumento de la densidad aparente a lo largo del tiempo, se relaciona con un manejo inadecuado que ha propiciado su compactación.

Se utilizó el método de probeta para éste análisis, el cual consiste en llenar con muestra de sustrato en una probeta de 10 ml sin agitarla, después golpear la base de la probeta 10 veces, siempre realizando los movimientos con la misma fuerza e intensidad sobre la palma de la mano; posteriormente aforar la probeta hasta llegar a la marca de 10 ml y pesar la probeta aforada. Es necesario realizar este procedimiento 15 repeticiones por muestra. Finalmente se calcula la densidad aparente utilizando la siguiente fórmula:

$$DA = M/Vt$$

Donde:

M = masa de muestra = (peso (probeta+suelo))
Vt = volumen total = 10 ml = 10 cm3
DA = Densidad Aparente

Determinación de densidad real. La densidad real sirve para inferir la naturaleza química de las partículas sólidas (minerales u orgánicas) más abundantes en el suelo. También se le utiliza, junto con la densidad aparente para el cálculo del % de espacio poroso (% E.P.). La técnica utilizada fue la de probeta aforada (Fotografía 27), la cual consiste en registrar el peso de un matraz aforado limpio y seco, posteriormente agregar 5g de muestra y registrar de nuevo el peso (Pms), agregar agua destilada hasta la mitad del volumen del matraz, agitarlo suavemente y colocarlo en el desecador, posteriormente generar vacío durante 15 min para eliminar el aire retenido en el sustrato, la succión se debe hacer poco a poco para evitar la formación de espuma. Se deja reposar la muestra por 30 min y se elimina el vacío lentamente, posteriormente aforar el matraz con agua destilada fría, y volver a pesar (Psa). Es necesario registrar la temperatura de la suspensión. Después se proceder a vaciar el matraz, enjuagarlo perfectamente y llenarlo hasta aforo con agua destilada y registrar su peso (Pma) además tomar y registrar la temperatura.

Por último se realiza el cálculo utilizando los resultados optenidos:

(1) Ps = Pms-Pm
(2) Vs = ((Pma-Pm)/pw)-((Psa-Pms)/pw))
(3) DR = Ps/Vs

Donde:

Pm = peso de matraz
Psa = peso de matraz + suelo + agua destilada –aire
Pma = peso matraz + agua
Pw = densidad del agua (Según valores de referencia)

Determinación del % de espacio poroso. Por medio del valor del % E.P. se pueden inferir las condiciones hídricas y de aireación del suelo, los datos se obtuvieron matemáticamente de acuerdo a los resultados obtenidos de densidad aparente y densidad real, siguiendo la siguiente fórmula:

$$\%\ E.P. = 100\ \left(1 - \frac{D_{ap}}{D_{real}}\right)$$

Donde:

Dap = densidad aparente
Dreal = densidad real
%E.P. = % espacio poroso

Fotografía 27 Determinación densidad real - Método de probeta. Fuente: García, I. México, 2015.

Fotografía 31 Tabla Munsell.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015..

Determinación de humedad. El método utilizado fue el gravimétrico por pérdida de peso, para determinar únicamente la cantidad de agua de los sustratos, medida en función del porcentaje de agua que retienen. La humedad del sustrato se calcula por la diferencia de peso entre una misma muestra, y después de haber sido secada en la mufla a una temperatura de 50°C por un tiempo de 15 horas (Fotografía 28).

Determinación de granulometría. Utilizando cinco diferentes cribas en el proceso de tamizaje (Fotografía 29), del número 6 (3.35mm), 10 (2.00mm), 18 (1.00mm), 20 (0.85 mm) y 25 (0.71mm). Se pudo conocer la composición granulométrica de los sustratos, determinando porcentualmente la cantidad de partículas de distintos tamaños en cada muestra.

Además, con un microscopio estereoscópico, marca Motic, serie SMZ-171 (Fotografía 40), se capturaron imágenes de los distintos tamaños de partículas de cada sustrato, para observar sus cualidades físicas (tamaño, forma, porosidad, color, etc.).

Determinación de color. La determinación se realiza mediante la comparación del color de la muestra contra la tabla. La observación se realiza con el suelo en seco. El color de la muestra corresponde al color dominante, cuando este es mayor al 50% solo ese se identifica, pero cuando ninguno llega a ese porcentaje se determinan todos los que se observan, en orden descendente. El color en la Tabla Munsell se define de acuerdo a tres parámetros que conforma la apreciación del color:

- Matiz (Hue): es el color dominante del espectro electromagnético relacionado con la longitud de onda de la luz que domina.
- Claridad (Value): Se refiere a la claridad del matiz y es inversamente proporcional al valor del 2.5 al 8 donde el menor valor es más oscuro.
- Pureza (Chroma): Es la pureza con la que se expresa el color. Los valores menores son los grises y los mayores se acercan al color puro.

Fotografía 30 Captura de imágenes con el microscopio estereoscópico.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Para el análisis se toman pequeñas cantidades de suelo seco y se colocan en la placa de porcelana, sobre ellas se colocar la tabla de Munsell, recorriendo las páginas hasta que se considere una mayor similitud entre el color que presenta la muestra y el color de las tarjetas, hasta encontrar el color que más se parezca. Una vez ubicado el color se procede a registrar el valor del Hue, el cual se encuentra en la parte superior derecha de la página, asimismo, registrar el Value ubicado en el eje vertical de la página y la Chroma ubicado en el eje horizontal de la página.

Fotografía 26 Determinación de textura - Método de probeta.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Fotografía 32 Uso del potenciómetro. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Fotografía 33 Proceso de la determinación de materia orgánica vía húmeda. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015..

Fotografía 34 Proceso de la determinación de materia orgánica vía seca. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Fotografía 35 Imágenes de muestras, curva patrón y colorímetro. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Parámetros químicos.

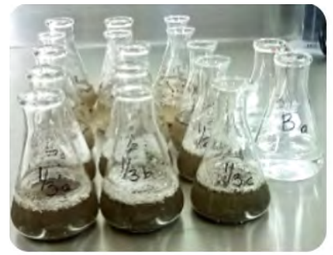
Determinación de pH. La determinación de pH se realizó con el método electroquímico, empleando un potenciómetro Marca Hanna instruments, modelo HI 2211, con electrodo de vidrio en combinación con electrodo de referencia térmica, presentando al sustrato en forma de suspensión creada de su disolución en agua proporción 1:2 (Fotografía 32).

Determinación de materia orgánica. Se utilizaron dos metodologías para la determinación de materia orgánica:

- Vía húmeda. Método de Walkley y Black
- Vía seca. Método por ignición

La técnica vía húmeda (Walkley y Black), consiste en oxidar una porción de la muestra con dicromato de potasio en H_2SO_4, utilizando el calor exotérmico del ácido; posteriormente el exceso de dicromato se titula con una solución de sulfato de amonio ferroso, usando difenilamina como indicador en presencia para calcular el porcentaje de material perdido por oxidación (Fotografía 33).

El método por ignición comprende el registro de la pérdida de peso de la muestra después de realizar una combustión seca del material orgánico; el procedimiento consistió en llevar a la muestra a una temperatura de 550°C en la mufla marca Felisa, modelo FE-340, por un lapso de 4 horas, enfriarlo en un desecador y reportar el pesado nuevamente (Fotografía 34), la diferencia de peso se empleó para calcular el porcentaje de material perdido



Fotografía 36 Imágenes de extracciones y uso del flamofotómetro. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Fotografía 37 Equipo Kjeltec y Kjeldahl para la determinación de nitrógeno. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.

Determinación de nutrientes

Fósforo. Determinación por el método de colorimetría, el cual se basa en la formación de una molécula compleja, ácido fosfomolibdico, lo cual ocurre cuando el reactivo de molibdato ácido reacciona con la solución que contiene ortofosfato, ocurre la reducción compleja dando como resultado el característico color azul del molibdeno (Fotografía 35).

Sodio, Potasio, Calcio. Se determinaron por el método de Fotoflamometría, utilizando extracciones de la muestra, y seleccionando el filtro correspondiente en el equipo fotoflamometro (Fotografía 36), calibrando el equipo a 0 con el blanco y aspirar las soluciones de las muestras y determinar los valores de absorbancia de la curva patrón. Registrar el valor de absorbancia de la muestra de análisis. Finalmente convertir los valores de absorbancia de las muestras a concentración del elemento mediante la curva patrón.

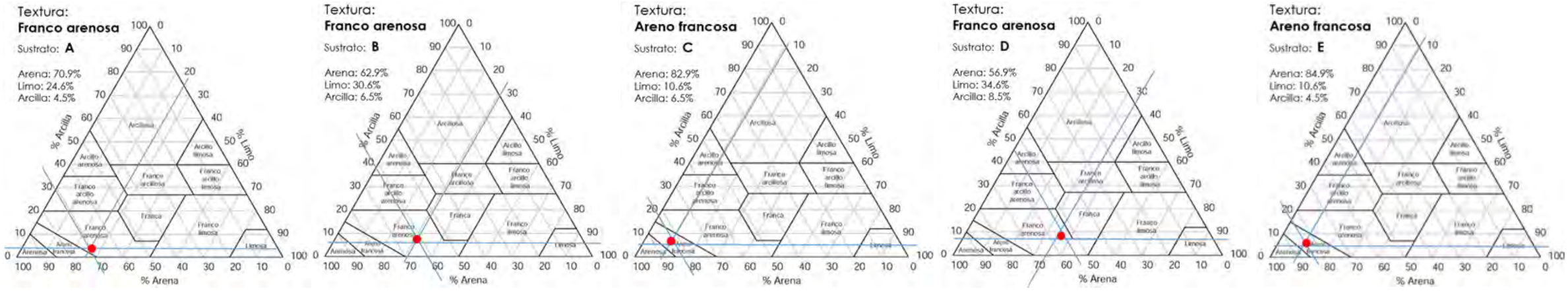
Nitrógeno. La metodología utilizada fue Kjeldahl, a base de digestiones a base de catalizador de cobre a una temperatura de 420°C hasta la desintegración de la materia, para proceder a titular la digestión hasta el cambio de color de las muestras.

CAPÍTULO 6. RESULTADOS

EXPERIMENTACIÓN DE LABORATORIO

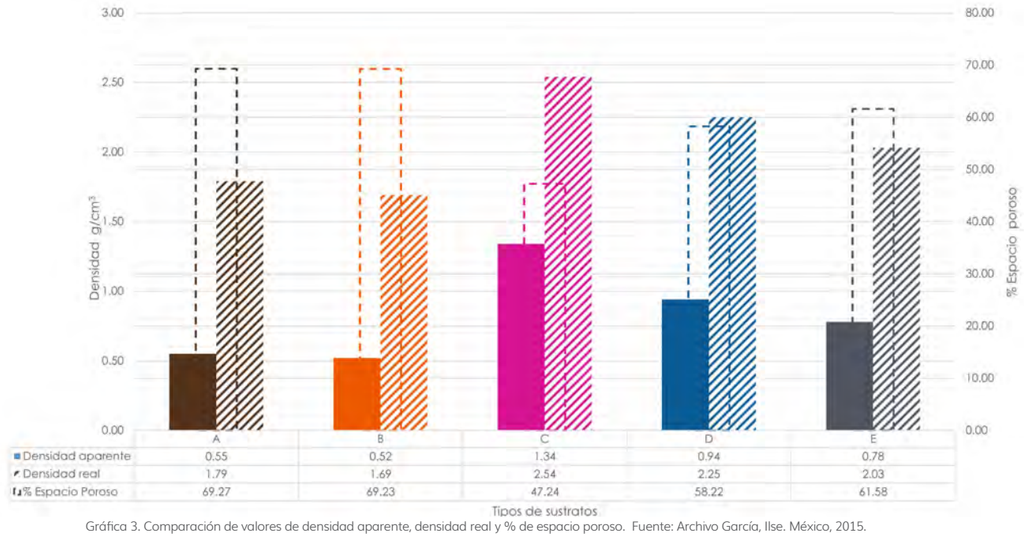
Características físicas

Determinación de Textura

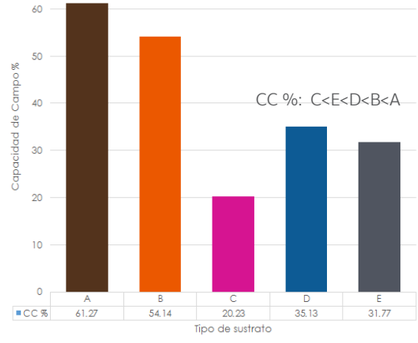


Determinación de densidad aparente, densidad real y espacio poroso.

Los resultados se muestran en la gráfica 3, la densidad aparente con barras de color, la densidad real con barras con relleno de líneas, y el porcentaje de espacio poroso con barras de líneas discontinuas, se observa que el sustrato A es el que cuenta con mayor porcentaje de espacio poroso (69.27%), mientras que el sustrato C registrar el porcentaje más bajo (47.27 %).



Gráfica 3. Comparación de valores de densidad aparente, densidad real y % de espacio poroso. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2015.



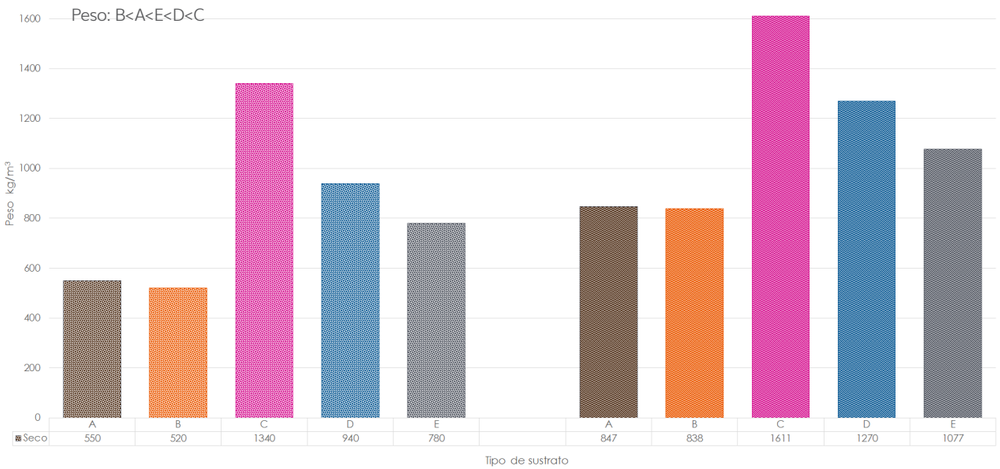
Gráfica 4 Capacidad de campo registrado en porcentaje. Fuente: García, I. México, 2015..

Determinación de capacidad de campo %

La Gráfica 4 registra la capacidad de campo de los cinco sustratos. La mayor retención se registra en el sustrato A con un 61.25%, seguida del sustrato B con un 54.14%; la menor retención se observa en el sustrato C con 20.23%.

Determinación de peso volumétrico kg/m³

La Gráfica 5 registra el peso volumétrico de los cinco sustratos en estado seco y estado húmedo. El sustrato B es el más ligero con un peso en seco de 520 kg/m³ y de 838 kg/m³ húmedo; el de mayor peso se registra en el sustrato C con 1340 kg/m³ en seco y 1611 kg/m³ húmedo. En estado seco el sustrato C es 2.57 veces más pesado que el sustrato B; y en estado húmedo 1.92 veces.



Gráfica 5 Peso volumétrico de los tipos de sustratos en estado seco y húmedo. Fuente: García, I. México, 2015.

Análisis granulométrico

La comparación de la composición granulométrica de los sustratos se observa en la gráfica 6, la cual revela el porcentaje de partículas en sus distintos tamaños, de ahí se generan premisas en cuanto al desempeño de cada sustrato en cuanto a drenaje y circulación de aire, relacionadas con las partículas mayores y cantidad de nutrimentos basados en las partículas menores.

La Figura 39 muestra las imágenes de los distintos tamaños de partículas de los sustratos A, B y D, abono de borrego, tepojal y tierra negra, con un rango de ampliación de 1X. Las imágenes permiten conocer qué materiales tienen mayor presencia en cada sección de tamaño de partículas, además revelan sus características más notables de cada una.

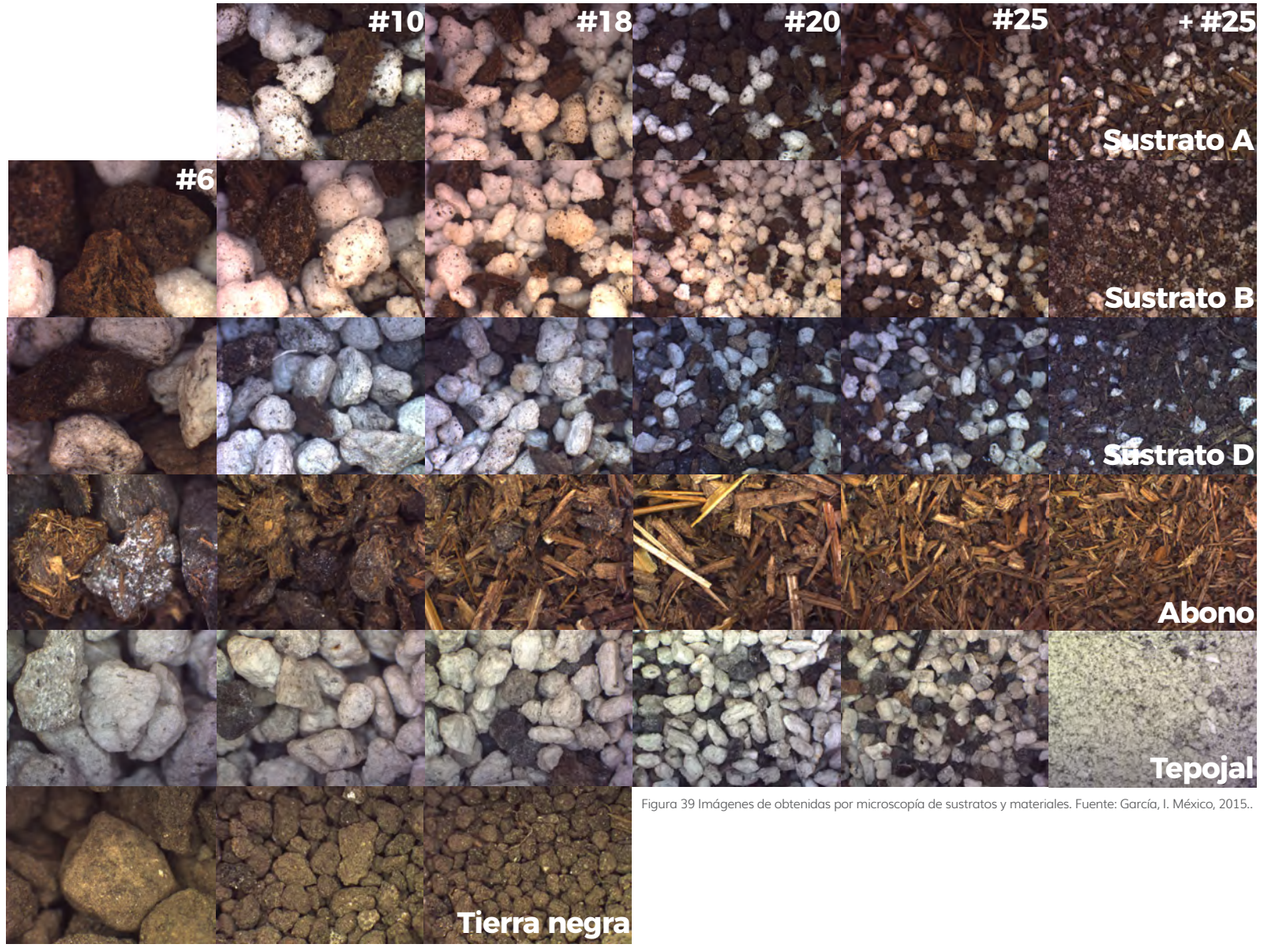


Figura 39 Imágenes de obtenidas por microscopía de sustratos y materiales. Fuente: García, I. México, 2015..

	> #6	# 6	#10	# 18	# 20	# 25
A	18.82	30.65	14.52	3.76	3.23	29.03
B	16.31	15.60	19.86	6.38	4.26	37.59
C	28.92	19.06	20.85	5.16	4.04	21.97
D	17.09	24.73	22.91	6.91	5.09	23.27
E	22.48	26.51	24.50	4.70	3.36	18.46

Gráfica 6. Porcentaje de partículas según su granulometría. Fuente: García, I. México, 2015.

EXPERIMENTACIÓN DE LABORATORIO

Características químicas

Determinación de pH.

pH. Los valores registrados de pH son los siguientes: el sustrato B se denomina ácido, mientras que el tipo A y C se encuentran dentro del rango de ligeramente ácidos, y el tipo D y E como ligeramente alcalinos (Gráfica 7), todos se ubican dentro de los límites necesarios para el correcto desarrollo de la vegetación[136]. La Norma Ambiental NADF-013-RNAT-2007, recomienda que el pH de los sustratos en los sistemas de naturación sea alcalino. LaTabla 11 muestra los niveles de clasificación de pH.

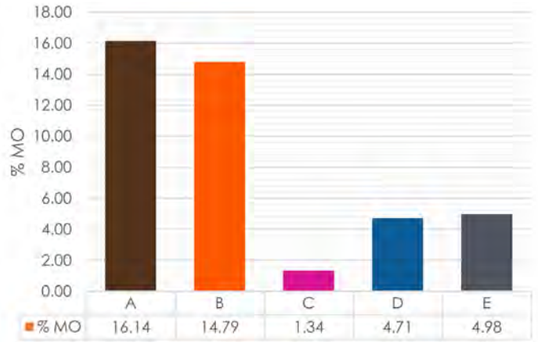
Gráfica 7. Niveles de pH de los sustratos.
Fuente: García, I. México, 2015.

Clasificación	pH
Excesivamente ácido	< 4.0
Fuertemente ácido	4.1 - 5.0
Ácido	5.1 - 6.5
Ligeramente ácido	6.6 - 7.0
Ligeramente alcalino	7.1 - 7.3
Moderadamente alcalino	7.4 - 7.6
Fuertemente alcalino	7.7 - 8.5
Muy alcalino	> 8.5

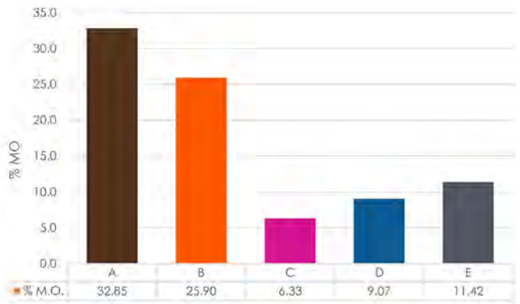
Tabla 11 Interpretación niveles de pH. Fuente: Archivo García, 2015, con datos de NOM- 021 Semarnat, 2002.

Determinación de materia orgánica

La Gráfica 8 muestra los resultados obtenidos utilizando el método Walkley y Black, donde los sustratos A, B, D y E se clasifican con un %MO "rico", mientras que el sustrato C cuenta con presencia "medianamente pobre". La Gráfica 9 muestra los resultados obtenidos utilizando el método ignición, en donde se observa la misma tendencia que en los resultados obtenidos en la técnica vía húmeda.



Gráfica 8. Valores de %M.O. – método Walkley y Black.
Fuente: García, I. México, 2015.



Gráfica 8. Valores de %M.O. – método ignición.
Fuente: García, I. México, 2015.

Interpretación Método Walkley-Black	% Materia orgánica
Extremadamente pobre	Menor a 0.60
Pobre	0.60 - 1.20
Medianamente pobre	1.21 - 1.80
Mediano	1.81 - 2.40
Medianamente rico	2.41 - 3.00
Rico	3.01 - 4.20
Extremadamente rico	Mayor a 4.21

Tabla 13 Interpretación MO % Walkley-Black. Fuente: Archivo García, 2015, con datos de NOM- 021 Semarnat, 2002.

Interpretación	% Materia orgánica	
Método Ignición	Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
Muy bajo	Menor a 4.0	Menor a 0.5
Bajo	4.1 - 6.0	0.6 - 1.5
Medio	6.1 - 10.9	1.6 - 3.5
Alto	11.0 - 16.0	3.6 - 6.0
Muy alto	Mayor a 16.1	Mayor a 6.0

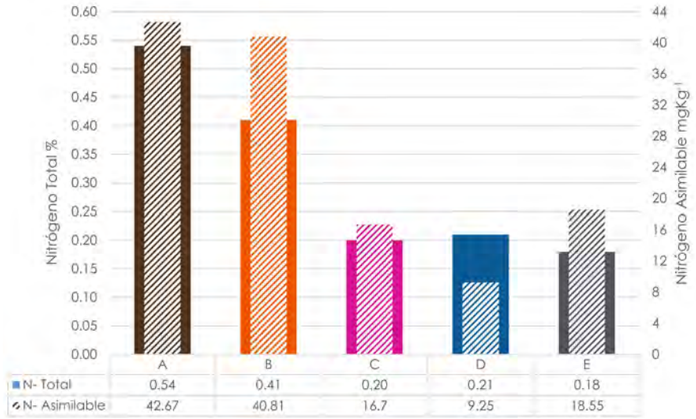
Tabla 12 Interpretación MO % Walkley-Black.
Fuente: Archivo García, 2015, con datos de Sainz, 2015.

Determinación de nutrimentos

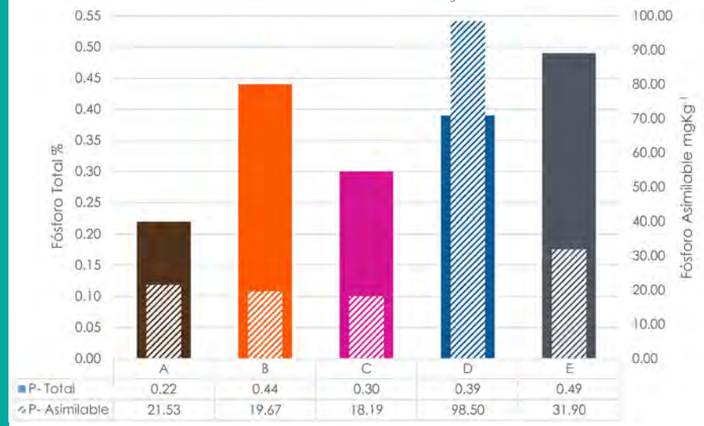
Las gráficas de nutrimentos registran los valores del elemento en concentración total y asimilable, la Gráfica 10 muestra los resultados de la determinación de nitrógeno, la Gráfica 11 de fósforo, la Gráfica 12 de Sodio, la Gráfica 12 de potasio, la Gráfica 14 de calciol La Tabla 14 indica la interpretación de los niveles de cada elemento.

Interpretación	Nitrógeno ppm	Fósforo ppm	Sodio ppm	Potasio ppm	Calcio ppm
Bajo	< 20	< 20	< 92	< 175	< 1000
Adecuado	20 -41	20 - 40	92 - 391	175 - 280	1000 - 2000
Alto	41 - 75	40 - 100	> 391	280 - 800	> 2000
Exceso	> 75	> 100		> 800	

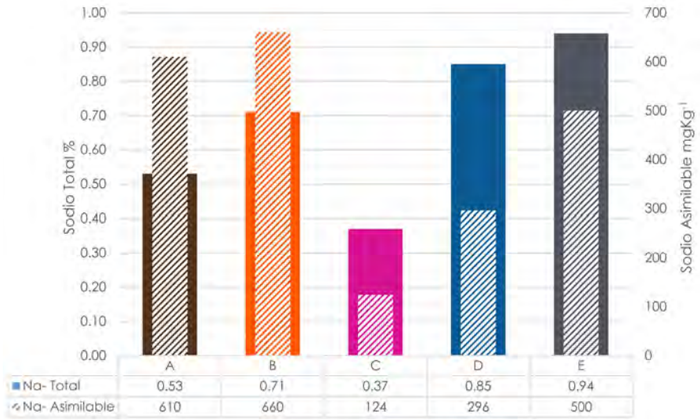
Tabla 14 Interpretación valores de nutrimentos. Fuente: Archivo García, 2015 con datos de SMART! Software de gestión de fertilizantes.



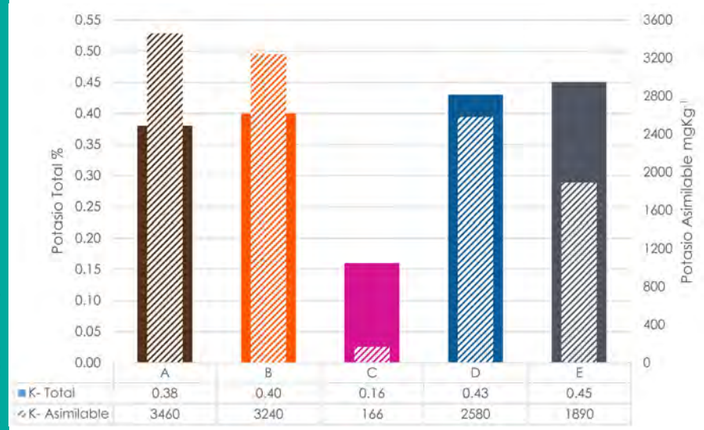
Gráfica 10 Determinación de Nitrógeno total y asimilable.
Fuente: García, I. México, 2015.



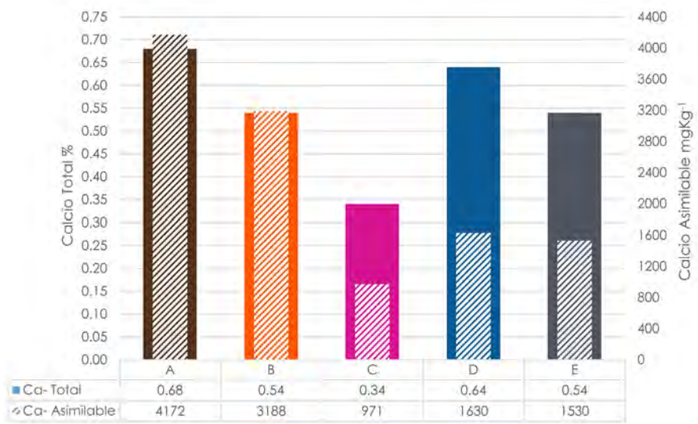
Gráfica 11 Determinación de Fósforo total y asimilable.
Fuente: García, I. México, 2015.



Gráfica 12 Determinación de Sodio total y asimilable.
Fuente: García, I. México, 2015.



Gráfica 13 Determinación de Potasio total y asimilable.
Fuente: García, I. México, 2015.



Gráfica 14 Determinación de Calcio total y asimilable.
Fuente: García, I. México, 2015.

136 (Bastida Tapia, 1999)

EXPERIMENTACIÓN DE LABORATORIO

Descripción de sustratos

A

- pH. Es prácticamente neutro, el sustrato está en una condición ideal para el mejor desarrollo y crecimiento de vegetación.
- Materia Orgánica (%MO). El nivel de materia orgánica es muy alto. Esto explica la gran capacidad de intercambio catiónico y la retención de humedad.
- Macronutrimentos. Este sustrato tiene un nivel alto de nitrógeno, adecuado de fósforo. El resto de los macronutrimentos se encuentran en alta concentración.
- Densidad y espacio poroso. La densidad aparente es ligeramente alta, la densidad real es adecuada. Con base en las densidades, se tiene un espacio poroso de alrededor del 69% lo cual es aceptable.

B

- pH. El pH de este sustrato es prácticamente neutro, el sustrato está en una condición ideal para el mejor desarrollo y crecimiento de vegetación.
- Materia Orgánica (%MO). El nivel de materia orgánica es muy alto, teniendo una gran capacidad de intercambio catiónico y la retención de humedad.
- Macronutrimentos. Este sustrato tiene un nivel adecuado de nitrógeno y bajo fósforo. El resto de los macronutrimentos se encuentran en alta concentración.
- Densidad y espacio poroso. La densidad aparente es ligeramente alta, la densidad real es adecuada. Con base en las densidades, se tiene un espacio poroso de alrededor del 69% lo cual es aceptable.

C

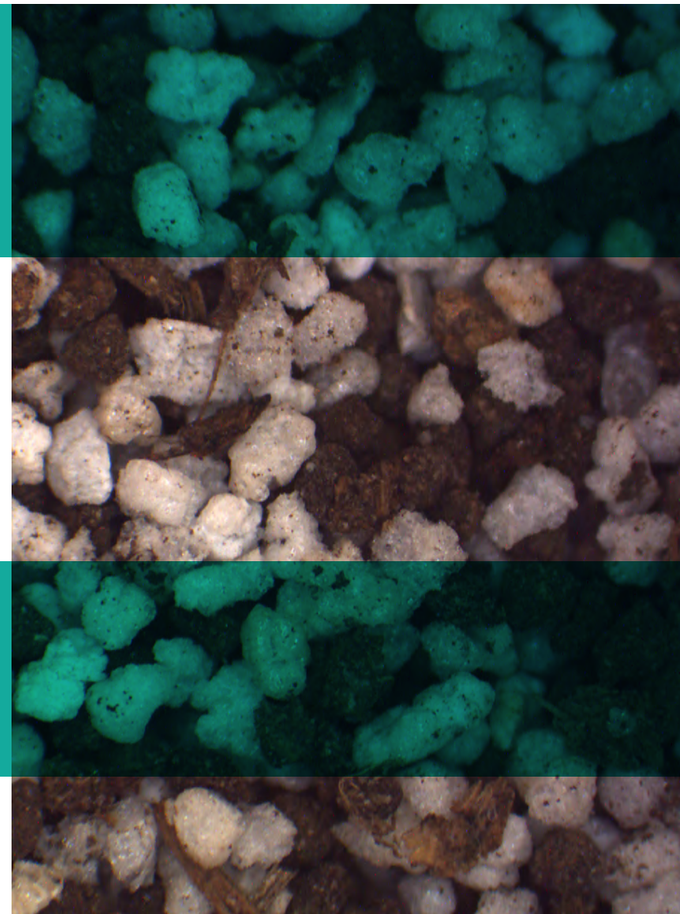
- pH. El pH de este sustrato es prácticamente neutro.
- Materia Orgánica (%MO). El nivel de materia orgánica es medianamente pobre, se tiene una baja capacidad de intercambio catiónico y muy baja retención de humedad.
- Macronutrimentos. Este sustrato tiene un nivel bajo de nitrógeno, fósforo, potasio, y calcio. Es necesario elevar el nivel de todos los macronutrimentos, para aspirar a mejor crecimiento vegetal.
- Densidad y espacio poroso. La densidad aparente es muy alta, lo cual corresponde con la textura areno-francosa. La densidad real es alta. Con base en las densidades, se tiene un espacio poroso de alrededor del 47%, el más bajo de todos.

D

- pH. El nivel de pH de este sustrato es ligeramente alcalino, se sugiere bajar el pH hasta 6.5, con el propósito de disminuir o eliminar carbonatos para mantener una adecuada solubilidad de nutrimentos, en el modelo experimental en la temporada de lluvias se observó la formación de costras en la superficie del sustrato.
- Materia orgánica (%MO). El nivel de materia orgánica es alto y baja retención de humedad.
- Macronutrimentos. Este sustrato tiene un nivel bajo de nitrógeno por lo que es necesario elevar el nivel; registra un exceso en fósforo y potasio, lo cual puede causar problemas directos a la planta o disminuir la absorción de micronutrimentos como hierro o magnesio. El resto de los macronutrimentos se encuentran adecuada concentración.
- Densidad y espacio poroso. La densidad aparente es relativamente alta, la densidad real es adecuada. Con base en las densidades, se tiene un espacio poroso de alrededor del 58% lo cual es relativamente bajo.

E

- pH. El pH de este sustrato es ligeramente alcalino.
- Materia orgánica (%MO). El nivel de materia orgánica es alto, se encuentra en el nivel medio comparado con los otros sustratos y baja retención de humedad.
- Macronutrimentos. Este sustrato tiene un nivel bajo de nitrógeno, adecuado de fósforo y calcio, y alto de sodio potasio.
- Densidad y espacio poroso. La densidad aparente es relativamente alta, la densidad real es normal. Con base en las densidades, se tiene un espacio poroso de alrededor del 62% lo cual es aceptable.



EXPERIMENTACIÓN DE CAMPO

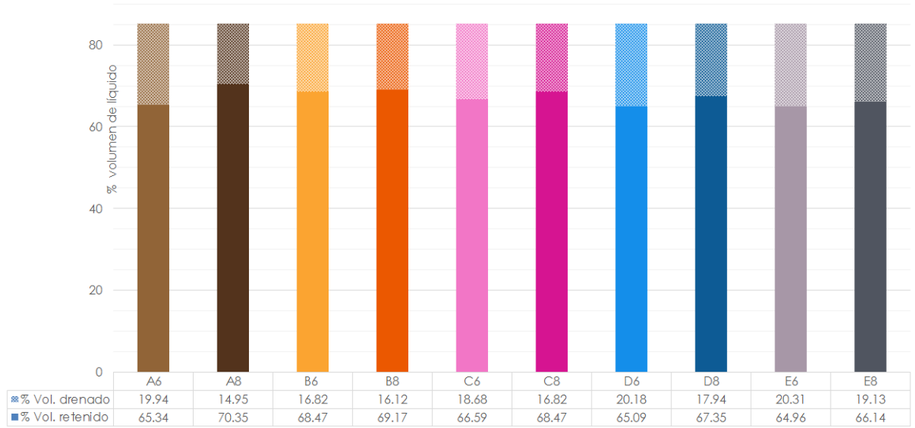
Desempeño hídrico

Retención hídrica

Se registró la cantidad de lluvia total en el periodo del 15 al 18 de septiembre de 2016, la cual fue de 53.5 litros por área de módulo, que corresponde a 0.24 m^2. Los datos analizados se muestran en la Tabla 15, tomando como constante de evapotranspiración un 15%[137] del volumen total de lluvia. La gráfica 15 muestra los porcentajes de líquido drenado y retenido de cada módulo de prueba, la menor retención hídrica fue registrada en el sustrato E6 con 34.63 litros equivalente al 64.96% del volumen total de precipitación, y la máxima retención por el sustrato A8 con 37.50 litros siendo un 70.35%.

---

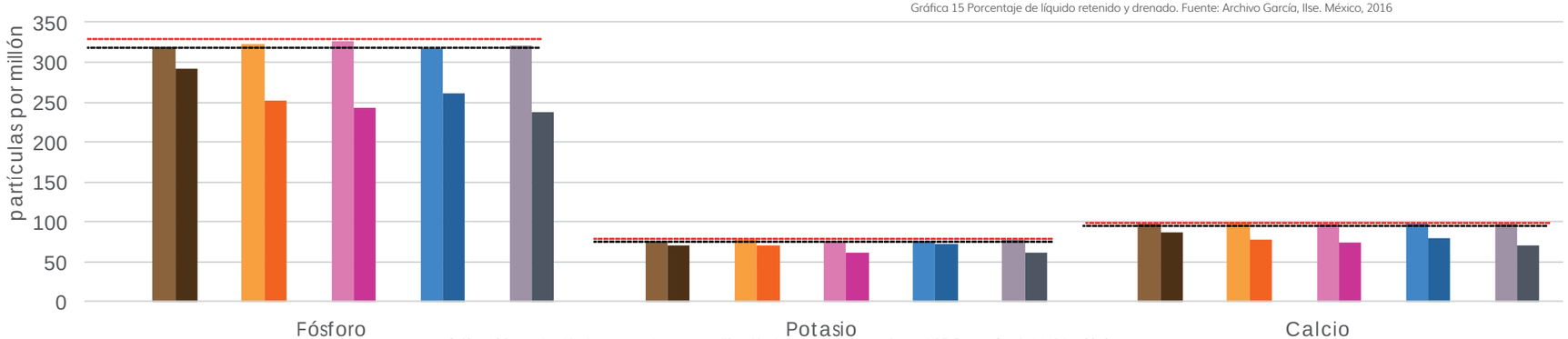
137 (Scholz, 2001)
138 (Bruker AXS GmbH., 2015)



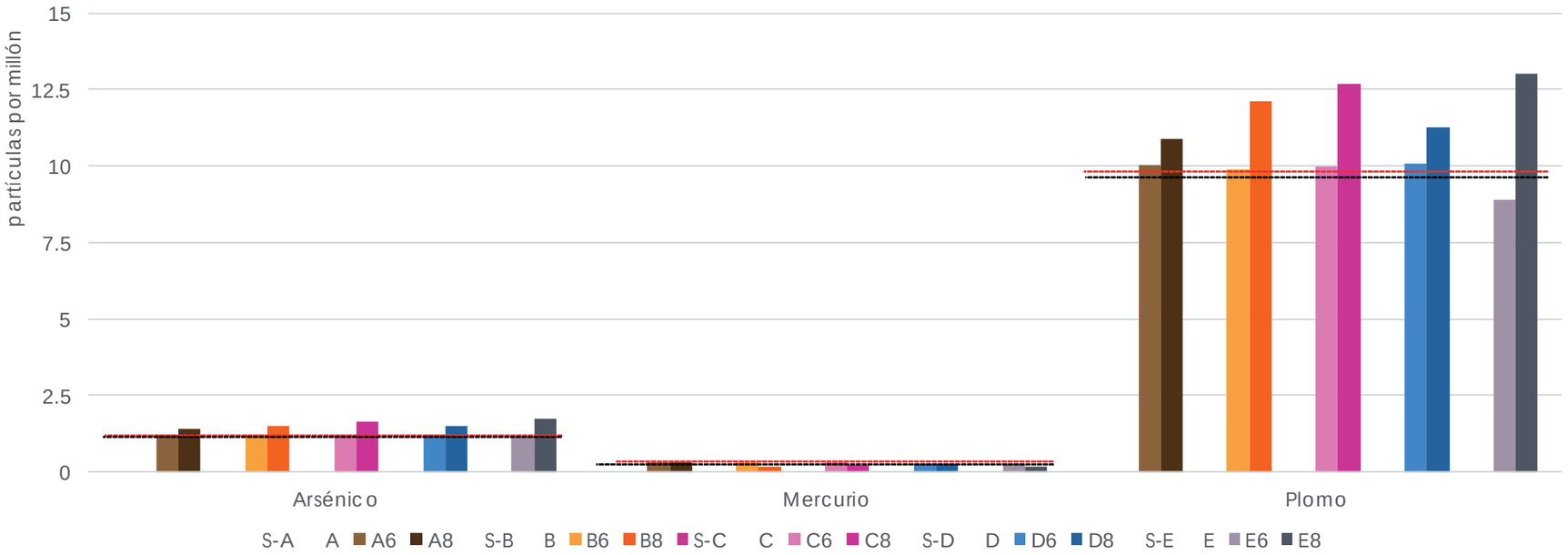
Gráfica 15 Porcentaje de líquido retenido y drenado. Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2016

Sustrato	Litros drenados	% volumen drenado	litros retenidos	% volumen retenido
A6	10.67	19.94	34.83	65.34
A8	8.00	14.95	37.50	70.35
B6	9.00	16.82	36.50	68.47
B8	8.63	16.12	36.87	69.17
C6	10.00	18.68	35.50	66.59
C8	9.00	16.82	36.50	68.47
D6	10.80	20.18	34.70	65.09
D8	9.60	17.94	35.90	67.35
E6	10.87	20.31	34.63	64.96
E8	10.24	19.13	35.26	66.14

Tabla 15 Cuantificación hídrica.
Fuente: Archivo García, Ilse. México, 2016..



Gráfica 16 Determinación de macronutrimentos por difracción de rayos X con espectrómetro XRF. Fuente: García, I. México, 2016.



Gráfica 17 Determinación de la presencia de elementos tóxicos por difracción de rayos X con espectrómetro XRF en sustratos. Fuente: García, I. México, 2016.

Análisis por difracción de rayos X.

Utilizando un espectrómetro portátil XRF, modelo S1 TITAN, marca Bruker[138], se determinó la presencia contabilizada de macronutrimentos (Gráfica 16); y de elementos tóxicos (Gráfica 17), en las muestras de los cinco sustratos en estado seco (S-A, S-B, S-C, S-D, S-E), en el líquido drenado obtenido de un riego de control con agua destilada sobre las muestras de sustratos en laboratorio (A, B, C, D, E) y del líquido drenado de lluvia de los módulos de prueba con los dos espesores de cada sustrato (A6, A8, B6, B8, C6, C8, D6, D8, E6, E8).

La Gráfica 16 muestra el contenido en partes por millón ppm de tres macronutrimentos que reportaron mayor cantidad en las muestras: sodio, potasio y calcio. La línea discontinúa de color rojo en las gráficas indica la cantidad de ppm de cada elemento presente en el agua de lluvia, y la línea discontinua de color negro en el agua destilada, como se observa no existe gran diferencia entre ellas. La cantidad de los macronutrimentos en los sustratos en estado seco (S-A, S-B, S-C, S-D, S-E), es elevada, mayor que los reportados en los líquidos drenados. Los registros de ppm de los líquidos drenados tanto por riego controlado con agua destilada y el drenado de lluvia son menores que los registros del agua de lluvia y agua destilada (líneas discontinuas roja y negra), lo que indica que los sustratos actúan como un filtro natural, reteniendo una porción de los elementos contenidos en el agua destilada y de lluvia y de los propios en cada mezcla de sustrato; dicha capacidad de retención aumenta con mayor espesor del sustrato, las barras de color obscuro son menores que las de color claro.

En la Gráfica 17 se observan los resultados de la presencia de elemento tóxicos, el análisis indica que en las muestras de los sustratos en estadio seco la cantidad de arsénico y mercurio no superan las 5 ppm, y de plomo 20.5 ppm. La cantidad de estos elementos en los líquidos drenados son menores considerablemente a los de estado seco, en arsénico no superan 1.75 ppm, en mercurio 0.36 ppm y en plomo 13.02 ppm, pero si son un poco mayores que los registrados de agua destilada y de lluvia, por lo que el sustrato libera estos elementos en una cantidad muy pequeña comparada con presente en el propio sustrato y la agregada por riego y lluvia.

EXPERIMENTACIÓN DE LABORATORIO

Fichas de sustratos

Sustrato A

Característica	Valor	Unidad	Interpretación
Textura			**Franco-arenosa**
D-aparente	0.55	t/m^3	Ligeramente alta **densidad aparente**
D-real	1.79	t/m^3	Adecuada **densidad real**
Espacio poroso	69.27	%	Aceptable **espacio poroso**
Capacidad campo	61.27	%	Adecuada **capacidad de humedad**
Color	10YR 3/2	Munsell	Gris muy oscuro
pH	6.61	pH	Sustrato **ligeramente ácido**
MO			
M. Walkley y Black	15.20	%	Muy rico en **materia orgánica**
M. ignición	32.85	%	Muy rico en **materia orgánica**
N-total	0.54	%	
N-inorg	42.67	mg/kg	Alto en **nitrógeno** inorgánico
P-total	0.22	%	
P-asim.	21.53	mg/kg	Adecuado en **fósforo** "asimilable"
K-total	0.38	%	
K-asim,	3460	mg/kg	Exceso en **potasio** "aprovechable"
Ca-total	0.68	%	
Ca-asim	4172	mg/kg	Alto en **calcio** "aprovechable"
Na-total	0.53	%	
Na-asim	610	mg/kg	Alto en **sodio** "intercambiable"

Sustrato B

Característica	Valor	Unidad	Interpretación
Textura			**Franco-arenosa**
D-aparente	0.52	t/m^3	Ligeramente alta **densidad aparente**
D-real	1.69	t/m^3	Adecuada **densidad real**
Espacio poroso	69.23	%	Aceptable **espacio poroso**
Capacidad campo	54.14	%	Adecuada **retención de humedad**
Color	10YR 4/1	Munsell	Gris oscuro
pH	6.55	pH	Sustrato **ácido**
MO			
M. Walkley y Black	14.79	%	Muy rico en **materia orgánica**
M. ignición	25.90	%	Muy rico en **materia orgánica**
N-total	0.41	%	
N-inorg	40.81	mg/kg	Adecuado en **nitrógeno** inorgánico
P-total	0.44	%	
P-asim.	19.67	mg/kg	Bajo en **fósforo** "asimilable"
K-total	0.40	%	
K-asim,	3240	mg/kg	Exceso en **potasio** "aprovechable"
Ca-total	0.54	%	
Ca-asim	3188	mg/kg	Alto en **calcio** "aprovechable"
Na-total	0.71	%	
Na-asim	660	mg/kg	Alto en **sodio** "intercambiable"

Sustrato C

Característica	Valor	Unidad	Interpretación
Textura			**Areno-francosa**
D-aparente	1.34	t/m^3	Muy alta **densidad aparente**
D-real	2.54	t/m^3	Alta **densidad real**
Espacio poroso	47.24	%	Bajo **espacio poroso**
Capacidad campo	20.23	%	Muy baja **retención de humedad**
Color	10YR 4/2	Munsell	Café grisaseo oscuro
pH	6.82	pH	Sustrato **ligeramente ácido**
MO			
M. Walkley y Black	1.34	%	Pobre en **materia orgánica**
M. ignición	6.33	%	Medio en **materia orgánica**
N-total	0.20	%	
N-inorg	16.70	mg/kg	Bajo en **nitrógeno** inorgánico
P-total	0.30	%	
P-asim.	18.19	mg/kg	Bajo en **fósforo** "asimilable"
K-total	0.16	%	
K-asim,	166	mg/kg	Bajo en **potasio** "aprovechable"
Ca-total	0.34	%	
Ca-asim	971	mg/kg	Bajo en **calcio** "aprovechable"
Na-total	0.37	%	
Na-asim	124	mg/kg	Adecuado en **sodio** "intercambiable"

Sustrato D

Característica	Valor	Unidad	Interpretación
Textura			**Franco-arenosa**
D-aparente	0.94	t/m^3	Alta **densidad aparente**
D-real	2.25	t/m^3	Adecuada **densidad real**
Espacio poroso	58.22	%	Bajo **espacio poroso**
Capacidad campo	35.13	%	Baja **retención de humedad**
Color	10YR 6/2	Munsell	Gris cafesaceo claro
pH	7.30	pH	Sustrato **ligeramente alcalino**
MO			
M. Walkley y Black	4.71	%	Muy rico en **materia orgánica**
M. ignición	9.07	%	Muy rico en **materia orgánica**
N-total	0.21	%	
N-inorg	9.25	mg/kg	Bajo en **nitrógeno** inorgánico
P-total	0.39	%	
P-asim.	98.50	mg/kg	Exceso en **fósforo** "asimilable"
K-total	0.43	%	
K-asim,	2580	mg/kg	Exceso en **potasio** "aprovechable"
Ca-total	0.64	%	
Ca-asim	1630	mg/kg	Adecuado en **calcio** "aprovechable"
Na-total	0.85	%	
Na-asim	296	mg/kg	Adecuado en **sodio** "intercambiable"

Sustrato E

Característica	Valor	Unidad	Interpretación
Textura			**Areno-francosa**
D-aparente	0.78	t/m^3	Alta **densidad aparente**
D-real	2.03	t/m^3	Adecuada **densidad real**
Espacio poroso	61.59	%	Aceptable **espacio poroso**
Capacidad campo	31.77	%	Baja **retención de humedad**
Color	10YR 5/1	Munsell	Gris
pH	7.02	pH	Sustrato **ligeramente alcalino**
MO			
M. Walkley y Black	4.98	%	Muy rico en **materia orgánica**
M. ignición	11.42	%	Rico en **materia orgánica**
N-total	0.18	%	
N-inorg	18.55	mg/kg	Bajo en **nitrógeno** inorgánico
P-total	0.49	%	
P-asim.	31.90	mg/kg	Adecuado en **fósforo** "asimilable"
K-total	0.45	%	
K-asim,	1890	mg/kg	Exceso en **potasio** "aprovechable"
Ca-total	0.54	%	
Ca-asim	1530	mg/kg	Adecuado en **calcio** "aprovechable"
Na-total	0.94	%	
Na-asim	500	mg/kg	Alto en **sodio** "intercambiable"

ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO TÉRMICO

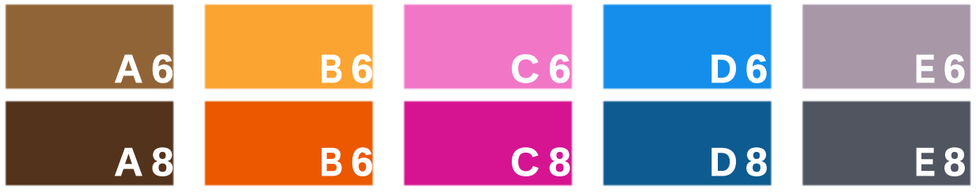
FICHAS DE ANÁLISIS

En las siguientes páginas se presenta el análisis térmico del modelo experimental, el cual consta de fichas de análisis por cada tipo de sustrato, los registros térmicos correspondena los días 21 de los meses de diseño.
Los meses analizados son enero por ser el que registra las temperaturas más frías del año, y mayo el cual registra las temperaturas más cálidas del año. La clave de identificación de la ficha indica con letra mayúscula el tipo de sustrato seguido del mes de análisis:

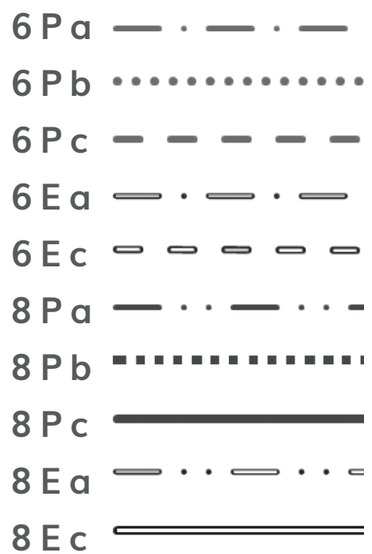
- A enero - A mayo
- B enero - B mayo
- C enero - C mayo
- D enero - D mayo
- E enero - E mayo
- G enero - G mayo

Simbología

Claves



Colores



Líneas

A

6 cm — Sustrato con espesor de 6 cm

Gradiente térmico diario determinado por la intensidad del color, rojo indica temperaturas más altas y azul temperaturas bajas

6P 6 cm - vegetación Plantada | 6E 6 cm - veg Espontánea | comparación 6cm veg Plantada - Espontánea

Hora	6Pa	6Pb	6Pc	6Pc-6Pa	6Ea	6Ec	6Ec-6Ea	6Pa-6Ea	6Pc-6Ec
0:00	17.86	17.94	19.76	1.90	17.86	19.57	1.71	0.00	0.19
1:00	17.63	17.72	19.61	1.98	17.38	19.38	2.00	0.25	0.24
2:00	17.41	17.63	19.23	1.82	16.90	19.00	2.09	0.51	0.24
3:00	16.81	17.37	18.90	2.09	16.81	18.71	1.90	0.00	0.19
4:00	16.78	17.30	18.66	1.89	16.71	18.52	1.81	0.06	0.14
5:00	16.55	17.13	18.43	1.87	16.43	18.33	1.90	0.13	0.10
6:00	16.52	17.01	18.28	1.76	15.95	17.95	2.00	0.57	0.33
7:00	15.92	16.77	18.28	2.36	17.76	18.33	0.57	-1.84	-0.05
8:00	17.00	17.15	19.14	2.14	21.76	19.76	-2.00	-4.76	-0.62
9:00	19.57	18.13	21.62	2.05	27.47	22.91	-4.56	-7.90	-1.29
10:00	24.90	20.20	24.06	-0.84	36.95	26.29	-10.65	-12.05	-2.23
11:00	34.53	22.59	[illegible]	[illegible]	[illegible]	29.65	-11.69	-6.82	-1.34
12:00	35.56	24.34	32.14	-3.43	45.33	32.59	-12.93	-9.76	-0.26
13:00	40.14	26.35	[illegible]	-6.13	49.26	34.69	[illegible]	-9.22	-0.68
14:00	42.22	28.49	33.17	-9.05	49.23	33.95	-15.27	-7.00	-0.78
15:00	39.35	29.46	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-16.62	-14.11	-2.30
16:00	41.53	30.37	34.91	-6.62	50.87	37.06	-13.82	-9.35	-2.15
17:00	39.48	31.41	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	4.47	0.47
18:00	33.44	26.94	24.35	-9.09	19.76	23.58	3.82	13.68	0.77
19:00	20.42	20.98	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2.86	2.38	-0.05
20:00	18.14	20.44	19.47	1.33	17.48	19.76	2.28	0.67	-0.29
21:00	17.28	19.56	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2.19	0.48	0.29
22:00	16.94	18.37	18.95	2.01	16.62	18.71	2.09	0.32	0.24
23:00	16.90	18.30	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1.72	0.33
Min	15.92	16.77	18.09	-9.09	15.19	17.76	-16.62	-14.11	-2.30
Max	42.22	31.41	34.91	2.36	53.46	37.06	3.82	13.68	0.77
Oscilación	26.30	14.64	16.82	11.45	38.27	19.30	20.43	27.79	3.07

8 cm — Sustrato con espesor de 8 cm

Diferencia térmica del sustrato en posición -c- en relación a posición -a-, donde a mayor temp. color rojo, menor temp. color azul

8P 8 cm - vegetación Plantada | 8E 8 cm - veg Espontánea | comparación 8cm veg Plantada - Espontánea

Hora	8Pa	8Pb	8Pc	8Pc-8Pa	8Ea	8Ec	8Ec-8Ea	8Pa-8Ea	8Pc-8Ec
0:00	18.76	18.70	20.46	1.70	17.28	20.33	3.05	1.47	0.13
1:00	18.52	18.34	20.23	1.71	17.28	20.23	2.95	1.24	0.00
2:00	18.00	18.20	19.76	1.76	16.81	19.95	3.14	1.19	-0.19
3:00	17.81	17.92	19.47	1.66	16.71	19.76	3.05	1.09	-0.29
4:00	17.67	17.70	19.28	1.62	16.52	19.57	3.04	1.14	-0.29
5:00	17.67	17.49	19.00	1.33	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1.24	-0.19
6:00	17.09	17.37	18.87	1.78	15.86	19.09	3.24	1.24	-0.22
7:00	17.43	17.11	18.81	1.38	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.14	-0.19
8:00	18.71	17.37	19.41	0.70	19.95	19.76	-0.19	-1.24	-0.35
9:00	22.10	18.41	21.12	-0.97	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-1.97	-0.54
10:00	25.18	20.72	22.81	-2.36	30.15	23.58	-6.57	-4.98	-0.77
11:00	30.38	23.71	25.71	-4.67	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-2.22	-1.46
12:00	34.06	25.82	29.06	-5.01	36.51	30.26	-6.26	-2.45	-1.20
13:00	35.40	27.63	31.34	-4.06	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-4.67	-1.05
14:00	33.38	29.27	31.54	-1.84	40.76	32.60	-8.16	-7.38	-1.06
15:00	35.76	29.94	33.22	-2.54	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-7.96	-0.94
16:00	35.55	30.80	33.88	-1.66	42.52	35.54	-6.98	-6.97	-1.66
17:00	33.01	29.29	32.26	-0.76	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-2.01
18:00	21.09	27.48	25.42	4.32	21.47	25.81	[illegible]	[illegible]	-0.39
19:00	18.71	21.60	22.08	3.37	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-0.93
20:00	17.95	19.96	20.61	2.66	18.24	21.57	3.33	-0.29	-0.95
21:00	17.71	19.13	20.11	2.39	17.67	20.90	3.24	0.05	-0.79
22:00	17.62	18.22	19.63	2.01	17.48	20.23	[illegible]	0.14	-0.60
23:00	16.81	18.06	18.77	1.97	16.14	19.38	3.24	0.67	-0.60
Min	16.81	17.11	18.77	-5.01	15.86	19.00	-9.56	-7.96	-2.01
Max	35.76	30.80	33.88	4.32	43.72	35.54	4.33	1.47	0.13
Oscilación	18.95	13.69	15.11	5.33	27.87	16.55	13.89	9.44	2.14

≠ temp

≠ diferencias térmicas de -c- de los sustratos con vegetación plantada contra el techo

≠ temp 6 cm | ≠ temp 8 cm | ≠ temp b

Hora	6Pc-Techo	6Ec-Techo	8Pc-Techo	8Ec-Techo	6Pb-8Pb
0:00	-4.80	-4.99	-4.10	-4.23	0.76
1:00	-3.71	-3.95	-3.09	-3.09	0.62
2:00	-1.99	-2.23	-1.47	-1.28	0.57
3:00	-2.01	-2.20	-1.44	-1.16	0.55
4:00	-1.87	-2.01	-1.25	-0.96	0.41
5:00	-1.53	-1.63	-0.96	-0.77	0.36
6:00	-1.27	-1.61	-0.69	-0.46	0.36
7:00	0.82	0.87	1.34	1.53	0.33
8:00	0.37	0.99	0.64	0.99	0.22
9:00	-2.58	-1.29	-3.07	-2.53	0.29
10:00	-7.78	[illegible]	-9.03	-8.26	0.52
11:00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1.13
12:00	[illegible]	-13.36	-16.69	-15.50	1.48
13:00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-18.15	1.28
14:00	-20.79	-20.01	-22.42	-21.36	0.77
15:00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-21.55	0.48
16:00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.43
17:00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-2.12
18:00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-13.29	0.54
19:00	-16.98	[illegible]	-15.76	-14.83	0.62
20:00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-4.93	-0.48
21:00	[illegible]	-6.26	-5.15	-4.36	-0.43
22:00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-0.14
23:00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-0.24
Min	-21.18	-20.01	-22.49	-21.55	-2.12
Max	0.82	0.99	1.34	1.53	1.48
Oscilación	22.00	21.00	23.83	23.09	3.60

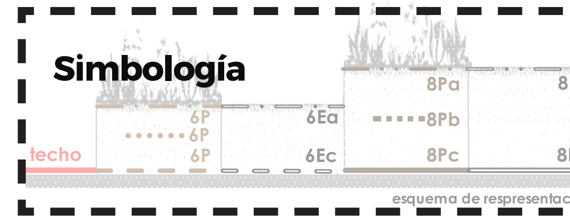
amb

parámetros ambientales

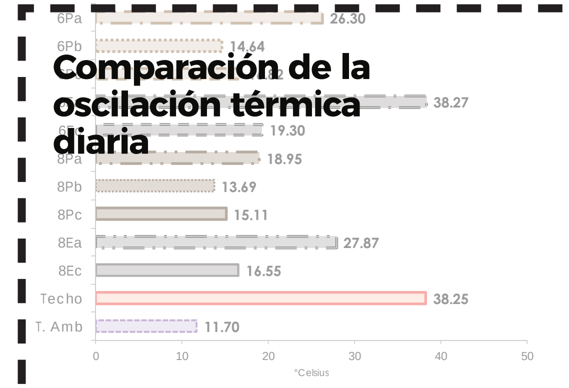
Techo | parámetros ambientales

Hora	Testigo	T. Amb	%HR	Radiación
0:00	24.56	18.70	68	0
1:00	23.33	18.70	68	0
2:00	21.22	18.10	70	0
3:00	20.91	18.00	70	0
4:00	20.53	17.90	69	0
5:00	19.96	17.90	69	0
6:00	19.56	17.40	75	0
7:00	17.46	17.40	77	30
8:00	18.77	18.30	72	101
9:00	24.20	20.20	62	299
10:00	31.84	22.10	53	580
11:00	39.18	23.40	47	514
12:00	45.75	24.70	45	853
13:00	50.54	26.20	40	665
14:00	53.96	25.90	38	452
15:00	55.72	27.20	35	616
16:00	51.38	28.40	30	624
17:00	49.31	27.30	38	264
18:00	39.09	18.20	77	23
19:00	37.84	16.70	85	0
20:00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0
21:00	25.26	17.80	75	0
22:00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0
23:00	23.57	16.90	80	0
Min	17.46	16.70	30.00	
Max	55.72	28.40	85.00	853.00
Oscilación	38.25	11.70	55.00	

Simbología

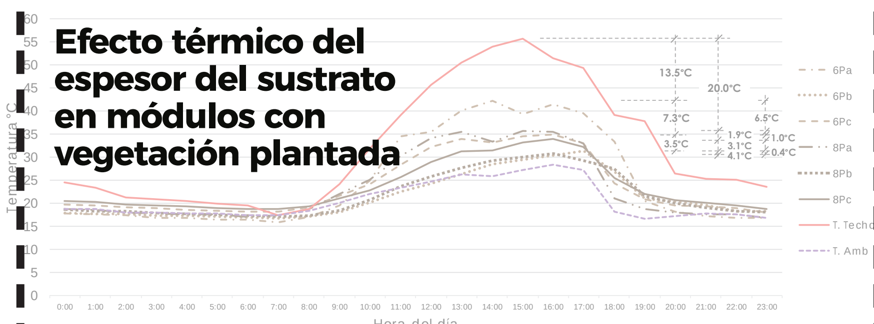


Comparación de la oscilación térmica diaria



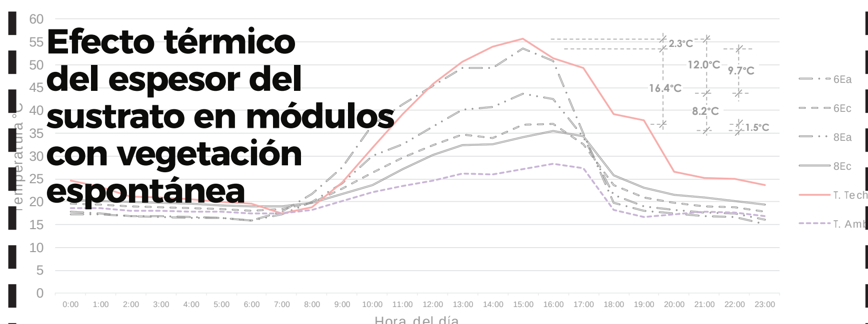
G0 - Oscilación térmica diaria
6Ea>Techo>8Ea>6Pa>6Ec>8Pa>6Pc>8Ec>8Pc>6Pb>8Pb>Amb

Efecto térmico del espesor del sustrato en módulos con vegetación plantada



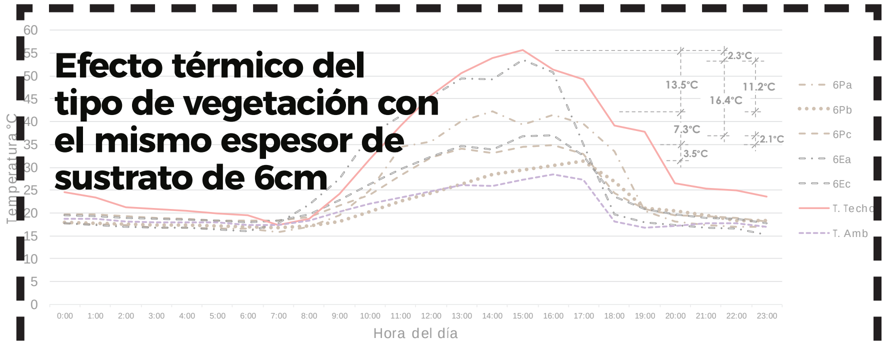
G1 - Efecto térmico del espesor en módulos con vegetación Plantada: 6P- 8P
Oscilación: 6Pa>8Pa>6Pc>8Pc>6Pb>8Pb

Efecto térmico del espesor del sustrato en módulos con vegetación espontánea



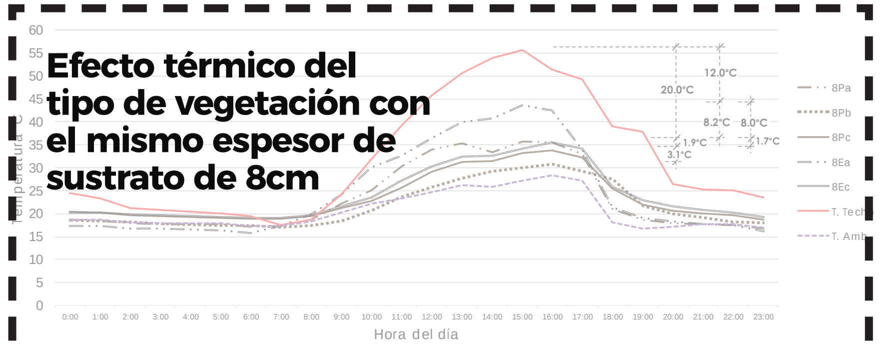
G2 - Efecto térmico del espesor en módulos con vegetación Espontánea: 6E - 8E
Oscilación: 6Ea>8Ea>6Ec>8Ec

Efecto térmico del tipo de vegetación con el mismo espesor de sustrato de 6cm



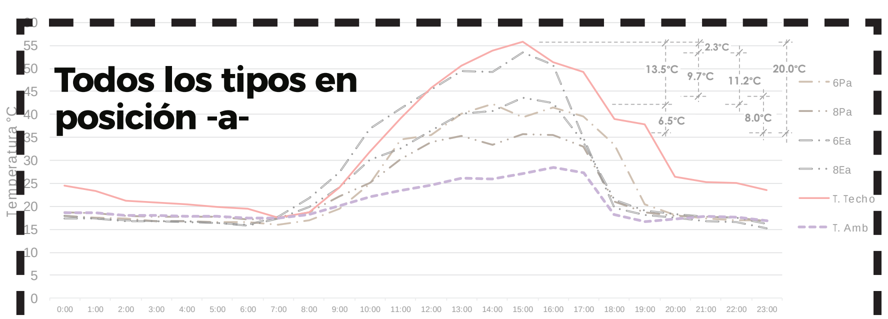
G3 - Efecto térmico de la vegetación en módulos con mismo espesor : 6P- 6E
Oscilación: 6Ea>6Pa>6Ec>6Pc>6Pb

Efecto térmico del tipo de vegetación con el mismo espesor de sustrato de 8cm



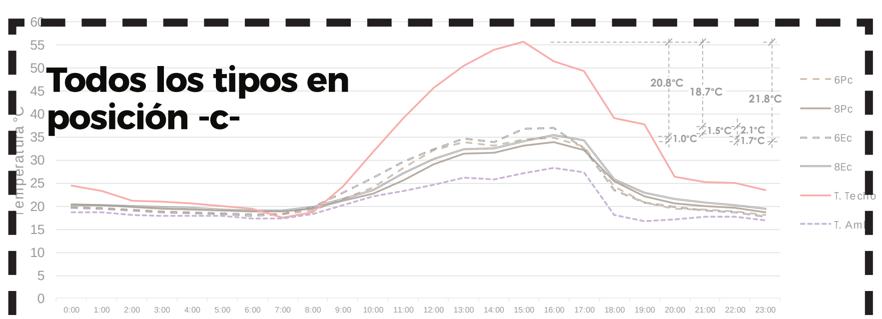
G4 - Efecto térmico de la vegetación en módulos con mismo espesor : 8P - 8E
Oscilación: 8Ea>8Pa>8Ec>8Pc>8Pb

Todos los tipos en posición -a-



G5 - Comparativo posición -a- en todos los módulos: 6Pa-6Ea-8Pa-8Ea
Oscilación: 6Ea>8Ea>6Pa>8Pa

Todos los tipos en posición -c-



G6 - Comparativo posición -c- en todos los módulos: 6Pc-6Ec-8Pc-8Ec
Oscilación: 6Ec>6Pc>8Ec>8Pc

Descripción de gráficas

Descripción:

G0 - La mayor oscilación térmica diaria se registra en 6Ea, siendo superior a la del techo por apenas 0.02°C. La oscilación es menor en los módulos con vegetación plantada y mayor espesor.

G1 - La temp. máxima diaria en los módulos con vegetación plantada y distinto espesor en la posición -a- es mayor en espesor con 6 cm por 6.5°C que el de 8 cm, y en -c- la diferencia es de 1.0°C mayor en 6 cm que en 8 cm. En -b- la diferencia se reduce a 0.4°C entre los dos espesores, siendo más bajo en 8 cm.

G2 - En los módulos con vegetación espontánea y distinto espesor, en la posición la tem. máx. diaria -a- es mayor en espesor con 6 cm por 9.7°C que el de 8 cm, y en -c- la diferencia es de 1.5°C respectivamente. En -a- la temp. máx. diaria de los módulos es menor por 2.3°C en relación a la del techo.

G3 - En módulos con mismo espesor 6cm, en posición -a- la temp. máxima diaria es mayor con vegetación espontánea que plantada por 16.4°C y en -b- por 2.1°C, es evidente el efecto de regulación térmica con vegetación plantada es mayor en -a-.

G4 - Igual que en G3 el efecto de la vegetación plantada en los módulos con espesor de 8 cm es evidente, en -a- de 8.0°C y en -c- por 1.7°C.

G5 - En todos los módulos en la posición -a- la oscilación más baja es con la presencia de vegetación plantada. La mayor reducción de la temp. máxima diaria en comparación con el techo se registra en 8Pa con 20.0°C.

G6 - En la posición -c- los módulos con vegetación plantada registran menor oscilación térmica que con los de vegetación espontánea, teniendo más reducción en el espesor de 8 cm por 1.7°C que el de 6 cm, y una disminución de 21.8°C en la temp. máx. diaria con relación al techo.

% C.V. - En los módulos con vegetación plantada con espesor de 8 cm es mayor un 19.03% comparado con el de 6 cm. En los de vegetación espontánea la cobertura es mayor en el espesor de 8 cm por 1.93%. La diferencia del % de cobertura entre la vegetación plantada y espontánea en 6 cm es de 58.48% y en 8 cm de 41.38%.

Imágenes de cobertura en módulos con vegetación plantada

%CV = 62.85 %CV = 81.88

Imágenes de cobertura en módulos con vegetación espontánea

%CV = 21.52 %CV = 23.45

Imágenes de color prediminante en módulos con vegetación plantada

RGB: 138,118,37 RGB: 186,173,21

Imágenes térmicas en módulos con vegetación plantada

máx 68.0°C | min 27.5°C | máx 61.0°C | min 25.8°C

Imágenes térmicas en módulos con vegetación espontánea

máx 63.4°C | min 24.5°C | máx 60.2°C | min 19.8°C

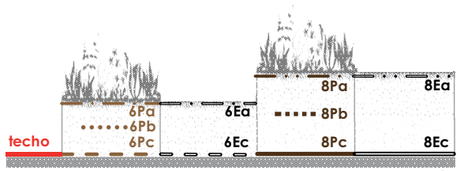
Imágenes termográficas

Clave de ficha

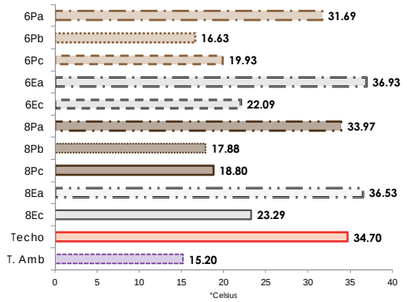
A mayo

A

Hora	6Pa	6Pb	6Pc	6Pc-6Pa	6Ea	6Ec	6Ec-6Ea	6Pa-6Ea	6Pc-6Ec	8Pa	8Pb	8Pc	8Pc-8Pa	8Ea	8Ec	8Ec-8Ea	8Pa-8Ea	8Pc-8Ec	6Pc-Techo	6Ec-Techo	8Pc-Techo	8Ec-Techo	6Pb-8Pb	Testigo	T. Amb	%HR	Radiación
0:00	9.14	10.71	11.96	2.82	7.68	11.72	4.04	1.46	0.24	10.46	10.71	12.59	2.14	9.08	13.37	4.29	1.38	-0.77	-3.21	-3.45	-2.58	-1.81	0.00	15.18	10.30	64	0
1:00	8.05	10.03	10.99	2.95	6.88	10.85	3.97	1.17	0.15	9.23	9.93	11.69	2.46	8.08	12.50	4.42	1.14	-0.81	-2.91	-3.06	-2.22	-1.41	-0.10	13.91	8.90	66	0
2:00	6.91	9.36	10.21	3.30	5.24	10.06	4.82	1.66	0.15	8.08	9.14	11.01	2.93	6.57	11.82	5.25	1.51	-0.81	-2.54	-2.69	-1.74	-0.93	-0.22	12.75	8.90	56	0
3:00	5.68	8.52	9.42	3.74	4.00	9.18	5.18	1.68	0.25	7.13	8.10	10.26	3.13	5.66	11.04	5.39	1.47	-0.78	-2.00	-2.24	-1.16	-0.38	-0.42	11.42	8.20	56	0
4:00	4.34	7.52	8.53	4.19	2.73	8.28	5.55	1.61	0.25	6.01	7.14	9.47	3.46	4.52	10.36	5.84	1.49	-0.89	-1.72	-1.97	-0.78	0.11	-0.38	10.25	7.40	57	0
5:00	3.54	6.56	7.88	4.35	2.20	7.68	5.49	1.34	0.20	5.24	6.00	8.88	3.63	3.89	9.67	5.78	1.35	-0.79	-1.40	-1.61	-0.41	0.38	-0.56	9.29	8.30	46	0
6:00	2.58	5.87	7.28	4.70	1.44	7.08	5.64	1.14	0.20	4.26	5.23	8.41	4.16	3.05	9.18	6.13	1.21	-0.76	-1.14	-1.34	0.00	0.76	-0.64	8.42	7.80	45	0
7:00	2.19	5.44	6.78	4.59	1.00	6.78	5.77	1.19	0.00	3.84	4.84	7.85	4.01	2.52	8.58	6.06	1.32	-0.73	-0.69	-0.69	0.38	1.11	-0.59	7.47	6.60	50	0
8:00	3.01	5.00	6.42	3.41	2.62	6.37	3.75	0.38	0.05	4.05	4.30	7.51	3.46	3.89	8.18	4.29	0.16	-0.67	-0.22	-0.27	0.88	1.55	-0.70	6.64	8.60	50	46
9:00	11.04	5.15	9.37	-1.67	8.68	8.88	0.20	2.36	0.49	9.46	4.38	9.83	0.37	9.57	10.26	0.69	-0.11	-0.43	2.33	1.84	2.79	3.22	-0.78	7.04	10.90	47	263
10:00	15.39	7.70	10.35	-5.04	18.33	13.65	-4.68	-2.95	-3.31	11.97	7.57	9.90	-2.08	17.95	14.52	-3.43	-5.98	-4.62	-1.34	1.97	-1.79	2.83	-0.13	11.69	13.80	42	466
11:00	23.56	11.20	15.29	-8.27	27.37	18.71	-8.65	-3.81	-3.42	21.55	11.83	14.81	-6.74	24.35	19.19	-5.16	-2.80	-4.38	-5.29	-1.87	-5.77	-1.39	0.63	20.58	16.10	36	623
12:00	30.36	15.15	20.11	-10.24	34.80	23.29	-11.50	-4.44	-3.18	30.43	15.75	19.54	-10.89	34.59	23.58	-11.00	-4.15	-4.04	-7.47	-4.29	-8.04	-4.00	0.60	27.58	18.10	28	738
13:00	33.64	17.75	23.53	-10.11	37.94	26.88	-11.06	-4.29	-3.34	35.93	18.41	23.05	-12.88	38.94	27.57	-11.37	-3.01	-4.51	-11.86	-8.51	-12.34	-7.82	0.67	35.39	18.80	23	763
14:00	33.87	20.03	25.55	-8.32	36.51	28.26	-8.25	-2.64	-2.71	37.81	20.94	25.46	-12.35	39.05	30.15	-8.90	-1.24	-4.69	-15.79	-13.08	-15.88	-11.19	0.91	41.34	20.50	21	720
15:00	32.78	21.32	26.35	-6.43	33.74	28.46	-5.29	-0.96	-2.11	36.84	22.06	26.31	-10.53	38.05	30.96	-7.08	-1.20	-4.65	-14.19	-12.09	-14.23	-9.58	0.74	40.54	21.30	17	603
16:00	30.31	21.63	26.14	-4.16	31.06	27.96	-3.10	-0.76	-1.82	33.59	22.18	26.27	-7.32	34.69	31.47	-3.22	-1.10	-5.20	-11.56	-9.74	-11.43	-6.23	0.55	37.70	21.60	17	469
17:00	24.99	21.27	24.39	-0.60	25.90	26.39	0.49	-0.91	-2.00	28.45	21.46	24.98	-3.47	29.85	30.56	0.70	-1.41	-5.58	-13.81	-11.81	-13.22	-7.64	0.10	38.20	21.80	19	258
18:00	20.33	19.37	21.22	0.89	19.19	22.33	3.15	1.14	-1.11	22.34	19.94	21.98	-0.35	23.10	27.08	3.98	-0.76	-5.09	-12.82	-11.71	-12.06	-6.97	0.57	34.05	19.80	23	46
19:00	16.21	17.13	17.80	1.59	14.13	18.81	4.67	2.07	-1.01	17.80	18.03	18.88	1.08	17.28	22.81	5.53	0.52	-3.93	-8.99	-7.99	-7.91	-3.98	0.90	26.79	16.20	33	0
20:00	14.74	14.84	17.52	2.78	12.30	16.71	4.41	2.44	0.81	16.33	15.68	18.58	2.25	14.61	19.76	5.15	1.72	-1.17	-5.40	-6.21	-4.34	-3.16	0.84	22.92	14.40	36	0
21:00	12.27	13.47	16.09	3.83	9.67	15.28	5.61	2.60	0.81	14.18	14.05	17.00	2.82	12.01	17.86	5.84	2.17	-0.86	-4.38	-5.20	-3.49	-2.63	0.58	20.48	13.30	38	0
22:00	11.27	11.86	14.71	3.44	9.08	14.04	4.96	2.19	0.67	12.88	12.24	15.63	2.75	10.85	16.33	5.49	2.04	-0.70	-3.75	-4.42	-2.83	-2.13	0.39	18.46	12.30	41	0
23:00	10.62	11.13	13.70	3.09	8.58	13.17	4.59	2.03	0.53	11.96	11.10	14.45	2.49	9.97	15.19	5.22	2.00	-0.73	-2.98	-3.50	-2.22	-1.49	-0.03	16.68	11.50	38	0
Min	2.19	5.00	6.42	-10.24	1.00	6.37	-11.50	-4.44	-3.42	3.84	4.30	7.51	-12.88	2.52	8.18	-11.37	-5.98	-5.58	-15.79	-13.08	-15.88	-11.19	-0.78	6.64	6.60	17.00	
Max	33.87	21.63	26.35	4.70	37.94	28.46	5.77	2.60	0.81	37.81	22.18	26.31	4.16	39.05	31.47	6.13	2.17	-0.43	2.33	1.97	2.79	3.22	0.91	41.34	21.80	66.00	763.00
Oscilación	31.69	16.63	19.93	14.94	36.93	22.09	17.28	7.04	4.23	33.97	17.88	18.80	17.04	36.53	23.29	17.50	8.15	5.16	18.12	15.05	18.67	14.40	1.68	34.70	15.20	49.00	

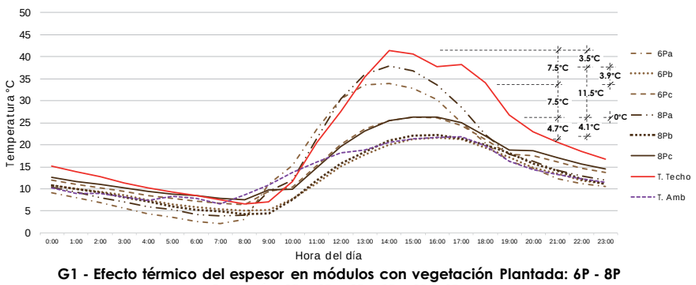


esquema de respresentación



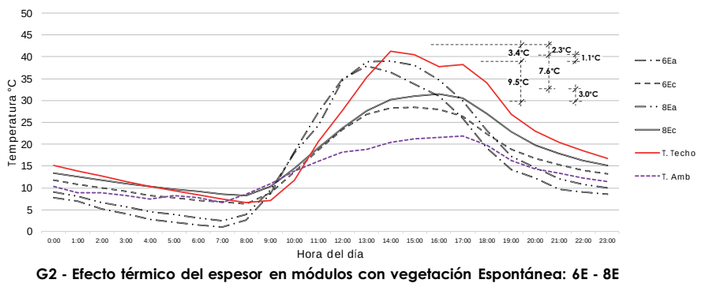
G0 - Oscilación térmica diaria

6Ea>8Ea>Techo>8Pa>6Pa>8Ec>6Ec>6Pc>8Pc>8Pb>6Pb>Amb



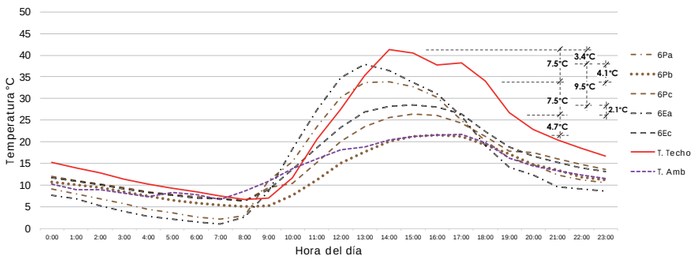
G1 - Efecto térmico del espesor en módulos con vegetación Plantada: 6P - 8P

Oscilación: 8Pa>6Pa>6Pc>8Pc>8Pb>6Pb



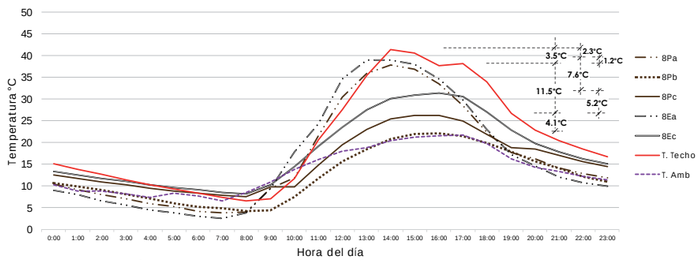
G2 - Efecto térmico del espesor en módulos con vegetación Espontánea: 6E - 8E

Oscilación: 6Ea>8Ea>8Ec>6Ec



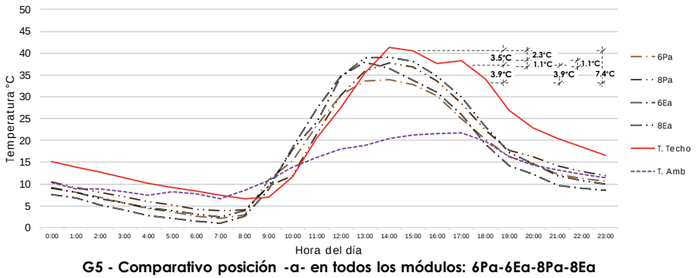
G3 - Efecto térmico de la vegetación en módulos con mismo espesor : 6P - 6E

Oscilación: 6Ea>6Pa>6Ec>6Pc>6Pb



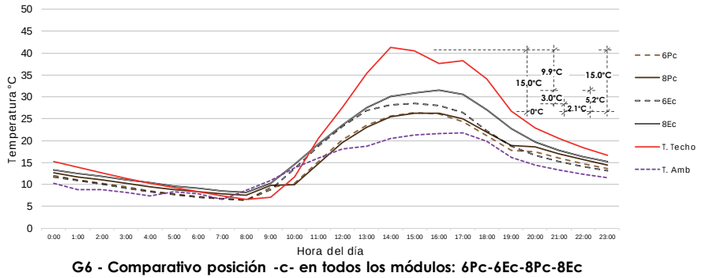
G4 - Efecto térmico de la vegetación en módulos con mismo espesor : 8P - 8E

Oscilación: 8Ea>8Pa>8Ec>8Pc>8Pb



G5 - Comparativo posición -a- en todos los módulos: 6Pa-6Ea-8Pa-8Ea

Oscilación: 6Ea>8Ea>8Pa>6Pa



G6 - Comparativo posición -c- en todos los módulos: 6Pc-6Ec-8Pc-8Ec

Oscilación: 8Ec>6Ec>6Pc>8Pc

Descripción.

G0 - La oscilación térmica diaria en la posición -a- en los módulos con vegetación espontanea es mayor en comparación con la registrada en el techo, con una diferencia de 2.2°C en el espesor de 6 cm y de 1.8°C en el de 8 cm. En los módulos con vegetación plantada la oscilación se reduce 3.0°C en el espesor de 6 cm y 0.7°C en el de 8cm. La menor oscilación térmica diaria se registra en la posición -b- de los módulos con vegetación plantada, siendo menor por 1.2°C en el espesor de 6 cm.

G1 - En módulos con vegetación plantada y distinto espesor, en posición -a- es mayor la regulación térmica en 6 cm con una diferencia de 3.9°C en relación al espesor de 8 cm, en -b- y -c- muestran desempeño similar en los dos espesores.

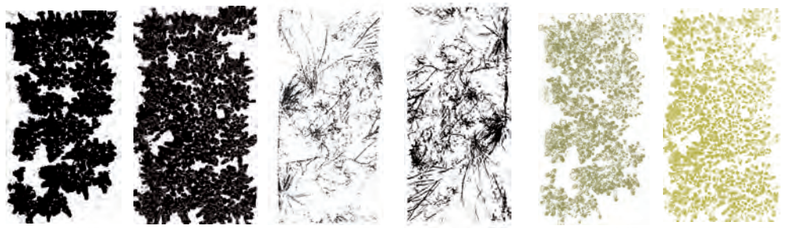
G2 - En módulos con vegetación espontánea y distinto espesor, en la posición -a- el desempeño es semejante en los dos espesores, en -c- existe mayor regulación térmica en menor espesor.

G3 y G4 - En módulos con mismo espesor 6 y 8 cm, es evidente el efecto de regulación térmica con vegetación plantada en todas las posiciones, el mayor efecto es en la posición -b-.

G5 - En todos los módulos en la posición -a- se registra menor oscilación térmica en los que cuentan con vegetación plantada, y la oscilación más baja en el espesor más bajo 6Pa, éste registra una reducción de 7.4°C en comparación a la temp. máxima diaria al techo.

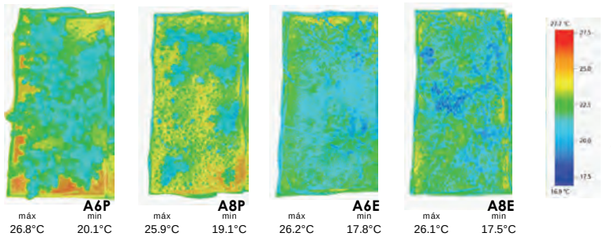
G6 - En la posición -c- en los módulos con vegetación espontánea el mejor el efecto térmico se registra en el menor espesor en el sustrato 6Ec, y con vegetación plantada el efecto es similar, una máxima reducción de 15.0°C en la temp. máxima diaria en relación al techo.

% C.V. - En los módulos con vegetación plantada con espesor de 8 cm es mayor un 12.81% comparado con el de 6 cm. En los de vegetación espontánea la cobertura es similar con una diferencia de 2.52% mayor en el de 8cm.



A6P	A8P	A6E	A8E	A6P	A8P
%CV = 66.69	%CV = 79.50	%CV = 23.34	%CV = 25.86	RGB: 147,144,75	RGB: 193,183,55

Imágenes % Cobertura Vegetal — **Color predominante**



Imágenes termográficas

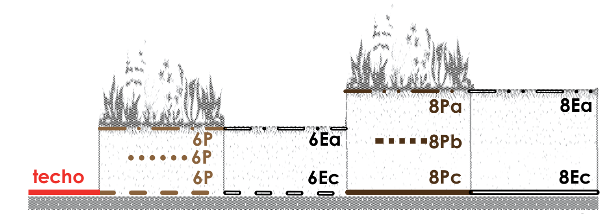
A enero

A

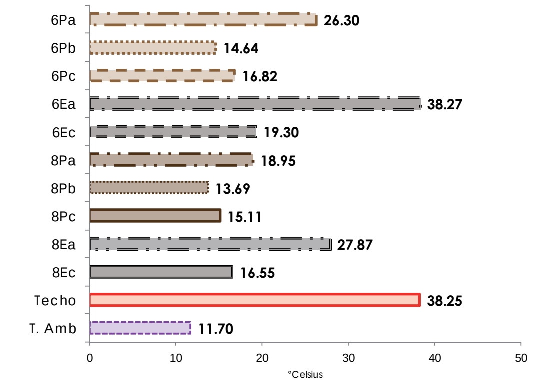
	6 cm								
	6P 6 cm - vegetación Plantada				**6E** 6 cm - veg Espontánea			comparación 6cm veg Plantada - Espontánea	
Hora	6Pa	6Pb	6Pc	6Pc-6Pa	6Ea	6Ec	6Ec-6Ea	6Pa-6Ea	6Pc-6Ec
0:00	17.86	17.94	19.76	1.90	17.86	19.57	1.71	0.00	0.19
1:00	17.63	17.72	19.61	1.98	17.38	19.38	2.00	0.25	0.24
2:00	17.41	17.63	19.23	1.82	16.90	19.00	2.09	0.51	0.24
3:00	16.81	17.37	18.90	2.09	16.81	18.71	1.90	0.00	0.19
4:00	16.78	17.30	18.66	1.89	16.71	18.52	1.81	0.06	0.14
5:00	16.55	17.13	18.43	1.87	16.43	18.33	1.90	0.13	0.10
6:00	16.52	17.01	18.28	1.76	15.95	17.95	2.00	0.57	0.33
7:00	15.92	16.77	18.28	2.36	17.76	18.33	0.57	-1.84	-0.05
8:00	17.00	17.15	19.14	2.14	21.76	19.76	-2.00	-4.76	-0.62
9:00	19.57	18.13	21.62	2.05	27.47	22.91	-4.56	-7.90	-1.29
10:00	24.90	20.20	24.06	-0.84	36.95	26.29	-10.65	-12.05	-2.23
11:00	34.53	22.59	28.31	-6.22	41.34	29.65	-11.69	-6.82	-1.34
12:00	35.56	24.34	32.14	-3.43	45.33	32.39	-12.93	-9.76	-0.26
13:00	40.14	26.35	34.01	-6.13	49.36	34.69	-14.67	-9.22	-0.68
14:00	42.22	28.49	33.17	-9.05	49.23	33.95	-15.27	-7.00	-0.78
15:00	39.35	29.46	34.54	-4.81	53.46	36.84	-16.62	-14.11	-2.30
16:00	41.53	30.37	34.91	-6.62	50.87	37.06	-13.82	-9.35	-2.15
17:00	39.48	31.41	32.97	-6.52	35.01	32.50	-2.51	4.47	0.47
18:00	33.44	26.94	24.35	-9.09	19.76	23.58	3.82	13.68	0.77
19:00	20.42	20.98	20.85	0.43	18.05	20.90	2.86	2.38	-0.05
20:00	18.14	20.44	19.47	1.33	17.48	19.76	2.28	0.67	-0.29
21:00	17.28	19.56	19.28	2.00	16.81	19.00	2.19	0.48	0.29
22:00	16.94	18.37	18.95	2.01	16.62	18.71	2.09	0.32	0.24
23:00	16.90	18.30	18.09	1.19	15.19	17.76	2.57	1.72	0.33
Min	15.92	16.77	18.09	-9.09	15.19	17.76	-16.62	-14.11	-2.30
Max	42.22	31.41	34.91	2.36	53.46	37.06	3.82	13.68	0.77
Oscilación	26.30	14.64	16.82	11.45	38.27	19.30	20.45	27.79	3.07

	8 cm								
	8P 8 cm - vegetación Plantada				**8E** 8 cm - veg Espontánea			comparación 8cm veg Plantada - Espontánea	
Hora	8Pa	8Pb	8Pc	8Pc-8Pa	8Ea	8Ec	8Ec-8Ea	8Pa-8Ea	8Pc-8Ec
0:00	18.76	18.70	20.46	1.70	17.28	20.33	3.05	1.47	0.13
1:00	18.52	18.34	20.23	1.71	17.28	20.23	2.95	1.24	0.00
2:00	18.00	18.20	19.76	1.76	16.81	19.95	3.14	1.19	-0.19
3:00	17.81	17.92	19.47	1.66	16.71	19.76	3.05	1.09	-0.29
4:00	17.67	17.70	19.28	1.62	16.52	19.57	3.04	1.14	-0.29
5:00	17.67	17.49	19.00	1.33	16.43	19.19	2.76	1.24	-0.19
6:00	17.09	17.37	18.87	1.78	15.86	19.09	3.24	1.24	-0.22
7:00	17.43	17.11	18.81	1.38	17.28	19.00	1.71	0.14	-0.19
8:00	18.71	17.37	19.41	0.70	19.95	19.76	-0.19	-1.24	-0.35
9:00	22.10	18.41	21.12	-0.97	24.06	21.66	-2.40	-1.97	-0.54
10:00	25.18	20.72	22.81	-2.36	30.15	23.58	-6.57	-4.98	-0.77
11:00	30.38	23.71	25.71	-4.67	32.60	27.17	-5.43	-2.22	-1.46
12:00	34.06	25.82	29.06	-5.01	36.51	30.26	-6.26	-2.45	-1.20
13:00	35.40	27.63	31.34	-4.06	40.07	32.39	-7.68	-4.67	-1.05
14:00	33.38	29.27	31.54	-1.84	40.76	32.60	-8.16	-7.38	-1.06
15:00	35.76	29.94	33.22	-2.54	43.72	34.16	-9.56	-7.96	-0.94
16:00	35.55	30.80	33.88	-1.66	42.52	35.54	-6.98	-6.97	-1.66
17:00	33.01	29.29	32.26	-0.76	34.06	34.27	0.21	-1.04	-2.01
18:00	21.09	27.48	25.42	4.32	21.47	25.81	4.33	-0.38	-0.39
19:00	18.71	21.60	22.08	3.37	19.09	23.00	3.91	-0.38	-0.93
20:00	17.95	19.96	20.61	2.66	18.24	21.57	3.33	-0.29	-0.95
21:00	17.71	19.13	20.11	2.39	17.67	20.90	3.24	0.05	-0.79
22:00	17.62	18.22	19.63	2.01	17.48	20.23	2.76	0.14	-0.60
23:00	16.81	18.06	18.77	1.97	16.14	19.38	3.24	0.67	-0.60
Min	16.81	17.11	18.77	-5.01	15.86	19.00	-9.56	-7.96	-2.01
Max	35.76	30.80	33.88	4.32	43.72	35.54	4.33	1.47	0.13
Oscilación	18.95	13.69	15.11	9.33	27.87	16.55	13.89	9.44	2.14

	≠ temp					amb			
	≠ temp 6 cm		≠ temp 8 cm		≠ temp b	Techo	parámetros ambientales		
Hora	6Pc-Techo	6Ec-Techo	8Pc-Techo	8Ec-Techo	6Pb-8Pb	Testigo	T. Amb	%HR	Radiación
0:00	-4.80	-4.99	-4.10	-4.23	0.76	24.56	18.70	68	0
1:00	-3.71	-3.95	-3.09	-3.09	0.62	23.33	18.70	68	0
2:00	-1.99	-2.23	-1.47	-1.28	0.57	21.22	18.10	70	0
3:00	-2.01	-2.20	-1.44	-1.16	0.55	20.91	18.00	70	0
4:00	-1.87	-2.01	-1.25	-0.96	0.41	20.53	17.90	69	0
5:00	-1.53	-1.63	-0.96	-0.77	0.36	19.96	17.90	69	0
6:00	-1.27	-1.61	-0.69	-0.46	0.36	19.56	17.40	75	0
7:00	0.82	0.87	1.34	1.53	0.33	17.46	17.40	77	30
8:00	0.37	0.99	0.64	0.99	0.22	18.77	18.30	72	101
9:00	-2.58	-1.29	-3.07	-2.53	0.29	24.20	20.20	62	299
10:00	-7.78	-5.55	-9.03	-8.26	0.52	31.84	22.10	53	580
11:00	-10.87	-9.53	-13.47	-12.00	1.13	39.18	23.40	47	514
12:00	-13.61	-13.36	-16.69	-15.50	1.48	45.75	24.70	45	853
13:00	-16.54	-15.85	-19.20	-18.15	1.28	50.54	26.20	40	665
14:00	-20.79	-20.01	-22.42	-21.36	0.77	53.96	25.90	38	452
15:00	-21.18	-18.88	-22.49	-21.55	0.48	55.72	27.20	35	616
16:00	-16.47	-14.33	-17.50	-15.84	0.43	51.38	28.40	30	624
17:00	-16.34	-16.81	-17.05	-15.04	-2.12	49.31	27.30	38	264
18:00	-14.74	-15.51	-13.68	-13.29	0.54	39.09	18.20	77	23
19:00	-16.98	-16.94	-15.76	-14.83	0.62	37.84	16.70	85	0
20:00	-7.03	-6.74	-5.89	-4.93	-0.48	26.50	17.20	78	0
21:00	-5.98	-6.26	-5.15	-4.36	-0.43	25.26	17.80	75	0
22:00	-6.09	-6.33	-5.41	-4.81	-0.14	25.04	17.70	79	0
23:00	-5.48	-5.81	-4.79	-4.19	-0.24	23.57	16.90	80	0
Min	-21.18	-20.01	-22.49	-21.55	-2.12	17.46	16.70	30.00	
Max	0.82	0.99	1.34	1.53	1.48	55.72	28.40	85.00	853.00
Oscilación	22.00	21.00	23.83	23.09	3.60	38.25	11.70	55.00	

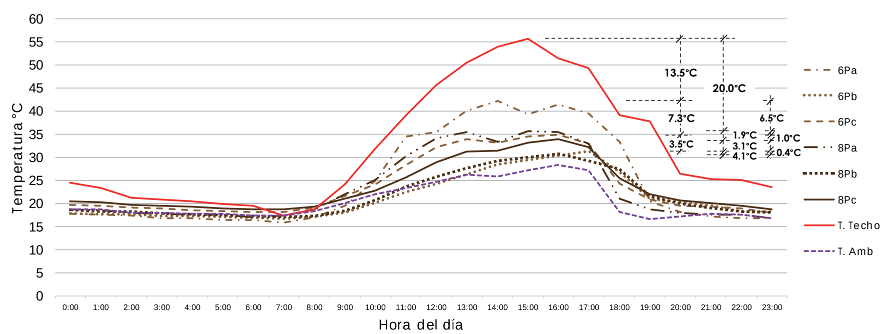


esquema de respresentación



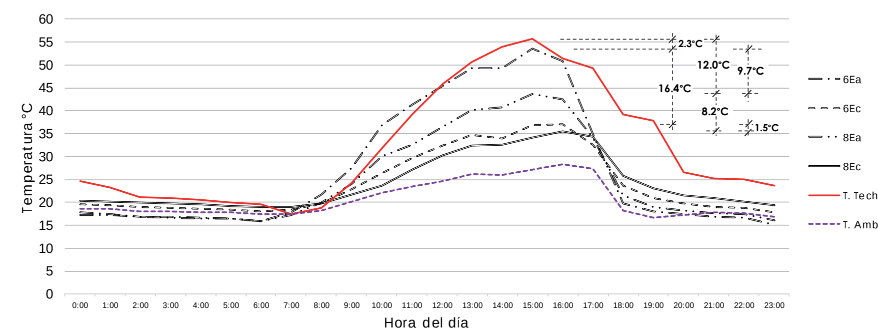
G0 - Oscilación térmica diaria

6Ea>Techo>8Ea>6Pa>6Ec>8Pa>6Pc>8Ec>8Pc>6Pb>8Pb>Amb



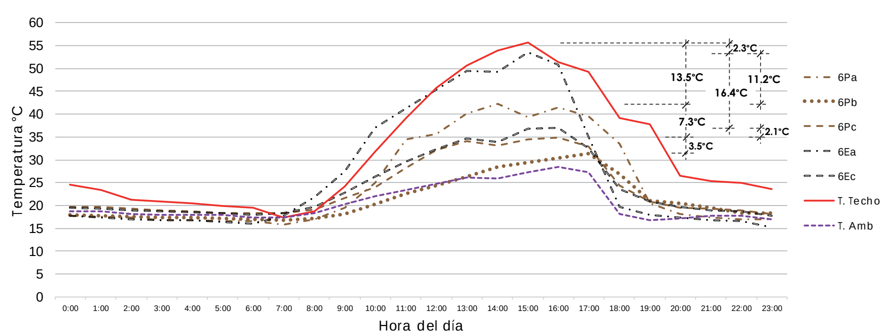
G1 - Efecto térmico del espesor en módulos con vegetación Plantada: 6P- 8P

Oscilación: 6Pa>8Pa>6Pc>8Pc>6Pb>8Pb



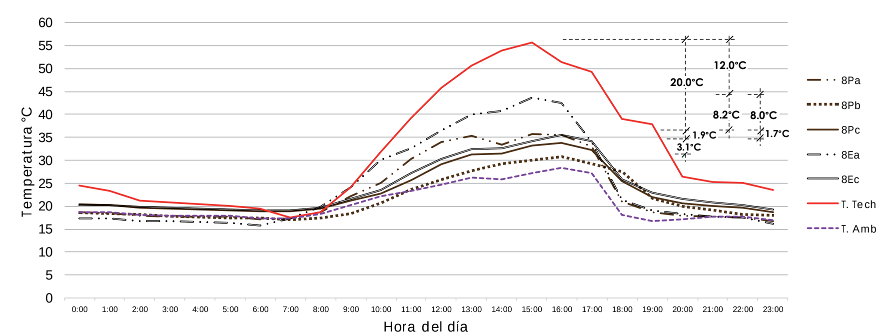
G2 - Efecto térmico del espesor en módulos con vegetación Espontánea: 6E - 8E

Oscilación: 6Ea>8Ea>6Ec>8Ec



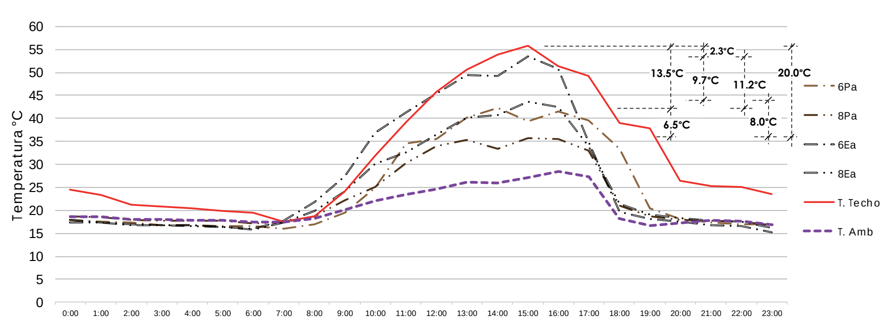
G3 - Efecto térmico de la vegetación en módulos con mismo espesor : 6P- 6E

Oscilación: 6Ea>6Pa>6Ec>6Pc>6Pb



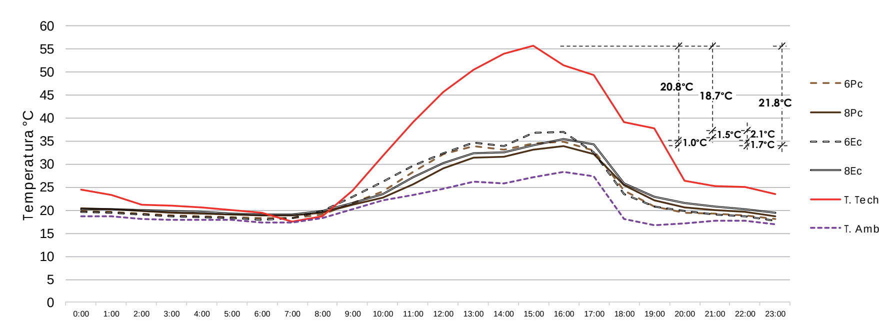
G4 - Efecto térmico de la vegetación en módulos con mismo espesor : 8P - 8E

Oscilación: 8Ea>8Pa>8Ec>8Pc>8Pb



G5 - Comparativo posición -a- en todos los módulos: 6Pa-6Ea-8Pa-8Ea

Oscilación: 6Ea>8Ea>6Pa>8Pa



G6 - Comparativo posición -c- en todos los módulos: 6Pc-6Ec-8Pc-8Ec

Oscilación: 6Ec>6Pc>8Ec>8Pc

Descripción.

G0 - La mayor oscilación térmica diaria se registra en 6Ea, siendo superior a la del techo por apenas 0.02°C. La oscilación es menor en los módulos con vegetación plantada y mayor espesor.

G1 - La temp. máxima diaria en los módulos con vegetación plantada y distinto espesor en la posición -a- es mayor en espesor con 6 cm por 6.5°C que el de 8 cm, y en -c- la diferencia es de 1.0°C mayor en 6 cm que en 8 cm. En -b- la diferencia se reduce a 0.4°C entre los dos espesores, siendo más bajo en 8 cm.

G2 - En los módulos con vegetación espontánea y distinto espesor, en la posición la tem. máx. diaria -a- es mayor en espesor con 6 cm por 9.7°C que el de 8 cm, y en -c- la diferencia es de 1.5°C respectivamente. En -a- la temp. máx. diaria de los módulos es menor por 2.3°C en relación a la del techo.

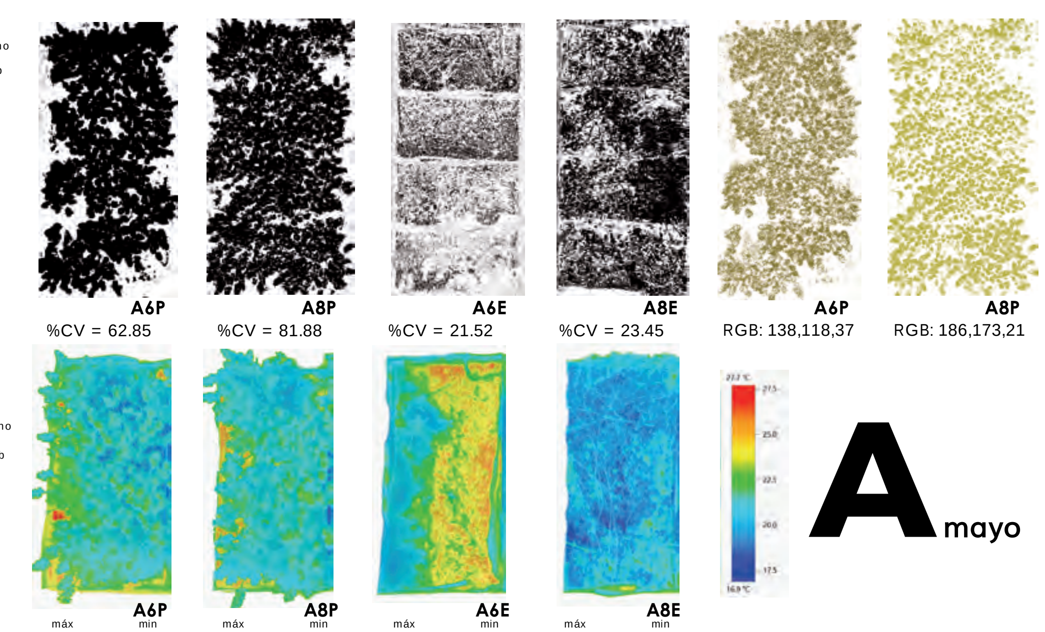
G3 - En módulos con mismo espesor 6cm, en posición -a- la temp. máxima diaria es mayor con vegetación espontánea que plantada por 16.4°C y en -b- por 2.1°C, es evidente el efecto de regulación térmica con vegetación plantada es mayor en -a-.

G4 - Igual que en G3 el efecto de la vegetación plantada en los módulos con espesor de 8 cm es evidente, en -a- de 8.0°C y en -c- por 1.7°C.

G5 - En todos los módulos en la posición -a- la oscilación más baja es con la presencia de vegetación plantada. La mayor reducción de la temp. máxima diaria en comparación con el techo se registra en 8Pa con 20.0°C.

G6 - En la posición -c- los módulos con vegetación plantada registran menor oscilación térmica que con los de vegetación espontánea, teniendo más reducción en el espesor de 8 cm por 1.7°C que el de 6 cm, y una disminución de 21.8°C en la temp. máx. diaria con relación al techo.

% C.V. - En los módulos con vegetación plantada con espesor de 8 cm es mayor un 19.03% comparado con el de 6 cm. En los de vegetación espontánea la cobertura es mayor en el espesor de 8 cm por 1.93%. La diferencia del % de cobertura entre la vegetación plantada y espontánea en 8 cm es de 58.43% y en 6 cm de 41.33%.

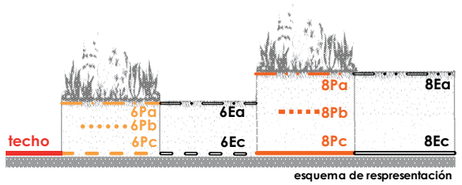


Imágenes termográficas

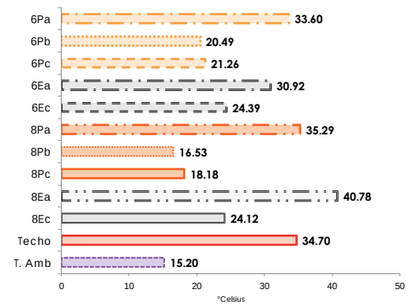
A mayo

B

	6 cm				8 cm				≠ temp				amb			
	6P 6 cm - vegetación Plantada				6E 6 cm - veg Espontánea			comparación 6cm veg Plantada-Espontánea		8P 8 cm - vegetación Plantada			8E 8 cm - veg Espontánea		comparación 8cm veg Plantada-Espontánea		≠ temp 6 cm		≠ temp 8 cm		≠ temp b	Techo	parámetros ambientales		
Hora	6Pa	6Pb	6Pc	6Pc-6Pa	6Ea	6Ec	6Ec-6Ea	6Pa-6Ea	6Pc-6Ec	8Pa	8Pb	8Pc	8Pc-8Pa	8Ea	8Ec	8Ec-8Ea	8Pa-8Ea	8Pc-8Ec	6Pc-Techo	6Ec-Techo	8Pc-Techo	8Ec-Techo	6Pb-8Pb	Testigo	T. Amb	%HR	Radiación
0:00	9.14	10.27	11.96	2.82	8.08	11.72	3.65	1.06	0.24	10.46	11.01	12.59	2.14	7.38	13.46	6.08	3.07	-0.87	-3.21	-3.45	-2.58	-1.71	0.73	15.18	10.30	64	0
1:00	8.05	9.31	10.99	2.95	7.50	10.85	3.35	0.55	0.15	9.23	10.32	11.69	2.46	6.47	12.69	6.22	2.75	-1.00	-2.91	-3.06	-2.22	-1.22	1.01	13.91	8.90	66	0
2:00	6.91	8.69	10.21	3.30	4.53	10.06	5.54	2.38	0.15	8.08	9.61	11.01	2.93	4.93	12.01	7.08	3.15	-1.00	-2.54	-2.69	-1.74	-0.74	0.92	12.75	8.90	56	0
3:00	5.68	7.57	9.42	3.74	4.98	9.08	4.10	0.71	0.35	7.13	8.74	10.26	3.13	4.10	11.33	7.23	3.03	-1.08	-2.00	-2.34	-1.16	-0.09	1.17	11.42	8.20	56	0
4:00	4.34	6.38	8.53	4.19	2.28	8.28	6.00	2.06	0.25	6.01	7.80	9.47	3.46	2.62	10.65	8.03	3.39	-1.18	-1.72	-1.97	-0.78	0.40	1.41	10.25	7.40	57	0
5:00	3.54	5.15	7.88	4.35	2.68	7.58	4.90	0.86	0.30	5.24	6.84	8.88	3.63	2.20	9.97	7.77	3.05	-1.09	-1.40	-1.71	-0.41	0.68	1.69	9.29	8.30	46	0
6:00	2.58	4.69	7.28	4.70	1.67	7.08	5.41	0.91	0.20	4.26	6.10	8.41	4.16	1.33	9.47	8.14	2.93	-1.06	-1.14	-1.34	0.00	1.05	1.41	8.42	7.80	45	0
7:00	2.19	4.30	6.78	4.59	1.14	6.57	5.43	1.05	0.20	3.84	5.69	7.85	4.01	0.67	8.98	8.30	3.17	-1.13	-0.69	-0.90	0.38	1.51	1.40	7.47	6.60	50	0
8:00	3.01	3.49	6.42	3.41	3.89	6.17	2.27	0.88	0.25	4.05	5.10	7.51	3.46	1.44	8.48	7.04	2.61	-0.97	-0.22	-0.47	0.88	1.85	1.62	6.64	8.60	50	46
9:00	11.04	4.12	9.37	-1.67	5.41	8.38	2.97	5.63	0.99	9.46	4.77	9.83	0.37	7.48	9.57	2.09	1.98	0.26	2.33	1.34	2.79	2.53	0.65	7.04	10.90	47	263
10:00	15.77	8.47	10.73	-5.04	15.70	13.17	-2.53	0.07	-2.44	13.33	6.28	9.25	-4.08	19.28	13.17	-6.11	-5.95	-3.92	-0.95	1.49	-2.43	1.49	-2.19	11.69	13.80	42	466
11:00	25.31	14.70	17.04	-8.27	17.60	18.90	1.30	7.71	-1.86	22.18	9.09	13.44	-8.74	29.65	18.71	-10.94	-7.47	-5.27	-3.54	-1.68	-7.14	-1.87	-5.61	20.58	16.10	36	623
12:00	32.65	19.75	22.41	-10.24	27.57	24.26	3.31	5.09	-1.84	31.07	13.02	18.17	-12.89	37.27	23.97	-13.31	-6.21	-5.79	-5.17	-3.32	-9.41	-3.61	-6.73	27.58	18.10	28	738
13:00	35.75	21.96	25.64	-10.11	32.06	28.36	3.71	3.69	-2.72	36.83	16.20	21.95	-14.88	41.46	28.66	-12.80	-4.63	-6.71	-9.75	-7.03	-13.44	-6.74	-5.76	35.39	18.80	23	763
14:00	35.79	23.86	27.46	-8.32	31.75	30.36	1.40	4.03	-2.89	39.13	19.58	24.78	-14.35	41.46	31.57	-9.88	-2.33	-6.79	-13.88	-10.98	-16.56	-9.77	-4.28	41.34	20.50	21	720
15:00	34.11	23.98	27.68	-6.43	30.59	30.56	-0.03	3.53	-2.88	38.22	20.82	25.69	-12.53	38.71	32.60	-6.11	-0.49	-6.91	-12.86	-9.99	-14.85	-7.94	-3.16	40.54	21.30	17	603
16:00	31.12	23.26	26.96	-4.16	30.36	29.95	-0.40	3.76	-3.00	35.00	20.98	25.67	-9.32	35.22	32.29	-2.93	-0.23	-6.62	-10.74	-7.75	-12.03	-5.41	-2.27	37.70	21.60	17	469
17:00	26.27	23.83	25.67	-0.60	29.15	28.06	-1.09	2.88	-2.39	30.36	21.29	24.89	-5.47	29.35	30.96	1.61	1.03	-6.07	-12.53	-10.14	-13.31	-7.24	-2.54	38.20	21.80	19	258
18:00	21.19	21.08	22.08	0.89	24.84	23.39	-1.45	3.65	-1.31	24.19	19.65	21.84	-2.35	21.47	26.59	5.11	2.72	-4.74	-11.97	-10.66	-12.20	-7.46	-1.43	34.05	19.80	23	46
19:00	16.84	18.39	18.43	1.59	17.38	19.57	2.19	0.54	-1.14	19.67	17.77	18.75	-0.92	15.28	22.43	7.15	4.39	-3.68	-8.36	-7.23	-9.04	-4.36	-0.62	26.79	16.20	33	0
20:00	14.74	15.15	17.52	2.78	15.87	17.00	1.13	1.13	0.52	16.33	15.63	18.58	2.25	12.88	19.38	6.49	3.45	-0.79	-5.40	-5.92	-4.34	-3.54	0.48	22.92	14.40	36	0
21:00	12.27	13.59	16.09	3.83	12.94	15.38	2.44	0.67	0.72	14.18	14.00	17.00	2.82	9.97	17.76	7.80	4.22	-0.76	-4.39	-5.11	-3.49	-2.72	0.41	20.48	13.30	38	0
22:00	11.27	11.35	14.71	3.44	10.34	14.04	3.70	0.93	0.67	12.88	12.46	15.63	2.75	8.88	16.43	7.55	4.00	-0.79	-3.75	-4.42	-2.83	-2.03	1.12	18.46	12.30	41	0
23:00	10.62	10.66	13.70	3.09	8.45	13.08	4.63	2.17	0.63	11.96	11.39	14.45	2.49	8.38	15.28	6.90	3.58	-0.83	-2.98	-3.60	-2.22	-1.40	0.73	16.68	11.50	38	0
Min	2.19	3.49	6.42	-10.24	1.14	6.17	-3.71	-3.65	-3.00	3.84	4.77	7.51	-14.88	0.67	8.48	-13.31	-7.47	-6.91	-13.88	-10.98	-16.56	-9.77	-6.73	6.64	6.60	17.00	
Max	35.79	23.98	27.68	4.70	32.06	30.56	6.00	7.71	0.99	39.13	21.29	25.69	4.16	41.46	32.60	8.30	4.39	0.26	2.33	1.49	2.79	2.53	1.69	41.34	21.80	66.00	763.00
Oscilación	33.60	20.49	21.26	14.94	30.92	24.39	9.71	11.35	3.99	35.29	16.53	18.18	19.04	40.78	24.12	21.61	11.86	7.17	16.21	12.47	19.35	12.30	8.42	34.70	15.20	49.00	

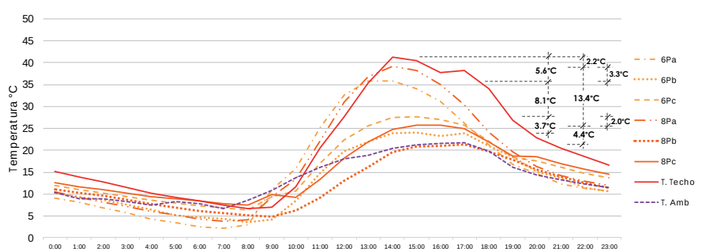


esquema de respresentación



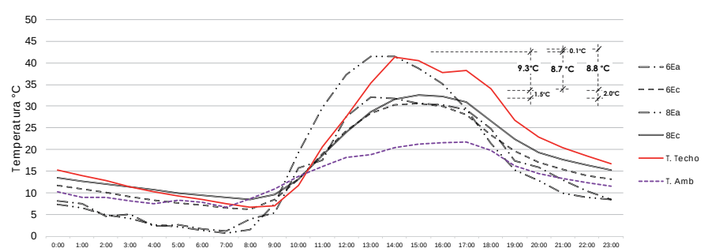
G0 - Oscilación térmica diaria

8Ea>8Pa>Techo>6Pa>6Ea>6Ec>8Ec>6Pc>6Pb>8Pc>8Pb>Amb



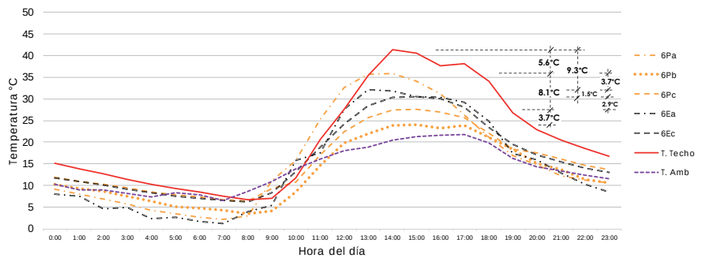
G1 - Efecto térmico del espesor en módulos con vegetación Plantada: 6P - 8P

Oscilación: 8Pa>6Pa>6Pc>6Pb>8Pc>8Pb



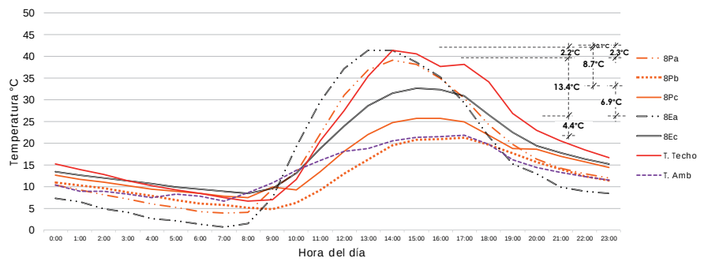
G2 - Efecto térmico del espesor en módulos con vegetación Espontánea: 6E - 8E

Oscilación: 8Ea>6Ea>6Ec>8Ec



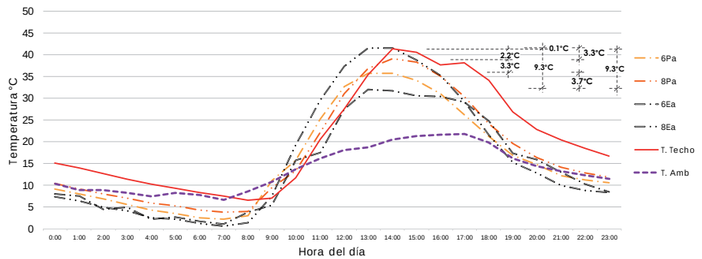
G3 - Efecto térmico de la vegetación en módulos con mismo espesor : 6P - 6E

Oscilación: 6Pa>6Ea>6Ec>6Pc>6Pb



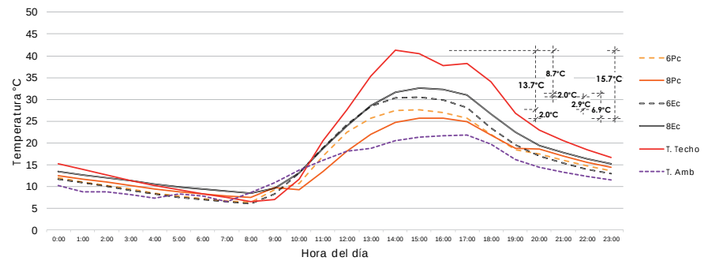
G4 - Efecto térmico de la vegetación en módulos con mismo espesor : 8P - 8E

Oscilación: 8Ea>8Pa>8Ec>8Pc>8Pb



G5 - Comparativo posición -a- en todos los módulos: 6Pa-6Ea-8Pa-8Ea

Oscilación: 8Ea>8Pa>6Pa>6Ea



G6 - Comparativo posición -c- en todos los módulos: 6Pc-6Ec-8Pc-8Ec

Oscilación: 6Ec>8Ec>6Pc>8Pc

Descripción.

G0 - La oscilación térmica diaria del techo en comparación en la posición -a- en el módulo 8Ea es menor por 6.0°C y con 8Pa por 0.59°C, y con 6Pa es mayor por 1.1°C y con 6Ea 3.78°C. La reducción de la oscilación en la posición -b- contra el techo en 6Pb es de 13.44°C y en 16.52°C en 8Pa, el efecto del espesor del sustrato registra una diferencia de 3.08°C, y con el mismo espesor pero con distinta vegetación 8Pc-8Ec de 5.94°C a favor de la vegetación plantada.

G1 - En módulos con vegetación plantada y distinto espesor en posición -a- es mayor la regulación térmica en 6 cm con una diferencia de 3.3°C en relación al espesor de 8 cm en la temp. máxima diaria, en -b- de 2.0°C y en -c- 1.99°C, es significativo el efecto del espesor del sustrato.

G2 - En módulos con vegetación espontánea y distinto espesor, en la posición -a- el desempeño notorio en los dos espesores con una diferencia de 8.8°C menor en el espesor 6 cm, en -c- la diferencia disminuye a 2.0°C ahora a favor del espesor de 8 cm.

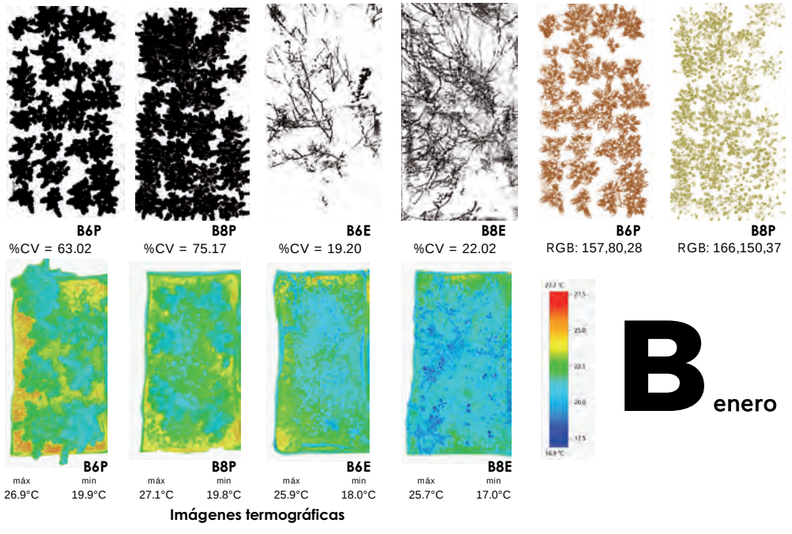
G3 - En módulos con mismo espesor 6 cm, es evidente el efecto de regulación térmica con vegetación plantada en -c- y -b-, en el módulo con vegetación espontanea la reducción entre la posición -a- y -c- sólo es de 1.5°C.

G4 - En módulos con mismo espesor 8 cm es evidente el efecto de la vegetación plantada contra la espontánea en las temp. máx. diarias, en -a- de 2.3°C y en -c- 6.9°C.

G5 - En todos los módulos en la posición -a- la oscilación más baja es con los espesores de 6 cm, siendo 6Ea la menor con una diferencia de 3.7°C comparado con 6Pa en temp. máxima diaria.

G6 - En la posición -c- los módulos con vegetación plantada registran menor oscilación térmica diaria, con una reducción de 15.7°C de 8Pc contra el techo en las temp. máxima diaria.

% C.V. - En los módulos con vegetación plantada con espesor de 8 cm es mayor un 12.15% comparado con el de 6 cm. En los de vegetación espontánea la cobertura es similar con una diferencia de 2.82% mayor en el de 8cm.



Imágenes termográficas

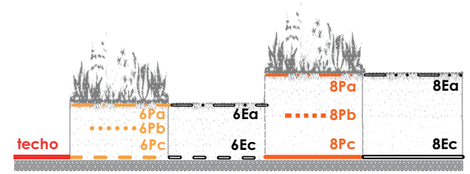
B enero

B

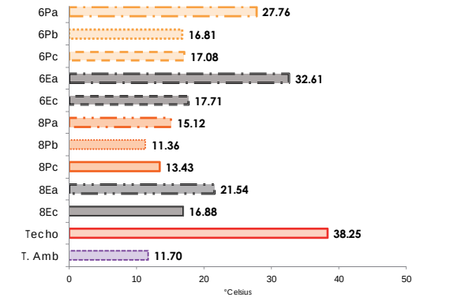
6 cm | 8 cm | ≠ temp | amb

6P 6 cm - vegetación Plantada | **6E** 6 cm - veg Espontánea | comparación 6cm veg Plantada - Espontánea | **8P** 8 cm - vegetación Plantada | **8E** 8 cm - veg Espontánea | comparación 8cm veg Plantada - Espontánea | ≠ temp 6 cm | ≠ temp 8 cm | ≠ temp b | Techo | parámetros ambientales

Hora	6Pa	6Pb	6Pc	6Pc-6Pa	6Ea	6Ec	6Ec-6Ea	6Pa-6Ea	6Pc-6Ec	8Pa	8Pb	8Pc	8Pc-8Pa	8Ea	8Ec	8Ec-8Ea	8Pa-8Ea	8Pc-8Ec	6Pc-Techo	6Ec-Techo	8Pc-Techo	8Ec-Techo	6Pb-8Pb	Testigo	T. Amb	%HR	Radiación
0:00	17.89	18.15	19.66	1.78	18.67	19.66	0.99	-0.78	0.00	17.81	18.30	19.38	1.57	17.48	19.57	2.09	0.33	-0.19	-4.90	-4.90	-5.18	-4.99	0.14	24.56	18.70	68	0
1:00	17.63	17.87	19.47	1.84	18.89	19.47	0.58	-1.26	0.00	17.71	17.94	19.28	1.57	17.48	19.47	2.00	0.24	-0.19	-3.86	-3.86	-4.05	-3.86	0.07	23.33	18.70	68	0
2:00	17.13	17.63	19.04	1.92	18.45	19.09	0.64	-1.32	-0.05	17.28	17.77	18.95	1.67	16.90	19.19	2.28	0.38	-0.24	-2.18	-2.13	-2.27	-2.04	0.14	21.22	18.10	70	0
3:00	16.87	17.25	18.76	1.89	17.02	18.81	1.79	-0.15	-0.05	17.19	17.65	18.66	1.47	16.81	18.90	2.09	0.38	-0.24	-2.15	-2.11	-2.25	-2.01	0.40	20.91	18.00	70	0
4:00	16.71	17.15	18.57	1.86	17.98	18.62	0.64	-1.27	-0.05	16.86	17.51	18.47	1.62	16.71	18.81	2.09	0.14	-0.33	-1.96	-1.92	-2.06	-1.73	0.36	20.53	17.90	69	0
5:00	16.62	16.94	18.28	1.67	17.67	18.33	0.66	-1.05	-0.05	16.90	17.42	18.19	1.28	16.52	18.43	1.90	0.38	-0.24	-1.68	-1.63	-1.77	-1.53	0.48	19.96	17.90	69	0
6:00	16.20	16.92	18.09	1.89	17.03	18.05	1.02	-0.83	0.05	16.71	17.25	18.14	1.43	15.95	18.24	2.29	0.76	-0.10	-1.46	-1.51	-1.41	-1.32	0.33	19.56	17.40	75	0
7:00	16.68	16.63	18.14	1.46	17.87	18.33	0.46	-1.19	-0.19	17.14	17.01	18.09	0.95	16.90	18.43	1.52	0.24	-0.33	0.68	0.87	0.63	0.96	0.36	17.46	17.40	77	30
8:00	18.68	17.11	19.04	0.36	20.43	19.47	-0.96	-1.75	-0.43	18.38	17.13	18.66	0.29	18.90	19.38	0.48	-0.52	-0.71	0.27	0.70	-0.11	0.61	0.02	18.77	18.30	72	101
9:00	22.92	18.72	21.52	-1.40	25.87	22.05	-3.82	-2.95	-0.52	20.42	17.68	20.19	-0.24	23.39	21.76	-1.63	-2.96	-1.57	-2.67	-2.15	-4.01	-2.44	-1.05	24.20	20.20	62	299
10:00	29.68	21.87	23.87	-5.81	29.65	24.64	-5.01	0.03	-0.77	22.24	19.25	21.57	-0.67	27.96	23.97	-4.00	-5.72	-2.40	-7.97	-7.20	-10.27	-7.88	-2.62	31.84	22.10	53	580
11:00	35.22	25.65	27.91	-7.31	35.89	27.96	-7.93	-0.67	-0.05	24.88	20.87	23.77	-1.11	30.26	27.57	-2.69	-5.37	-3.79	-11.26	-11.22	-15.40	-11.61	-4.78	39.18	23.40	47	514
12:00	40.24	27.09	31.73	-8.51	43.74	30.15	-13.59	-3.50	1.83	26.49	22.80	26.34	-0.15	34.06	30.56	-3.50	-7.57	-4.22	-14.02	-15.60	-19.41	-15.19	-4.29	45.75	24.70	45	853
13:00	43.16	29.12	33.80	-9.36	48.87	33.01	-15.86	-5.71	0.79	28.85	24.87	28.21	-0.65	36.19	32.50	-3.69	-7.33	-4.29	-16.74	-17.53	-22.33	-18.05	-4.24	50.54	26.20	40	665
14:00	41.69	31.03	33.12	-8.57	44.59	32.29	-12.30	-2.91	0.83	29.15	26.70	29.05	-0.10	33.54	31.78	-1.76	-4.38	-2.72	-20.84	-21.67	-24.91	-22.18	-4.33	53.96	25.90	38	452
15:00	43.97	32.10	34.64	-9.33	47.78	35.22	-12.56	-3.81	-0.58	31.83	27.41	30.31	-1.52	37.49	34.06	-3.44	-5.66	-3.75	-21.07	-20.49	-25.41	-21.66	-4.69	55.72	27.20	35	616
16:00	43.53	33.44	35.18	-8.35	45.67	35.76	-9.91	-2.14	-0.58	31.63	28.37	31.52	-0.10	37.27	35.12	-2.16	-5.65	-3.59	-16.21	-15.63	-19.86	-16.27	-5.07	51.38	28.40	30	624
17:00	37.59	31.97	33.49	-4.11	38.23	30.36	-7.87	-0.64	3.13	27.72	28.27	30.97	3.25	32.70	32.50	-0.21	-4.99	-1.53	-15.82	-18.95	-18.34	-16.81	-3.70	49.31	27.30	38	264
18:00	25.40	28.52	25.22	-0.18	29.36	22.91	-6.45	-3.96	2.31	20.47	27.01	24.79	4.32	21.00	23.58	2.59	-0.52	1.21	-13.87	-16.19	-14.31	-15.51	-1.50	39.09	18.20	77	23
19:00	18.74	19.98	21.62	2.87	21.62	21.09	-0.53	-2.88	0.53	18.28	22.66	21.52	3.24	18.81	21.95	3.15	-0.52	-0.43	-16.22	-16.75	-16.32	-15.89	2.67	37.84	16.70	85	0
20:00	17.44	18.44	19.95	2.51	18.38	19.85	1.47	-0.94	0.09	17.81	21.01	20.33	2.52	18.24	21.00	2.76	-0.43	-0.67	-6.55	-6.65	-6.17	-5.50	2.57	26.50	17.20	78	0
21:00	17.06	17.99	19.61	2.55	17.98	19.57	1.59	-0.92	0.05	17.86	19.96	19.85	2.00	17.76	20.62	2.86	0.09	-0.76	-5.64	-5.69	-5.41	-4.64	1.97	25.26	17.80	75	0
22:00	16.97	17.27	19.19	2.22	17.36	19.09	1.73	-0.39	0.09	17.67	18.94	19.57	1.90	17.76	20.04	2.28	-0.10	-0.48	-5.85	-5.95	-5.47	-5.00	1.67	25.04	17.70	79	0
23:00	16.33	17.34	18.38	2.05	16.26	18.05	1.79	0.07	0.33	16.81	18.65	18.76	1.95	16.43	18.90	2.47	0.38	-0.14	-5.19	-5.52	-4.81	-4.67	1.31	23.57	16.90	80	0
Min	16.20	16.63	18.09	-9.36	16.26	18.05	-15.86	-5.71	-0.77	16.71	17.01	18.09	-1.52	15.95	18.24	-4.00	-7.57	-4.29	-21.07	-21.67	-25.41	-22.18	-5.07	17.46	16.70	30.00	
Max	43.97	33.44	35.18	2.87	48.87	35.76	1.79	0.07	3.13	31.83	28.37	31.52	4.32	37.49	35.12	3.15	0.76	1.21	0.68	0.87	0.63	0.96	2.67	55.72	28.40	85.00	853.00
Oscilación	27.76	16.81	17.08	12.23	32.61	17.71	17.64	5.79	3.90	15.12	11.36	13.43	5.84	21.54	16.88	7.14	8.33	5.49	21.75	22.54	26.04	23.15	7.75	38.25	11.70	55.00	

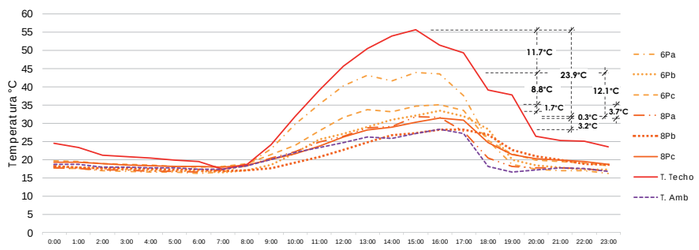


esquema de respresentación



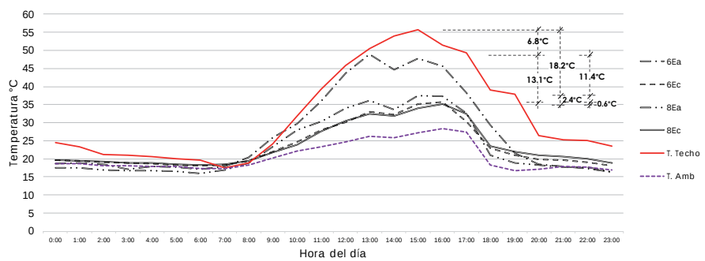
G0 - Oscilación térmica diaria

Techo>6Ea>6Pa>8Ea>6Ec>6Pc>8Ec>6Pb>8Pa>8Pc>8Pb>Amb



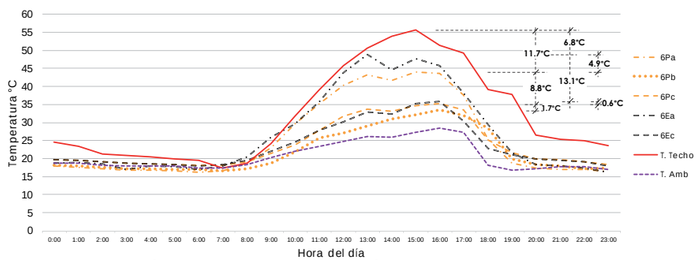
G1 - Efecto térmico del espesor en módulos con vegetación Plantada: 6P- 8P

Oscilación: 6Pa>6Pc>6Pb>8Pa>8Pc>8Pb



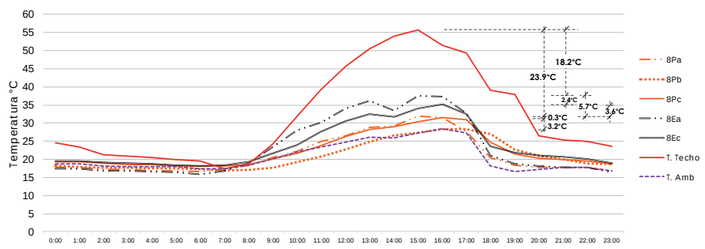
G2 - Efecto térmico del espesor en módulos con vegetación Espontánea: 6E - 8E

Oscilación: 6Ea>8Ea>8Ec>6Ec



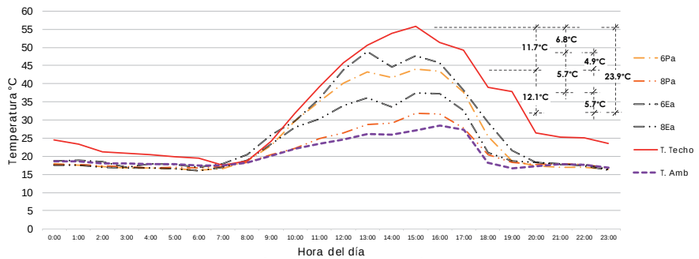
G3 - Efecto térmico de la vegetación en módulos con mismo espesor : 6P- 6E

Oscilación: 6Ea>6Pa>6Ec>6Pc>6Pb



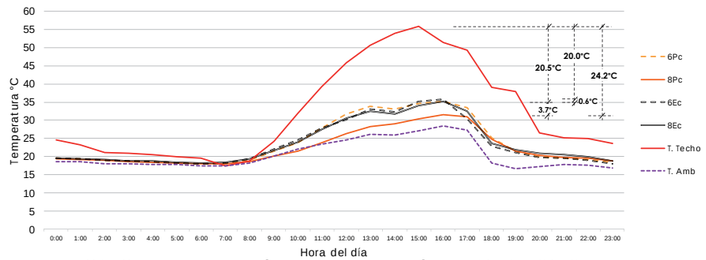
G4 - Efecto térmico de la vegetación en módulos con mismo espesor : 8P - 8E

Oscilación: 8Ea>8Ec>8Pa>8Pc>8Pb



G5 - Comparativo posición -a- en todos los módulos: 6Pa-6Ea-8Pa-8Ea

Oscilación: 6Ea>6Pa>8Ea>8Pa



G6 - Comparativo posición -c- en todos los módulos: 6Pc-6Ec-8Pc-8Ec

Oscilación: 6Ec>6Pc>8Ec>8Pc

Descripción.

G0 - La oscilación térmica diaria del techo es superior a todas, la más cercana 6Ea registra 5.64°C menos. La oscilación es menor en los módulos con vegetación plantada y mayor espesor, 8Pb registra la menor oscilación térmica diaria con 11.36°C.

G1 - La temp. máx. diaria en los módulos con vegetación plantada y distinto espesor en la posición -a- es mayor en espesor con 6 cm por 12.1°C que el de 8 cm, y en -c- la diferencia es de 3.7°C mayor en 6 cm que en 8 cm. En -b- la diferencia se reduce a 5.07°C entre los dos espesores, siendo más bajo en 8 cm. No existe diferencia significativa en el módulo con espesor de 8 cm en la posición -a- y -c-.

G2 - En los módulos con vegetación espontánea y distinto espesor, existe una diferencia significativa en la temp. máxima diaria en la posición -a- de 11.4°C; mientras en que la posición -c- la diferencia es por tan sólo 0.6°C.

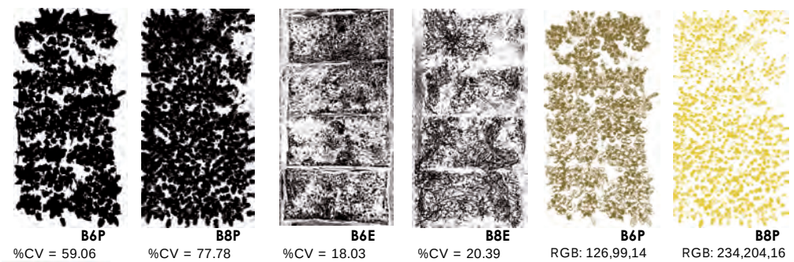
G3 - En módulos con mismo espesor 6cm, existe una diferencia de la temp. máxima diaria en la posición -a- de 4.9°C; mientras en que la posición -c- la diferencia es por tan sólo 0.6°C.

G4 - El efecto de la vegetación plantada en los módulos con espesor de 8 cm es evidente, en -a- con una diferencia de 5.7°C y en -c- por 3.6°C.

G5 - En la gráfica se observa claramente el efecto térmico del espesor y de la vegetación plantada. La mayor reducción de la temp. máxima diaria en comparación con el techo se registra en 8Pa con 23.9°C.

G6 - Los registros de los módulos 6Ec, 6Pc y 8Ec son muy parecidos, con una diferencia máx. de 0.6°, el módulo 8Pc con una diferencia entre ellos de 3.7°C y una reducción contra el techo de 24.2°C.

% C.V. - En los módulos con vegetación plantada con espesor de 8 cm es mayor un 18.72% comparado con el de 6 cm. En los de vegetación espontánea la cobertura es mayor en el espesor de 8 cm por 2.36%. La diferencia del % de cobertura entre la vegetación plantada y espontánea en 8 cm es de 58.39% y en 6 cm de 41.03%.

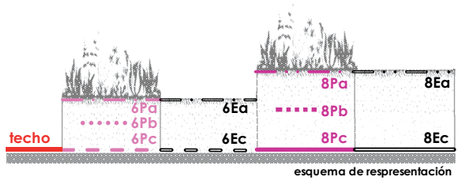


Imágenes termográficas

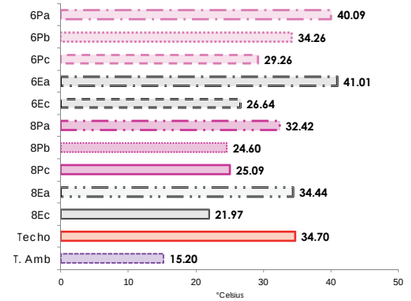
B mayo

C

	6 cm				8 cm				≠ temp				amb			
	6P 6 cm - vegetación Plantada				6E 6 cm - veg Espontánea			comparación 6cm veg Plantada-Espontánea		8P 8 cm - vegetación Plantada			8E 8 cm - veg Espontánea			comparación 8cm veg Plantada-Espontánea		≠ temp 6 cm		≠ temp 8 cm		≠ temp b	Techo	parámetros ambientales		
Hora	6Pa	6Pb	6Pc	6Pc-6Pa	6Ea	6Ec	6Ec-6Ea	6Pa-6Ea	6Pc-6Ec	8Pa	8Pb	8Pc	8Pc-8Pa	8Ea	8Ec	8Ec-8Ea	8Pa-8Ea	8Pc-8Ec	6Pc-Techo	6Ec-Techo	8Pc-Techo	8Ec-Techo	6Pb-8Pb	Testigo	T. Amb	%HR	Radiación
0:00	8.48	9.11	11.63	3.14	8.38	11.82	3.44	0.10	-0.19	8.93	9.34	11.82	2.89	8.58	11.92	3.34	0.35	-0.10	-3.55	-3.36	-3.36	-3.26	0.22	15.18	10.30	64	0
1:00	7.38	8.10	10.60	3.22	7.38	10.85	3.47	0.00	-0.24	7.78	8.52	10.81	3.03	7.68	11.43	3.75	0.10	-0.62	-3.30	-3.06	-3.09	-2.48	0.42	13.91	8.90	66	0
2:00	6.44	7.67	9.72	3.28	6.17	10.06	3.90	0.27	-0.34	6.77	7.65	9.93	3.16	6.57	10.85	4.28	0.20	-0.92	-3.03	-2.69	-2.82	-1.90	-0.03	12.75	8.90	56	0
3:00	5.04	6.56	8.83	3.79	5.14	9.18	4.04	-0.10	-0.35	5.60	6.46	9.01	3.41	5.96	10.16	4.20	-0.36	-1.15	-2.59	-2.24	-2.41	-1.26	-0.10	11.42	8.20	56	0
4:00	3.65	5.02	7.88	4.23	3.79	8.28	4.49	-0.14	-0.40	4.20	5.41	8.05	3.84	5.04	9.47	4.43	-0.83	-1.42	-2.36	-1.97	-2.20	-0.78	0.39	10.25	7.40	57	0
5:00	2.91	3.70	7.08	4.17	3.16	7.58	4.43	-0.25	-0.50	3.42	4.27	7.28	3.86	4.62	8.88	4.26	-1.21	-1.60	-2.21	-1.71	-2.01	-0.41	0.58	9.29	8.30	46	0
6:00	2.05	3.04	6.47	4.42	2.30	6.98	4.68	-0.25	-0.51	2.57	3.67	6.64	4.07	4.21	8.28	4.07	-1.64	-1.64	-1.95	-1.44	-1.78	-0.14	0.63	8.42	7.80	45	0
7:00	1.47	2.18	5.86	4.38	1.87	6.47	4.60	-0.40	-0.61	2.08	3.12	6.06	3.98	3.58	7.78	4.20	-1.49	-1.72	-1.61	-1.00	-1.41	0.31	0.93	7.47	6.60	50	0
8:00	2.26	1.72	5.40	3.13	2.62	5.96	3.34	-0.36	-0.56	2.25	2.34	5.52	3.27	4.52	7.38	2.86	-2.27	-1.86	-1.24	-0.67	-1.12	0.74	0.62	6.64	8.60	50	46
9:00	11.84	3.59	9.27	-2.57	4.42	6.57	2.16	7.43	2.70	11.62	2.74	7.95	-3.67	10.26	7.08	-3.18	1.35	0.87	2.23	-0.47	0.91	0.04	-0.85	7.04	10.90	47	263
10:00	17.53	13.47	13.50	-4.03	7.18	7.78	0.60	10.35	5.72	13.77	5.39	8.90	-4.87	12.79	9.37	-3.42	0.99	-0.47	1.81	-3.90	-2.78	-2.32	-8.09	11.69	13.80	42	466
11:00	28.23	25.16	22.46	-5.76	23.48	13.37	-10.12	4.74	9.10	28.10	16.65	21.23	-6.87	32.98	21.45	-11.53	-4.88	-0.22	-1.34	-5.44	-6.35	-6.13	-10.02	27.58	18.10	28	738
12:00	33.73	26.67	26.24	-7.48	34.69	22.14	-12.55	-0.96	4.10	32.65	21.13	26.05	-6.59	37.54	25.76	-11.78	-4.89	0.29	-4.09	-7.13	-9.34	-9.63	-10.82	35.39	18.80	23	763
13:00	39.46	31.94	31.30	-8.16	41.23	28.26	-12.97	-1.76	3.04	34.51	24.77	29.32	-5.19	38.02	29.05	-8.97	-3.51	0.27	-6.68	-9.77	-12.02	-12.29	-11.21	41.34	20.50	21	720
14:00	41.56	35.99	34.66	-6.91	42.88	31.57	-11.30	-1.32	3.08	34.30	26.38	30.47	-3.84	37.65	28.97	-8.68	-3.35	1.50	-6.24	-7.94	-10.08	-11.57	-7.98	40.54	21.30	17	603
15:00	39.59	34.36	34.30	-5.29	42.16	32.60	-9.56	-2.58	1.70	32.48	26.94	30.60	-1.88	32.87	27.98	-4.89	-0.39	2.62	-4.19	-5.31	-7.10	-9.72	-6.27	37.70	21.60	17	469
16:00	36.68	33.21	33.51	-3.17	38.05	32.39	-5.65	-1.37	1.12	29.58	26.26	29.37	-0.21	26.79	25.43	-1.36	2.79	3.94	-6.99	-7.64	-8.83	-12.77	-3.89	38.20	21.80	19	258
17:00	31.97	30.14	31.21	-0.76	31.68	30.56	-1.12	0.29	0.65	23.27	22.59	25.14	1.87	21.36	22.41	1.05	1.91	2.73	-7.43	-7.85	-8.91	-11.64	-3.14	34.05	19.80	23	46
18:00	24.96	25.72	26.61	1.65	23.29	26.20	2.90	1.67	0.42	17.79	18.96	20.19	2.40	12.88	16.71	3.83	4.91	3.48	-7.05	-5.03	-6.60	-10.08	0.05	26.79	16.20	33	0
19:00	17.38	18.91	19.74	2.36	17.38	21.76	4.38	0.00	-2.02	15.43	15.49	19.50	4.08	11.43	15.28	3.85	3.99	4.22	-4.30	-4.30	-3.42	-7.64	0.91	22.92	14.40	36	0
20:00	14.68	14.58	18.62	3.94	14.52	18.62	4.10	0.16	0.00	12.69	13.45	17.32	4.63	9.87	14.23	4.36	2.82	3.09	-3.91	-3.87	-3.17	-6.25	0.36	20.48	13.30	38	0
21:00	11.85	13.09	16.57	4.72	11.82	16.62	4.80	0.03	-0.05	11.48	11.35	15.41	3.93	8.88	13.56	4.68	2.60	1.85	-3.61	-3.66	-3.05	-4.90	0.76	18.46	12.30	41	0
22:00	10.68	10.59	14.85	4.17	10.55	14.80	4.25	0.13	0.05	10.70	10.17	14.04	3.34	8.28	12.59	4.31	2.42	1.44	-3.02	-3.02	-2.64	-4.08	0.12	16.68	11.50	38	0
23:00	10.16	10.05	13.65	3.49	9.67	13.65	3.99	0.49	0.00																		
Min	1.47	1.72	5.40	-8.16	1.87	5.96	-12.97	-2.58	-2.02	2.08	2.34	5.52	-6.87	3.58	7.08	-11.78	-4.89	-1.86	-7.43	-9.77	-12.02	-12.77	-14.70	6.64	6.60	17.00	
Max	41.56	35.99	34.66	4.72	42.88	32.60	4.80	10.35	9.10	34.51	26.94	30.60	4.63	38.02	29.05	4.68	4.91	4.22	2.23	-0.47	0.91	0.74	0.93	41.34	21.80	66.00	763.00
Oscilación	40.09	34.26	29.26	12.88	41.01	26.64	17.77	12.93	11.11	32.42	24.60	25.09	11.50	34.44	21.97	16.46	9.80	6.09	9.67	9.30	12.93	13.51	15.63	34.70	15.20	49.00	

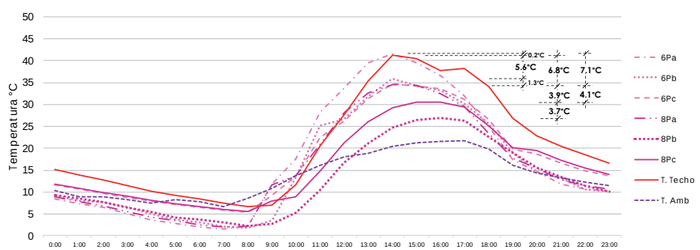


esquema de respresentación



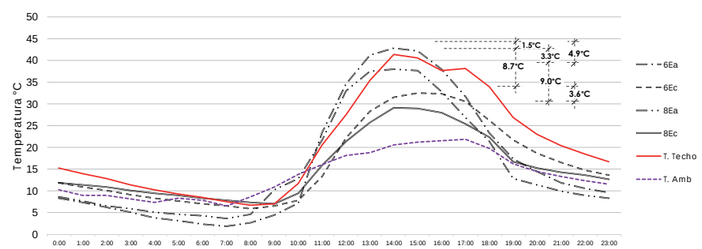
G0 - Oscilación térmica diaria

6Ea>6Pa>Techo>8Ea>6Pb>8Pa>6Pc>6Ec>8Pc>8Pb>8Ec>Amb



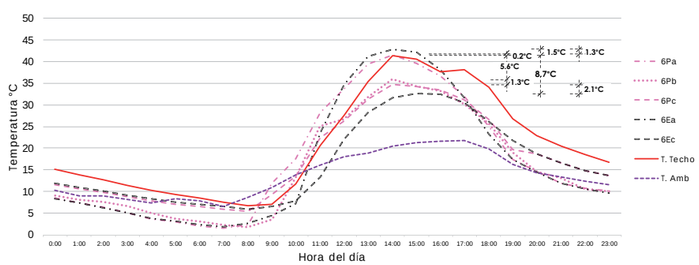
G1 - Efecto térmico del espesor en módulos con vegetación Plantada: 6P- 8P

Oscilación: 6Pa>6Pb>8Pa>6Pc>8Pc>8Pb



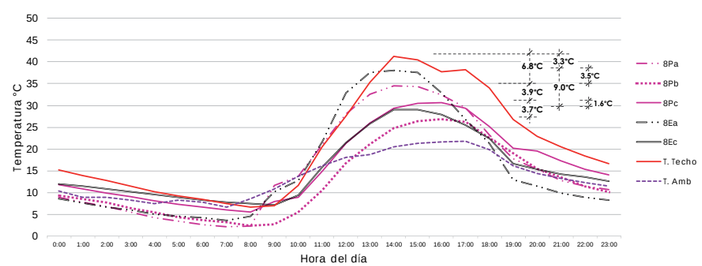
G2 - Efecto térmico del espesor en módulos con vegetación Espontánea: 6E - 8E

Oscilación: 6Ea>8Ea>6Ec>8Ec



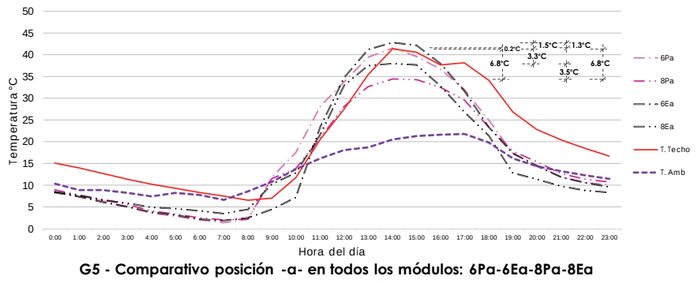
G3 - Efecto térmico de la vegetación en módulos con mismo espesor : 6P- 6E

Oscilación: 6Ea>6Pa>6Pb>6Pc>6Ec



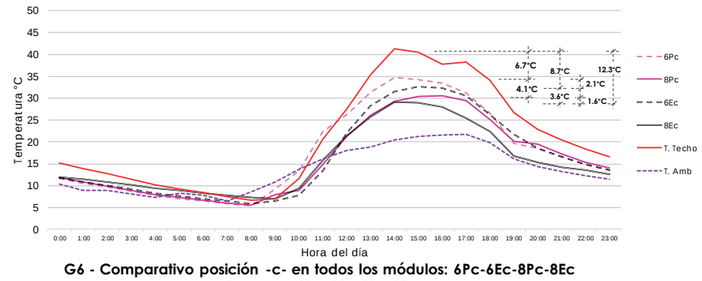
G4 - Efecto térmico de la vegetación en módulos con mismo espesor : 8P - 8E

Oscilación: 8Ea>8Pa>8Pc>8Pb>8Ec



G5 - Comparativo posición -a- en todos los módulos: 6Pa-6Ea-8Pa-8Ea

Oscilación: 6Ea>6Pa>8Ea>8Pa



G6 - Comparativo posición -c- en todos los módulos: 6Pc-6Ec-8Pc-8Ec

Oscilación: 6Pc>6Ec>8Pc>8Ec

Descripción.

G0 - La oscilación térmica diaria comparada con la del techo en 6Ea es mayor por 6.31°C, y en 6Pa por 5.39°C. La menor oscilación se registra en la posición -c- con mayor espesor de sustrato y vegetación espontánea en 8Ec, con una diferencia de 12.73°C contra el techo.

G1 - La temp. máx. diaria en 6Pa es mayor que la del techo por 0.2°C. En módulos con vegetación plantada y distinto espesor en posición -a- es mayor la regulación térmica en espesor de 8 cm con una diferencia de 7.1°C en relación al espesor de 6 cm en la temp. máxima diaria, en -b- de 9.05°C y en -c- 4.1°C, es significativo el efecto del espesor.

G2 - La temp. máxima diaria en 6Ea es mayor que la del techo por 1.5°C. En módulos con vegetación espontánea y distinto espesor, en la posición -a- el desempeño es notorio en los dos espesores con una diferencia de 4.9°C menor en el espesor 8 cm, en -c- la diferencia disminuye en 3.6°C ahora a favor del espesor de 8 cm. Es significativo el efecto del espesor del sustrato.

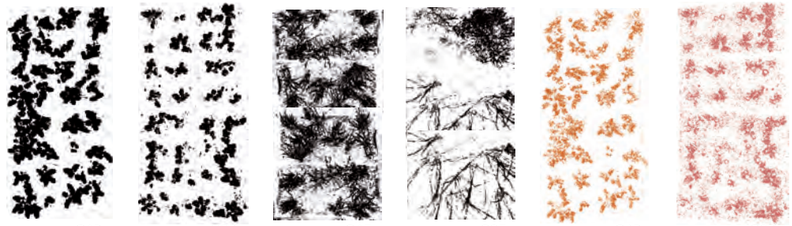
G3 - En módulos con mismo espesor 6 cm, en posición -a- la temp. máx. diaria es mayor que la del techo. Es evidente el efecto de regulación térmica con vegetación espontánea en -c-, con una diferencia de 2.1°C con la plantada.

G4 - En módulos con mismo espesor 8 cm la reducción en la temp. máx. diaria en relación al techo en 8Ea es de 3.3°C y con 8Pa de 6.8°C. En -c- es menor la oscilación térmica con vegetación espontánea que plantada.

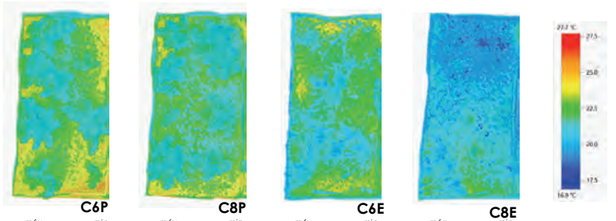
G5 - En todos los módulos en la posición -a- la oscilación más baja es con los espesores de 8 cm. La mayor reducción comparada con la temp. máx. diaria del techo es en 8Pa con 6.8°C.

G6 - En la posición -c- los módulos con espesor de 8 cm registran menor oscilación térmica diaria. La mayor reducción contra la temp. máx. diaria del techo es de 12.3°C por 8Ec.

% C.V. - En los módulos con vegetación plantada con espesor de 6 cm es mayor un 17.42% comparado con el de 8 cm. En los de vegetación espontánea la cobertura es mayor en el espesor de 8 cm por 2.24%. La diferencia del % de cobertura entre la vegetación plantada y espontánea en 8 cm es de 1.53% y en 6 cm de 21.19%.



C6P %CV = 37.50 — **C8P** %CV = 20.08 — **C6E** %CV = 16.31 — **C8E** %CV = 18.55 — **C6P** RGB: 201,90,22 — **C8P** RGB: 196,87,83



Imágenes termográficas

C enero

C

6 cm — 6P 6 cm - vegetación Plantada

Hora	6Pa	6Pb	6Pc	6Pc-6Pa
0:00	17.82	18.22	19.57	1.74
1:00	17.57	17.72	19.42	1.85
2:00	16.94	17.18	18.95	2.01
3:00	16.84	16.80	18.62	1.78
4:00	16.65	16.65	18.38	1.73
5:00	16.62	16.58	18.14	1.52
6:00	16.01	16.49	17.95	1.94
7:00	17.00	15.94	17.90	0.90
8:00	19.41	17.08	18.66	-0.75
9:00	24.10	20.75	21.04	-3.05
10:00	31.58	25.91	23.39	-8.19
11:00	33.54	33.50	27.08	-6.46
12:00	37.10	32.23	30.71	-6.39
13:00	40.16	32.82	32.91	-7.25
14:00	39.91	35.96	32.70	-7.21
15:00	43.74	38.76	34.16	-9.57
16:00	42.13	40.34	35.06	-7.07
17:00	34.45	40.52	33.85	-0.60
18:00	20.14	29.09	24.88	4.74
19:00	17.82	19.08	21.38	3.55
20:00	17.22	17.92	19.85	2.63
21:00	16.94	17.51	19.42	2.49
22:00	16.97	16.89	19.00	2.03
23:00	15.79	16.92	18.09	2.30
Min	15.79	15.94	17.90	-9.57
Max	43.74	40.52	35.06	4.74
Oscilación	27.94	24.58	17.16	14.32

6 cm — 6E 6 cm - veg Espontánea

6Ea	6Ec	6Ec-6Ea
18.24	20.23	2.00
17.95	19.85	1.90
17.28	19.47	2.19
17.19	19.09	1.90
17.00	18.81	1.81
17.00	18.62	1.62
16.24	18.33	2.09
17.09	18.24	1.14
19.38	19.00	-0.38
24.55	21.47	-3.07
31.27	24.16	-7.11
34.37	28.46	-5.92
38.60	31.88	-6.72
41.11	34.27	-6.84
39.39	34.06	-5.33
43.72	35.97	-7.75
42.64	36.95	-5.69
36.40	35.12	-1.29
21.47	25.32	3.85
18.81	22.14	3.34
17.86	20.52	2.66
17.38	19.95	2.57
17.19	19.38	2.19
15.95	18.43	2.48
15.95	18.24	-7.75
43.72	36.95	3.85

6 cm — comparación 6cm veg Plantada - Espontánea

6Pa-6Ea	6Pc-6Ec
-0.41	-0.67
-0.38	-0.43
-0.35	-0.52
-0.35	-0.48
-0.35	-0.43
-0.38	-0.48
-0.22	-0.38
-0.10	-0.33
0.03	-0.33
-0.45	-0.43
0.31	-0.77
-0.84	-1.38
-1.50	-1.17
-0.95	-1.36
0.52	-1.35
0.01	-1.81
-0.51	-1.88
-1.96	-1.27
-1.33	-0.44
-0.98	-0.76
-0.63	-0.67
-0.48	-0.52
-0.22	-0.38
-0.16	-0.33
-1.96	-1.88
0.52	-0.33

8 cm — 8P 8 cm - vegetación Plantada

8Pa	8Pb	8Pc	8Pc-8Pa
17.63	18.44	19.23	1.60
17.41	18.03	18.95	1.54
16.81	17.70	18.57	1.76
16.71	17.27	18.24	1.52
16.52	17.08	18.00	1.47
16.52	16.87	17.81	1.28
15.95	16.70	17.57	1.62
16.74	16.34	17.47	0.73
18.58	16.87	18.19	-0.40
22.53	18.72	20.38	-2.15
27.57	22.47	22.57	-5.00
30.50	27.65	26.10	-4.40
34.16	29.19	29.81	-4.35
37.27	31.59	32.15	-5.12
36.37	33.65	32.35	-4.02
40.99	34.39	33.85	-7.14
40.47	35.58	34.91	-5.56
33.63	34.89	33.75	0.12
21.03	30.62	26.00	4.97
18.46	22.49	21.66	3.21
17.60	20.29	20.00	2.39
17.28	19.25	19.38	2.09
17.19	18.27	18.95	1.76
16.08	17.99	18.14	2.06
15.95	16.34	17.47	-7.14
40.99	35.58	34.91	4.97

8 cm — 8E 8 cm - veg Espontánea

8Ea	8Ec	8Ec-8Ea

8 cm — comparación 8cm veg Plantada - Espontánea

8Pa-8Ea	8Pc-8Ec

≠ temp — ≠ temp 6 cm

6Pc-Techo	6Ec-Techo
-4.99	-4.32
-3.90	-3.48
-2.27	-1.75
-2.30	-1.82
-2.15	-1.73
-1.82	-1.34
-1.61	-1.22
0.44	0.77
-0.11	0.22
-3.15	-2.72
-8.45	-7.68
-12.10	-10.72
-15.04	-13.87
-17.63	-16.28
-21.26	-19.90
-21.55	-19.74
-16.32	-14.44
-15.46	-14.19
-14.21	-13.77
-16.46	-15.70
-6.65	-5.98
-5.83	-5.31
-6.04	-5.66
-5.48	-5.14
-21.55	-19.90
0.44	0.77

≠ temp — ≠ temp 8 cm

8Pc-Techo	8Ec-Techo
-5.32	-24.56
-4.38	-23.33
-2.65	-21.22
-2.68	-20.91
-2.53	-20.53
-2.15	-19.96
-1.99	-19.56
0.01	-17.46
-0.58	-18.77
-3.82	-24.20
-9.27	-31.84
-13.08	-39.18
-15.94	-45.75
-18.40	-50.54
-21.61	-53.96
-21.86	-55.72
-16.47	-51.38
-15.56	-49.31
-13.09	-39.09
-16.17	-37.84
-6.50	-26.50
-5.88	-25.26
-6.09	-25.04
-5.43	-23.57
-21.86	-55.72
0.01	-17.46

≠ temp b

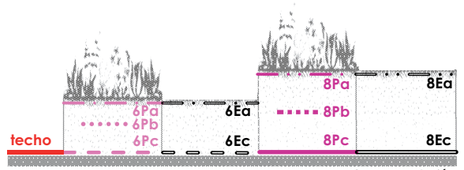
6Pb-8Pb
0.21
0.31
0.52
0.48
0.43
0.29
0.21
0.41
-0.21
-2.02
-3.45
-5.84
-3.04
-1.23
-2.31
-4.37
-4.76
-5.63
1.53
3.41
2.38
1.74
1.38
1.07
-5.84
0.44

amb — Techo

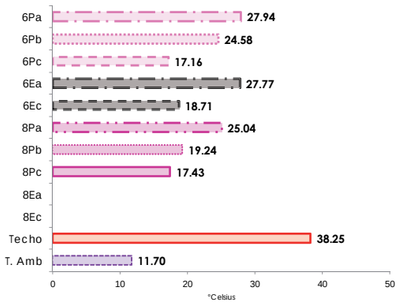
Techo
24.56
23.33
21.22
20.91
20.53
19.96
19.56
17.46
18.77
24.20
31.84
39.18
45.75
50.54
53.96
55.72
51.38
49.31
39.09
37.84
26.50
25.26
25.04
23.57
17.46
55.72

amb — parámetros ambientales

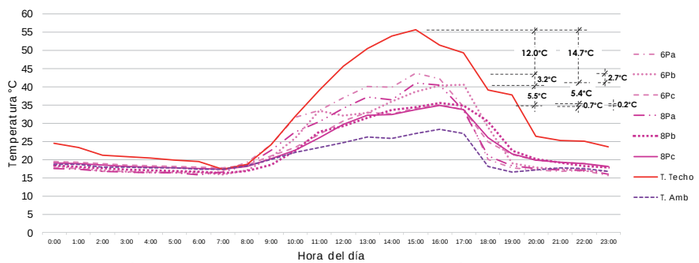
T. Amb	%HR	Radiación
18.70	68	0
18.70	68	0
18.10	70	0
18.00	70	0
17.90	69	0
17.90	69	0
17.40	75	0
17.40	77	30
18.30	72	101
20.20	62	299
22.10	53	580
23.40	47	514
24.70	45	853
26.20	40	665
25.90	38	452
27.20	35	616
28.40	30	624
27.30	38	264
18.20	77	23
16.70	85	0
17.20	78	0
17.80	75	0
17.70	79	0
16.90	80	0
16.70	30.00	
28.40	85.00	853.00
11.70	55.00	



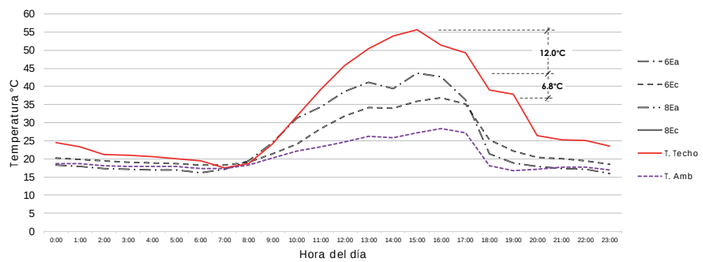
esquema de respresentación



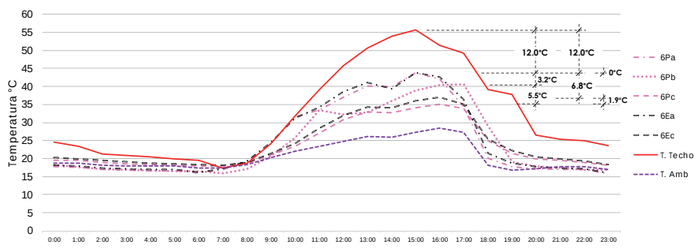
G0 - Oscilación térmica diaria
Techo>6Pa>6Ea>8Pa>6Pb>8Pb>6Ec>8Pc>6Pc>Amb



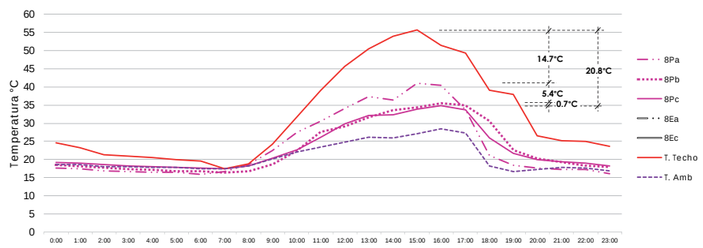
G1 - Efecto térmico del espesor en módulos con vegetación Plantada: 6P- 8P
Oscilación: 6Pa>8Pa>6Pb>8Pb>8Pc>6Pc



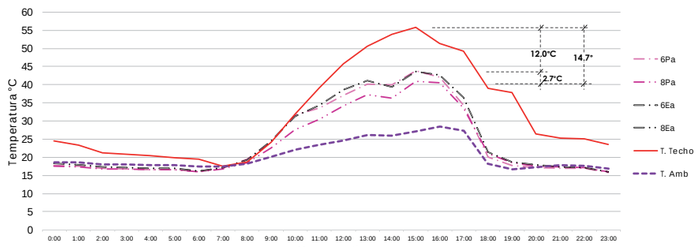
G2 - Efecto térmico del espesor en módulos con vegetación Espontánea: 6E - 8E
Oscilación: 6Ea>6Ec



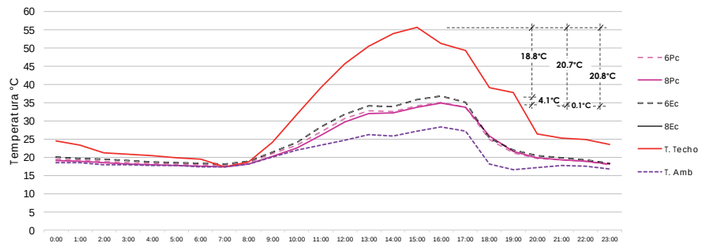
G3 - Efecto térmico de la vegetación en módulos con mismo espesor : 6P- 6E
Oscilación: 6Pa>6Ea>6Pb>6Ec>6Pc



G4 - Efecto térmico de la vegetación en módulos con mismo espesor : 8P - 8E
Oscilación: 8Pa>8Pb>8Pc



G5 - Comparativo posición -a- en todos los módulos: 6Pa-6Ea-8Pa-8Ea
Oscilación: 6Pa>6Ea>8Pa



G6 - Comparativo posición -c- en todos los módulos: 6Pc-6Ec-8Pc-8Ec
Oscilación: 6Ec>8Pc>6Pc

Descripción.

G0 - La oscilación térmica diaria del techo es superior a todas, la más cercana 6Pa registra 10.31°C menos. La oscilación en la posición -c- es menor en los módulos con vegetación plantada, 6Pb registra la menor oscilación térmica diaria con 17.16°C. Por problemas técnicos no se obtuvo el registro de los módulos con 8 cm de espesor y vegetación espontanea 8Ea y 8Ec.

G1 - La temp. máx. diaria en los módulos con vegetación plantada y distinto espesor en la posición -a- es mayor en espesor con 6 cm por 2.7°C que el de 8 cm, y en -c- la diferencia se reduce a 0.2°C. En -b- la diferencia es de 4.94°C entre los dos espesores, siendo más bajo en 8 cm. No existe diferencia significativa en la posición -c- por el espesor del sustrato.

G2 - El módulo 6E registra una diferencia en la temp. máx. diaria entre la posición -a- y -c- de 6.8°C.

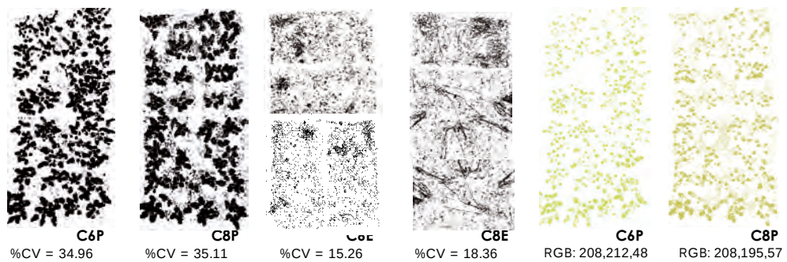
G3 - En módulos con mismo espesor 6 cm y vegetación distinta, no existe una diferencia de la temp. máxima diaria en la posición -a-; mientras en que la posición -c- la diferencia es por 1.9°C.

G4 - El módulo 8P registra una diferencia en la temp. máxima diaria en la posición -a- y -c- de 6.1°C.

G5 - En la gráfica se observa el efecto térmico de mayor espesor con vegetación plantada, teniendo una reducción de la temp. máxima diaria en comparación con el techo de 14.7°C.

G6 - Los registros en las posición -c- muestran que en los módulos con 6 cm de espesor es mayor la reducción con vegetación plantada por 4.1°C contra la vegetación espontánea. La mayor reducción en relación al techo se tiene en los módulos con espesor de 8 cm y vegetación plantada 8Pc con 20.8°C menos.

% C.V. - En los módulos con vegetación plantada y distinto espesor la diferencia es mínima, tan sólo 0.15% mayor en el espesor de 8 contra el de 6 cm. En los de vegetación espontánea la cobertura es mayor en el espesor de 8 cm por 3.1%. La diferencia del % de cobertura entre la vegetación plantada y espontánea en 8 cm es de 19.7% y en 6cm de 16.75%.

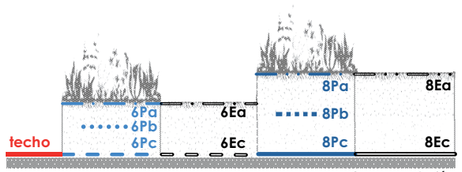


Imágenes termográficas

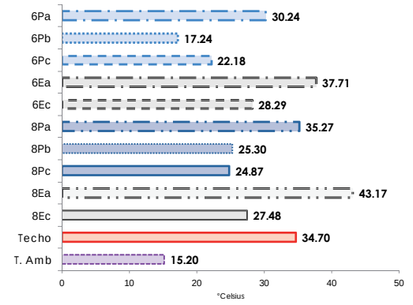
C mayo

D

Hora	6P 6 cm - vegetación Plantada				6E 6 cm - veg Espontánea			comparación 6cm veg Plantada-Espontánea		8P 8 cm - vegetación Plantada				8E 8 cm - veg Espontánea			comparación 8cm veg Plantada-Espontánea		≠ temp 6 cm		≠ temp 8 cm		≠ temp b	amb: Techo	amb: parámetros ambientales		
	6Pa	6Pb	6Pc	6Pc-6Pa	6Ea	6Ec	6Ec-6Ea	6Pa-6Ea	6Pc-6Ec	8Pa	8Pb	8Pc	8Pc-8Pa	8Ea	8Ec	8Ec-8Ea	8Pa-8Ea	8Pc-8Ec	6Pc-Techo	6Ec-Techo	8Pc-Techo	8Ec-Techo	6Pb-8Pb	Testigo	T. Amb	%HR	Radiación
0:00	9.27	11.08	11.63	2.35	7.68	10.85	3.16	1.59	0.78	8.78	9.11	11.69	2.91	7.68	12.11	4.43	1.09	-0.42	-3.55	-4.33	-3.49	-3.07	-1.96	15.18	10.30	64	0
1:00	8.18	10.42	10.65	2.47	6.78	9.77	2.99	1.41	0.88	7.68	8.47	10.72	3.04	6.47	11.24	4.77	1.21	-0.52	-3.26	-4.14	-3.19	-2.67	-1.95	13.91	8.90	66	0
2:00	7.25	9.61	9.87	2.62	5.55	8.98	3.43	1.69	0.89	6.87	7.59	9.83	2.96	5.04	10.36	5.32	1.84	-0.52	-2.89	-3.77	-2.92	-2.39	-2.01	12.75	8.90	56	0
3:00	6.10	8.69	8.88	2.78	4.42	7.98	3.57	1.68	0.90	5.79	6.46	9.01	3.23	4.10	9.47	5.37	1.68	-0.46	-2.54	-3.44	-2.41	-1.95	-2.24	11.42	8.20	56	0
4:00	4.73	7.75	7.98	3.26	2.84	7.08	4.24	1.89	0.90	4.17	5.44	8.08	3.92	2.52	8.58	6.06	1.65	-0.50	-2.26	-3.17	-2.17	-1.67	-2.31	10.25	7.40	57	0
5:00	3.75	6.76	7.18	3.43	2.41	6.37	3.96	1.34	0.81	3.43	4.27	7.35	3.92	1.98	7.78	5.80	1.45	-0.44	-2.11	-2.92	-1.94	-1.51	-2.49	9.29	8.30	46	0
6:00	3.01	6.05	6.57	3.56	1.55	5.76	4.21	1.46	0.82	2.37	3.59	6.78	4.41	1.11	7.18	6.07	1.26	-0.40	-1.85	-2.66	-1.64	-1.24	-2.46	8.42	7.80	45	0
7:00	2.37	5.77	5.96	3.59	1.00	5.24	4.24	1.37	0.72	2.01	3.14	6.20	4.19	0.67	6.78	6.10	1.33	-0.58	-1.51	-2.23	-1.27	-0.69	-2.63	7.47	6.60	50	0
8:00	2.26	5.21	5.76	3.50	1.87	4.93	3.06	0.39	0.82	3.40	2.53	5.96	2.57	2.20	6.27	4.07	1.20	-0.31	-0.88	-1.70	-0.67	-0.37	-2.68	6.64	8.60	50	46
9:00	6.20	5.23	6.15	-0.05	8.88	8.38	-0.50	-2.68	-2.23	11.94	2.72	9.70	-2.24	8.28	8.38	0.10	3.66	1.32	-0.89	1.34	2.66	1.34	-2.51	7.04	10.90	47	263
10:00	9.12	7.27	8.88	-0.23	19.57	14.52	-5.05	-10.45	-5.63	15.68	7.65	10.61	-5.07	21.00	13.08	-7.92	-5.32	-2.47	-2.80	2.83	-1.08	1.39	0.38	11.69	13.80	42	466
11:00	15.96	11.20	14.91	-1.05	29.95	21.38	-8.58	-14.00	-6.47	20.16	12.34	15.32	-4.84	30.76	19.19	-11.57	-10.60	-3.87	-5.67	0.80	-5.26	-1.39	1.14	20.58	16.10	36	623
12:00	24.19	15.13	20.30	-3.89	37.38	27.37	-10.01	-13.19	-7.07	28.69	17.44	20.09	-8.59	39.05	25.03	-14.02	-10.36	-4.93	-7.28	-0.21	-7.48	-2.55	2.31	27.58	18.10	28	738
13:00	29.69	18.84	24.57	-5.12	37.57	28.46	-9.11	-7.88	-3.89	35.42	22.39	26.07	-9.34	43.72	30.26	-13.47	-8.31	-4.18	-10.82	-6.93	-9.32	-5.14	3.55	35.39	18.80	23	763
14:00	32.37	21.65	27.17	-5.20	38.71	31.37	-7.34	-6.34	-4.20	37.27	25.82	29.49	-7.79	43.84	33.12	-10.73	-6.57	-3.63	-14.17	-9.97	-11.85	-8.22	4.17	41.34	20.50	21	720
15:00	32.50	22.44	27.94	-4.56	38.27	33.22	-5.05	-5.77	-5.28	36.48	27.83	30.83	-5.65	41.34	33.74	-7.60	-4.87	2.91	-12.61	-7.32	-9.72	-6.80	5.38	40.54	21.30	17	603
16:00	30.79	21.75	27.38	-3.41	35.01	32.81	-2.20	-4.22	-5.43	33.48	27.51	30.40	-3.08	36.40	33.22	-3.18	-2.92	2.82	-10.32	-4.89	-7.30	-4.48	5.76	37.70	21.60	17	469
17:00	28.30	21.37	26.35	-1.95	29.65	30.96	1.31	-1.35	-4.62	29.93	26.16	29.04	-0.89	26.59	29.95	3.37	3.34	-0.91	-11.85	-7.24	-9.16	-8.25	4.79	38.20	21.80	19	258
18:00	23.62	19.98	23.27	-0.35	23.00	26.20	3.19	0.62	-2.93	22.65	21.63	24.37	1.72	20.81	26.10	5.29	1.85	-1.72	-10.78	-7.85	-9.67	-7.95	1.64	34.05	19.80	23	46
19:00	18.49	18.11	18.98	0.49	16.33	20.52	4.19	2.16	-1.54	16.71	18.27	19.17	2.46	15.57	22.05	6.48	1.15	-2.87	-7.81	-6.27	-7.62	-4.75	0.17	26.79	16.20	33	0
20:00	15.82	15.84	18.33	2.51	13.37	16.90	3.54	2.46	1.43	14.39	15.01	18.20	3.82	13.17	19.09	5.92	1.22	-0.89	-4.59	-6.02	-4.72	-3.83	-0.84	22.92	14.40	36	0
21:00	13.17	14.17	16.33	3.16	10.55	15.19	4.63	2.62	1.15	11.78	13.06	16.36	4.58	10.75	17.28	6.54	1.04	-0.92	-4.15	-5.30	-4.12	-3.20	-1.11	20.48	13.30	38	0
22:00	11.30	12.53	14.80	3.50	9.57	13.56	3.99	1.73	1.25	10.97	11.03	14.74	3.77	9.77	15.66	5.90	1.20	-0.92	-3.66	-4.90	-3.72	-2.80	-1.51	18.46	12.30	41	0
23:00	10.49	11.44	13.56	3.07	8.98	12.40	3.42	1.51	1.16	10.55	9.93	13.49	2.94	8.98	14.42	5.44	1.57	-0.93	-3.12	-4.28	-3.18	-2.26	-1.52	16.68	11.50	38	0
Min	2.26	5.21	5.76	-5.20	1.00	4.93	-10.01	-14.00	-7.07	2.01	2.53	5.96	-9.34	0.67	6.27	-14.02	-10.60	-4.93	-14.17	-9.97	-11.85	-8.25	-2.68	6.64	6.60	17.00	
Max	32.50	22.44	27.94	3.59	38.71	33.22	4.63	2.62	1.43	37.27	27.83	30.83	4.58	43.84	33.74	6.54	3.66	1.32	-0.88	2.83	2.66	1.39	5.76	41.34	21.80	66.00	763.00
Oscilación	30.24	17.24	22.18	8.79	37.71	28.29	14.65	16.62	8.50	35.27	25.30	24.87	13.92	43.17	27.48	20.56	14.26	6.25	13.29	12.80	14.51	9.64	8.43	34.70	15.20	49.00	

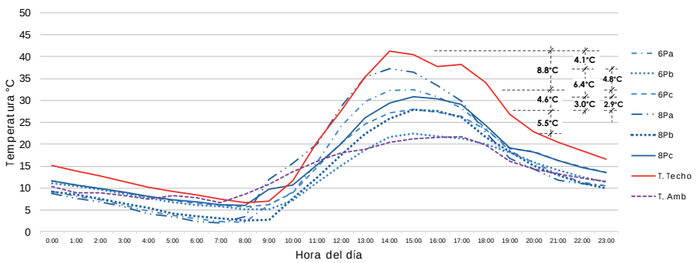


esquema de respresentación



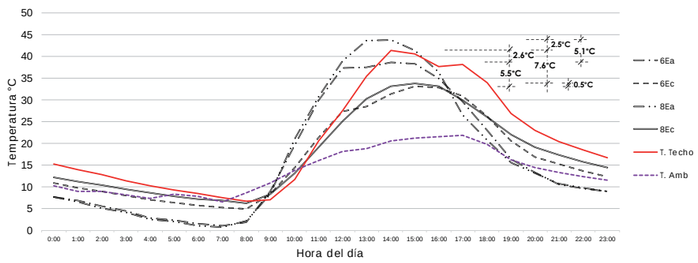
G0 - Oscilación térmica diaria

8Ea>6Ea>8Pa>Techo>6Pa>6Ec>8Ec>8Pb>8Pc>6Pc>6Pb>Amb



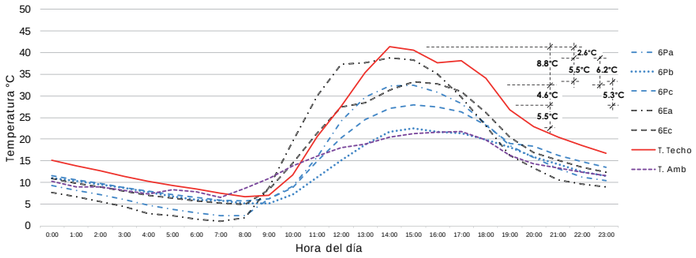
G1 - Efecto térmico del espesor en módulos con vegetación Plantada: 6P- 8P

Oscilación: 8Pa>6Pa>8Pb>8Pc>6Pc>6Pb



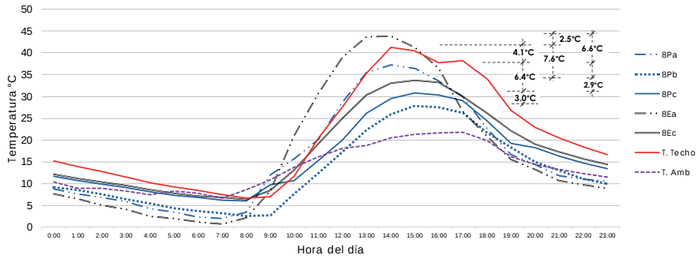
G2 - Efecto térmico del espesor en módulos con vegetación Espontánea: 6E - 8E

Oscilación: 8Ea>6Ea>6Ec>8Ec



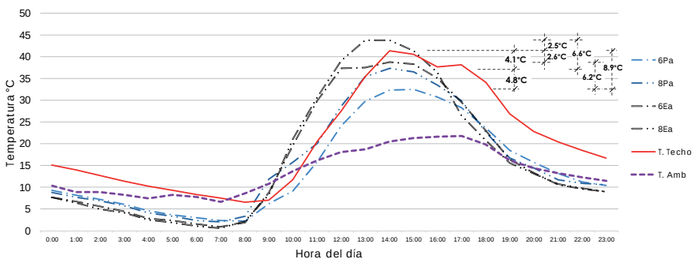
G3 - Efecto térmico de la vegetación en módulos con mismo espesor : 6P- 6E

Oscilación: 6Ea>6Pa>6Ec>6Pc>6Pb



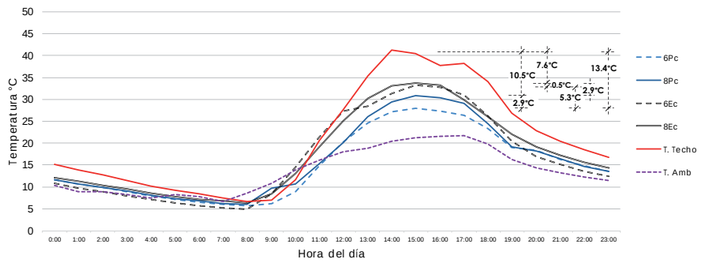
G4 - Efecto térmico de la vegetación en módulos con mismo espesor : 8P - 8E

Oscilación: 8Ea>8Pa>8Ec>8Pb>8Pc



G5 - Comparativo posición -a- en todos los módulos: 6Pa-6Ea-8Pa-8Ea

Oscilación: 8Ea>6Ea>8Pa>6Pa



G6 - Comparativo posición -c- en todos los módulos: 6Pc-6Ec-8Pc-8Ec

Oscilación: 6Ec>8Ec>8Pc>6Pc

Descripción.

G0 - La mayor oscilación térmica diaria se registra en los módulos con vegetación espontánea en la posición -a-, siendo 8Ea la mayor con una diferencia de 8.47°C que la del techo y con respecto a 6Ea de 3.01°C. La menor oscilación se registra en la posición 6Pb con 17.24°C y 6Pc con 22.18°C.

G1 - Las temp. máximas diarias son mayores en los módulos con espesor de 8 cm que en los de 6 cm en todas las posiciones, en -a- la diferencia es por 4.8°C, en -b- por 5.39°C y en -c- por 2.9°C; por lo que no es significativo el efecto del espesor en el desempeño térmico.

G2 - En los módulos con vegetación espontánea la temp. máxima diaria en 8Ea rebasó a la del techo por 2.5°C y a 6Ea por 5.1°C. En la posición -c- la diferencia entre los dos espesores de es 0.52°C, por lo que el efecto térmico del espesor del sustrato no es tan notorio.

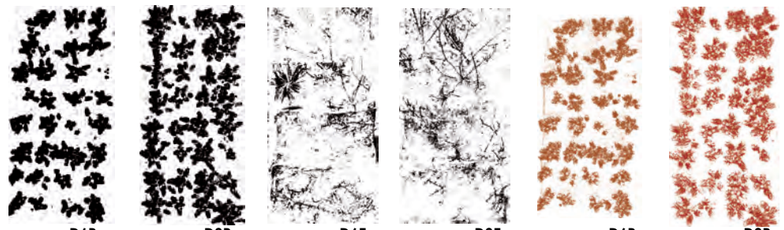
G3 - En módulos con mismo espesor 6 cm, en posición -a- la temp. máx. diaria es mayor con vegetación espontánea que plantada por 6.2°C y en -b- por 5.3°C, es evidente el efecto de regulación térmica con vegetación plantada.

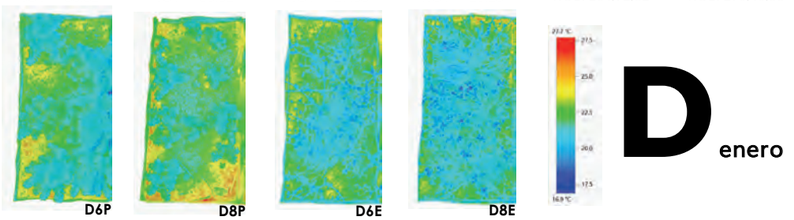
G4 - Igual que en G3 el efecto de la vegetación plantada en los módulos con espesor de 8 cm es evidente, en -a- es mayor por 6.6°C y en -c- por 2.9°C.

G5 - En todos los módulos en la posición -a- la oscilación más baja es con la presencia de vegetación plantada y mayor en el espesor del sustrato de 6 cm. La mayor oscilación se registra en 8Ea.

G6 - En la posición -c- los módulos con vegetación plantada registran menor oscilación térmica que con los de vegetación espontánea, teniendo más reducción en el espesor de 6 cm por 2.9°C que el de 8 cm, y una disminución de 13.4°C en la temperatura máxima diaria con relación al techo.

% C.V. - En los módulos con vegetación plantada con espesor de 8 cm es mayor un 3.1% comparado con el de 6 cm. En los de vegetación espontánea la cobertura es mayor en el espesor de 8 cm por 2.7%. La diferencia del % de cobertura entre la vegetación plantada y espontánea en 8 cm es de 19.68% y en 6 cm de 19.28%.



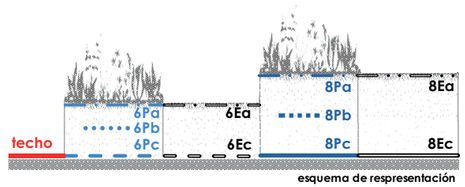


Imágenes termográficas

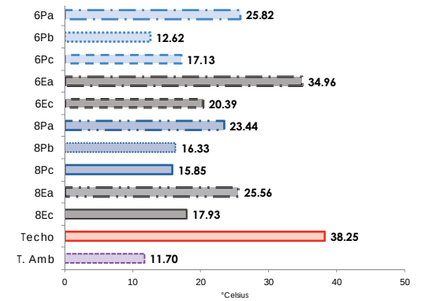
D enero

D

Hora	6P 6 cm - vegetación Plantada				6E 6 cm - veg Espontánea			comparación 6cm veg Plantada - Espontánea		8P 8 cm - vegetación Plantada				8E 8 cm - veg Espontánea			comparación 8cm veg Plantada - Espontánea		≠ temp 6 cm		≠ temp 8 cm		≠ temp b	Techo	parámetros ambientales		
	6Pa	6Pb	6Pc	6Pc-6Pa	6Ea	6Ec	6Ec-6Ea	6Pa-6Ea	6Pc-6Ec	8Pa	8Pb	8Pc	8Pc-8Pa	8Ea	8Ec	8Ec-8Ea	8Pa-8Ea	8Pc-8Ec	6Pc-Techo	6Ec-Techo	8Pc-Techo	8Ec-Techo	6Pb-8Pb	Testigo	T. Amb	%HR	Radiación
0:00	18.46	20.03	19.90	1.44	17.28	19.09	1.81	1.17	0.81	18.14	18.13	19.95	1.81	17.48	19.95	2.47	0.67	0.00	-4.66	-5.47	-4.61	-4.61	-1.90	24.56	18.70	68	0
1:00	18.11	19.63	19.66	1.55	17.00	18.90	1.90	1.11	0.76	17.86	17.80	19.66	1.81	17.38	19.66	2.28	0.48	0.00	-3.67	-4.43	-3.67	-3.67	-1.83	23.33	18.70	68	0
2:00	17.60	19.41	19.23	1.63	16.33	18.43	2.09	1.27	0.81	17.25	17.58	19.22	1.97	16.81	19.28	2.47	0.44	-0.06	-1.99	-2.80	-2.00	-1.94	-1.83	21.22	18.10	70	0
3:00	17.38	19.10	18.90	1.52	16.33	18.24	1.90	1.05	0.68	17.25	17.25	18.93	1.68	16.71	18.90	2.19	0.51	0.03	-2.01	-2.68	-1.98	-2.01	-1.85	20.91	18.00	70	0
4:00	17.22	18.82	18.71	1.49	16.33	17.95	1.62	0.89	0.76	17.09	17.06	18.68	1.59	16.62	18.62	2.00	0.45	0.06	-1.82	-2.58	-1.85	-1.92	-1.76	20.53	17.90	69	0
5:00	17.22	18.58	18.38	1.16	16.14	17.76	1.62	1.08	0.82	17.09	16.87	18.46	1.36	16.43	18.33	1.90	0.67	0.13	-1.58	-2.20	-1.50	-1.63	-1.71	19.96	17.90	69	0
6:00	16.59	18.34	18.14	1.55	15.28	17.38	2.10	1.30	0.76	16.27	16.68	18.17	1.90	15.76	18.05	2.28	0.51	0.13	-1.41	-2.18	-1.38	-1.51	-1.67	19.56	17.40	75	0
7:00	16.84	18.11	18.19	1.35	16.90	17.57	0.67	-0.06	0.62	17.00	16.39	18.11	1.11	17.09	18.05	0.95	-0.10	0.06	0.73	0.11	0.65	0.58	-1.71	17.46	17.40	77	30
8:00	18.55	18.20	19.00	0.44	20.33	18.71	-1.62	-1.78	0.29	18.68	16.70	18.71	0.03	19.76	19.00	-0.76	-1.08	-0.29	0.22	-0.06	-0.06	0.22	-1.50	18.77	18.30	72	101
9:00	22.73	18.99	21.38	-1.35	25.51	22.05	-3.47	-2.78	-0.67	22.91	17.96	20.77	-2.14	23.97	21.57	-2.40	-1.06	-0.80	-2.82	-2.15	-3.42	-2.63	-1.02	24.20	20.20	62	299
10:00	28.55	21.34	23.73	-4.83	34.06	25.22	-8.84	-5.51	-1.50	26.89	20.94	22.85	-4.04	30.05	24.06	-5.99	-3.16	-1.22	-8.12	-6.62	-9.00	-7.78	-0.41	31.84	22.10	53	580
11:00	32.27	24.90	27.13	-5.14	35.65	29.45	-6.20	-3.38	-2.33	31.59	24.77	26.03	-5.56	32.29	28.06	-4.23	-0.70	-2.03	-12.05	-9.73	-13.14	-11.12	-0.12	39.18	23.40	47	514
12:00	37.21	26.97	30.71	-6.50	38.27	32.70	-5.56	-1.05	-1.99	36.39	27.43	29.42	-6.97	35.12	30.96	-4.15	1.28	-1.54	-15.04	-13.05	-16.33	-14.79	0.87	45.75	24.70	45	853
13:00	40.87	28.84	33.07	-7.80	41.34	35.12	-6.23	-0.47	-2.04	38.87	29.69	31.58	-7.29	37.82	33.22	-4.60	1.05	-1.64	-17.47	-15.43	-18.96	-17.32	0.85	50.54	26.20	40	665
14:00	39.01	30.32	32.55	-6.46	45.08	33.54	-11.54	-6.07	-0.98	35.52	31.56	31.68	-3.85	38.38	32.39	-5.99	-2.85	-1.72	-21.41	-20.43	-22.28	-21.57	1.24	53.96	25.90	38	452
15:00	40.29	30.32	34.59	-5.70	49.77	36.40	-13.37	-9.48	-1.81	39.49	31.66	33.16	-6.33	41.23	34.59	-6.64	-1.74	-1.43	-21.12	-19.31	-22.56	-21.13	1.35	55.72	27.20	35	616
16:00	42.15	30.72	35.23	-6.92	47.37	37.38	-9.98	-5.22	-2.16	37.88	32.72	33.96	-3.92	40.19	35.97	-4.21	-2.31	-2.01	-16.16	-14.00	-17.42	-15.41	2.00	51.38	28.40	30	624
17:00	38.20	30.50	33.01	-5.18	35.44	33.22	-2.21	2.76	-0.21	33.20	31.51	32.57	-0.63	30.76	30.26	-0.51	2.44	2.31	-16.29	-16.09	-16.74	-19.05	1.02	49.31	27.30	38	264
18:00	25.67	29.49	24.64	-1.03	19.28	22.62	3.34	6.39	2.02	20.65	28.67	25.19	4.54	20.04	24.06	4.02	0.62	1.13	-14.45	-16.47	-13.90	-15.03	-0.82	39.09	18.20	77	23
19:00	18.68	23.23	20.85	2.17	17.28	19.38	2.09	1.40	1.48	17.86	22.23	21.12	3.27	18.14	21.09	2.95	-0.29	0.03	-16.99	-18.46	-16.71	-16.75	-1.01	37.84	16.70	85	0
20:00	17.41	21.41	19.62	2.20	16.71	18.33	1.62	0.70	1.28	17.19	20.29	19.69	2.51	17.67	20.14	2.47	-0.48	-0.44	-6.89	-8.17	-6.81	-6.36	-1.12	26.50	17.20	78	0
21:00	17.03	20.56	19.33	2.30	16.33	18.33	2.00	0.70	1.00	17.03	19.32	19.41	2.38	17.28	19.85	2.57	-0.25	-0.44	-5.93	-6.93	-5.85	-5.41	-1.24	25.26	17.80	75	0
22:00	17.00	19.70	19.04	2.05	16.33	18.05	1.71	0.67	1.00	17.06	18.39	19.06	2.00	17.19	19.38	2.19	-0.13	-0.32	-6.00	-7.00	-5.98	-5.66	-1.31	25.04	17.70	79	0
23:00	16.33	19.44	18.09	1.76	14.80	17.00	2.20	1.53	1.09	16.05	18.11	18.14	2.09	15.66	18.14	2.48	0.38	0.00	-5.48	-6.57	-5.43	-5.43	-1.33	23.57	16.90	80	0
Min	16.33	18.11	18.09	-7.80	14.80	17.00	-13.37	-9.48	-2.33	16.05	16.39	18.11	-7.29	15.66	18.05	-6.64	-3.16	-2.03	-21.41	-20.43	-22.56	-21.57	-1.90	17.46	16.70	30.00	
Max	42.15	30.72	35.23	2.30	49.77	37.38	3.34	6.39	2.02	39.49	32.72	33.96	4.54	41.23	35.97	4.02	2.44	2.31	0.73	0.11	0.65	0.58	2.00	55.72	28.40	85.00	853.00
Oscilación	25.82	12.62	17.13	10.10	34.96	20.39	16.70	15.87	4.35	23.44	16.33	15.85	11.83	25.56	17.93	10.66	5.60	4.34	22.14	20.53	23.20	22.15	3.90	38.25	11.70	55.00	

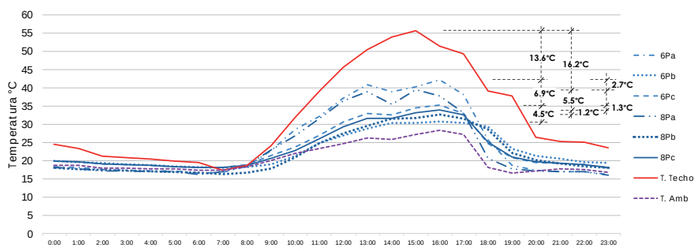


esquema de respresentación



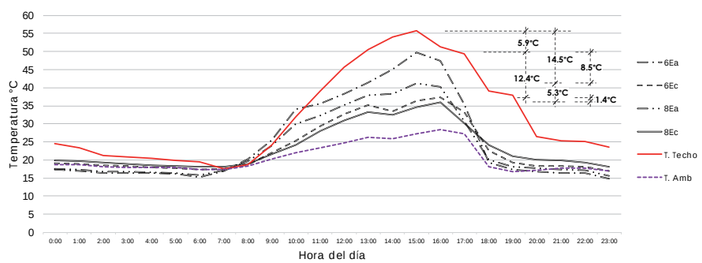
G0 - Oscilación térmica diaria

Techo>6Ea>6Pa>8Ea>8Pa>6Ec>8Ec>6Pc>8Pb>8Pc>6Pb>Amb



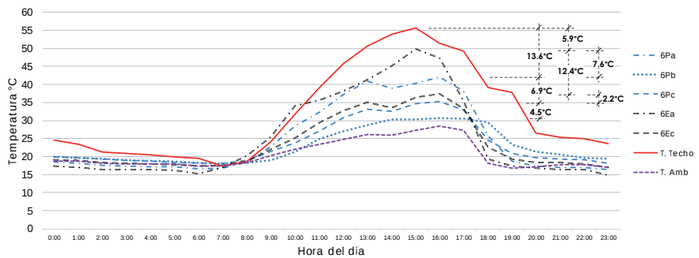
G1 - Efecto térmico del espesor en módulos con vegetación Plantada: 6P- 8P

Oscilación: 6Pa>8Pa>6Pc>8Pb>8Pc>6Pb



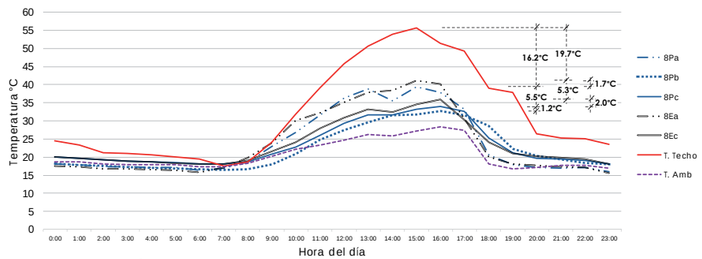
G2 - Efecto térmico del espesor en módulos con vegetación Espontánea: 6E - 8E

Oscilación: 6Ea>8Ea>6Ec>8Ec



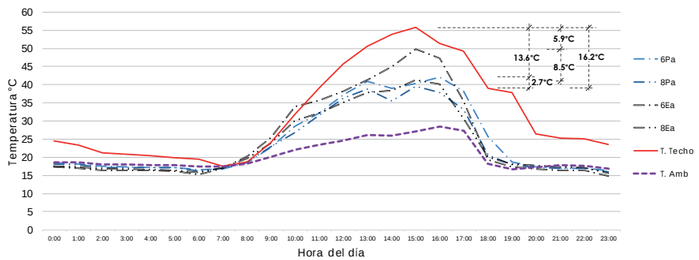
G3 - Efecto térmico de la vegetación en módulos con mismo espesor : 6P- 6E

Oscilación: 6Ea>6Pa>6Ec>6Pc>6Pb



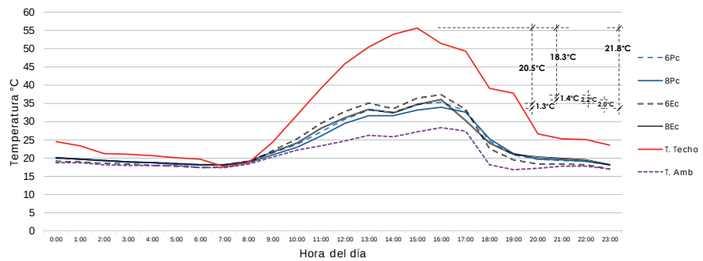
G4 - Efecto térmico de la vegetación en módulos con mismo espesor : 8P - 8E

Oscilación: 8Ea>8Pa>8Ec>8Pb>8Pc



G5 - Comparativo posición -a- en todos los módulos: 6Pa-6Ea-8Pa-8Ea

Oscilación: 6Ea>6Pa>8Ea>8Pa



G6 - Comparativo posición -c- en todos los módulos: 6Pc-6Ec-8Pc-8Ec

Oscilación: 6Ec>8Ec>6Pc>8Pc

Descripción.

G0 - La oscilación térmica diaria del techo es superior a todas, la más cercana 6Ea registra 3.29°C menos. La oscilación en la posición -c- es menor en los módulos con vegetación plantada, 8Pc registra la menor oscilación térmica diaria con 15.85°C.

G1 - La temp. máx. diaria en los módulos con vegetación plantada y distinto espesor en la posición -a- es mayor en espesor con 6 cm por 2.7°C que el de 8 cm. El efecto del espesor del sustrato en la posición -c- se reduce a 1.3°C.

G2 - La temp. máx. diaria en los módulos con vegetación espontánea y distinto espesor en la posición -a- es mayor en espesor con 6 cm por 8.5°C que el de 8 cm. El efecto del espesor del sustrato en la posición -c- se reduce a 1.4°C.

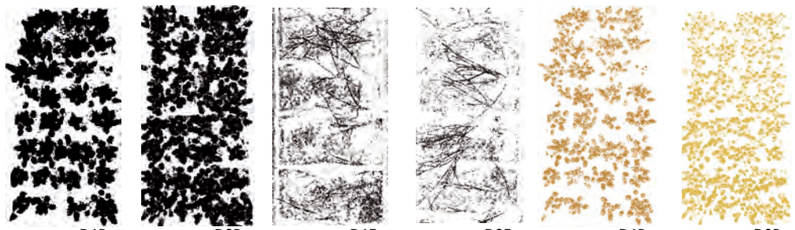
G3 - En los módulos con mismo espesor 6 cm se observa la diferencia por el tipo de vegetación, en -a- con vegetación plantada se reduce la temp. máxima diaria por 7.6°C que con la vegetación espontánea y 2.2°C en -c-.

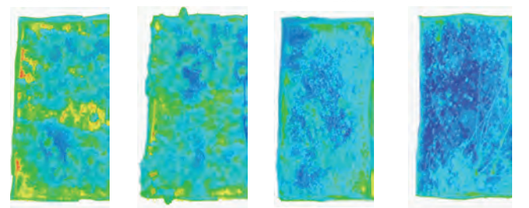
G4 - De la misma forma que en G3, pero en menor medida existe diferencia entre los módulos con mismo espesor de 8 cm pero vegetación distinta, en -a- se reduce a 1.7°C y en -c- a 2.0°C.

G5 - La menor reducción de la temp. máxima diaria con el techo se registra en 6Ea con una diferencia de 5.9°C y la mayor con 8Pa con 16.2°C.

G6 - Los registros en las posición -c- muestran que en los módulos con 6 cm de espesor y vegetación espontánea tienen la menor diferencia en contra el techo con 18.3°C y la mayor es dada por 8PC con 21.8°C, una diferencia térmica por espesor y vegetación es de 3.5°C menos.

% C.V. - En los módulos con vegetación plantada y distinto espesor la diferencia es poca, tan sólo 3.77% mayor en es espesor de 8 contra el de 6cm. En los de vegetación espontánea la cobertura es mayor en el espesor de 8 cm por 3.97%. La diferencia del % de cobertura entre la vegetación plantada y espontánea en 8 cm es de 20.59% y en 6 cm de 20.89%.



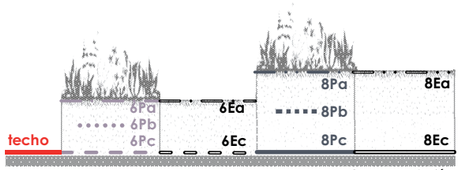


Imágenes termográficas

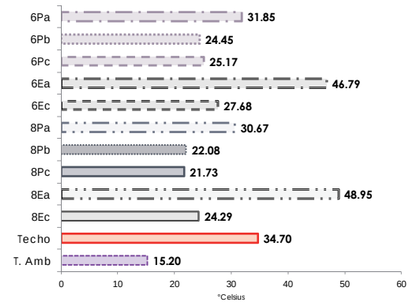
D mayo

E

	6 cm								8 cm								≠ temp					amb			
	6P 6 cm - vegetación Plantada				6E 6 cm - veg Espontánea			comparación 6cm veg Plantada-Espontánea		8P 8 cm - vegetación Plantada			8E 8 cm - veg Espontánea			comparación 8cm veg Plantada-Espontánea		≠ temp 6 cm		≠ temp 8 cm		≠ temp b	Techo	parámetros ambientales		
Hora	6Pa	6Pb	6Pc	6Pc-6Pa	6Ea	6Ec	6Ec-6Ea	6Pa-6Ea	6Pc-6Ec	8Pa	8Pb	8Pc	8Pc-8Pa	8Ea	8Ec	8Ec-8Ea	8Pa-8Ea	8Pc-8Ec	6Pc-Techo	6Ec-Techo	8Pc-Techo	8Ec-Techo	6Pb-8Pb	Testigo	T. Amb	%HR	Radiación
0:00	9.75	10.86	12.01	2.26	8.78	12.01	3.23	0.97	0.00	10.36	10.42	12.74	2.38	7.68	12.50	4.82	2.67	0.24	-3.16	-3.16	-2.44	-2.68	-0.44	15.18	10.30	64	0
1:00	8.73	10.15	11.01	2.28	7.58	11.14	3.56	1.15	-0.13	9.14	9.53	11.82	2.68	6.37	11.72	5.35	2.77	0.10	-2.90	-2.77	-2.09	-2.18	-0.61	13.91	8.90	66	0
2:00	7.62	9.26	10.09	2.47	6.47	10.26	3.79	1.15	-0.16	8.38	8.77	10.99	2.61	4.73	11.04	6.31	3.65	-0.05	-2.66	-2.49	-1.76	-1.71	-0.50	12.75	8.90	56	0
3:00	6.51	8.44	9.21	2.70	5.45	9.37	3.92	1.06	-0.17	7.48	7.75	10.26	2.78	3.79	10.06	6.28	3.69	0.20	-2.21	-2.05	-1.16	-1.36	-0.70	11.42	8.20	56	0
4:00	5.23	7.47	8.35	3.12	3.68	8.48	4.80	1.55	-0.13	5.89	6.61	9.52	3.63	1.76	9.37	7.61	4.13	0.15	-1.90	-1.77	-0.73	-0.87	-0.86	10.25	7.40	57	0
5:00	4.65	6.33	7.55	2.90	3.05	7.68	4.63	1.60	-0.14	5.14	5.44	8.83	3.69	1.22	8.58	7.36	3.92	0.25	-1.74	-1.61	-0.46	-0.71	-0.89	9.29	8.30	46	0
6:00	3.95	5.75	7.01	3.06	2.20	7.08	4.88	1.75	-0.07	4.17	4.82	8.33	4.16	0.23	8.08	7.85	3.94	0.25	-1.41	-1.34	-0.09	-0.34	-0.93	8.42	7.80	45	0
7:00	3.42	5.15	6.47	3.05	1.76	6.57	4.81	1.66	-0.10	4.10	4.32	7.63	3.53	0.01	7.38	7.37	4.09	0.25	-1.00	-0.90	0.16	-0.09	-0.83	7.47	6.60	50	0
8:00	3.51	4.64	6.06	2.56	2.62	6.06	3.44	0.88	0.00	4.24	3.64	7.33	3.09	2.20	6.98	4.78	2.05	0.35	-0.57	-0.57	0.69	0.34	-0.99	6.64	8.60	50	46
9:00	8.07	4.95	9.07	1.00	9.47	8.88	-0.59	-1.40	0.20	10.44	4.56	9.87	-0.57	11.33	8.68	-2.65	-0.90	1.19	2.03	1.84	2.83	1.64	-0.39	7.04	10.90	47	263
10:00	13.41	8.69	10.65	-2.76	19.76	14.04	-5.72	-6.35	-3.39	14.31	7.97	10.31	-3.99	25.32	12.69	-12.63	-11.01	-2.38	-1.03	2.35	-1.37	1.00	-0.72	11.69	13.80	42	466
11:00	21.93	14.43	16.67	-5.26	30.46	20.04	-10.41	-8.53	-3.37	22.32	12.92	15.55	-6.77	35.01	18.14	-16.87	-12.69	-2.59	-3.91	-0.54	-5.03	-2.44	-1.51	20.58	16.10	36	623
12:00	28.23	19.32	21.98	-6.26	40.53	25.71	-14.82	-12.30	-3.73	28.70	17.37	20.37	-8.33	43.97	23.39	-20.58	-15.27	-3.02	-5.60	-1.87	-7.21	-4.19	-1.95	27.58	18.10	28	738
13:00	33.63	25.48	27.54	-6.09	47.37	30.56	-16.81	-13.74	-3.02	33.27	21.22	24.62	-8.66	48.96	28.26	-20.70	-15.68	-3.64	-7.85	-4.83	-10.77	-7.13	-4.25	35.39	18.80	23	763
14:00	35.27	28.25	30.45	-4.82	48.55	33.33	-15.23	-13.29	-2.88	34.77	24.20	27.64	-7.13	47.89	31.17	-16.73	-13.13	-3.53	-10.89	-8.01	-13.70	-10.17	-4.05	41.34	20.50	21	720
15:00	34.69	29.09	31.24	-3.45	45.96	33.74	-12.21	-11.27	-2.51	34.21	25.48	28.82	-5.39	41.46	31.27	-10.19	-7.25	-2.44	-9.31	-6.80	-11.72	-9.28	-3.61	40.54	21.30	17	603
16:00	33.12	28.67	30.98	-2.13	40.88	33.01	-7.86	-7.76	-2.03	32.30	25.53	29.06	-3.25	39.05	31.17	-7.88	-6.75	-2.11	-6.72	-4.69	-8.64	-6.53	-3.14	37.70	21.60	17	469
17:00	29.90	26.82	29.40	-0.50	33.01	31.27	-1.75	-3.11	-1.86	31.24	25.72	28.68	-2.56	32.09	30.66	-1.43	-0.85	-1.98	-8.79	-6.93	-9.52	-7.54	-1.10	38.20	21.80	19	258
18:00	24.71	23.64	25.71	1.00	24.26	27.17	2.92	0.45	-1.46	25.66	24.07	25.91	0.25	22.05	27.76	5.72	3.62	-1.85	-8.33	-6.87	-8.13	-6.28	0.43	34.05	19.80	23	46
19:00	18.62	19.44	20.25	1.64	17.57	22.24	4.67	1.05	-1.99	18.81	19.70	20.71	1.90	15.57	23.39	7.82	3.24	-2.68	-6.54	-4.56	-6.08	-3.41	0.26	26.79	16.20	33	0
20:00	16.23	15.94	19.12	2.89	14.71	18.90	4.19	1.52	0.22	16.40	15.84	16.85	0.45	12.98	19.85	6.87	3.42	-3.01	-3.80	-4.02	-6.07	-3.07	-0.10	22.92	14.40	36	0
21:00	13.64	14.15	17.09	3.46	11.72	17.00	5.28	1.91	0.09	14.07	13.88	17.90	3.83	10.06	18.05	7.98	4.01	-0.14	-3.39	-3.49	-2.58	-2.44	-0.26	20.48	13.30	38	0
22:00	12.22	12.36	15.41	3.19	10.75	15.47	4.73	1.47	-0.06	12.82	11.88	16.24	3.42	9.18	16.24	7.06	3.64	0.00	-3.05	-2.99	-2.22	-2.22	-0.48	18.46	12.30	41	0
23:00	11.41	11.35	14.07	2.66	10.06	14.13	4.07	1.35	-0.06	12.08	10.81	14.80	2.73	8.68	14.80	6.12	3.40	0.00	-2.61	-2.54	-1.87	-1.87	-0.54	16.68	11.50	38	0
Min	3.42	4.64	6.06	-6.26	1.76	6.06	-16.81	-13.74	-3.73	4.10	3.64	7.33	-8.66	0.01	6.98	-20.70	-15.68	-3.64	-10.89	-8.01	-13.70	-10.17	-4.25	6.64	6.60	17.00	
Max	35.27	29.09	31.24	3.46	48.55	33.74	5.28	1.91	0.22	34.77	25.72	29.06	4.16	48.96	31.27	7.98	4.13	1.19	2.03	2.35	2.83	1.64	0.43	41.34	21.80	66.00	763.00
Oscilación	31.85	24.45	25.17	9.71	46.79	27.68	22.09	15.65	3.95	30.67	22.08	21.73	12.82	48.95	24.29	28.68	19.81	4.83	12.93	10.37	16.53	11.81	4.69	34.70	15.20	49.00	

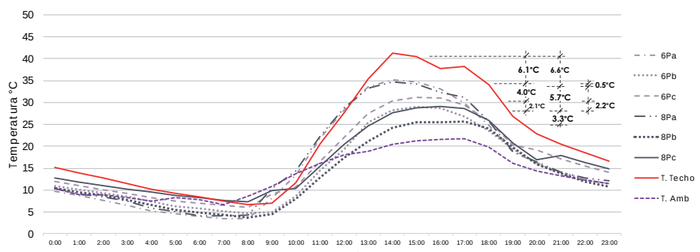


esquema de respresentación



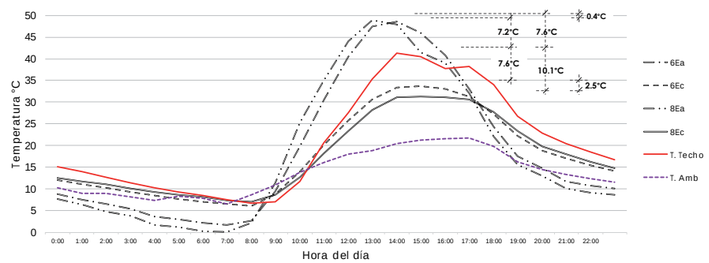
G0 - Oscilación térmica diaria

8Ea>6Ea>Techo>6Pa>8Pa>6Ec>6Pc>6Pb>8Ec>8Pb>8Pc>Amb



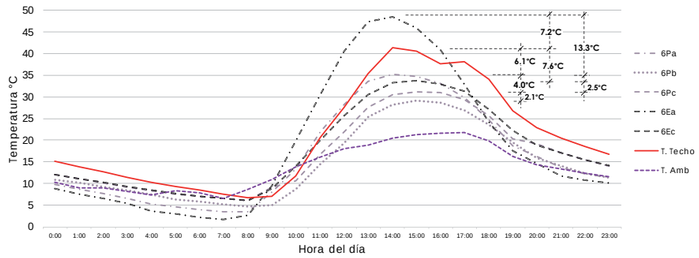
G1 - Efecto térmico del espesor en módulos con vegetación Plantada: 6P- 8P

Oscilación: 6Pa>8Pa>6Pc>6Pb>8Pb>8Pc



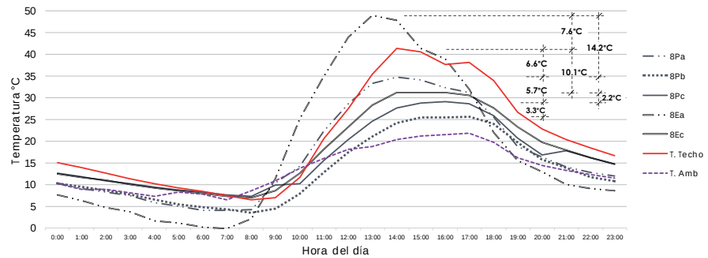
G2 - Efecto térmico del espesor en módulos con vegetación Espontánea: 6E - 8E

Oscilación: 8Ea>6Ea>6Ec>8Ec



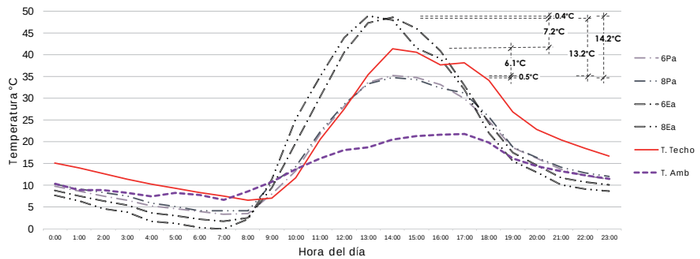
G3 - Efecto térmico de la vegetación en módulos con mismo espesor : 6P- 6E

Oscilación: 6Ea>6Pa>6Ec>6Pc>6Pb



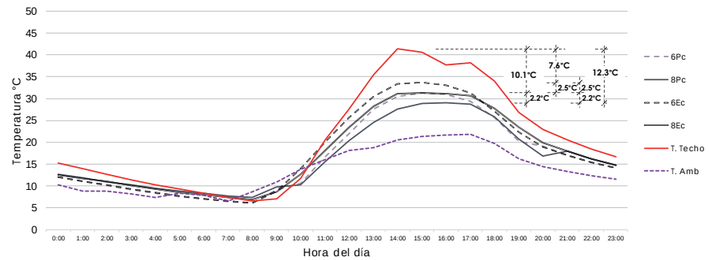
G4 - Efecto térmico de la vegetación en módulos con mismo espesor : 8P - 8E

Oscilación: 8Ea>8Pa>8Ec>8Pb>8Pc



G5 - Comparativo posición -a- en todos los módulos: 6Pa-6Ea-8Pa-8Ea

Oscilación: 8Ea>6Ea>6Pa>8Pa



G6 - Comparativo posición -c- en todos los módulos: 6Pc-6Ec-8Pc-8Ec

Oscilación: 6Ec>6Pc>8Ec>8Pc

Descripción.

G0 - La mayor oscilación térmica diaria se registra en los módulos con vegetación espontánea en la posición -a-, siendo 8Ea la mayor con una diferencia de 14.25°C que la del techo y con respecto a 6Ea de 12.09°C. La menor oscilación se registra en la posición 8Pc con 21.73°C.

G1 - Las temp. máx. diarias en los módulos con vegetación plantada y distinto espesor en la posición -a- es mayor en el espesor con 6 cm por 0.5°C que el de 8 cm, y en -c- la diferencia es un poco mayor por 2.2°C.

G2 - En los módulos con vegetación espontánea y distinto espesor, en la posición -a- es mayor en espesor con 8 cm por 0.4°C que el de 6 cm, y en -c- la diferencia es un poco mayor por 2.5°C. En -a- la temp. máx. diaria de los módulos es mayor por más de 7°C en relación a la del techo.

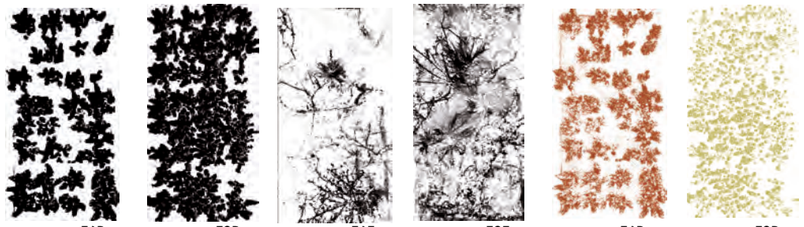
G3 - En módulos con mismo espesor 6 cm, en posición -a- la temp. máx. diaria es mayor con vegetación espontánea que plantada por 13.3°C y en -b- por 2.5°C, es evidente el efecto de regulación térmica con vegetación plantada.

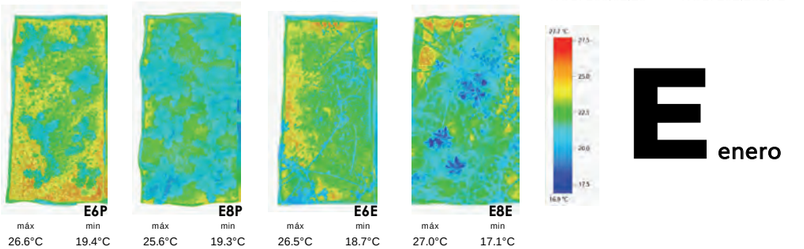
G4 - Igual que en G3 el efecto de la vegetación plantada en los módulos con espesor de 8 cm es evidente, en -a- de 14.2°C y en -c- por 2.2°C.

G5 - En todos los módulos en la posición -a- la oscilación más baja es con la presencia de vegetación plantada, similar en los dos espesores con una diferencia de 0.5°C. La temp. máx. diaria en los módulos con vegetación espontánea superan por más de 7.2°C a la del techo.

G6 - En la posición -c- los módulos con vegetación plantada registran menor oscilación térmica que con los de vegetación espontánea, teniendo más reducción en el espesor de 8 cm por 2.2°C que el de 6 cm, y una disminución de 12.3°C en la temp. máx. diaria con relación al techo.

% C.V. - En los módulos con vegetación plantada con espesor de 8 cm es mayor un 12.55% comparado con el de 6 cm. En los de vegetación espontánea la cobertura es mayor en el espesor de 8 cm por 4.24%. La diferencia del % de cobertura entre la vegetación plantada y espontánea en 8 cm es de 51.49% y en 6 cm de 43.18%.





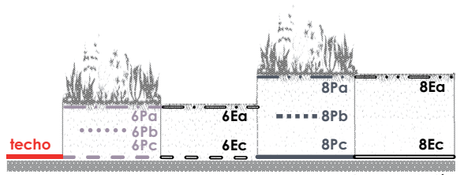
Imágenes termográficas

E enero

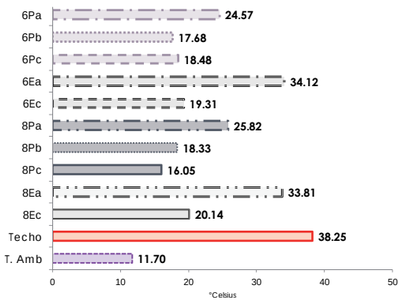
E

	6 cm				8 cm				≠ temp				amb			
	6P 6 cm - vegetación Plantada				6E 6 cm - veg Espontánea			comparación 6cm veg Plantada - Espontánea								
Hora	6Pa	6Pb	6Pc	6Pc-6Pa	6Ea	6Ec	6Ec-6Ea	6Pa-6Ea	6Pc-6Ec
0:00	19.23	19.15	19.82	0.59	18.43	20.14	1.71	0.81	-0.32
1:00	18.85	18.87	19.54	0.68	17.95	19.85	1.90	0.90	-0.32
2:00	18.19	18.65	19.09	0.90	17.09	19.38	2.28	1.09	-0.29
3:00	18.05	18.30	18.71	0.67	17.09	19.09	2.00	0.95	-0.38
4:00	17.76	18.08	18.46	0.70	17.00	18.71	1.71	0.76	-0.25
5:00	17.86	17.87	18.30	0.44	17.00	18.52	1.52	0.86	-0.22
6:00	17.09	17.65	17.95	0.86	16.05	18.14	2.09	1.05	-0.19
7:00	17.43	17.34	17.89	0.46	17.28	18.33	1.05	0.14	-0.44
8:00	18.85	17.72	18.74	-0.11	20.04	19.38	-0.67	-1.19	-0.63
9:00	23.35	19.08	21.38	-1.97	26.59	22.14	-4.44	-3.23	-0.76
10:00	27.98	22.15	24.09	-3.89	35.22	25.22	-10.00	-7.24	-1.13
11:00	34.07	26.26	28.16	-5.91	38.16	29.05	-9.10	-4.09	-0.89
12:00	40.52	28.59	32.02	-8.50	43.48	32.29	-11.19	-2.96	-0.27
13:00	41.33	31.28	34.16	-7.16	46.47	34.80	-11.67	-5.14	-0.63
14:00	36.92	33.44	33.85	-3.07	43.24	33.95	-9.29	-6.32	-0.10
15:00	41.42	33.52	35.33	-6.09	49.50	36.40	-13.09	-8.07	-1.07
16:00	40.33	35.02	36.08	-4.25	47.76	37.17	-10.60	-7.43	-1.08
17:00	36.44	33.99	34.30	-2.14	39.28	31.37	-7.91	-2.83	2.93
18:00	23.41	30.19	25.42	2.01	20.42	24.55	4.12	2.98	0.87
19:00	19.62	21.94	20.65	1.03	17.86	20.71	2.86	1.76	-0.06
20:00	18.43	20.03	19.09	0.67	17.28	19.66	2.38	1.14	-0.57
21:00	17.86	19.32	18.68	0.82	16.90	19.47	2.57	0.95	-0.79
22:00	17.71	18.72	18.43	0.71	16.81	19.19	2.38	0.90	-0.76
23:00	16.85	18.63	17.60	0.75	15.38	17.86	2.48	1.48	-0.25
Min	16.85	17.34	17.60	-8.50	15.38	17.86	-13.09	-8.07	-1.13
Max	41.42	35.02	36.08	2.01	49.50	37.17	4.12	2.98	2.93
Oscilación	24.57	17.68	18.48	10.51	34.12	19.31	17.21	11.05	4.06

	8P 8 cm - vegetación Plantada				8E 8 cm - veg Espontánea			comparación 8cm veg Plantada - Espontánea		≠ temp 6 cm		≠ temp 8 cm		≠ temp b	Techo	parámetros ambientales		
Hora	8Pa	8Pb	8Pc	8Pc-8Pa	8Ea	8Ec	8Ec-8Ea	8Pa-8Ea	8Pc-8Ec	6Pc-Techo	6Ec-Techo	8Pc-Techo	8Ec-Techo	6Pb-8Pb	Testigo	T. Amb	%HR	Radiación
0:00	18.81	19.25	20.33	1.52	18.43	19.95	1.52	0.38	0.38	-4.74	-4.42	-4.23	-4.61	0.09	24.56	18.70	68	0
1:00	18.43	18.87	20.04	1.62	17.95	19.76	1.81	0.48	0.29	-3.79	-3.48	-3.28	-3.57	0.00	23.33	18.70	68	0
2:00	17.76	18.58	19.62	1.86	17.38	19.19	1.81	0.38	0.43	-2.13	-1.85	-1.61	-2.04	-0.07	21.22	18.10	70	0
3:00	17.71	18.18	19.28	1.57	17.09	18.81	1.71	0.62	0.48	-2.20	-1.82	-1.63	-2.11	-0.12	20.91	18.00	70	0
4:00	17.57	17.96	19.00	1.43	17.38	18.62	1.24	0.19	0.38	-2.07	-1.82	-1.53	-1.92	-0.12	20.53	17.90	69	0
5:00	17.71	17.75	18.76	1.05	16.90	18.43	1.52	0.81	0.33	-1.66	-1.44	-1.20	-1.53	-0.12	19.96	17.90	69	0
6:00	16.81	17.61	18.47	1.67	16.05	17.95	1.90	0.76	0.52	-1.61	-1.42	-1.08	-1.61	-0.05	19.56	17.40	75	0
7:00	17.33	17.23	18.43	1.09	17.95	18.05	0.10	-0.62	0.38	0.42	0.87	0.96	0.58	-0.12	17.46	17.40	77	30
8:00	18.95	17.61	18.95	0.00	21.86	19.19	-2.67	-2.91	-0.24	-0.03	0.61	0.18	0.42	-0.12	18.77	18.30	72	101
9:00	23.20	19.18	20.90	-2.30	27.67	22.53	-5.14	-4.47	-1.62	-2.82	-2.05	-3.29	-1.67	0.10	24.20	20.20	62	299
10:00	27.08	22.56	22.91	-4.17	36.95	25.81	-11.14	-9.87	-2.90	-7.75	-6.62	-8.93	-6.04	0.41	31.84	22.10	53	580
11:00	33.33	26.62	25.90	-7.43	41.69	30.36	-11.34	-8.36	-4.45	-11.02	-10.12	-13.27	-8.82	0.37	39.18	23.40	47	514
12:00	39.32	29.12	29.16	-10.16	45.08	34.27	-10.81	-5.76	-5.11	-13.73	-13.46	-16.59	-11.48	0.52	45.75	24.70	45	853
13:00	41.97	31.59	31.43	-10.54	47.63	36.51	-11.12	-5.66	-5.08	-16.38	-15.75	-19.12	-14.03	0.31	50.54	26.20	40	665
14:00	37.55	33.94	32.04	-5.51	46.21	35.33	-10.88	-8.66	-3.29	-20.11	-20.01	-21.93	-18.63	0.50	53.96	25.90	38	452
15:00	39.50	34.31	33.43	-6.07	49.09	37.06	-12.04	-9.59	-3.62	-20.39	-19.31	-22.28	-18.66	0.79	55.72	27.20	35	616
16:00	37.99	35.56	34.43	-3.56	46.34	37.71	-8.62	-8.35	-3.29	-15.30	-14.22	-16.96	-13.67	0.53	51.38	28.40	30	624
17:00	34.22	34.73	33.59	-0.63	33.85	34.90	1.06	0.37	-1.32	-15.01	-17.94	-15.72	-14.41	0.74	49.31	27.30	38	264
18:00	21.04	31.79	26.49	5.44	20.14	25.61	5.47	0.91	0.88	-13.67	-14.55	-12.61	-13.48	1.60	39.09	18.20	77	23
19:00	17.71	22.39	21.76	4.05	17.76	20.71	2.95	-0.05	1.05	-17.19	-17.13	-16.08	-17.13	0.45	37.84	16.70	85	0
20:00	17.14	20.34	20.14	3.00	17.38	19.38	2.00	-0.24	0.76	-7.41	-6.84	-6.36	-7.12	0.31	26.50	17.20	78	0
21:00	17.05	19.37	19.62	2.57	17.00	19.09	2.09	0.05	0.52	-6.58	-5.79	-5.64	-6.17	0.05	25.26	17.80	75	0
22:00	17.09	18.39	19.28	2.19	16.81	18.81	2.00	0.29	0.48	-6.61	-5.85	-5.76	-6.23	-0.33	25.04	17.70	79	0
23:00	16.14	18.30	18.38	2.24	15.28	17.57	2.29	0.86	0.81	-5.97	-5.71	-5.19	-6.00	-0.33	23.57	16.90	80	0
Min	16.14	17.23	18.38	-10.54	15.28	17.57	-12.04	-9.87	-5.11	-20.39	-20.01	-22.28	-18.66	-0.33	17.46	16.70	30.00	
Max	41.97	35.56	34.43	5.44	49.09	37.71	5.47	0.91	1.05	0.42	0.87	0.96	0.58	1.60	55.72	28.40	85.00	853.00
Oscilación	25.82	18.33	16.05	15.98	33.81	20.14	17.51	10.78	6.16	20.81	20.88	23.25	19.24	1.93	38.25	11.70	55.00	

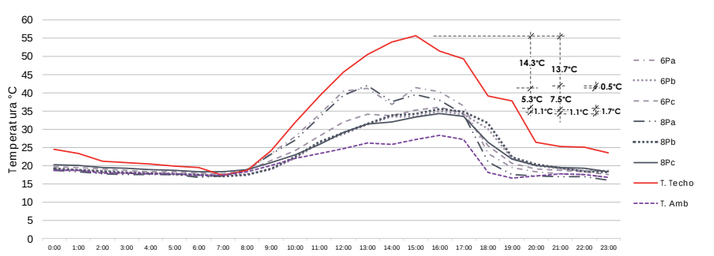


esquema de respresentación



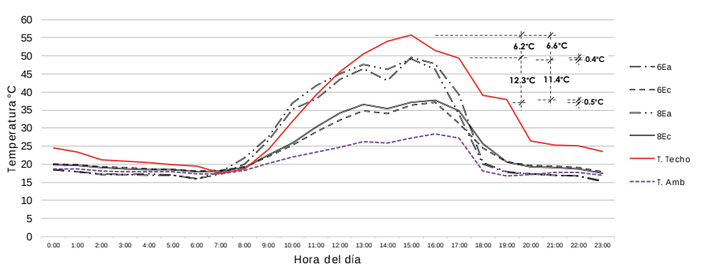
G0 - Oscilación térmica diaria

Techo>6Ea>8Ea>8Pa>6Pa>8Ec>6Ec>6Pc>8Pb>6Pb>8Pc>Amb



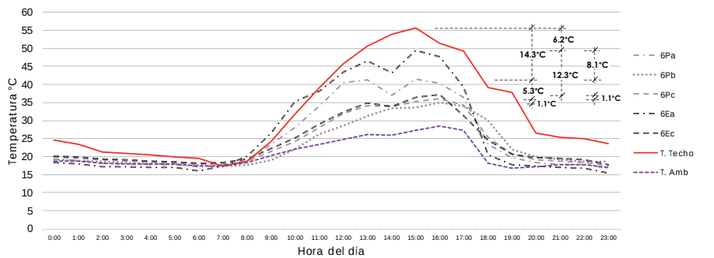
G1 - Efecto térmico del espesor en módulos con vegetación Plantada: 6P- 8P

Oscilación: 8Pa>6Pa>6Pc>8Pb>6Pb>8Pc



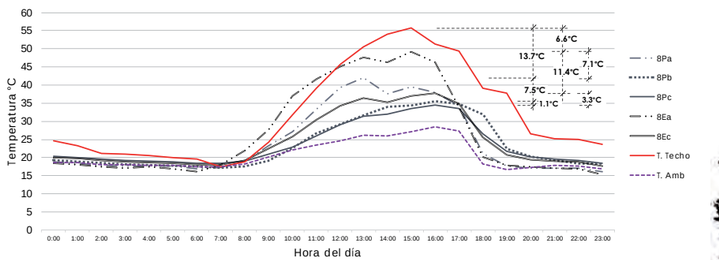
G2 - Efecto térmico del espesor en módulos con vegetación Espontánea: 6E - 8E

Oscilación: 6Ea>8Ea>8Ec>6Ec



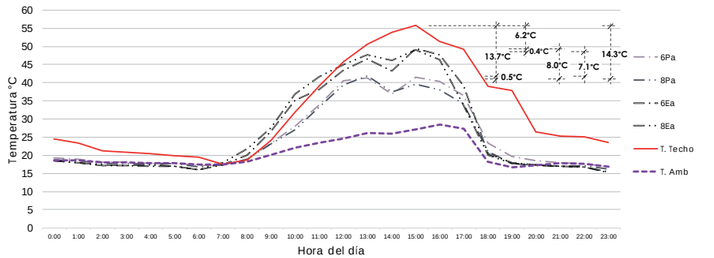
G3 - Efecto térmico de la vegetación en módulos con mismo espesor : 6P- 6E

Oscilación: 6Ea>6Pa>6Ec>6Pc>6Pb



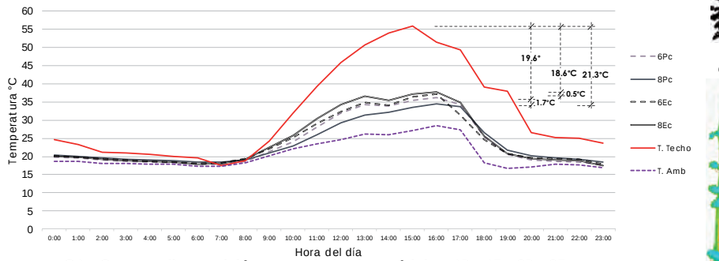
G4 - Efecto térmico de la vegetación en módulos con mismo espesor : 8P - 8E

Oscilación: 8Ea>8Pa>8Ec>8Pb>8Pc



G5 - Comparativo posición -a- en todos los módulos: 6Pa-6Ea-8Pa-8Ea

Oscilación: 6Ea>8Ea>8Pa>6Pa



G6 - Comparativo posición -c- en todos los módulos: 6Pc-6Ec-8Pc-8Ec

Oscilación: 8Ec>6Ec>6Pc>8Pc

Descripción.

G0 - La oscilación térmica diaria del techo es superior a todas, la más cercana 6Ea registra 4.13°C menos y 8Ea 4.44°C. La oscilación térmica diaria en la posición -c- es más baja en los módulos con vegetación plantada, 8Pc registra la menor oscilación con 16.05°C.

G1 - La temp. máx. diaria en los módulos con vegetación plantada y distinto espesor en la posición -a- es mayor en espesor con 6 cm por 0.5°C que el de 8 cm. El efecto del espesor es evidente en -c- con una diferencia de 1.7°C.

G2 - La temp. máx. diaria en los módulos con vegetación espontánea y distinto espesor en la posición -a- es mayor en 6 cm por 0.4°C que en 8 cm. El efecto del espesor del sustrato en la posición -c- se reduce a 0.5°C.

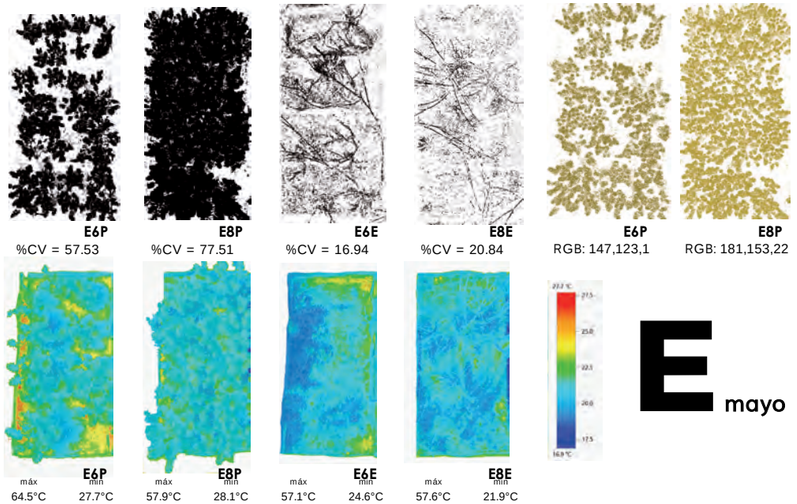
G3 - En los módulos con mismo espesor 6 cm, en -a- con vegetación plantada se reduce la temp. máx. diaria por 8.1°C que con la vegetación espontánea y 1.1°C en -c-.

G4 - El efecto térmico de la vegetación plantada en los registros de la temp. máxima diaria es más evidente en los módulos con espesor de 8 cm que en los de 6 cm (G3), en la posición -a- la diferencia con vegetación espontánea es de 7.1°C, y en -c- 3.3°C.

G5 - La menor reducción de la temp. máxima diaria contra el techo se registra en los módulos con vegetación espontánea, con una disminución de 6.2°C en 6Ea comparado con el techo. La máxima disminución en relación al techo es con 8Pa por 14.3°C.

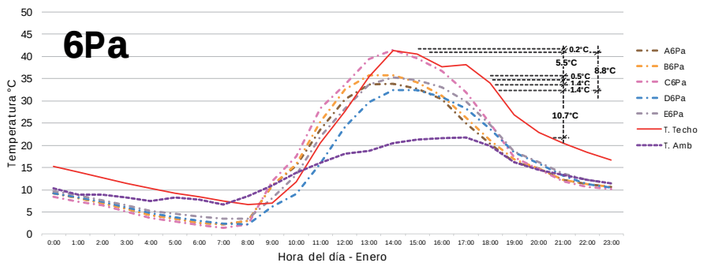
G6 - Los registros en las posición -c- muestran que en los módulos con vegetación plantada tienen una mayor disminución en la temp. máxima diaria con relación al techo, siendo la mayor de la 8Pc con 21.3°C y de 19.6°C en 6Pc, una diferencia entre ellos de 1.7°C efecto de la diferencia de espesor.

% C.V. - En los módulos con vegetación plantada y distinto espesor la diferencia es de 19.98% de 8 cm contra el de 6 cm. En los de vegetación espontánea la cobertura es mayor en el espesor de 8 cm por 3.90%. La diferencia del % de cobertura entre la vegetación plantada y espontánea en 8 cm es de 56.67% y en 6 cm de 40.59%.

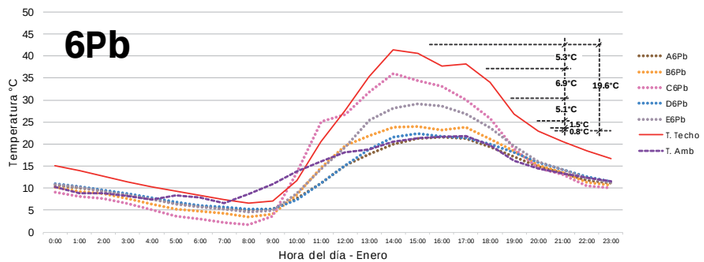


Imágenes termográficas

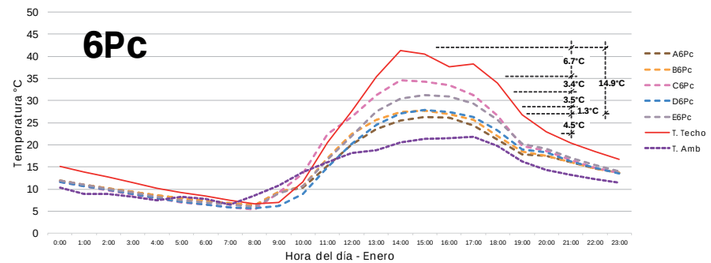
E mayo



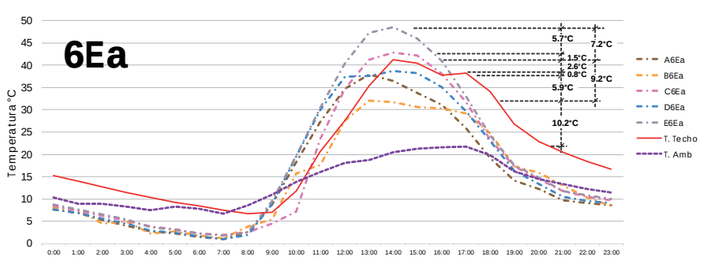
G-6Pa - Comparativo posición -a- en todos los sustratos con espesor de 6cm y vegetación plantada
Regulación térmica: D>A>E>B>C



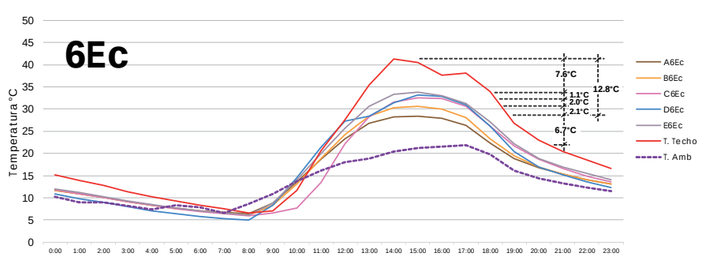
G-6Pb - Comparativo posición -b- en todos los sustratos con espesor 6cm y vegetación plantada
Regulación térmica: A>D>B>E>C



G-6Pc - Comparativo posición -c- en todos los sustratos con espesor 6cm y vegetación plantada
Regulación térmica: A>B>D>E>C



G-6Ea - Comparativo posición -a- en todos los sustratos con espesor de 6cm y vegetación espontánea
Regulación térmica: B>A>D>C>E



G-6Ec - Comparativo posición -c- en todos los sustratos con espesor 6cm y vegetación espontánea
Regulación térmica: A>B>C>D>E

Descripción.

G-6Pa - El sustrato C supera por 0.2°C la temp. máx. diaria respecto al techo, y una diferencia de 9°C con el sustrato D, el cual registra la temp. más baja en -a-.

G-6Pb - En relación a la temp. máx. diaria del techo al sustrato C disminuye 5.3°C, el sustrato E 12.2°C, el sustrato B 17.3°C, el sustrato D 18.8°C y la mayor reducción registra el sustrato A con 19.6°C.

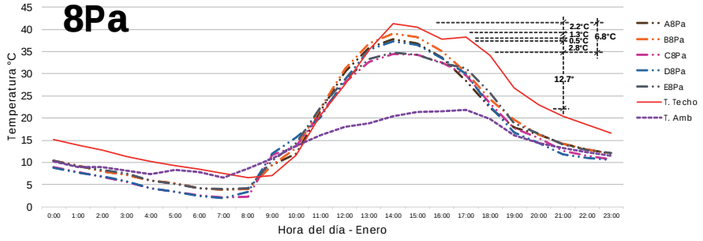
G-6Pc - La mayor reducción en la temp. máx. diaria se registra en el sustrato A, siendo de 14.9°C en relación al techo. La menor disminución es en el sustrato C con 6.7°C comparado con el techo, seguido del sustrato E con 10.1°C, el sustrato D y B registran una reducción similar de 13.6°C.

G-6Ea - Los registros de la temp. máx. diaria de sustratos E y C superan a la del techo por 7.2°C y 1.5°C respectivamente. El D y A muestran una disminución comparada con el techo de 2.6°C y 3.4°C respectivamente. El sustrato B registra la mayor reducción con 9.3°C.

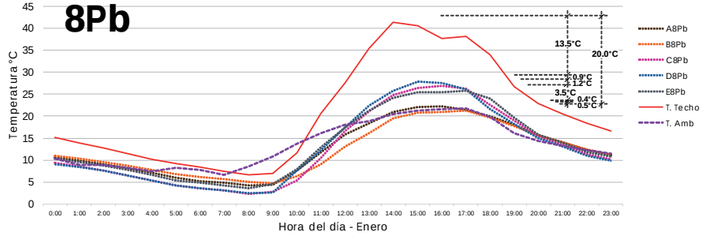
G-6Ec - La diferencia de los registros térmicos entre los sustratos es menor es la posición -c-. Comparado la temp. máx. diaria del techo la menor diferencia es con el sustrato E es por 7.6°C, mientras que la máxima diferencia es por 12.8°C en el sustrato A.

Regulación térmica

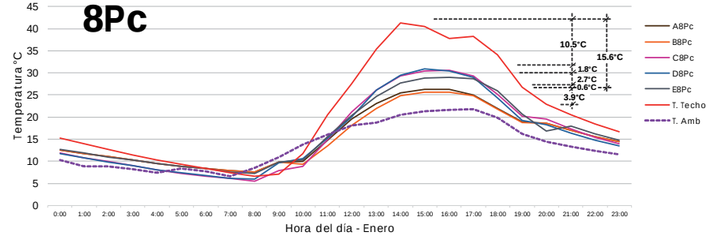
6cm	6P	6E
-a-	D>A>E>B>C	B>A>D>C>E
-b-	A>D>B>E>C	
-c-	A>B>D>E>C	A>B>C>D>E
8cm	**8P**	**8E**
-a-	C>E>D>A>B	C>A>B>D>E
-b-	B>A>E>C>D	
-c-	B>A>E>C>D	C>E>A>B>D



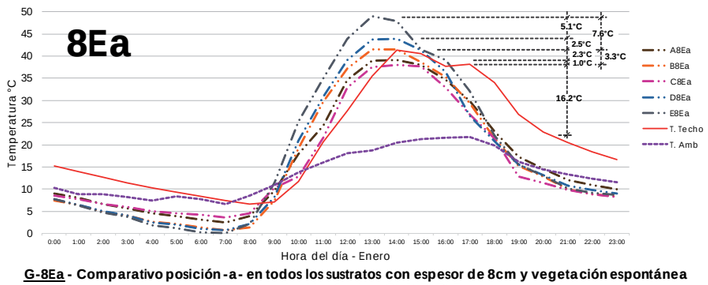
G-8Pa - Comparativo posición -a- en todos los sustratos con espesor de 8cm y vegetación plantada
Regulación térmica: C>E>D>A>B



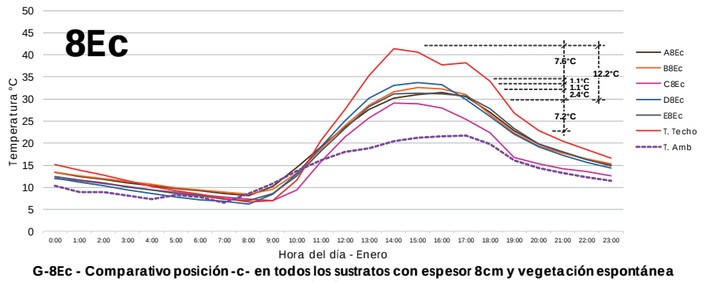
G-8Pb - Comparativo posición -b- en todos los sustratos con espesor 8cm y vegetación plantada
Regulación térmica: B>A>E>C>D



G-8Pc - Comparativo posición -c- en todos los sustratos con espesor 8 cm y vegetación plantada
Regulación térmica: B>A>E>C>D



G-8Ea - Comparativo posición -a- en todos los sustratos con espesor de 8cm y vegetación espontánea
Regulación térmica: C>A>B>D>E



G-8Ec - Comparativo posición -c- en todos los sustratos con espesor 8cm y vegetación espontánea
Regulación térmica: C>E>A>B>D

Descripción.

G-8Pa - Ningún sustrato supera la temp. máx. diaria del techo. La menor disminución comparada con el techo es por el sustrato B con 2.2°C, después por el sustrato A con 3.5°C, el sustrato D 4°C y los sustratos E y C por 6.8°C.

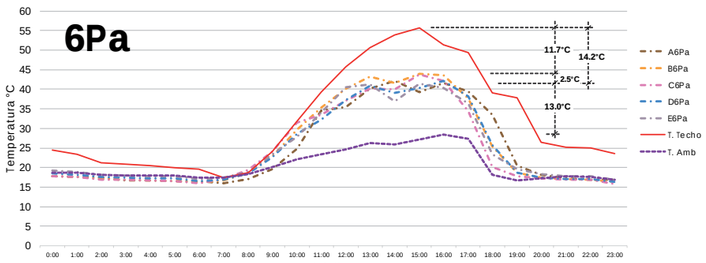
G-8Pb - Los registros térmicos dentro del sustrato son los más estables. El sustrato D es el que muestra menor disminución de la temp. máx. diaria comparada con la del techo, siendo de 13.5°C, el sustrato C y E no se encuentran muy alejados; mientras que el sustrato A y B registran la mayor disminución de 19.1 y 20°C respectiv amente.

G-8Pc - Los registros muestran la misma tendencia que en la posición -b-, aunque con menor gradiente, registrando la mayor disminución de la temp. máx. diaria con relación al techo por 15.6°C en el sustrato B, y la mínima de 10.5°C del sustrato D.

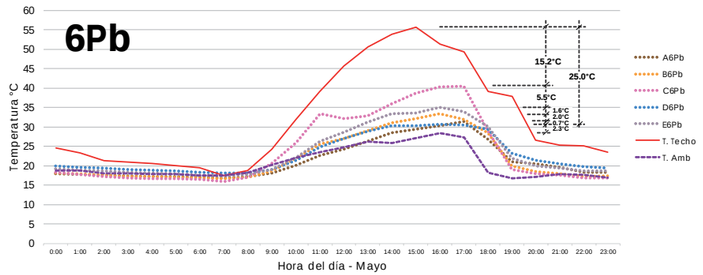
G-8Ea - Los registros de la temp. máx. diaria de sustratos E, D y B superan a la del techo por 7.6°C, 2.5°C y 0.1°C respectivamente. El A y C muestran una disminución comparada con el techo de 2.3°C y 3.3°C respectiv amente.

G-8Ec - La diferencia de los registros térmicos entre los sustratos es mucho menor en la posición -c-. Comparado la temp. máx. diaria del techo la menor diferencia es con el sustrato D es por 7.6°C, mientras que la máxima diferencia es por 12.2°C en el sustrato C.

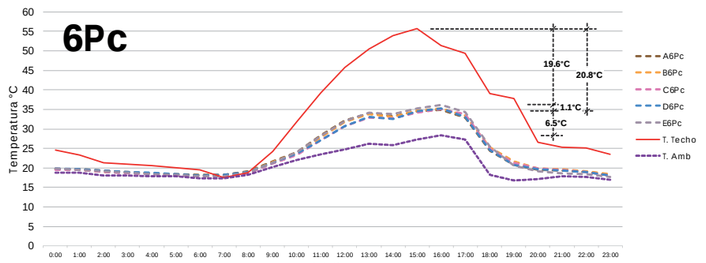
G enero



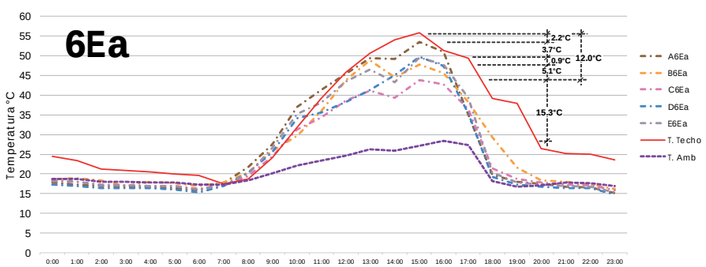
G-6Pa - Comparativo posición -a- en todos los sustratos con espesor de 6cm y vegetación plantada
Regulación térmica: E>D>A>C>B



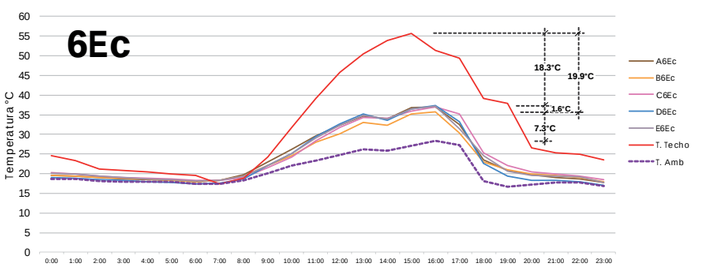
G-6Pb - Comparativo posición -b- en todos los sustratos con espesor 6cm y vegetación plantada
Regulación térmica: D>A>B>E>C



G-6Pc - Comparativo posición -c- en todos los sustratos con espesor 6cm y vegetación plantada
Regulación térmica: A>C>B>D>E



G-6Ec - Comparativo posición -a- en todos los sustratos con espesor de 6cm y vegetación espontánea
Regulación térmica: C>B>E>D>A



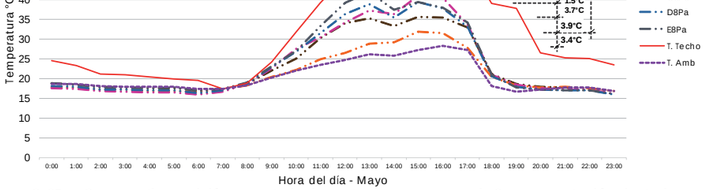
G-6Ec - Comparativo posición -c- en todos los sustratos con espesor 6cm y vegetación espontánea
Regulación térmica: B>C>A>E>D

Descripción.

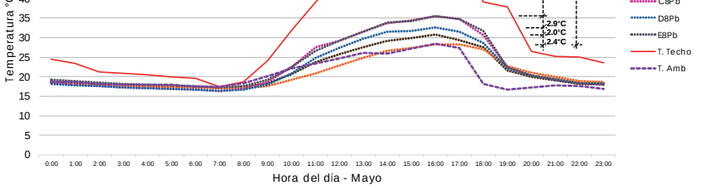
G-6Pa - Todos los sustratos registran una tendencia parecida en esta posición, con una diferencia máxima entre ellos de 2.5°C. El sustrato B registra la menor disminución de la temp. máx. diaria en relación al techo con 11.7°C y el sustrato E la más alta con 14.2°C.
G-6Pb - Se observa diferencia significativa en los registros de los sustratos, en relación a la temp. máx. diaria del techo el sustrato C es el que muestra menor disminución por 15.2°C, la mayor disminución es por el sustrato D con 25.0°C.
G-6Pc - Existe una diferencia de 1.1°C entre la temp. máx. diaria de todos los sustratos. La mayor reducción en la temp. máx. diaria se registra en el sustrato A, siendo de 20.8°C en relación al techo. La menor disminución es en el sustrato E con 19.6°C comparado con el techo.
G-6Ea - Ninguno de los registros de la temp. máx. diaria de los sustratos superan a la del techo como en el espesor de 6 cm. El sustrato E registra la menor disminución comparada con el techo, de 2.2°C, la máxima reducción es por el sustrato C con 12°C.
G-6Ec - La diferencia de los registros de temp. máx. diaria entre los sustratos es de 1.6°C, en relación al techo el sustrato D tiene la menor disminución con 18.3°C y el sustrato B la mayor con 19.9°C.

Regulación térmica

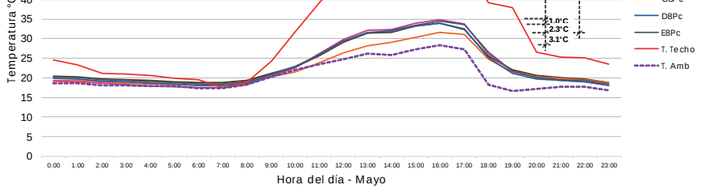
6cm	6P	6E
-a-	E>D>A>C>B	C>B>E>D>A
-b-	D>A>B>E>C	
-c-	A>C>B>D>E	B>C>A>E>D
8cm	8P	8E
-a-	B>A>D>C>E	B>D>A>E
-b-	B>A>D>E>C	
-c-	B>A>D>E>C	B>A>D>E



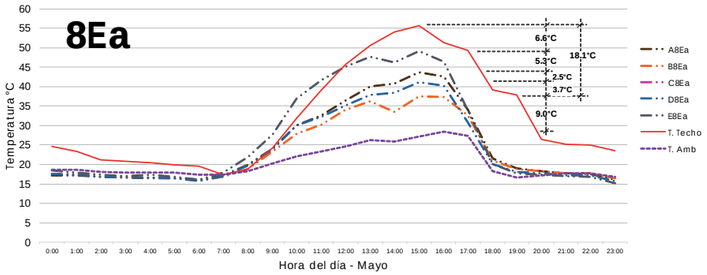
G-8Pa - Comparativo posición -a- en todos los sustratos con espesor de 8cm y vegetación plantada
Regulación térmica: B>A>D>C>E



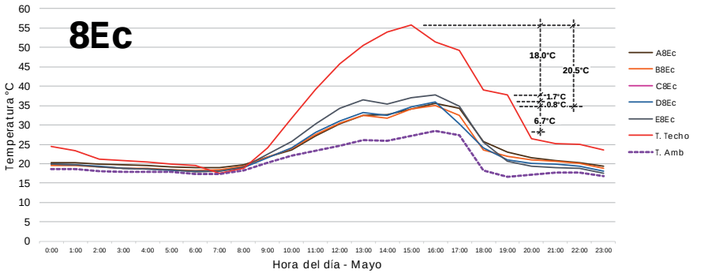
G-8Pb - Comparativo posición -b- en todos los sustratos con espesor 8cm y vegetación plantada
Regulación térmica: B>A>D>E>C



G-8Pc - Comparativo posición -c- en todos los sustratos con espesor 8 cm y vegetación plantada
Regulación térmica: B>A>D>E>C



G-8Ea - Comparativo posición -a- en todos los sustratos con espesor de 8cm y vegetación espontánea
Regulación térmica: B>D>A>E



G-8Ec - Comparativo posición -c- en todos los sustratos con espesor 8cm y vegetación espontánea
Regulación térmica: B>A>D>E

Descripción.

G-8Pa - Se observa diferencia significativa en la temp. máx. diaria entre los sustratos. La menor disminución comparada con el techo es por el sustrato E con 13.7°C, después el C con 14.7°C, el D con 16.2°C, el A con 19.9°C y la mayor disminución es con el sustrato B con 23.9°C.
G-8Pb - Los registros térmicos dentro del sustrato son los más estables, sigue existiendo una diferencia significativa entre ellos. Los sustratos C y E muestra la menor disminución de la temp. máx. diaria comparada con la del techo, siendo de 20.1°C, después el sustrato D con 23°C, el A con 24.9°C y la máxima disminución por el sustrato B con 27.4°C.
G-8Pc - Los registros muestran la misma tendencia que en la posición -b-. Los registros de la temp. máx. diaria en los sustratos A, D, E y C son muy parecidos, sólo con 1°C de diferencia. La mayor disminución de la temp. máx. diaria con relación al techo es por el sustrato B por 24.1°C.

G-8Ea - Los registros de la temp. máx. diaria muestran diferencia significativa entre todos los sustratos. El sustrato E es el que registra menor diferencia con la temp. máx. diaria del techo siendo de 6.6°C, el A de 12°C, el D de 14.5°C, y la mayor disminución del sustrato B de 18.1°C.
G-8Ec - La diferencia de los registros térmicos entre los sustratos es mucho menor en la posición -c-. Comparado la temp. máx. diaria del techo la menor diferencia es con el sustrato E por 18°C, mientras que la máxima diferencia es con el sustrato B por 20.5°C, una diferencia de 2.5°C entre E y B.

G mayo

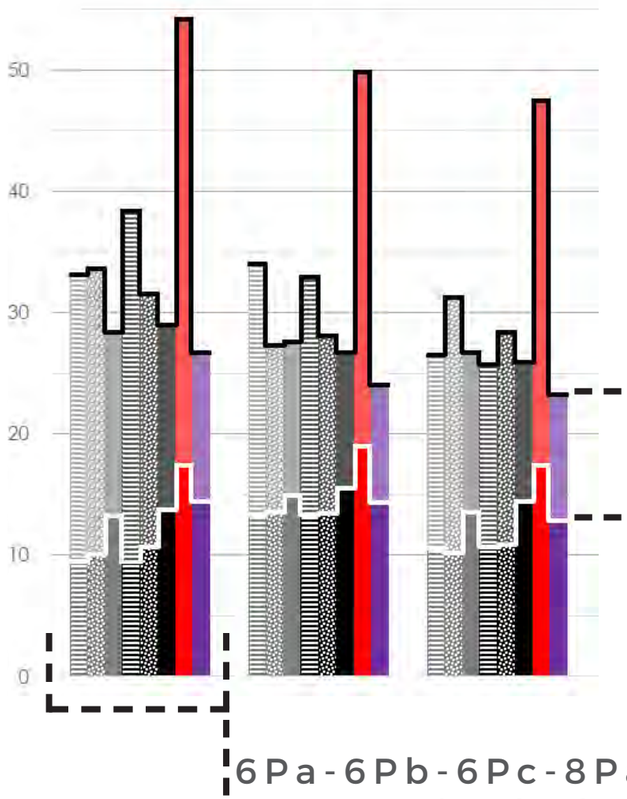
ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO TÉRMICO

FICHA TEMPERATURA HORARIA MÍN - MÁX

Se compararon los cambios térmicos en distintas posiciones del sustrato, se realizó el análisis en dos momentos críticos térmicamente durante el día, la menor y mayor temperatura ambiente:

- H mín. - máx.

Simbología



Línea 14:00

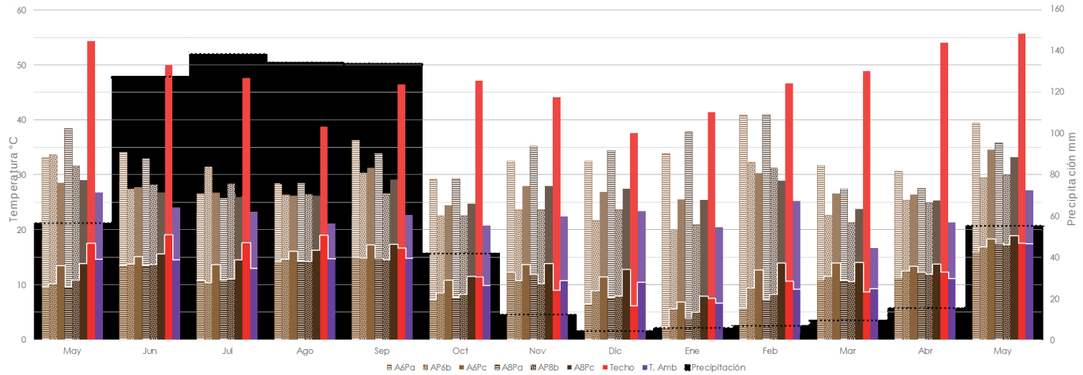
Línea 7:00 h

6Pa-6Pb-6Pc-8Pa-8Pb-8Pc-Techo-Amb.

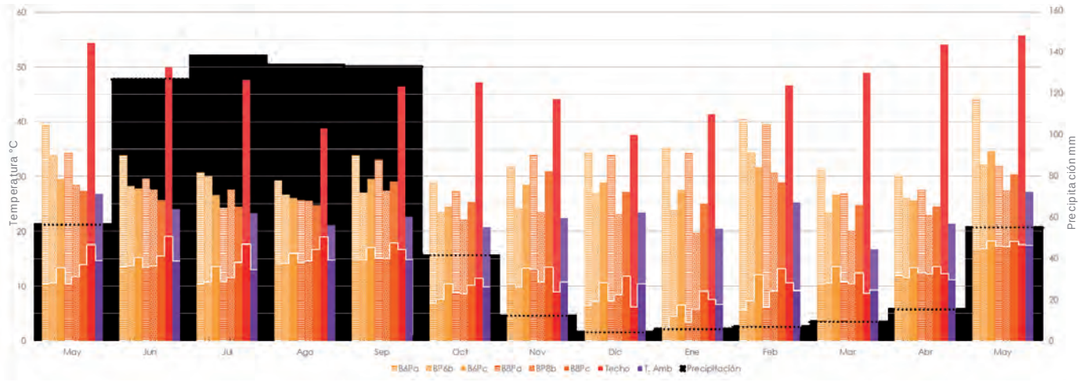
Secuencia de barras
color según tipo de sustrato

Claves

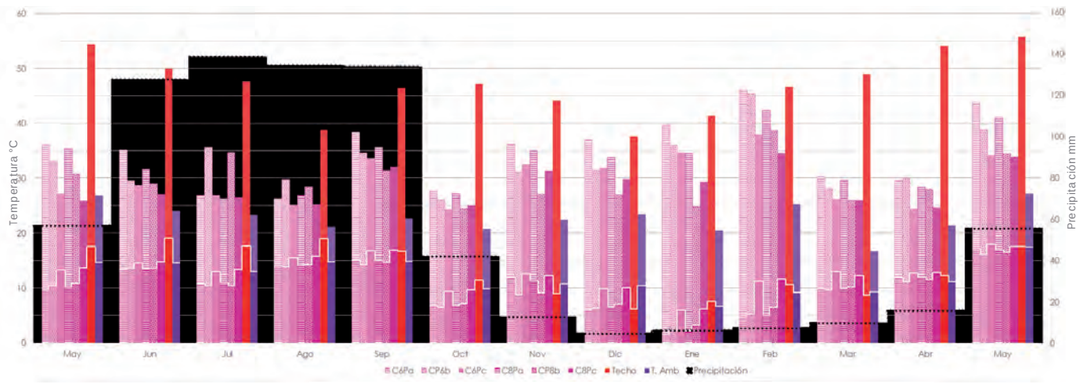
Colores



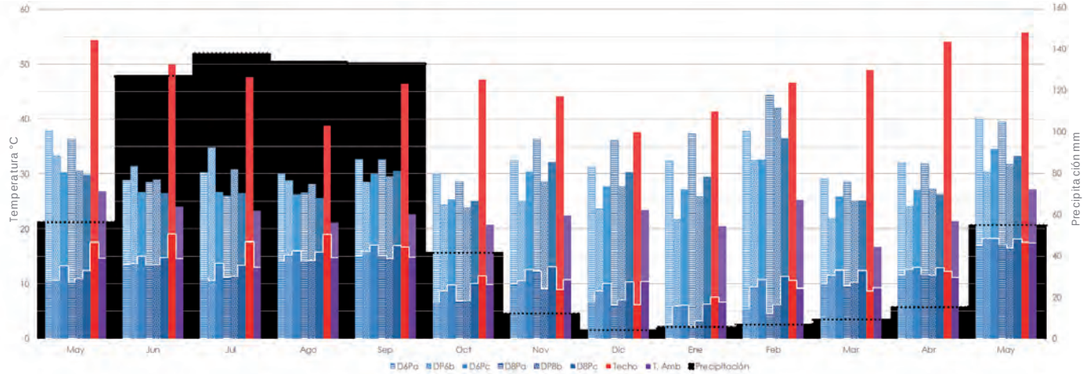
G1 - Registros térmicos a las 7:00 y 14:00 h en sustrato A



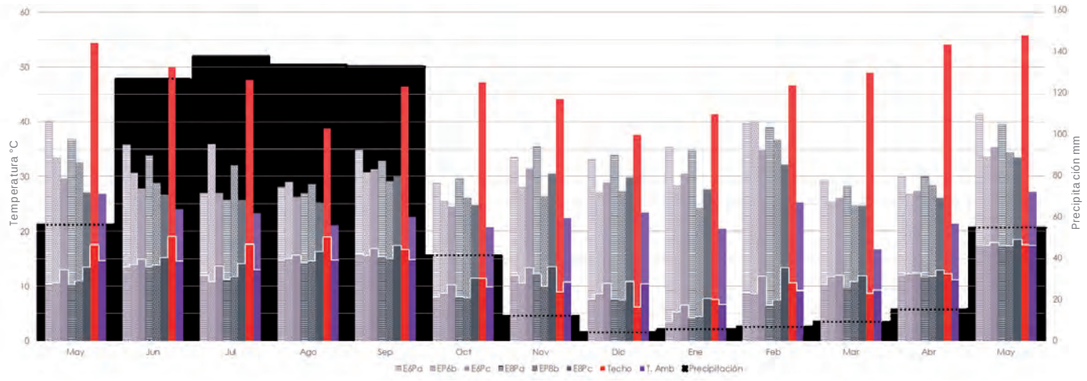
G2 - Registros térmicos a las 7:00 y 14:00 h en sustrato B



G3 - Registros térmicos a las 7:00 y 14:00 h en sustrato C



G4 - Registros térmicos a las 7:00 y 14:00 h en sustrato D



G5 - Registros térmicos a las 7:00 y 14:00 h en sustrato E

Desempeño térmico 7:00 h

Todos
- la temp de 6c y 8c > temp ambiental siempre
- de may-ago la temp techo > todos
- de dic-feb la max diferencia entre a y c
- en nov,dic, mar la temp del techo < todos
- de feb-may la temp del techo < todos

Sustrato A
- de sep-may la temp del techo < todos

Sustrato B
- en sep la temp techo < 6c y 8c
- oct-may la temp techo < todos

Sustrato C
- en sep la temp techo < 6c y 8c
- en oct la temp techo > todos
- de nov-dic la temp del techo < todos
- en ene la temp techo > todos
- de feb-may la temp del techo < todos

Sustrato D
- en sep la temp techo < 6c y 8c
- en oct la temp techo > todos
- de nov-dic la temp del techo < todos
- en ene la temp techo > todos
- de feb-may la temp del techo < 6c y 8c

Sustrato E
- de sep-may la temp del techo < todos

Desempeño térmico 14:00 h

Todos
- la temp techo > todos siempre
- de dic-feb la temp 6c y 8c son más elevadas

Sustrato A, B y D
- de may-ago la temp 6c y 8c < todos
- de sep-ene la temp 6b y 8b < todos
- en feb la temp 6cy 8c < que todos
- de mar-may la temp 6b y 8b < que todos

Sustrato C
- de may-oct la temp 6c y 8c < todos
- de nov-dic la temp 6b y 8b < todos
- de ene-may la temp 6c y 8c < todos

Sustrato D
- en feb la temp 6b y 8c < que todos
- en mar la temp 6b y 8b < todos
- en abr la temp 6b y 8c < todos
- en may la temp 6b y 8b < todos

Sustrato E
- de may-ago la temp 6c y 8c < todos
- en sep la temp 6b y 8b < todos
- en oct la temp 6c y 8c < todos
- de nov-ene la temp 6b y 8b < todos
- en feb la temp 6c y 8c < todos
- en mar la temp 6b y 8b < todos

H mín - máx

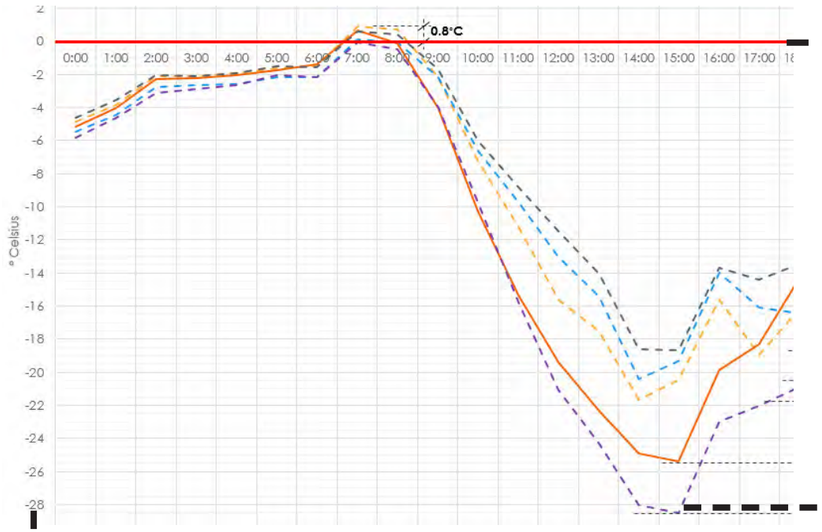
ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO TÉRMICO

RENDIMIENTO CONTRA EL TECHO

Se realizó una serie de fichas donde se toma como referencia cero el desempeño térmico de la cubierta testigo sin naturación para observar las diferencias térmicas entre cada uno de los sustratos (T), en cada mes de diseño (T enero, T mayo) y por último graficando solamente los mejores desempeños térmicos en los meses de diseño (Rendimiento):

- T
- T enero
- T mayo
- Rendimiento

Simbología



Línea roja
referencia techo

Línea morada
temp. ambiente

Eje temperatura

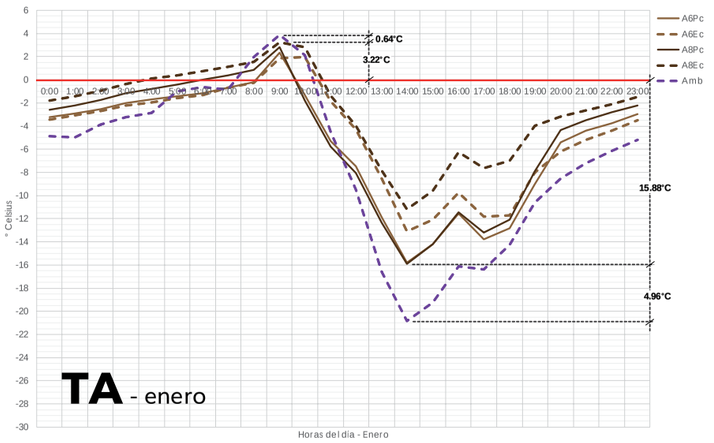
Pc

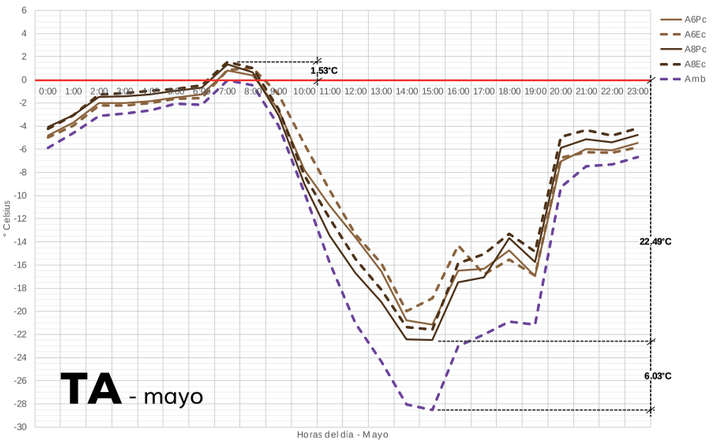
Ec

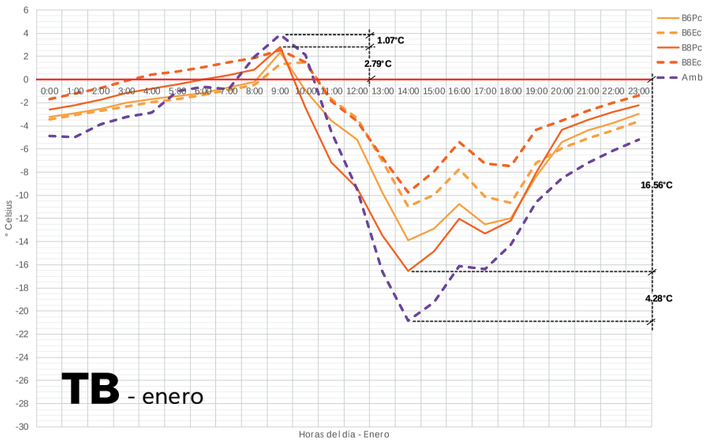
Líneas de temperatura
color según tipo de sustrato

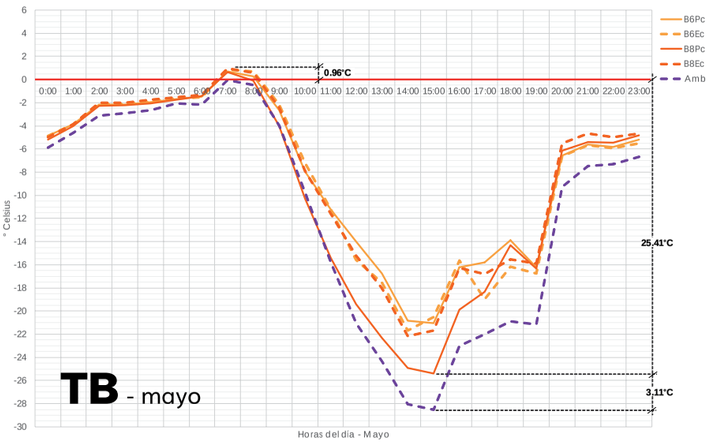
Claves

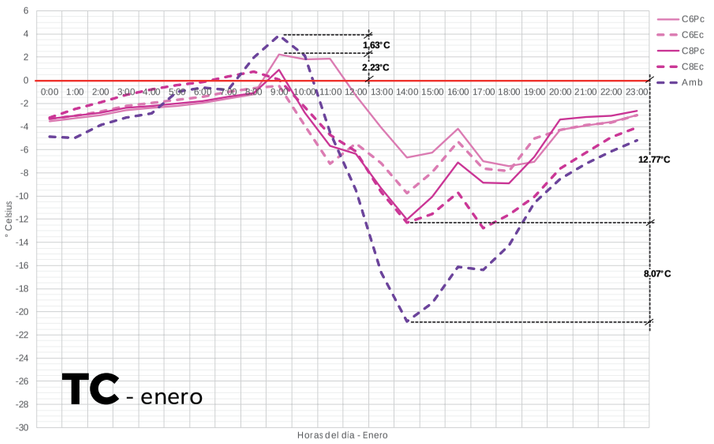
Colores

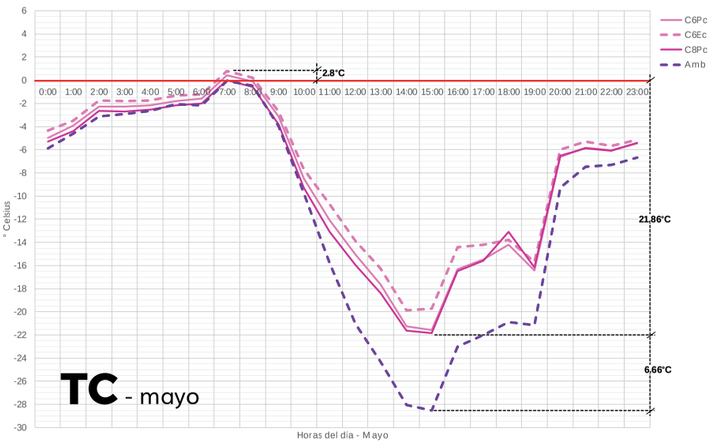

A6Pc
A6Ec
A8Pc
A8Ec
Amb
0.64°C
3.22°C
15.88°C
4.96°C
TA - enero
Horas del día - Enero

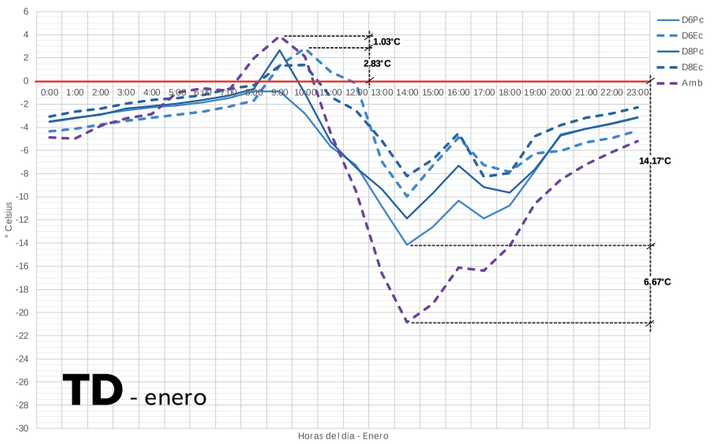

A6Pc
A6Ec
A8Pc
A8Ec
Amb
1.53°C
22.49°C
6.03°C
TA - mayo
Horas del día - Mayo

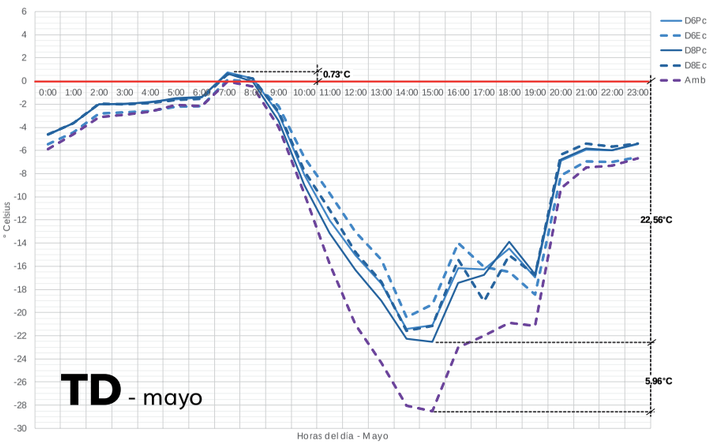

B6Pc
B6Ec
B8Pc
B8Ec
Amb
1.07°C
2.79°C
16.56°C
4.28°C
TB - enero
Horas del día - Enero

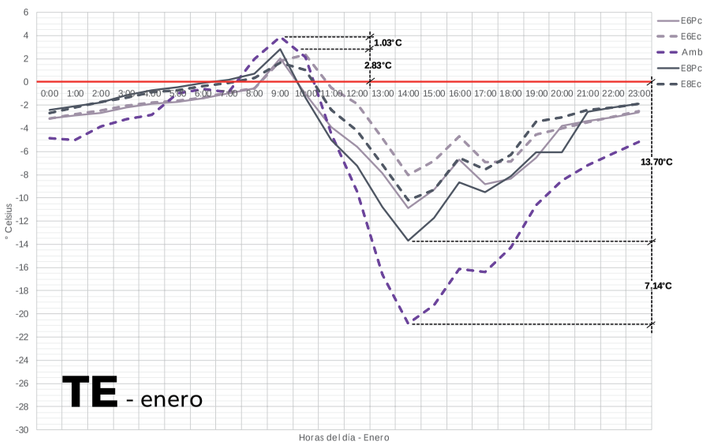

B6Pc
B6Ec
B8Pc
B8Ec
Amb
0.96°C
25.41°C
3.11°C
TB - mayo
Horas del día - Mayo

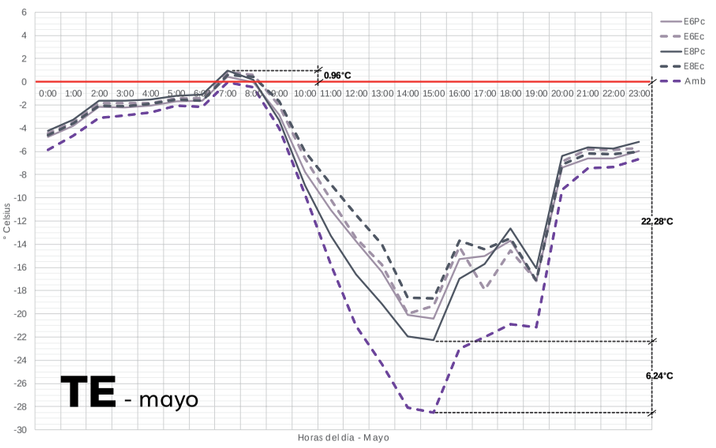

C6Pc
C6Ec
C8Pc
C8Ec
Amb
1.63°C
2.23°C
12.77°C
8.07°C
TC - enero
Horas del día - Enero


C6Pc
C6Ec
C8Pc
Amb
2.8°C
21.86°C
6.66°C
TC - mayo
Horas del día - Mayo

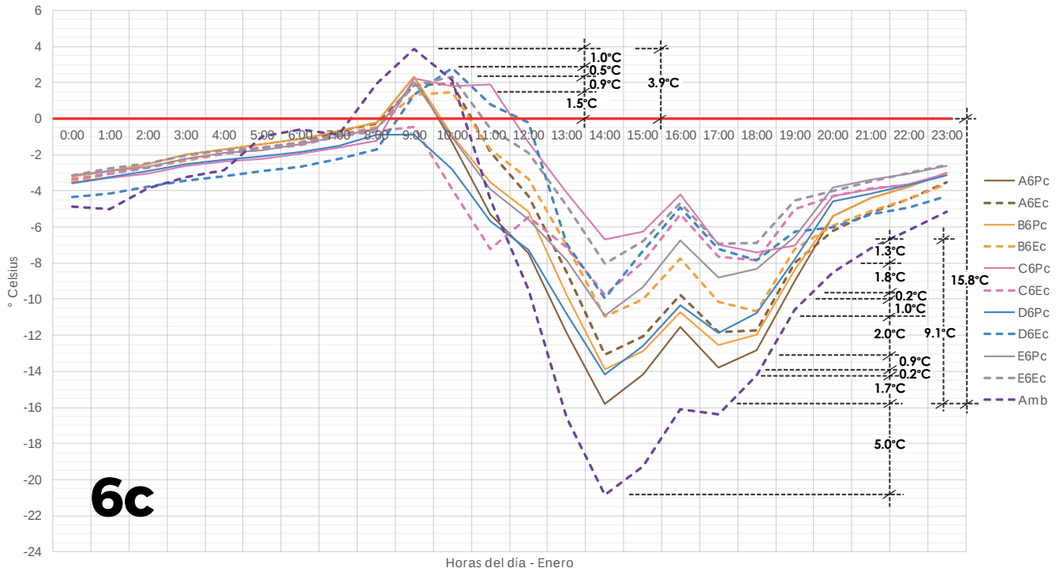

D6Pc
D6Ec
D8Pc
D8Ec
Amb
1.03°C
2.83°C
14.17°C
6.67°C
TD - enero
Horas del día - Enero


D6Pc
D6Ec
D8Pc
D8Ec
Amb
0.73°C
22.56°C
5.96°C
TD - mayo
Horas del día - Mayo


E6Pc
E6Ec
Amb
E8Pc
E8Ec
1.03°C
2.83°C
13.70°C
7.14°C
TE - enero
Horas del día - Enero

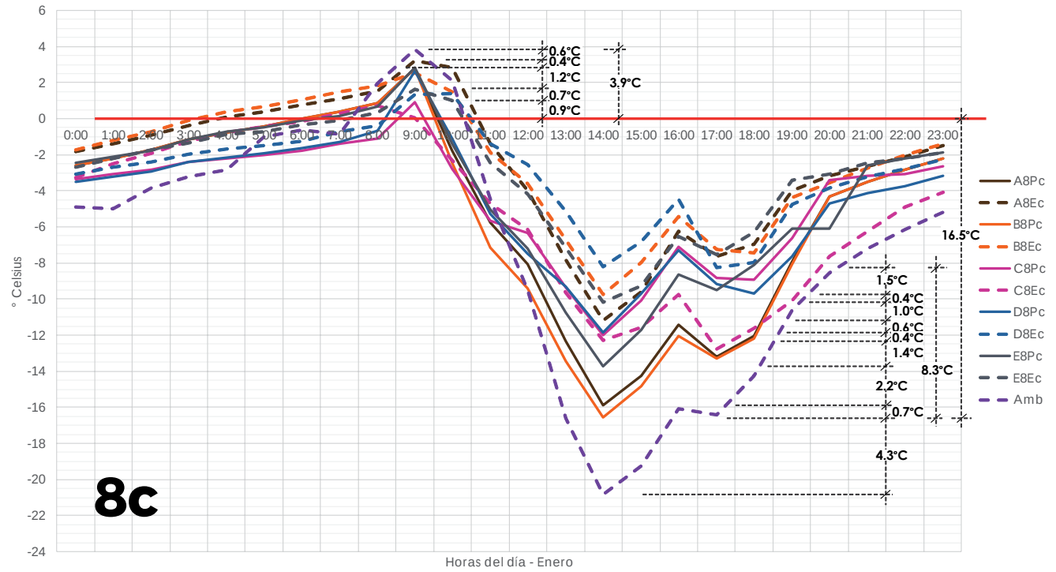

E6Pc
E6Ec
E8Pc
E8Ec
Amb
0.96°C
22.28°C
6.24°C
TE - mayo
Horas del día - Mayo

Enero	A						B						C						D						E						amb
	temp 6 cm ≠ Techo			temp 8 cm ≠ Techo			temp 6 cm ≠ Techo			temp 8 cm ≠ Techo			temp 6 cm ≠ Techo			temp 8 cm ≠ Techo			temp 6 cm ≠ Techo			temp 8 cm ≠ Techo			temp 6 cm ≠ Techo			temp 8 cm ≠ Techo			Amb ≠ Techo
Hora	6Pc-Techo	≠	6Ec-Techo	8Pc-Techo	≠	8Ec-Techo	6Pc-Techo	≠	6Ec-Techo	8Pc-Techo	≠	8Ec-Techo	6Pc-Techo	≠	6Ec-Techo	8Pc-Techo	≠	8Ec-Techo	6Pc-Techo	≠	6Ec-Techo	8Pc-Techo	≠	8Ec-Techo	6Pc-Techo	≠	6Ec-Techo	8Pc-Techo	≠	8Ec-Techo	Amb-Techo
0:00	-3.21	0.24	-3.45	-2.58	-0.77	-1.81	-3.21	0.24	-3.45	-2.58	-0.87	-1.71	-3.55	-0.19	-3.36	-3.36	-0.10	-3.26	-3.55	0.78	-4.33	-3.49	-0.42	-3.07	-3.16	0.00	-3.16	-2.44	0.24	-2.68	-4.88
1:00	-2.91	0.15	-3.06	-2.22	-0.81	-1.41	-2.91	0.15	-3.06	-2.22	-1.00	-1.22	-3.30	-0.24	-3.06	-3.09	-0.62	-2.48	-3.26	0.88	-4.14	-3.19	-0.52	-2.67	-2.90	-0.13	-2.77	-2.09	0.10	-2.18	-5.01
2:00	-2.54	0.15	-2.69	-1.74	-0.81	-0.93	-2.54	0.15	-2.69	-1.74	-1.00	-0.74	-3.03	-0.34	-2.69	-2.82	-0.92	-1.90	-2.89	0.89	-3.77	-2.92	-0.52	-2.39	-2.66	-0.16	-2.49	-1.76	-0.05	-1.71	-3.85
3:00	-2.00	0.25	-2.24	-1.16	-0.78	-0.38	-2.00	0.35	-2.34	-1.16	-1.08	-0.09	-2.59	-0.35	-2.24	-2.41	-1.15	-1.26	-2.54	0.90	-3.44	-2.41	-0.46	-1.95	-2.21	-0.17	-2.05	-1.16	0.20	-1.36	-3.22
4:00	-1.72	0.25	-1.97	-0.78	-0.89	0.11	-1.72	0.25	-1.97	-0.78	-1.18	0.40	-2.36	-0.40	-1.97	-2.20	-1.42	-0.78	-2.26	0.90	-3.17	-2.17	-0.50	-1.67	-1.90	-0.13	-1.77	-0.73	0.15	-0.87	-2.85
5:00	-1.40	0.20	-1.61	-0.41	-0.79	0.38	-1.40	0.30	-1.71	-0.41	-1.09	0.68	-2.21	-0.50	-1.71	-2.01	-1.60	-0.41	-2.11	0.81	-2.92	-1.94	-0.44	-1.51	-1.74	-0.14	-1.61	-0.46	0.25	-0.71	-0.99
6:00	-1.14	0.20	-1.34	0.00	-0.76	0.76	-1.14	0.20	-1.34	0.00	-1.06	1.05	-1.95	-0.51	-1.44	-1.78	-1.64	-0.14	-1.85	0.82	-2.66	-1.64	-0.40	-1.24	-1.41	-0.07	-1.34	-0.09	0.25	-0.34	-0.62
7:00	-0.69	0.00	-0.69	0.38	-0.73	1.11	-0.69	0.20	-0.90	0.38	-1.13	1.51	-1.61	-0.61	-1.00	-1.41	-1.72	0.31	-1.51	0.72	-2.23	-1.27	-0.58	-0.69	-1.00	-0.10	-0.90	0.16	0.25	-0.09	-0.87
8:00	-0.22	0.05	-0.27	0.88	-0.67	1.55	-0.22	0.25	-0.47	0.88	-0.97	1.85	-1.24	-0.56	-0.67	-1.12	**-1.86**	**0.74**	-0.88	0.82	-1.70	-0.67	-0.31	-0.37	-0.57	0.00	-0.57	0.69	0.35	0.34	1.96
9:00	2.33	0.49	1.84	2.79	-0.43	3.22	2.33	0.99	1.34	2.79	0.26	2.53	2.23	2.70	-0.47	0.91	0.87	0.04	-0.89	-2.23	1.34	2.66	1.32	1.34	2.03	0.20	1.84	2.83	1.19	1.64	3.86
10:00	-1.34	-3.31	1.97	-1.79	-4.62	2.83	-0.95	-2.44	1.49	-2.43	-3.92	1.49	1.81	5.72	-3.90	-2.78	-0.47	-2.32	-2.80	-5.63	2.83	-1.08	-2.47	1.39	-1.03	-3.39	2.35	-1.37	-2.38	1.00	2.11
11:00	-5.29	-3.42	-1.87	-5.77	-4.38	-1.39	-3.54	-1.86	-1.68	-7.14	-5.27	-1.87	1.88	**9.10**	-7.21	-5.67	-0.96	-4.71	-5.67	-6.47	0.80	-5.26	-3.87	-1.39	-3.91	-3.37	-0.54	-5.03	-2.59	-2.44	-4.48
12:00	-7.47	-3.18	-4.29	-8.04	-4.04	-4.00	-5.17	-1.84	-3.32	-9.41	-5.79	-3.61	-1.34	4.10	-5.44	-6.35	-0.22	-6.13	-7.28	**-7.07**	-0.21	-7.48	**-4.93**	-2.55	-5.60	**-3.73**	-1.87	-7.21	-3.02	-4.19	-9.48
13:00	-11.86	-3.34	-8.51	-12.34	-4.51	-7.82	-9.75	-2.72	-7.03	-13.44	-6.71	-6.74	-4.09	3.04	-7.13	-9.34	0.29	-9.63	-10.82	-3.89	-6.93	-9.32	-4.18	-5.14	-7.85	-3.02	-4.83	-10.77	**-3.64**	-7.13	-16.59
14:00	-15.79	-2.71	-13.08	-15.88	-4.69	-11.19	-13.88	-2.89	**-10.98**	**-16.56**	-6.79	**-9.77**	-6.68	3.08	**-9.77**	**-12.02**	0.27	-12.29	**-14.17**	-4.20	**-9.97**	**-11.85**	-3.63	-8.22	**-10.89**	-2.88	**-8.01**	**-13.70**	-3.53	**-10.17**	**-20.84**
15:00	-14.19	-2.11	-12.09	-14.23	-4.65	-9.58	-12.86	-2.88	-9.99	-14.85	**-6.91**	-7.94	-6.24	1.70	-7.94	-10.08	1.50	-11.57	-12.61	-5.28	-7.32	-9.72	-2.91	-6.80	-9.31	-2.51	-6.80	-11.72	-2.44	-9.28	-19.24
16:00	-11.56	-1.82	-9.74	-11.43	-5.20	-6.23	-10.74	**-3.00**	-7.75	-12.03	-6.62	-5.41	-4.19	1.12	-5.31	-7.10	2.62	-9.72	-10.32	-5.43	-4.89	-7.30	-2.82	-4.48	-6.72	-2.03	-4.69	-8.64	-2.11	-6.53	-16.10
17:00	-13.81	-2.00	-11.81	-13.22	**-5.58**	-7.64	-12.53	-2.39	-10.14	-13.31	-6.07	-7.24	-6.99	0.65	-7.64	-8.83	3.94	**-12.77**	-11.85	-4.62	-7.24	-9.16	-0.91	**-8.25**	-8.79	-1.86	-6.93	-9.52	-1.98	-7.54	-16.40
18:00	-12.82	-1.11	-11.71	-12.06	-5.09	-6.97	-11.97	-1.31	-10.66	-12.20	-4.74	-7.46	**-7.43**	0.42	-7.85	-8.91	2.73	-11.64	-10.78	-2.93	-7.85	-9.67	-1.72	-7.95	-8.33	-1.46	-6.87	-8.13	-1.85	-6.28	-14.25
19:00	-8.99	-1.01	-7.99	-7.91	-3.93	-3.98	-8.36	-1.14	-7.23	-8.04	-3.68	-4.36	-7.05	**-2.02**	-5.03	-6.60	3.48	-10.08	-7.81	-1.54	-6.27	-7.62	-2.87	-4.75	-6.54	-1.99	-4.56	-6.08	-2.68	-3.41	-10.59
20:00	-5.40	0.81	-6.21	-4.34	-1.17	-3.16	-5.40	0.52	-5.92	-4.34	-0.79	-3.54	-4.30	0.00	-4.30	-3.42	**4.22**	-7.64	-4.59	1.43	-6.02	-4.72	-0.89	-3.83	-3.80	0.22	-4.02	-6.07	-3.01	-3.07	-8.52
21:00	-4.39	0.81	-5.20	-3.49	-0.86	-2.63	-4.39	0.72	-5.11	-3.49	-0.76	-2.72	-3.91	-0.05	-3.87	-3.17	3.09	-6.25	-4.15	1.15	-5.30	-4.12	-0.92	-3.20	-3.39	0.09	-3.49	-2.58	-0.14	-2.44	-7.18
22:00	-3.75	0.67	-4.42	-2.83	-0.70	-2.13	-3.75	0.67	-4.42	-2.83	-0.79	-2.03	-3.61	0.05	-3.66	-3.05	1.85	-4.90	-3.66	1.25	-4.90	-3.72	-0.92	-2.80	-3.05	-0.06	-2.99	-2.22	0.00	-2.22	-6.16
23:00	-2.98	0.53	-3.50	-2.22	-0.73	-1.49	-2.98	0.63	-3.60	-2.22	-0.83	-1.40	-3.02	0.00	-3.02	-2.64	1.44	-4.08	-3.12	1.16	-4.28	-3.18	-0.93	-2.26	-2.61	-0.06	-2.54	-1.87	0.00	-1.87	-5.18
Min	-15.79	-3.42	-13.08	-15.88	-5.58	-11.19	-13.88	-3.00	-10.98	-16.56	-6.91	-9.77	-7.43	-2.02	-9.77	-12.02	-1.86	-12.77	-14.17	-7.07	-9.97	-11.85	-4.93	-8.25	-10.89	-3.73	-8.01	-13.70	-3.64	-10.17	-20.84
Max	2.33	0.81	1.97	2.79	-0.43	3.22	2.33	0.99	1.49	2.79	0.26	2.53	2.23	9.10	-0.47	0.91	4.22	0.74	-0.88	1.43	2.83	2.66	1.32	1.39	2.03	0.22	2.35	2.83	1.19	1.64	3.86
Oscilación	18.12		15.05	18.67		14.40	16.21		12.47	19.35		12.30	9.67		9.30	12.93		13.51	13.29		12.80	14.51		9.64	12.93		10.37	16.53		11.81	24.70



T-6c - Diferencia térmica de registros en posición -c- de todos los sustratos con espesor 6 cm contra techo
Oscilación respecto al techo: A6Pc>B6Pc>A6Ec>D6Pc>E6Pc>D6Ec>B6Ec>E6Ec>C6Pc>C6Ec

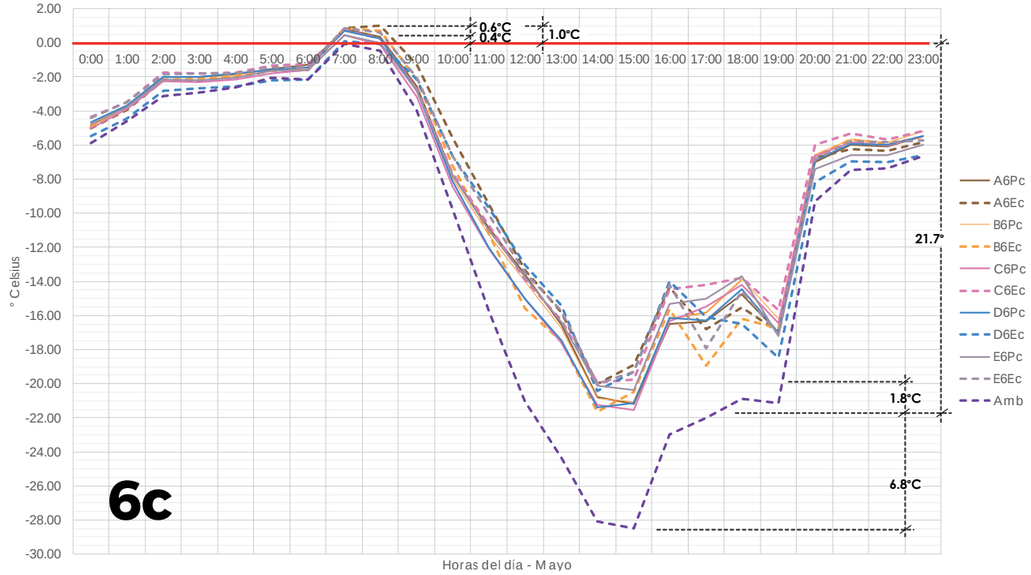
Descripción. Existe diferencia térmica significativa entre el uso de vegetación plantada contra la espontánea en todos los sustratos, la oscilación térmica en relación al techo es mayor donde existe vegetación plantada que espontánea. En el periodo entre las 7:00 y 11:00 h del día se registra en la temperatura ambiente y en 8 de los 10 sustratos temperaturas más altas en relación al techo; a las 9:00 h la temperatura ambiente es +3.86°C más elevada que la del techo, el sustrato con mayor diferencia es el D6Ec con +2.83°C, seguido del E6Ec +2.35°C; los dos sustratos con temperatura más baja que la del techo son el D6Pc con -0.88°C y el C6Ec -0.47°C menos. A las 14:00 h se registra la mayor diferencia tanto del techo contra la temperatura ambiente (-20.84°C), como con los sustratos, notando la mayor diferencia por el sustrato A6Pc con -15.79°C y la mínima con el sustrato C6Pc por -6.68°C. A esta hora del día la diferencia máxima entre los sustratos es de 9.11°C.



T-8c - Diferencia térmica de registros en posición -c- de todos los sustratos con espesor 8 cm contra techo
Oscilación respecto al techo: B8Pc>A8Pc>E8Pc>D8Pc>A8Ec>C8Ec>C8Pc>B8Ec>E8Ec>D8Ec

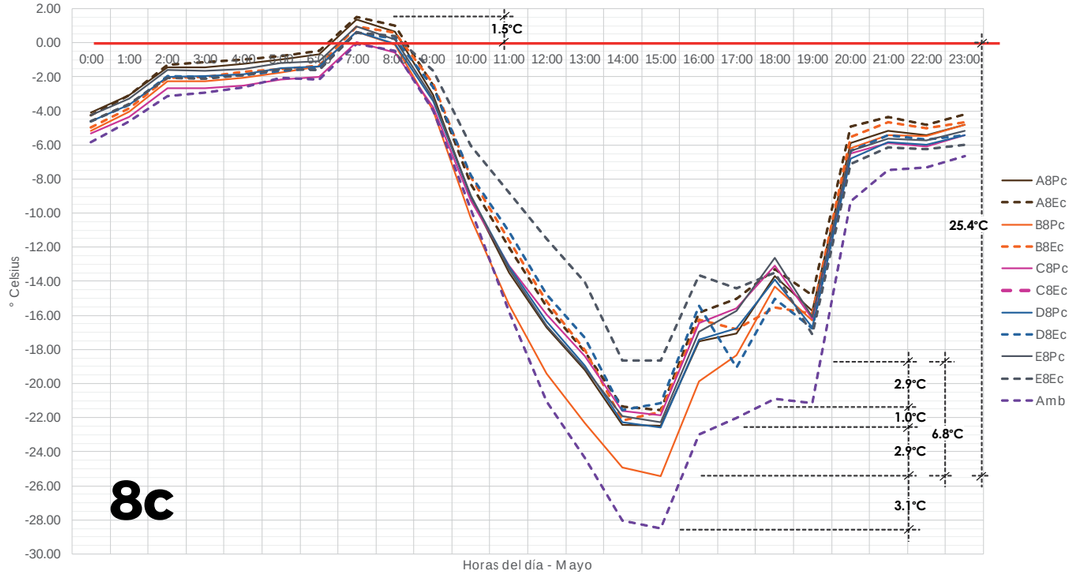
Descripción. Las horas donde se registran las máximas diferencias térmicas de la temperatura ambiente y de los sustratos en relación al techo son a las 9:00, en donde se registra mayor temperatura que el techo, y las 14:00 h es donde son mucho más bajas que el techo. A las 9:00 h la diferencia con la temp. ambiente es de +3.9°C, el sustrato A8Ec registra la mayor diferencia con +3.22°C, seguido de los sustratos A, B, D y E con vegetación plantada los cuales tienen registros similares alrededor de +2.79°C; los registros con diferencia menor son del tipo C, con +0.91°C el C8Pc y la mínima es del C8Ec con +0.74°C. A las 14:00 h también se aprecian distintos registros térmicos de acuerdo al tipo de vegetación, las mayores diferencias son utilizando vegetación plantada, siendo la máxima el tipo B8Pc con una disminución de -16.56°C, seguido del sustrato A8Pc con -15.88°C; la mínima diferencia con el techo se registra en el tipo D8Ec con -8.22°C, teniendo así una diferencia máxima entre los sustratos de 8.34°C.

Mayo	A						B						C						D						E						amb
	temp 6 cm ≠ Techo			temp 8 cm ≠ Techo			temp 6 cm ≠ Techo			temp 8 cm ≠ Techo			temp 6 cm ≠ Techo			temp 8 cm ≠ Techo			temp 6 cm ≠ Techo			temp 8 cm ≠ Techo			temp 6 cm ≠ Techo			temp 8 cm ≠ Techo			Amb ≠ Techo
Hora	6Pc-Techo	≠	6Ec-Techo	8Pc-Techo	≠	8Ec-Techo	6Pc-Techo	≠	6Ec-Techo	8Pc-Techo	≠	8Ec-Techo	6Pc-Techo	≠	6Ec-Techo	8Pc-Techo	≠	8Ec-Techo	6Pc-Techo	≠	6Ec-Techo	8Pc-Techo	≠	8Ec-Techo	6Pc-Techo	≠	6Ec-Techo	8Pc-Techo	≠	8Ec-Techo	Amb-Techo
0:00	-4.80	0.19	-4.99	-4.10	0.13	-4.23	-4.90	0.00	-4.90	-5.18	-0.19	-4.99	-4.99	-0.67	-4.32	-5.32			-4.66	0.81	-5.47	-4.61	0.00	-4.61	-4.74	-0.32	-4.42	-4.23	0.38	-4.61	-5.86
1:00	-3.71	0.24	-3.95	-3.09	0.00	-3.09	-3.86	0.00	-3.86	-4.05	-0.19	-3.86	-3.90	-0.43	-3.48	-4.38			-3.67	0.76	-4.43	-3.67	0.00	-3.67	-3.79	-0.32	-3.48	-3.28	0.29	-3.57	-4.63
2:00	-1.99	0.24	-2.23	-1.47	-0.19	-1.28	-2.18	-0.05	-2.13	-2.27	-0.24	-2.04	-2.27	-0.52	-1.75	-2.65			-1.99	0.81	-2.80	-2.00	-0.06	-1.94	-2.13	-0.29	-1.85	-1.61	0.43	-2.04	-3.12
3:00	-2.01	0.19	-2.20	-1.44	-0.29	-1.16	-2.15	-0.05	-2.11	-2.25	-0.24	-2.01	-2.30	-0.48	-1.82	-2.68			-2.01	0.66	-2.68	-1.98	0.03	-2.01	-2.20	0.38	-1.82	-1.63	0.48	-2.11	-2.91
4:00	-1.87	0.14	-2.01	-1.25	-0.29	-0.96	-1.96	-0.05	-1.92	-2.06	-0.33	-1.73	-2.15	-0.43	-1.73	-2.53			-1.82	0.76	-2.58	-1.85	0.06	-1.92	-2.07	-0.25	-1.82	-1.53	0.38	-1.92	-2.63
5:00	-1.53	0.10	-1.63	-0.96	-0.19	-0.77	-1.68	-0.05	-1.63	-1.77	-0.24	-1.53	-1.82	-0.48	-1.34	-2.15			-1.58	0.62	-2.20	-1.50	0.13	-1.63	-1.66	-0.22	-1.44	-1.20	0.33	-1.53	-2.06
6:00	-1.27	0.33	-1.61	-0.69	-0.22	-0.46	-1.46	0.05	-1.51	-1.41	-0.10	-1.32	-1.61	-0.38	-1.22	-1.99			-1.41	0.76	-2.18	-1.38	0.13	-1.51	-1.61	-0.19	-1.42	-1.08	0.52	-1.61	-2.16
7:00	0.82	-0.05	0.87	1.34	-0.19	1.53	0.68	-0.19	0.87	0.63	-0.33	0.96	0.44	-0.33	0.77	0.01			0.73	0.62	0.11	0.65	0.06	0.58	0.42	-0.44	0.87	0.96	0.38	0.58	-0.06
8:00	0.37	-0.62	0.99	0.64	-0.35	0.99	0.27	-0.43	0.70	-0.11	-0.71	0.61	-0.11	-0.33	0.22	-0.58			0.22	0.29	-0.06	-0.06	-0.29	0.22	-0.03	-0.63	0.61	0.18	-0.24	0.42	-0.47
9:00	-2.58	-1.29	-1.29	-3.07	-0.54	-2.53	-2.67	-0.52	-2.15	-4.01	-1.57	-2.44	-3.15	-0.43	-2.72	-3.82			-2.82	-0.67	-2.15	-3.42	-0.80	-2.63	-2.82	-0.76	-2.05	-3.29	-1.62	-1.67	-4.00
10:00	-7.78	-2.23	-5.55	-9.03	-0.77	-8.26	-7.97	**-0.77**	-7.20	-10.27	-2.40	-7.88	-8.45	-0.77	-7.68	-9.27			-8.12	-1.50	-6.62	-9.00	-1.22	-7.78	-7.75	**-1.13**	-6.62	-8.93	-2.90	-6.04	-9.74
11:00	-10.87	-1.34	-9.53	-13.47	-1.46	-12.00	-11.26	-0.05	-11.22	-15.40	-3.79	-11.61	-12.10	-1.38	-10.72	-13.08			-12.05	**-2.33**	-9.73	-13.14	**-2.03**	-11.12	-11.02	-0.89	-10.12	-13.27	-4.45	-8.82	-15.78
12:00	-13.61	-0.26	-13.36	-16.69	-1.20	-15.50	-14.02	1.58	-15.60	-19.41	-4.22	-15.19	-15.04	-1.17	-13.87	-15.94			-15.04	-1.99	-13.05	-16.33	-1.54	-14.79	-13.73	-0.27	-13.46	-16.59	**-5.11**	-11.48	-21.05
13:00	-16.54	-0.68	-15.85	-19.20	-1.05	-18.15	-16.74	0.79	-17.53	-22.33	**-4.29**	-18.05	-17.63	-1.36	-16.28	-18.40			-17.47	-2.04	-15.43	-18.96	-1.64	-17.32	-16.38	-0.63	-15.75	-19.12	-5.08	-14.03	-24.34
14:00	-20.79	-0.78	**-20.01**	-22.42	-1.06	-21.36	-20.84	0.83	**-21.67**	-24.91	-2.72	**-22.18**	-21.26	-1.35	**-19.90**	-21.61			**-21.41**	-0.98	**-20.43**	-22.28	-0.72	**-21.57**	-20.11	-0.10	**-20.01**	-21.93	-3.29	-18.63	-28.06
15:00	**-21.18**	-2.30	-18.88	**-22.49**	-0.94	**-21.55**	**-21.07**	-0.58	-20.49	**-25.41**	-3.75	-21.66	**-21.55**	-1.81	-19.74	**-21.86**			-21.12	-1.81	-19.31	**-22.56**	-1.43	-21.13	**-20.39**	-1.07	-19.31	**-22.28**	-3.62	**-18.66**	**-28.52**
16:00	-16.47	-2.15	-14.33	-17.50	-1.66	-15.84	-16.21	-0.58	-15.63	-19.86	-3.59	-16.27	-16.32	**-1.88**	-14.44	-16.47			-16.16	-2.16	-14.00	-17.42	-2.01	-15.41	-15.30	-1.08	-14.22	-16.96	-3.29	-13.67	-22.98
17:00	-16.34	0.47	-16.81	-17.05	**-2.01**	-15.04	-15.82	3.13	-18.95	-18.34	-1.53	-16.81	-15.46	-1.27	-14.19	-15.56			-16.29	-0.21	-16.09	-16.74	**2.31**	-19.05	-15.01	**2.93**	-17.94	-15.72	-1.32	-14.41	-22.01
18:00	-14.74	0.77	-15.51	-13.68	-0.39	-13.29	-13.87	2.31	-16.19	-14.31	**1.21**	-15.51	-14.21	-0.44	-13.77	-13.09			-14.45	**2.02**	-16.47	-13.90	1.13	-15.03	-13.67	0.87	-14.55	-12.61	0.88	-13.48	-20.89
19:00	-16.98	-0.05	-16.94	-15.76	-0.93	-14.83	-16.22	0.53	-16.75	-16.32	-0.43	-15.89	-16.46	-0.76	-15.70	-16.17			-16.99	1.48	-18.46	-16.71	0.03	-16.75	-17.19	-0.06	-17.13	-16.08	1.05	-17.13	-21.14
20:00	-7.03	-0.29	-6.74	-5.89	-0.95	-4.93	-6.55	0.09	-6.65	-6.17	-0.67	-5.50	-6.65	-0.67	-5.98	-6.50			-6.89	1.28	-8.17	-6.81	-0.44	-6.36	-7.41	0.57	-6.84	-6.36	0.76	-7.12	-9.30
21:00	-5.98	0.29	-6.26	-5.15	-0.79	-4.36	-5.64	0.05	-5.69	-5.41	-0.76	-4.64	-5.83	-0.52	-5.31	-5.88			-5.93	1.00	-6.93	-5.85	-0.44	-5.41	-6.58	0.79	-5.79	-5.64	0.52	-6.17	-7.46
22:00	-6.09	0.24	-6.33	-5.41	-0.60	-4.81	-5.85	0.09	-5.95	-5.47	-0.48	-5.00	-6.04	-0.38	-5.66	-6.09			-6.00	1.00	-7.00	-5.98	-0.32	-5.66	-6.61	0.76	-5.85	-5.76	0.48	-6.23	-7.34
23:00	-5.48	0.33	-5.81	-4.79	-0.60	-4.19	-5.19	0.33	-5.52	-4.81	-0.14	-4.67	-5.48	-0.33	-5.14	-5.43			-5.48	1.08	-6.57	-5.43	0.00	-5.43	-5.97	0.25	-5.71	-5.19	0.81	-6.00	-6.67
Min	-21.18	-2.30	-20.01	-22.49	-2.01	-21.55	-21.07	-0.77	-21.67	-25.41	-4.29	-22.18	-21.55	-1.88	-19.90	-21.86			-21.41	-2.33	-20.43	-22.56	-2.03	-21.57	-20.39	-1.13	-20.01	-22.28	-5.11	-18.66	-28.52
Max	0.82	0.77	0.99	1.34	0.13	1.53	0.68	3.13	0.87	0.63	1.21	0.96	0.44	-0.33	0.77	0.01			0.73	2.02	0.11	0.65	2.31	0.58	0.42	2.93	0.87	0.96	1.05	0.58	-0.06
Oscilación	22.00		21.00	23.83		23.09	21.75		22.54	26.04		23.15	21.99		20.68	21.87			22.14		20.53	23.20		22.15	20.81		20.88	23.25		19.24	28.45



T-6c - Diferencia térmica de registros en posición -c- de todos los sustratos con espesor 6 cm contra techo
Oscilación respecto al techo: B6Ec>D6Pc>A6Pc>C6Pc>B6Pc>A6Ec>E6Ec>E6Pc>C6Ec>D6Ec

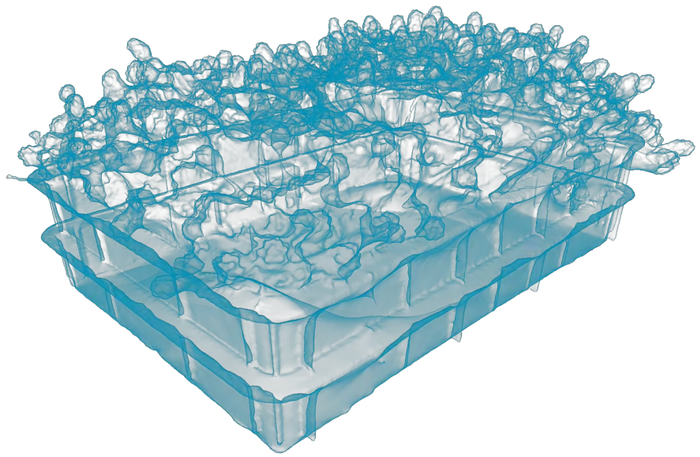
Descripción. Las diferencias térmicas entre los sustratos son menores durante todo el día, no existen cambios distintivos entre el uso de vegetación plantada y espontánea. Los registros térmicos de las 7:00 y 8:00 h del día son los únicos que indican temperaturas más elevadas que la temperatura del techo, la temperatura ambiente es mayor por +0.06°C, el sustrato que registra la mayor diferencia es el A6Ec con +0.99 °C, y la mínima diferencia es con el sustrato D6Ec por +0.11°C. Entre las 14:00 y 15:00 h se registra las máximas diferencias térmicas ahora con temperaturas más bajas que el techo, la temperatura ambiente con -28.52°C, el sustrato B6Ec marca la máxima diferencia con -21.7°C, las temperaturas de los demás sustratos se encuentran dentro de un rango de 1.8°C de diferencia en relación a C6Pc, siendo el sustrato C6Ec el menor con -19.9°C.

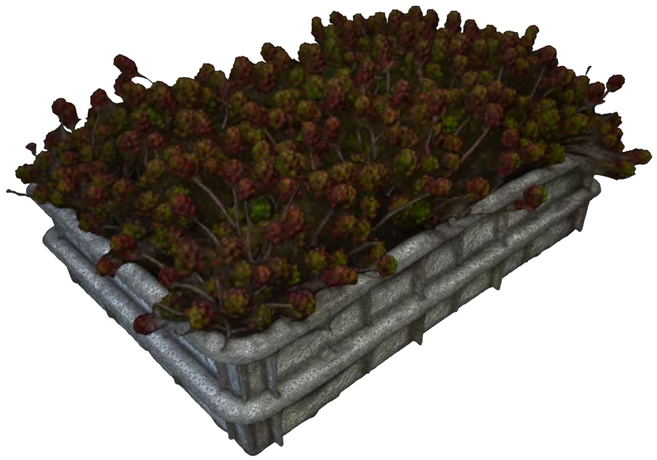


T-8c - Diferencia térmica de registros en posición -c- de todos los sustratos con espesor 8 cm contra techo
Oscilación respecto al techo: B8Pc>A8Pc>E8Pc>D8Pc>B8Ec>A8Ec>D8Ec>C8Pc>E8Ec

Descripción. Se observa diferencia significativa en los registros térmicos de los sustratos de acuerdo a la vegetación utilizada, a las 14:00 h la temperatura ambiente registra una diferencia de -28.52°C contra el techo, a esa hora los sustratos con vegetación plantada también registran las más considerables diferencias contra el techo, la mayor es por el B8Pc con -25.41°C, luego el sustrato D8Pc con -22.56°C y A8Pc con -22.39°C, E8Pc con -22.28°C y B8Ec con -22.18°C y la más bajo por el sustrato E8Ec con -18.66°C; teniendo así una diferencia máxima entre los sustratos de 6.75°C. A las 7:00 y 8:00 h solo la temp. ambiente registra una temperatura inferior al techo por -0.06°C, al contrario de los todos los sustratos quienes presentan temperaturas superiores al techo, el registro más alto es en el sustrato A8Pc con +1.34°C y el A8Ec con +1.53°C, luego los sustratos B8Ec y E8PC con +0.96°C, la menor diferencia el C8Pc con +0.01°C.

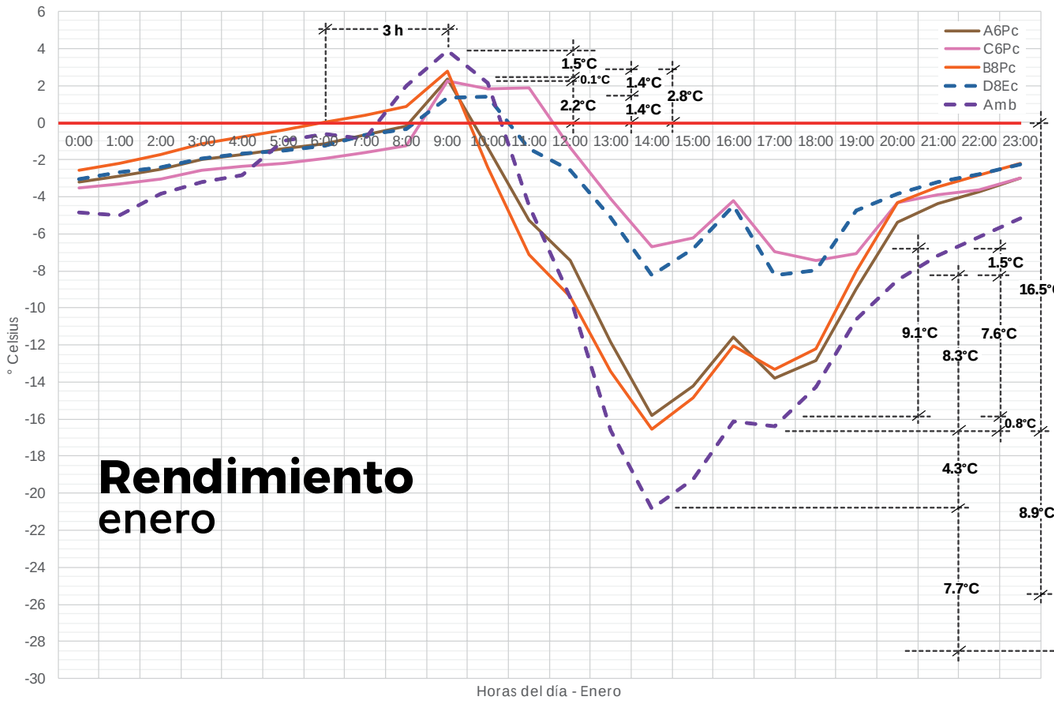
T mayo





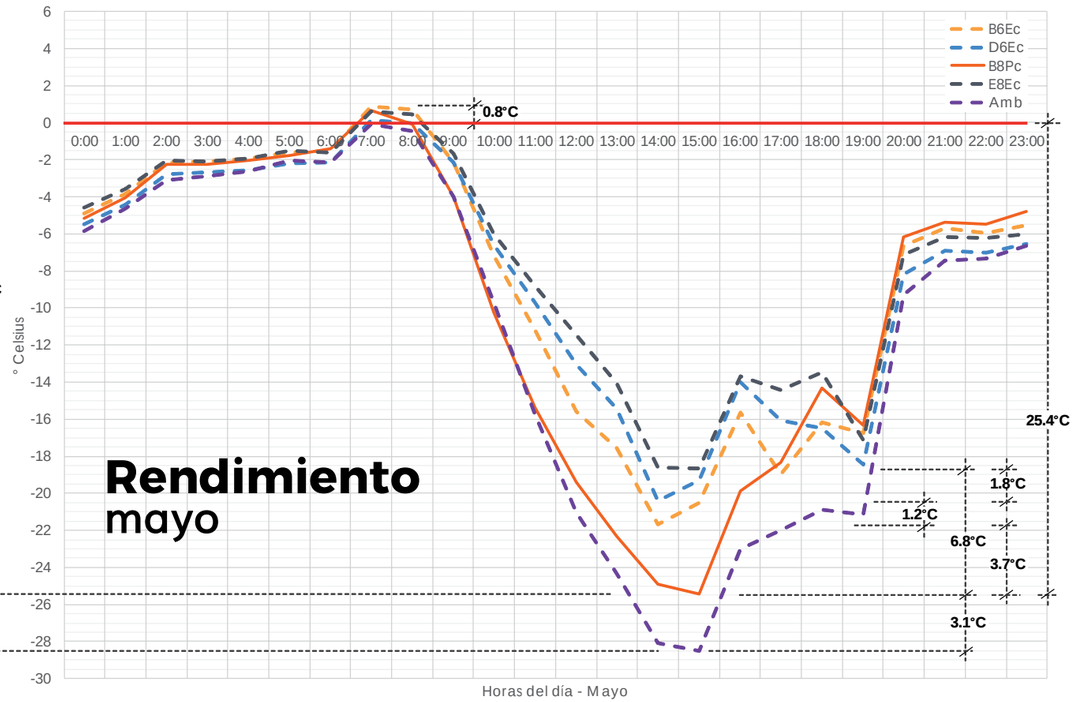
Imágenes de modelo 3D realizado mediante fotogrametría del módulo de prueba hídrico A6P

Rendimiento. Se grafican teniendo como referencia cero al techo (eje x, línea roja) los registros térmicos de la temperatura ambiente y de cuatro sustratos, los de mayor y menor desempeño térmico en cada espesor. Cada gráfica incluye algunas de las diferencias significativas en °C de los registros en las horas del día con mayor interés, por la mañana donde existen temperaturas más elevadas que la del techo (alrededor de las 7:00 h) y por la tarde donde se observa la máxima diferencia en relación al techo (14:00 o 15:00 h).



R-Enero - Rendimiento térmico en posición -c- de los sustratos contra techo
Mayor desempeño: B8Pc>A6Pc Menor desempeño: C6Pc>D8Ec

Descripción. En enero los sustratos con mejor desempeño térmico son el B8Pc y A6Pc, ambos tienen un registro térmico parecido durante el día, a las 7:00 h el B8Pc registra una temperatura superior al techo por +2.79°C y el A6Pc de +2.33°C, teniendo una diferencia de 0.46°C entre ellos; mientras que a las 14:00 h el registro del sustrato B8Pc es de -16.56°C en relación al techo y el de A6Pc de -15.79, una diferencia de 0.77°C; los dos sustratos tienen vegetación plantada y distinto espesor; existe una mayor regulación térmica por el sustrato B8Pc, no sólo en las horas de máximas temperaturas diarias (7:00 y 14:00 h), sino de manera constante a lo largo de todo el día, por las primeras horas del día es el que tiene menor diferencia en relación al techo, desde las 6:00 h cuenta con una temperatura mayor que la del techo, tres horas antes que los demás sustratos. EL sustrato D8Ec es el que registra el más bajo desempeño térmico en relación a los sustratos con espesor de 8cm y vegetación espontánea, a las 14:00 h tiene una diferencia con el techo de -8.22°C, y en comparación al sustrato de mayor rendimiento B8Pc es 8.34°C menor. El sustrato C6Pc es el que registra el menor rendimiento térmico, a las 14:00 h reduce -6.68°C en relación al techo, es el que durante el periodo de las 0:00 a las 8:00 h tiene la temperatura más baja y quien se tarda más tiempo en reducir su temperatura en el periodo de las 9:00 a las 14:00 h.



R-Mayo - Rendimiento térmico en posición -c- de los sustratos contra techo
Mayor desempeño: B8Pc>B6Ec Menor desempeño: E8Ec>D6Ec

Descripción. En mayo el sustrato B es el que registra mejor desempeño térmico en relación a los otros sustratos en los dos espesores, aunque con distinto tipo de vegetación, con grosor de 8 cm el mejor desempeño es con vegetación plantada y con 6 cm de espesor con vegetación espontánea. Los datos muestran a las 15:00 h una diferencia en relación al techo con B8Pc de -25.41°C y de -21.67°C con el B6Ec, resultando en una diferencia entre ellos de 3.74°C, ejercida por el espesor del sustrato y distinta vegetación. El sustrato con más bajo desempeño con espesor de 6cm es el D6Ec quien registra una máxima diferencia con el techo de -20.43°C. El sustrato con más bajo desempeño térmico con espesor de 8cm es E8Ec, con la menor temperatura debajo del techo por -18.66°C, y comparado con el de mejor desempeño B8Pc una diferencia de 6.75°C. De las 7:00 h se registran datos con temperaturas superiores al techo, con una diferencia máxima de +0.87°C por el sustrato B6Ec, seguido del B8Pc con +0.63°C con B8Pc, seguido del sustrato E8Ec con +0.58°C y por último el D6Ec con +0.11°C que el techo. Los sustratos muestran semejanza de registro térmico de las 0:00 a las 6:00 h, el periodo con mayor diferencia es de 7:00 a las 19:00 h.

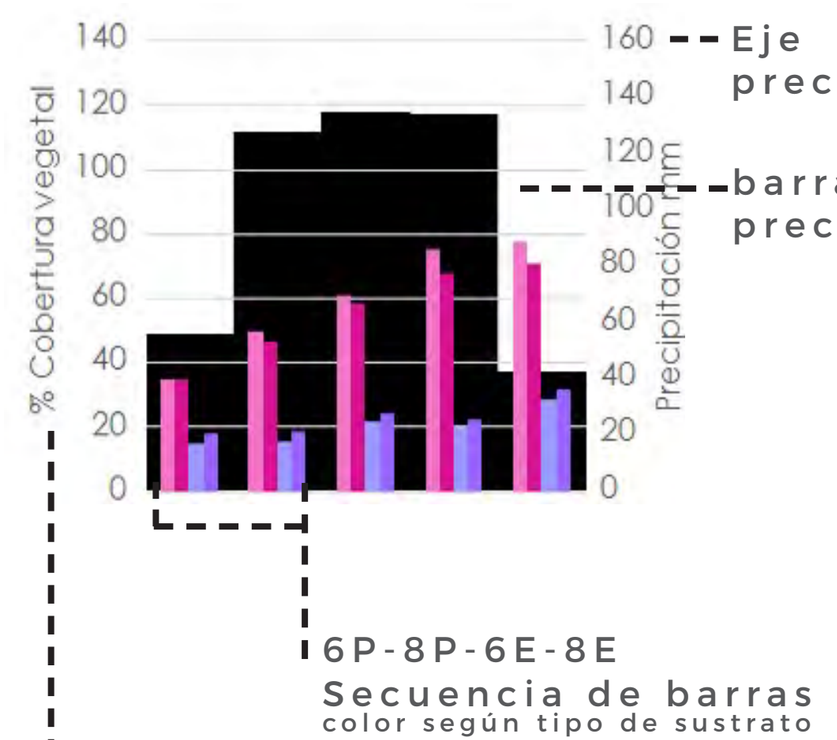
ANÁLISIS COBERTURA VEGETAL

COBERTURA VEGETAL

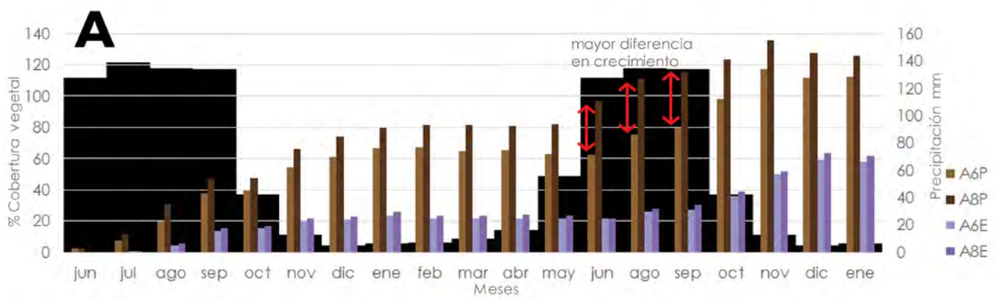
El análisis de la cobertura vegetal se observa en las fichas de análisis, donde se registra el crecimiento por cada tipo de sustrato y espesor, así como la comparación entre ellos (%C.V.), además de integran en fichas las imágenes de análisis de cobertura vegetal de cada tipo de sustrato, otra comparativa de imágenes y de colores predominantes:

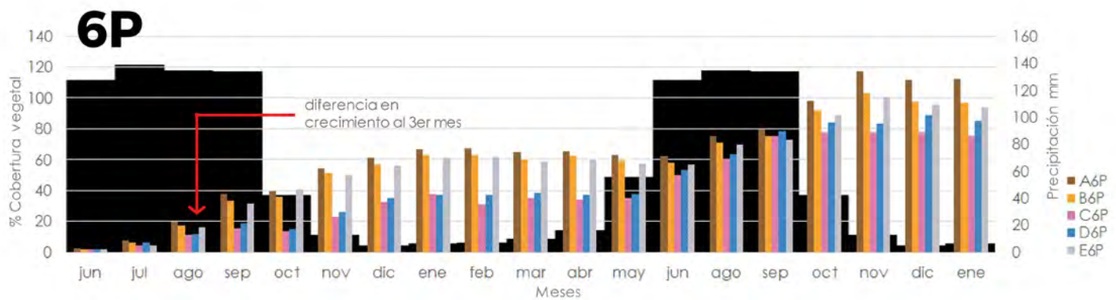
- % C. V.
- A - % C. V.
- B - % C. V.
- C - % C. V.
- D - % C. V.
- E - % C. V.
- Comparativo % C.V.
- Color predominante

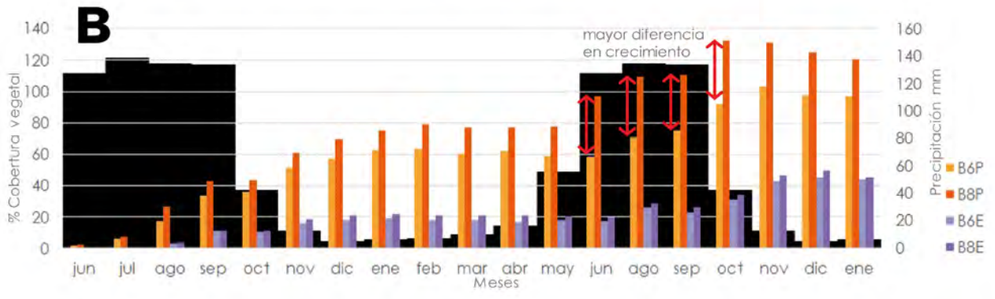
Simbología

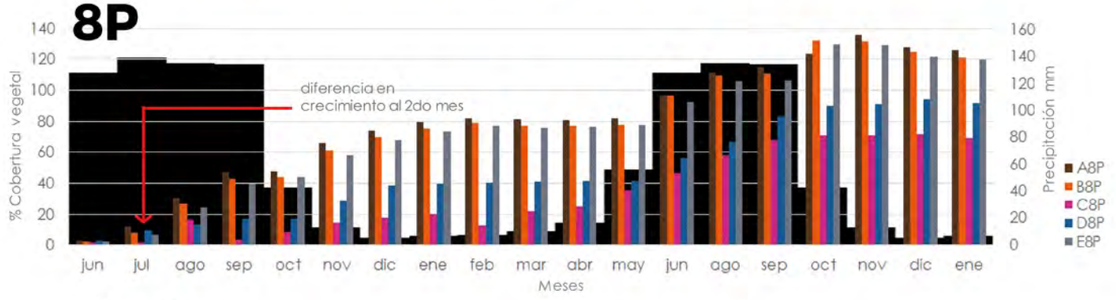


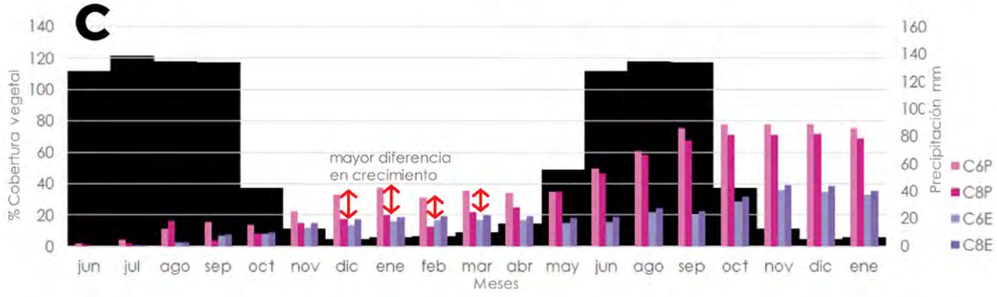
Colores

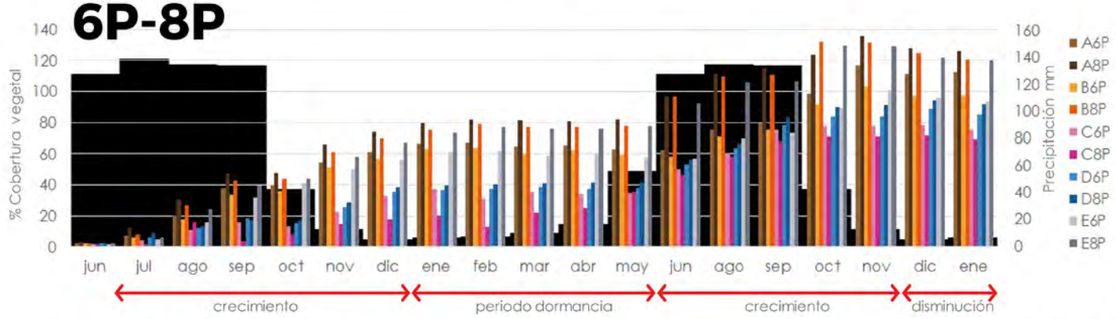


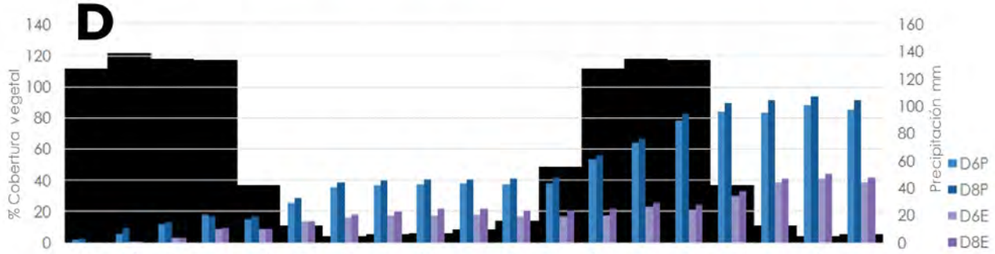


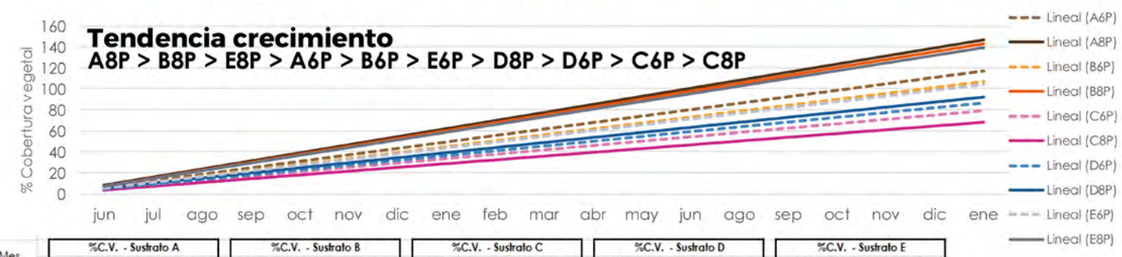


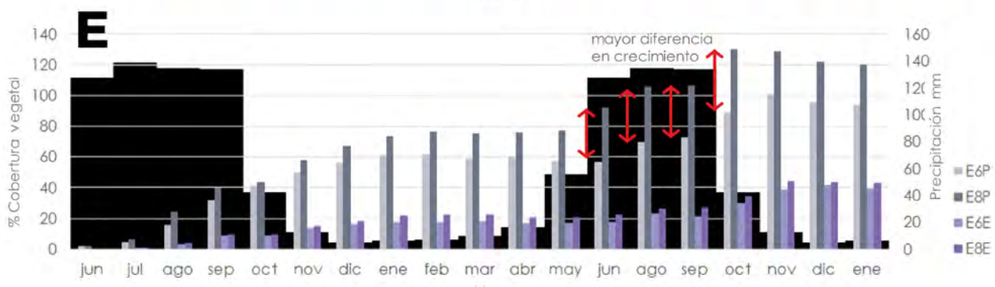












	Mes	%C.V. - Sustrato A			%C.V. - Sustrato B			%C.V. - Sustrato C			%C.V. - Sustrato D			%C.V. - Sustrato E		
		AP6	AP8	≠	BP6	BP8	≠	CP6	CP8	≠	DP6	DP8	≠	EP6	EP8	≠
2015	jun	2.28	2.72	0.43	2.03	2.29	0.26	1.97	1.51	-0.46	2.15	2.63	0.49	1.83	2.08	0.25
	jul	7.46	12.11	4.65	6.05	7.67	1.62	4.44	1.67	-2.78	6.00	9.33	3.33	4.66	6.28	1.62
	ago	19.81	30.61	10.79	17.58	26.58	9.00	10.92	16.11	5.19	12.02	13.46	1.45	15.90	24.12	8.22
	sep	37.95	47.16	9.21	33.31	42.73	9.42	15.58	3.57	-12.01	18.38	16.99	-1.39	31.78	39.80	8.02
	oct	39.84	47.47	7.63	35.81	43.78	7.96	13.60	8.15	-5.44	14.98	17.16	2.18	40.88	43.87	3.00
	nov	54.23	66.15	11.91	51.40	60.87	9.47	22.64	14.68	-7.96	25.75	28.38	2.62	49.82	58.25	8.43
	dic	61.24	73.78	12.54	57.10	69.81	12.71	32.72	17.50	-15.22	35.51	38.46	2.95	56.14	67.53	11.39
2016	ene	66.69	79.50	12.81	63.02	75.17	12.16	37.50	20.08	-17.42	36.81	39.91	3.10	60.82	73.37	12.55
	feb	67.03	81.64	14.61	63.28	78.65	15.37	31.22	12.64	-18.58	37.30	40.22	2.92	61.84	76.83	14.99
	mar	65.09	81.28	16.19	60.05	77.16	17.11	35.50	21.68	-13.82	38.28	40.70	2.42	58.69	75.63	16.94
	abr	65.65	80.75	15.11	62.15	76.86	14.71	33.99	25.14	-8.85	37.15	41.31	4.16	59.83	76.11	16.29
	may	62.85	81.88	19.03	59.06	77.78	18.72	34.96	35.11	0.15	37.76	41.43	3.67	57.53	77.51	19.97
	jun	62.60	96.66	34.06	58.29	96.66	38.37	49.98	46.53	-3.45	53.35	56.19	2.84	56.94	92.42	35.48
	ago	75.18	111.12	35.94	71.04	109.59	38.55	60.81	58.25	-2.56	63.86	66.76	2.89	69.78	105.52	35.74
	sep	79.65	115.21	35.56	75.19	110.61	35.42	75.19	67.65	-7.54	78.30	82.97	4.67	73.13	106.21	33.08
	oct	98.37	123.69	25.32	91.81	132.04	40.23	77.85	70.81	-7.04	83.69	89.89	6.20	89.03	129.73	40.70
	nov	117.05	135.78	18.73	103.16	131.30	28.14	77.81	70.77	-7.04	83.50	91.19	7.68	100.80	128.94	28.14
	dic	111.41	127.59	16.18	97.28	124.81	27.53	78.02	71.72	-6.30	88.58	94.09	5.52	95.75	121.73	25.98
	ene	112.34	125.91	13.57	96.95	120.81	23.86	75.14	69.20	-5.94	85.26	91.60	6.34	93.70	120.01	26.31

%C.V.

Cobertura vegetal
SUSTRATO A

Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic Ene Feb Mar Abr May Jun Ago Sep Oct Nov Dic Ene

A6P

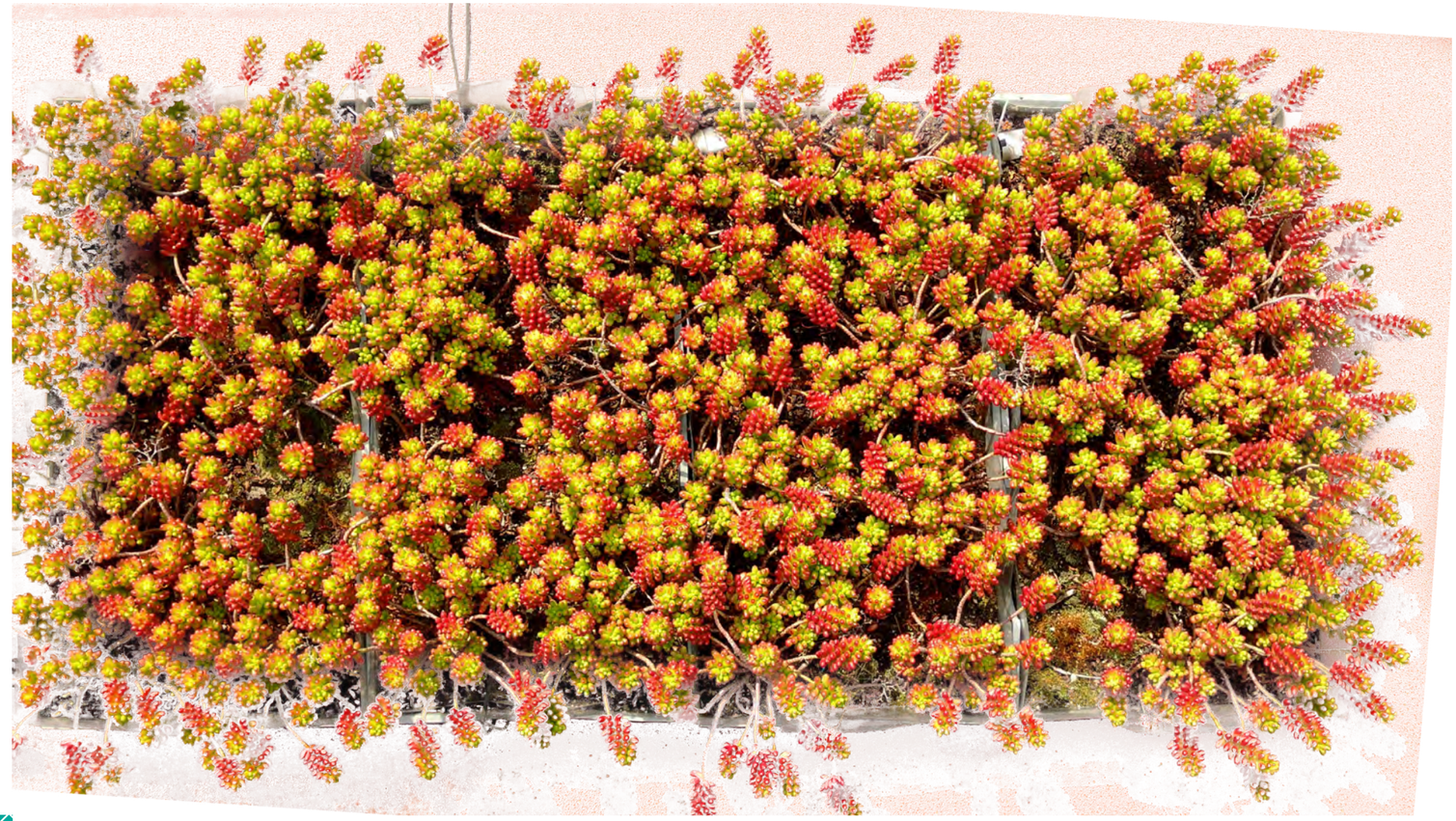
A8P

A6E

A8E

A6P

A8P



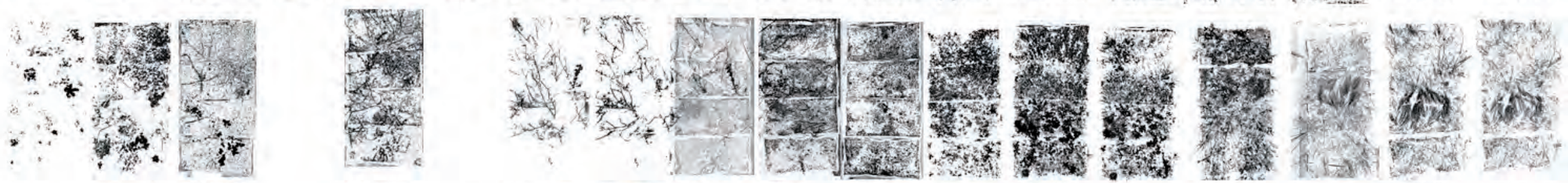
Cobertura vegetal
SUSTRATO B

Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic Ene Feb Mar Abr May Jun Ago Sep Oct Nov Dic Ene

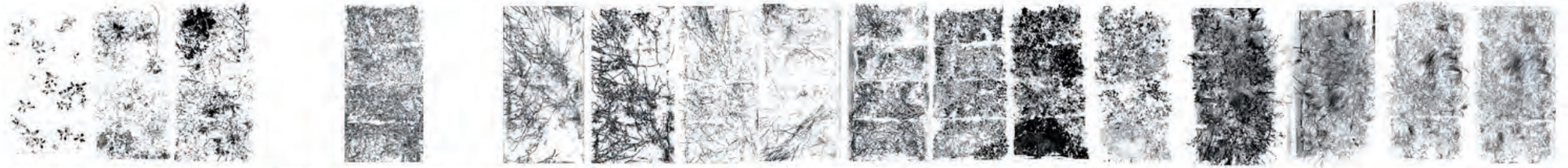
B6P

B8P

B6E



B8E



B6P

B8P

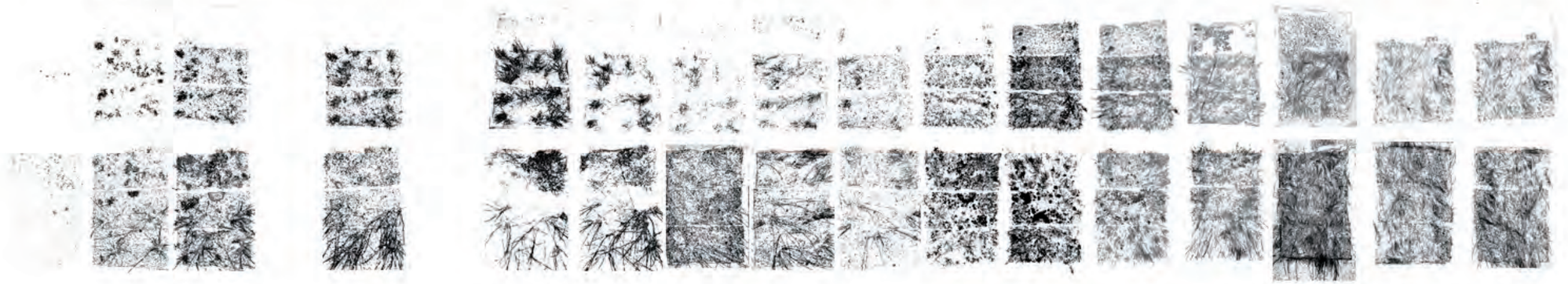
Cobertura vegetal
SUSTRATO C

Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic Ene Feb Mar Abr May Jun Ago Sep Oct Nov Dic Ene

C6P

C8P

C6E



C8E

C6P

C8P

Cobertura vegetal
SUSTRATO D

Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic Ene Feb Mar Abr May Jun Ago Sep Oct Nov Dic Ene

D6P

D8P

D6E

D8E

D6P

D8P

Cobertura vegetal
SUSTRATO E

Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic Ene Feb Mar Abr May Jun Ago Sep Oct Nov Dic Ene

E6P

E8P

E6E

E8E

E6P

E8P

Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic Ene Feb Mar Abr May Jun Ago Sep Oct Nov Dic Ene

A6P

B6P

C6P

D6P

E6P

Cobertura vegetal
SUSTRATOS 6 cm

Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic Ene Feb Mar Abr May Jun Ago Sep Oct Nov Dic Ene

A8P

B8P

C8P

D8P

E8P

Cobertura vegetal
SUSTRATOS 8 cm

Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic Ene Feb Mar Abr May Jun Ago Sep Oct Nov Dic Ene

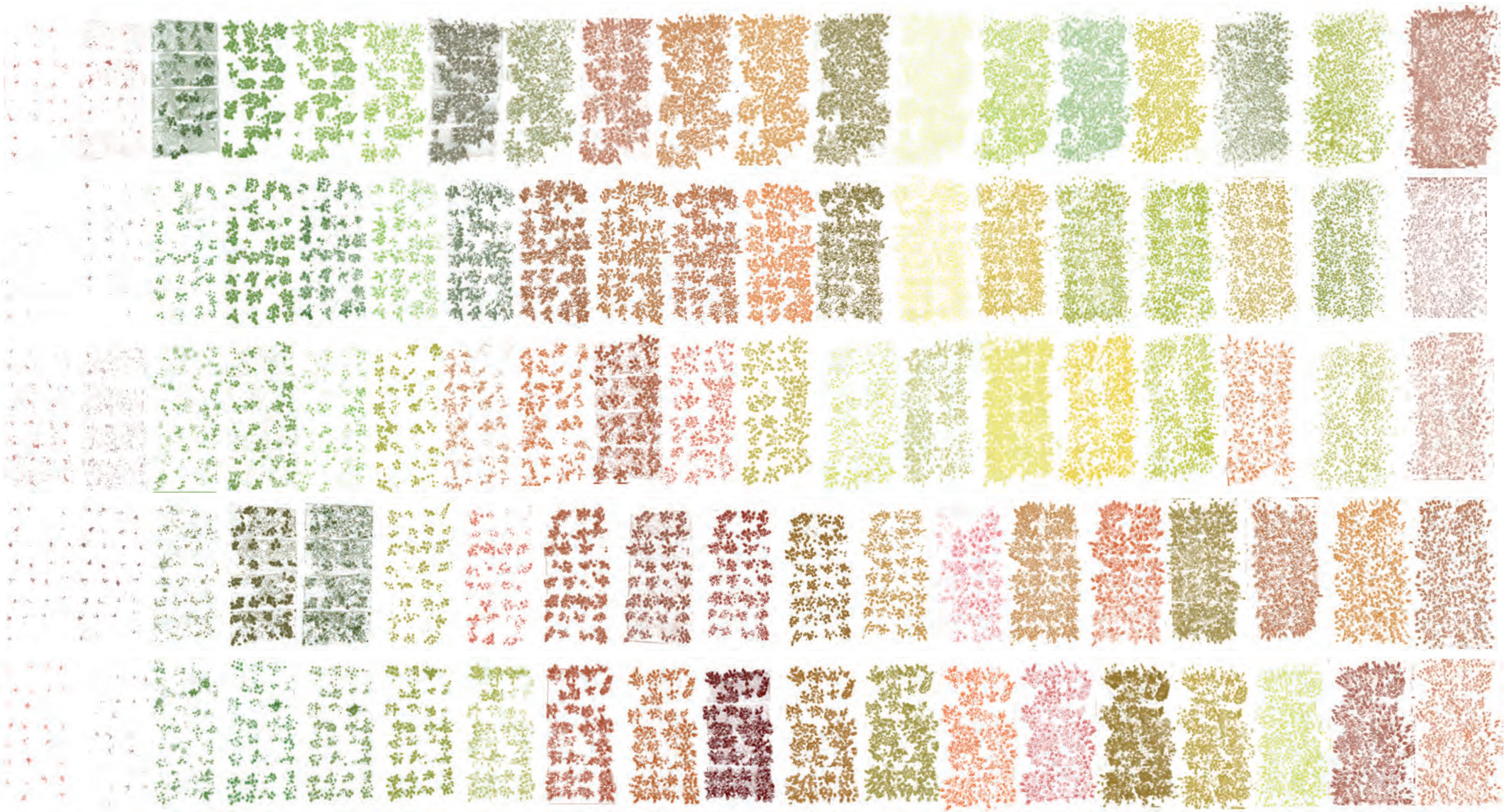
A6P

B6P

C6P

D6P

E6P



Color predominante SUSTRATOS 6 cm

Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic Ene Feb Mar Abr May Jun Ago Sep Oct Nov Dic Ene

A8P

B8P

C8P

D8P

E8P

Color predominante
SUSTRATOS 8 cm

CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CARACTERIZACIÓN DE LOS SUSTRATOS

Una adecuada caracterización fisicoquímica de los sustratos permite un adecuado desarrollo de la cobertura vegetal e incrementa su desempeño térmico e hídrico al eficientar su capacidad de regulación térmica y de retención hídrica. Un sustrato debe contar con una estructura física resistente, con una adecuada distribución de partículas, baja densidad y alta porosidad, peso ligero, alta retención de humedad, niveles óptimos de pH, adecuada cantidad de macronutrientes y alta capacidad de intercambio catiónico.

El éxito del desarrollo de la cobertura vegetal requiere del conocimiento y comprensión del ambiente único encontrado en los sistemas de naturación extensiva y cómo éste es afectado por las propiedades físicas y químicas del componente sustrato.
La vegetación que crece en los sistemas de naturación se expone generalmente a un ambiente más estresante y de cambios constantes en comparación con las que crecen en un suelo natural, esto debido a que deben desarrollarse en un espacio limitado; por ejemplo, la cantidad y disponibilidad del agua en el sustrato es cambiante, en temporada de lluvias habrá gran disponibilidad hídrica en el sistema, dependerá de las plantas extraer toda el agua disponible en pocos días, de lo contrario el sustrato puede saturarse y asfixiar al sistema radicular por la falta de aire. El sustrato deberá contar con una adecuada capacidad de retención hídrica, permitiendo que la vegetación satisfaga sus necesidades en temporadas de baja disponibilidad de agua.

Es necesario conocer la cantidad y disponibilidad de nutrimentos en el sustrato para evitar deficiencia nutrimental en las plantas; tomando en cuenta que algunos nutrimentos son absorbidos por la vegetación, otros se pierden por lixiviación del sustrato, y otra parte, aunque estén presentes en la mezcla de sustrato no están disponibles para la vegetación. Otro aspecto a considerar son las notorias fluctuaciones térmicas diarias en el sustrato, la oscilación térmica puede llegar a más de 35°C (Ver fichas de desempeño térmico).
Algunas de estas condiciones estresantes pueden considerarse una consecuencia directa del volumen restringido del sustrato en los sistemas de naturación extensiva, el cual tiene que suplir las necesidades de la vegetación que son relativamente grandes para un volumen reducido. El problema no es que el sustrato no pueda suplir las necesidades de la vegetación, sino que el período en que deben de abastecerlas es siempre en periodos cortos.

Es por ello indispensable contar con un adecuado sustrato para minimizar las condiciones estresantes a las que está expuesta la vegetación en los sistemas de naturación extensiva, por tanto, el sustrato y sus componentes deben de poseer características físicas y químicas que permitan un crecimiento óptimo[139].
Las propiedades físicas son consideradas como las más importantes para un sustrato[140], Esto es debido a que, si la estructura física de un sustrato es inadecuada, difícilmente se podrá mejorar una vez que se ha establecido el sistema de naturación; en cambio, las propiedades químicas sí pueden ser alteradas posterior al establecimiento de la vegetación.
Las propiedades físicas de un sustrato no pueden predecirse en forma sencilla a partir de sus componentes, dado que la mezcla de dos o más componentes produce interacciones que hacen que las propiedades físicas de la mezcla final no sean la media de las propiedades de los componentes[141], por ello, es necesario caracterizar los sustratos a utilizar, y sabiendo sus propiedades se realizarán los ajustes en las proporciones de los componentes de la mezcla hasta obtener una mezcla que brinde las condiciones esperadas.

El sustrato deberá de tener buenas propiedades físicas como son adecuada aireación y drenaje, baja densidad y peso ligero. La capacidad de retención de agua será de al menos de un 55% para recipientes de hasta 10 cm de profundidad, solamente los sustratos A y B registran una retención mayor a 54%, la menor retención es por el sustrato C con tan solo 20.23%.
Se recomienda una adecuada distribución de las partículas, utilizando distintos tamaños de partículas, para propiciar un mayor espacio poroso en la mezcla de sustrato el cual debe ser por lo menos del 70%[142], siendo preferente que sea mayor al 85%[143], los sustrato con mayor porosidad son el tipo A con 69.27%, y el B con 69.23%, y el menor registro fue en el sustrato C con 47.24%.

La mayor densidad aparente se registra en el sustrato C con 1.34 g/cm^3, la menor es del sustrato B con 0.52 g/cm^3, en cuanto a densidad real el sustrato C es el mayor con 2.54 g/cm^3, y el sustrato B el menor con 1.69 g/cm^3.
El peso también debe ser considerado cuidadosamente, ya que puede resultar en aumentos significativos en la carga muerta de la cubierta en la edificación, es por ello que se prefieren menores espesores de sustrato y densidades bajas para tener una mayor facilidad de manipulamiento y traslado. El sustrato B registra el menor peso volumétrico en estado húmedo con 838 kg/m^3, mientras que el del sustrato C es de 1611 kg/m^3.

En cuanto a las propiedades químicas deberán contar con un nivel óptimo de pH para el crecimiento de cultivos es dentro del rango de 5.2 a 6.5[144], el pH del sustrato B es ácido con un valor de 6.55 y el sustrato D ligeramente alcalino con pH de 7.30. Además, deberán registrar un alto contenido de materia orgánica y adecuados niveles de nutrimentos, especialmente de macronutrimentos, todos los sustratos tienen niveles adecuados de materia orgánica y macronutrimentos sólo el sustrato C es deficiente.

---
139 (Cabrera, 1990)
140 (Ansorena Miner, 1994; Burés, 1997; Cabrera, 1990)
141 (Cabrera, 1990)
142 (Cabrera, 1990)
143 (Ansorena Miner, 1994)
144 (Burés, 1997)

DESEMPEÑO TÉRMICO DE LOS SUSTRATOS

Análisis térmico de los sustratos en la temperatura máxima y mínima del día.

El monitoreo del modelo experimental permitió registrar los cambios térmicos en distintas posiciones del sustrato, decidiendo analizar dos horarios críticos térmicamente durante el día, por la mañana a las 7:00 h y en la tarde a las 14:00 h donde se registran la menor y la mayor temperatura ambiente respectivamente, estos datos se observan en la gráfica H mín.-máx.

El momento del día donde se registra la temperatura ambiente más baja es alrededor de las 7:00 h, oscilando entre 6.6°C en el mes de enero y 17.4°C en mayo, en esta hora la temperatura del techo sin naturación es muy parecida a la temperatura ambiente, las máximas diferencias son en el mes de julio donde la temperatura del techo es mayor por 4.6°C y en diciembre el techo es más frío por 4.4°C, estos cambios térmicos del techo se deben a la masa térmica de la edificación.
Los registros en la mayoría de los sustratos siguen una secuencia térmica de menor a mayor según la posición: "a" <" b" <"c".
En los primeros cuatro meses, de mayo a agosto, todos los registros de los sustratos indican temperaturas más bajas que la del techo sin naturación, el mes de junio en todos los sustratos en la posición "c" registró el más deficiente desempeño térmico, fue necesario el crecimiento de la cobertura vegetal para que desde el mes de noviembre ninguna de las temperaturas en la posición "c" del sustrato fuera menor que la del techo sin naturación, comúnmente se dice que el sistema de naturación "calienta" cuando el ambiente es frío, lo que sucede es que el sustrato evita la pérdida de calor del techo, este efecto es más evidente en los sustratos A y B.

La mayor temperatura ambiental se registra alrededor de las 14:00 h del día, el mes con el menor registro es marzo con 16.7°C, y mayo con el mayor registro térmico con 27.2°C. En esta hora del día es evidente la ganancia de calor en el techo por los altos niveles de radiación solar además de las altas temperaturas ambientales, por ello es que en todos los meses la temperatura del techo sin naturación es mayor que la temperatura ambiente, comparándolos en el mes de diciembre es más caliente por 14.2°C, y en el mes de abril por 32.7°C, comúnmente se dice que el sistema de naturación "enfría" cuando el ambiente es caliente, lo que sucede es que el sustrato actúa como regulador térmico, este efecto es más evidente en los sustratos B y A.

Los registros en todos los sustratos siguen una secuencia térmica de mayor a menor según la posición: "a" >"c"; las temperaturas en la posición "b" en la mayoría de los meses son menor que "c", se cree que es debido al efecto de humedad siendo mayor al interior que en las superficies del sustrato.

El monitoreo del modelo experimental muestra un fenómeno interesante en la temporada seca del año, el cual destaca en los meses de noviembre, diciembre y enero, donde los datos en la posición "a" indican temperaturas elevadas, tal es el aumento que no existe gran diferencia térmica con los datos registrados en el techo sin naturación; esto se debe a las condiciones climáticas en esta temporada del año.
En el mes de diciembre en todos los sustratos se registran las menores diferencias térmicas en relación al techo sin naturación, y las máximas diferencias ocurren en abril.

Es necesario conocer cómo se realizan las transferencias de calor en el sistema para comprender el aumento característico en ésta temporada del año donde existe poca presencia de humedad.
La temperatura del sustrato está en función de las características y estado del sistema de naturación, el flujo radiante que recibe, las propiedades térmicas que posee y el contenido de humedad en sus distintos puntos. Es necesario conocer las distintas formas de transmisión de calor en el sustrato, entre ellos destacan:

a) Conducción, el calor se transmite entre las partículas sólidas del sustrato, al absorber calor pasan a un estado de energía cinética mayor, derivando en un aumento de la agitación térmica, y, por tanto, transfieren dicha energía al estar en contacto con otras partículas, este mecanismo de transferencia de calor es de gran importancia cuando se tiene poca humedad en el sistema, tal es el caso de la temporada de secas.

b) Convección, donde el calor se transmite por el movimiento de un fluido, en este caso aire y principalmente agua, debido a la existencia en los distintos compartimentos del sustrato con distintas temperaturas, este tipo de transferencia de calor tiene mayor importancia en sustratos húmedos.

c) Radiación, el calor se transmite por ondas electromagnéticas, éste es el principal proceso de intercambio de energía entre el sustrato y la atmósfera.

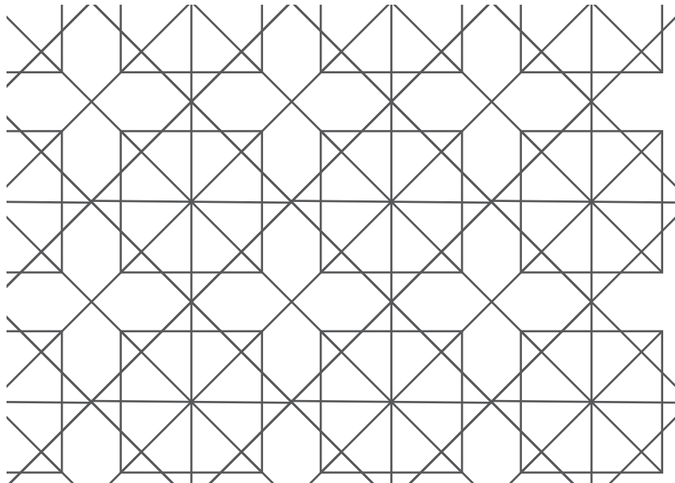
d) Evaporación y condensación de agua, es el proceso de transferencia de calor latente.
Las propiedades térmicas del sustrato, están descritas por dos parámetros fundamentales:

a) Calor específico o capacidad del sustrato para almacenar calor por unidad de volumen o de masa y unidad de temperatura, y puede describirse como la cantidad de calor necesario para que la unidad de volumen del sustrato aumente un grado su temperatura en condiciones isobáricas.
b) Conductividad térmica o cantidad de calor transferida por conducción en la unidad de tiempo.

La conductividad térmica del sustrato no es constante, debido a que el sustrato está integrado por partículas individuales y agregados, además de aire y agua. Térmicamente sigue la secuencia: partículas sólidas > agua > aire, esta propiedad depende de varios factores como:

- la conductividad térmica de las partículas de los materiales de la mezcla de sustrato.
- el tamaño de las partículas del sustrato.
- la compactación de la mezcla, es decir la porosidad y el grado de contacto entre partículas.
- la humedad del sustrato.

El aumento de temperatura depende de la capacidad de calor de la unidad de volumen del sustrato, lo que a su vez depende del calor específico de los materiales. El agua tiene el calor específico más alto de las sustancias comunes, por lo que el aumento de temperatura será menor que para igual volumen de cualquier otro material. Esto significa que el calor específico de un volumen de sustrato aumenta con el contenido de agua y se reduce cuando disminuye la humedad en el sistema, principalmente en la temporada de secas.



A continuación, se describen los principales elementos que intervienen en el flujo energético de superficies naturadas, los cuales modifican la temperatura del sistema[145] :

El dosel vegetal en el balance energético.

El dosel vegetal es la principal superficie absorbente y emisora de radiación, cambio de masa y energía en el sistema de naturación. La capa superior del sustrato que se encuentra bajo la capa de vegetación modifica la intensidad con la que ocurren factores medio ambientales, debido a su permeabilidad y espesor. Entre el sustrato y la vegetación existe un espacio contenido de aire, donde se crea un microclima específico y altamente variable, el cual no existe en un sustrato carente de vegetación.

Efecto sobre el Balance Neto de Radiación (BNR) — intercambios de energía radiante

- la radicación en una cubierta naturada es mayor porque cada superficie de hoja absorbe los albedos (reflexiones de radicación), es decir al absorber los reflejos de la radiación ésta no se pierde, sino que se queda en el sistema.
- la absorción de radiación en superficies con dosel cerrado es de 8 a 10 veces mayor que en superficies con ramas, por eso una planta perenne siempre tiene mayor absorción de energía, lo que no pasa en el sustrato sin vegetación.
- en la vegetación las reflexiones y perdida de energía son constantes, al medio día es mayor la absorción y menor la perdida, puesto que la luz entra de mejor manera y más profundamente. Esto explicaría porque es mayor su temperatura en estos periodos del día.
- la absorción de radiación hace un cambio en la energía interna de los elementos que componen la cubierta naturada, por lo que se incrementa la emisión de radiación de onda larga.
- bajo el dosel vegetal gran parte de la radiación queda retenida y absorbida a nivel de las hojas por lo que el espacio entre la vegetación y el sustrato recibe la radiación tanto de onda larga y onda corta, por tal aumenta su temperatura.
- cuando las hojas tienen un color más brillante y no tan opaco absorben más radiación tanto infrarroja (invisible) como visible. En general las hojas transmiten del 10 al 25% de la radiación visible que reciben.tiempo estancado en el sustrato.

Efectos sobre el reparto energético - intercambios no radiantes.

- una cubierta naturada mantiene la masa de aire estática entre la vegetación y el sustrato, al no existir humedad esta masa de aire es más caliente y se queda más tiempo en ese lugar transfiriendo su energía al sustrato.
- las raíces, minerales y materia orgánica son deficientes conductores de calor lo que hace que el calor se quede más tiempo estancado en el sustrato.

Modificación de la Temperatura del Aire

El desempeño térmico de la masa de aire ubicada entre el dosel vegetal y el sustrato es complejo debido básicamente a que responde a la interacción entre:

- el dosel vegetal actúa como "recipiente" al dificultar la renovación del aire debajo de él.
- la entramada red de flujos de radiación interdependientes que se establece entre los sistemas aéreos que constituyen la capa vegetal y el sustrato.
- los flujos de calor sensible y latente dentro del aire retenido se desarrollan con recorridos e intensidades muy variables.

Modificación de la Temperatura del Suelo

- el comportamiento energético de la materia orgánica en la mezcla de sustrato hace que actúe como un eficaz aislante térmico que dificulta los flujos de calor. Su presencia genera un incremento en los flujos de calor sensible y latente desde la superficie y una reducción de los flujos de calor hacia las partículas más profundas del sustrato.
- la elevada rugosidad que supone la cubierta vegetal respecto de los desplazamientos del aire, hace que su renovación en las partes más próximas al suelo se vea considerablemente reducida, por lo que los flujos de calor latente y de calor sensible por advención desde la superficie del sustrato se ven perjudicados.

---

145 (Gómez Sanz, 2002, pp. 17–50)

Desempeño de los sustratos en relación al techo sin naturación

La siguiente tabla muestra de forma sintética el desempeño térmico de cada sustrato en relación al techo sin naturación en los dos meses de diseño, además de incluir el desempeño común en todos los sustratos en cada mes, los datos están referidos a las fichas de análisis T, T enero, T mayo y Rendimiento.

	Enero	Mayo
A	- El desempeño térmico es similar en los módulos con vegetación plantada con diferente espesor, la diferencia térmica por mayor espesor se observa en las horas más frías del día. - El desempeño térmico en los módulos con vegetación espontánea es mejor en las horas más frías del día y menor en las horas cálidas. - El mejor desempeño se registra en A8Pc. - El menor desempeño se registra en A8Ec.	- El desempeño térmico es mejor en los módulos con mayor espesor. - El desempeño térmico es mejor con vegetación plantada que con espontánea. - El desempeño térmico en A8Ec es muy parecido a A6Pc, por tanto, es mejor el desempeño térmico con menor espesor y vegetación plantada. - El mejor desempeño se da en el módulo A8Pc. - El menor desempeño térmico se registran en A6Ec.
B	- El desempeño térmico en módulos con vegetación plantada es mejor con mayor espesor de sustrato. - El desempeño térmico en módulos con vegetación espontánea es mejor con menor espesor de sustrato. El B8Ec es quien registra mejor desempeño en las horas fías del día, pero el menor en las horas más cálidas. - El mejor desempeño se registra en B8Pc. - El menor desempeño se registra en B8Ec. - En relación con los otros tipos de sustratos es el de mayor rendimiento térmico.	- El desempeño térmico en módulos con vegetación plantada es mejor con mayor espesor de sustrato. - No existe diferencia significativa en los dos módulos con vegetación espontánea y distinto espesor, registran un desempeño térmico similar. - El mejor desempeño se registra en B8Pc. - El menor desempeño se registra en B6Pc. - En relación con los demás tipos de sustratos es el de mayor rendimiento térmico.
C	- El desempeño térmico es mejor en los módulos con mayor espesor. - El desempeño térmico es mejor con vegetación con espontánea que plantada. - El mejor desempeño se registra en C8Ec. - El menor desempeño se registra en C6Pc. - En relación con los demás tipos de sustratos es el que menor rendimiento térmico registró.	- El desempeño térmico es similar en los módulos con vegetación plantada y distinto espesor. - El desempeño térmico es mejor con vegetación con plantada que espontánea en espesor de 6cm. - El mejor desempeño se registra en C8Pc. - El menor desempeño se registra en C6Ec. - En relación con los demás tipos de sustratos es el que menor rendimiento térmico registró.
D	- Único sustrato donde el desempeño térmico es mejor en los módulos con menor espesor. - El desempeño térmico es mejor con vegetación con plantada que espontánea. - El mejor desempeño se registra en D6Pc. - El menor desempeño se registra en D8Ec.	- El desempeño térmico es mejor en los módulos con mayor espesor. - El desempeño térmico es mejor con vegetación con plantada que espontánea. - El mejor desempeño se registra en D8Pc. - El menor desempeño se registra en D6Ec.
E	- El desempeño térmico es mejor en los módulos con mayor espesor. - El desempeño térmico es mejor con vegetación con espontánea que plantada, incluso el desempeño en D6Pc>D8Ec. - El mejor desempeño se registra en D8Pc. - El menor desempeño se registra en D6Ec.	- No se registran diferencias significativas en el desempeño térmico de los módulos con espesor de 6cm y distinta vegetación. - En los módulos con espesor de 8cm el mejor desempeño es con vegetación plantada. - El mejor desempeño se registra en E8Pc. - El menor desempeño se registra en E8Ec.
Todos	- Son evidentes las diferencias térmicas entre los distintos espesores y tipo de vegetación. - El desempeño térmico es mejor en los módulos con vegetación plantada que espontánea, excepto en el sustrato C donde sucede lo contrario. - En las horas más frías del día el mejor desempeño se registra en los módulos con vegetación espontánea y en las horas más cálidas por los de vegetación plantada.	- Disminuyen las diferencias térmicas entre los distintos espesores y tipo de vegetación. - Los cambios térmicos más evidentes son por el espesor del sustrato, a mayor espesor mayor desempeño térmico. - En los sustratos con mismo espesor es mayor el efecto térmico con vegetación plantada que con vegetación espontánea.

Comparación de las diferencias térmicas en –a- y –c-

Las siguientes tablas comparativas registran los datos térmicos del mejor desempeño de cada tipo de sustrato en la posición –a- y en la posición –c- en las horas con la menor y la mayor temperatura diaria en los dos meses de diseño147 , esto para observar y comparar las diferencias térmicas que se presentan en el mismo tipo de sustrato y contra los demás.

Desempeño térmico en posición –a- y –c- en enero

	Menor temp. diaria Mañana		Mayor temp. diaria Tarde	
	-a-	-c-	-a-	-c-
A	3.84 °C A8Pa	8.18°C A8Ec	33.87°C A6Pa	26.31°C A8Pc
B	3.84°C B8Pa	**8.48°C** **B8Ec**	**32.06°C** **B6Ea**	**25.79°C** **B8Pc**
C	3.58°C C8Ea	7.08°C C8Ec	34.51°C C8Pa	**29.05°C** **C8Ec**
D	**2.26°C** **D6Pa**	**6.27°C** **D8Ec**	32.50°C D6Pa	27.94°C D6Pc
E	**4.10°C** **E8Pa**	7.33°C E8Pc	**34.77°C** **E8Pa**	**29.06°C** **E8Pc**

Menor temp. diaria: En este momento del día el mejor desempeño térmico será el que registre mayor temperatura, dado que evitará enfriar la cubierta.

- En –a- el mayor registro es el E8Pa con 4.10°C, seguido por los módulos A8Pa y B8Pa con una diferencia de 0.26°C menos, el más alejado es el D6Pa con 1.84°C.
- En –c- la mayor temperatura se registra en B8Ec con 8.48°C, muy cercano el registro de A8Ec por 0.3°C. La menor temperatura es en D8Ec con una diferencia de 2.21°C con respecto a la mayor B8Ec.

Mayor temp. diaria: En este momento del día el mejor desempeño térmico será el que registre menor temperatura, dado que evitará calentar la cubierta.

- En –a- el menor registro es el B6Ea con 32.06°C, seguido por el módulo D6Pa con una diferencia de 0.44°C menos, el menor desempeño se registra en el módulo E8Pa con una diferencia de 2.77°C.
- En –c- la menor temperatura se registra en B8Pc con 25.79°C, el menor desempeño se registra en los módulos E8Pc y C8Ec con una diferencia entre ellos de 0.01°C, y de 3.27°C con respecto al mejor B8Pc.

En las menores temperaturas diarias es mejor el efecto térmico de los módulos con vegetación espontánea y espesor de 8 cm, y durante las horas con mayores temperaturas sigue siendo mejor el efecto en los módulos con espesor de 8 cm, pero ahora con vegetación plantada.

Desempeño térmico en posición –a- y –c- en mayo

	Menor temp. diaria Mañana		Mayor temp. diaria Tarde	
	-a-	-c-	-a-	-c-
A	**15.86 °C** **A8Ea**	**19.00°C** **A8Ec**	35.76°C A8Pa	33.88°C A8Pc
B	16.71°C B8Pa	18.24°C B8Ec	**31.83°C** **B8Pa**	**31.52°C** **B8Pc**
C	15.95°C C8Pa	18.24°C C6Ec	40.99°C C8Pa	**34.91°C** **C8Pc**
D	16.59°C D6Pa	**18.11°C** **D8Pc**	39.49°C D8Pa	33.96°C D8Pc
E	**17.09°C** **E6Pa**	18.43°C E8Pc	**41.42°C** **E6Pa**	34.43°C E8Pc

Menor temp. diaria: En este momento del día el mejor desempeño térmico será el que registre mayor temperatura, dado que evitará enfriar la cubierta.

- En –a- el mayor registro es el E6Pa con 17.09°C, y la menor temperatura en el módulo A8Ea con 15.86°C, con una diferencia de 1.23°C entre ellos.
- En –c- la mayor temperatura se registra en A8Ec con 19.0°C. La menor temperatura es en D8Pc con una diferencia de 0.89°C con respecto a la mayor A8Ec.

Mayor temp. diaria: En este momento del día el mejor desempeño térmico será el que registre menor temperatura, dado que evitará calentar la cubierta.

- En –a- el menor registro es el B8Pa con 31.83°C, el menor desempeño se registra en el módulo E6Pa con un aumento de 9.59°C respecto al mejor desempeño.
- En –c- la menor temperatura se registra en B8Pc con 31.83°C, el menor desempeño se registra en lo módulo C8Pc con una diferencia entre ellos de 3.71°C.

En las menores temperaturas diarias en la posición –a- es mejor el efecto térmico de los módulos con vegetación plantada y en –c- con vegetación espontánea. Durante las horas con mayores temperaturas es mejor el efecto en los módulos con espesor de 8cm con vegetación plantada.

Comparación de las diferencias térmicas en –a- y –c-

Las siguientes tablas comparativas registran los datos térmicos del mejor desempeño de cada tipo de sustrato en la posición –a- y en la posición –c- en las horas con la menor y la mayor temperatura diaria en los dos meses de diseño147 , esto para observar y comparar las diferencias térmicas que se presentan en el mismo tipo de sustrato y contra los demás.

Temperatura	Espesor 6cm	Espesor 8cm	Diferencia por espesor
Mínima diaria	+2.83 D6Ec	+3.22 A8Ec	0.39°C
Máxima diaria	-15.79°C A6Pc	-16.56°C B8Pc	0.77°C

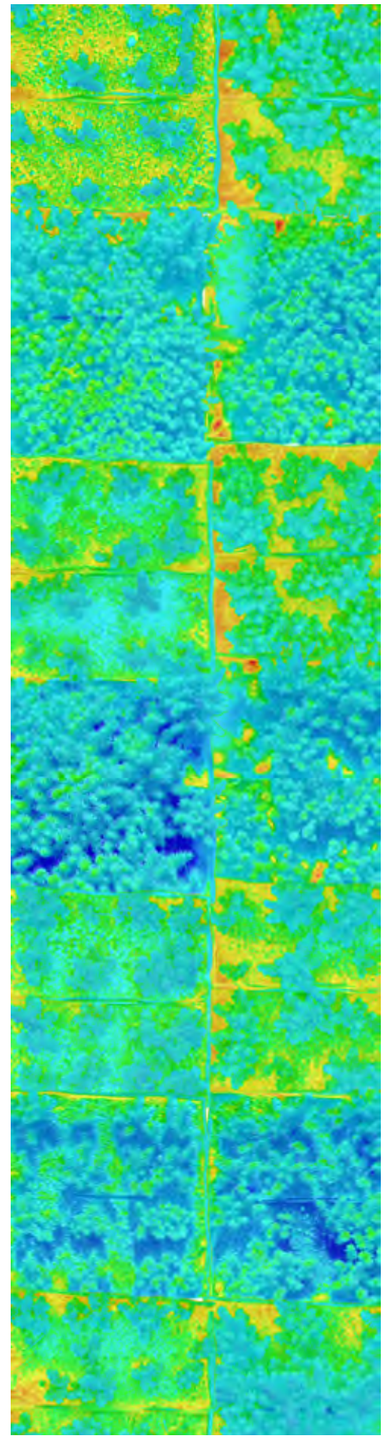
Por tanto, en enero:

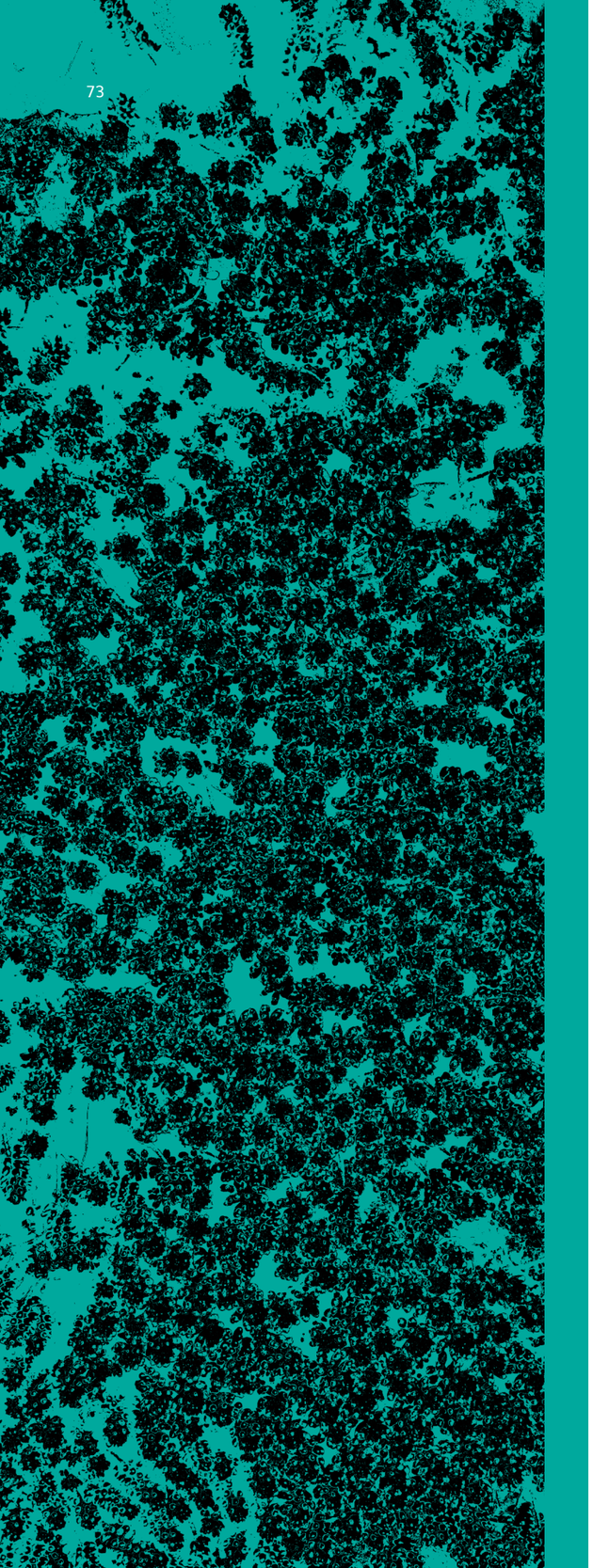
- 6cm. El mejor desempeño contra el techo es en el sustrato A6Pc, con una oscilación de 18.12°C en relación al techo.
- 8cm. El mejor desempeño contra el techo es en el sustrato B8Pc, con una oscilación de 19.35°C en relación al techo.
- El espesor del sustrato no muestra grandes diferencias térmicas.

Temperatura	Espesor 6cm	Espesor 8cm	Diferencia por espesor
Mínima diaria	+0.99 A6Ec	+1.53 A8Ec	0.54°C
Máxima diaria	-21.67°C B6Ec	-25.41°C B8Pc	3.74°C

Por tanto, en mayo:

- 6cm. El mejor desempeño contra el techo es en el sustrato B6E, con una oscilación de 22.54°C en relación al techo.
- 8cm. El mejor desempeño contra el techo es en el sustrato B8Pc, con una oscilación de 26.04°C en relación al techo.
- El espesor del sustrato general diferencias térmicas importantes.





COBERTURA VEGETAL

Se analizó la cobertura vegetal y color predominante de los cinco tipos de sustratos con los dos espesores. De acuerdo al análisis multi-espectral, al combinar las bandas de color RGB se realizó la cuantificación de la cobertura vegetal mensual en cada uno de los módulos de prueba dada en porcentaje.

La ficha %C.V. muestra que la tendencia de crecimiento es similar en los cinco sustratos, siendo mayor el desarrollo vegetal con espesor de 8 cm, excepto en el sustrato C, donde es mayor en 6 cm. La diferencia entre la vegetación plantada y la espontanea es notable, aunque sigue la misma tendencia. El efecto del espesor del sustrato en el desarrollo vegetal es notable, desde el segundo mes se registran cambios evidentes.

En forma general hubo un crecimiento de la vegetación por los primeros 8 meses, de junio 2015 a enero 2016, después un periodo de dormancia de la vegetación, lapso en el ciclo biológico de un organismo en el que el crecimiento, desarrollo y actividad física se suspenden temporalmente, en este caso sucede durante la temporada de secas, principalmente entre los meses de febrero a mayo de 2016, donde se registra un estancamiento e incluso disminución de la cobertura vegetal.

El periodo de dormancia finaliza con el inicio de la temporada de lluvias, donde transcurre otra etapa de crecimiento vegetal, siendo evidente de junio a noviembre de 2016, posteriormente con la siguiente temporada de secas se muestra nuevamente una disminución de la cobertura vegetal.

El mayor crecimiento de la cobertura con vegetación plantada se registró en los sustratos con espesor de 8cm: A8 > B8 > E8, seguidos de los mismos tipos, pero de espesor de 6cm: A6 > B6 > E6; después se registra el sustrato D siendo mayor D8 > D6, y por último el C donde el espesor de 6cm tuvo mayor crecimiento C6 > C8.

Todos

- Periodo de crecimiento de 8 meses, de junio a enero
- Mayor crecimiento en la temporada de lluvias
- Periodo de dormancia de febrero a mayo, temporada de secas
- Disminución de la cobertura vegetal de noviembre a enero
- Mayor crecimiento en los sustratos A, B y E.

A

- Mayor crecimiento comparado con todos los tipos de sustrato.
- Mayor crecimiento de junio a noviembre
- Mayor crecimiento vegetal se da en el sustrato con espesor de 8 cm, la máxima diferencia con el de 6 cm se registra en junio, agosto y septiembre, con una diferencia promedio de 35.1%.

B

- Mayor crecimiento vegetal en sustrato en 8cm que en 6cm.
- Mayor diferencia del crecimiento vegetal en los meses de junio a octubre de 2016, siendo mayor el de 8 cm de espesor por un promedio de 37.6%.
- En octubre de 2016 tiene el máximo crecimiento de todos los sustratos B8P, mayor a 8.35% que A8P.

C

- Menor crecimiento comparado con todos los tipos de sustrato.
- Mayor crecimiento vegetal en sustrato en 6 cm que en 8cm.
- Mayor diferencia del crecimiento vegetal en los meses de junio a abril, siendo mayor el de 8 cm de espesor por un promedio de 37.6%.
- Menor diferencia entre espesor de sustrato en mayo con 0.15%.

D

- Mayor crecimiento vegetal en sustrato de 8 cm, sólo en septiembre de 2015 fue mayor en 6cm por 1.39%.
- Poca diferencia del crecimiento vegetal entre los dos sustratos, la máxima diferencia en noviembre de 2016 con un 7.68%.

E

- Mayor crecimiento vegetal en sustrato en 8cm que en 6cm.
- Mayor diferencia del crecimiento vegetal en los meses de junio a octubre, siendo mayor el de 8 cm de espesor por un promedio de 36.25%.
- Menor diferencia entre espesor de sustrato en octubre de 2015 con 3%.

A

B

C

D

E

Perfil de la cobertura vegetal. Utilizando el escáner laser Mca. Faro, Modelo Focus 3D, se creó un modelo a nube de puntos del modelo experimental factorial, el cual permitió obtener información sobre la forma, dimensión y estructura de la cobertura vegetal de cada tipo y espesor de sustrato. Las imágenes muestran el perfil del corte longitudinal de los módulos de prueba, observando en la parte izquierda de la línea la vegetación plantada en los módulos con 6 cm de espesor de sustrato y posteriormente los de 8cm. Se compararon los perfiles de acuerdo al tipo de sustrato para observar diferencias. El sustrato A es el que reporta la cobertura vegetal con mayor altura, la menor se registra en el sustrato C.

A - B

A - C

A - D

A - E

B - C

B - D

B - E

C - D

C - E

D - E

Todos

Perfil longitudinal de la COBERTURA VEGETAL

CONCLUSIONES

CARACTERIZACIÓN DE LOS SUSTRATOS

Es indispensable crear a las envolventes de las edificaciones no como un simple medio de transición o contenedor espacial, un elemento inerte, indiferente o aislado a la actividad del usuario y al ambiente circundante; es necesario que la envolvente dialogue con cada uno de los componentes que integran los espacios arquitectónicos, para convertirse en un nuevo elemento que responda activamente al entorno, cuyo objetivo principal sea brindar condiciones de confort ambiental a los usuarios utilizando el mínimo consumo energético, reduciendo el manejo e inversión de recursos, logrando así disminuir el impacto ambiental.

Es de gran importancia destacar que la naturación es un elemento que hace posible que exista una mejor relación entre la envolvente y su entorno, reconociendo al entorno no solamente como el medio natural, sino también como el contexto social, cultural, económico y psicológico donde se desarrolla el objeto arquitectónico.

Comprobación de las hipótesis

- Se comprueba la hipótesis principal ya que los sustratos sí poseen características que modifican y mejoran el desempeño térmico e hídrico en los sistemas de naturación extensiva de cubiertas, lo que enriquece cualitativa y cuantitativamente los beneficios que brinda el uso de naturación a las edificaciones. Las características fisicoquímicas con mayor importancia son: estructura física resistente y estable, baja densidad y alta porosidad, alta capacidad de retención hídrica, peso ligero, nivel óptimo de pH, alta capacidad de intercambio catiónico y adecuado nivel de materia orgánica y nutrimentos.
- Sabiendo que en los sistemas de naturación el componente sustrato es el que brinda el mayor efecto de regulación térmica entonces se deduce que al incrementar su espesor la fluctuación térmica disminuirá. Los datos térmicos indican que a mayor espesor de sustrato se registra mayor regulación térmica en cuatro de los cinco sustratos, se concluye que, en un sustrato con adecuadas propiedades físicas y químicas, tal es el caso del tipo A y B, al incrementar su volumen su desempeño térmico e hídrico es mejor.
- Si las características del sustrato influyen en el desempeño térmico e hídrico de los sistemas de naturación en cubiertas, entonces dichos desempeños podrán modificarse de acuerdo al diseño del sustrato. Efectivamente, de acuerdo al diseño de la mezcla de sustrato podrá cambiar el rendimiento de los desempeños, aunque esta modificación debe realizarse antes de la colocación del sistema en cubiertas dado que ya establecidos es complicado realizar variaciones en su caracterización.
- Las características del sustrato siempre han sido definidas por el tipo de vegetación utilizada en los sistemas de naturación, pero al descubrir que el sustrato es el componente que tiene mayor impacto positivo en la generación de los beneficios será posible modificar la condición de esta relación de dependencia, y lograr un diseño integral entre sustrato-vegetación en los sistemas de naturación. El sustrato brinda soporte físico y nutrimental a la vegetación, por lo tanto, tiene que cumplir con ciertas condicionantes que provean a la vegetación de lo necesario para su adecuado desarrollo y conservación, en el caso de sistemas extensivos la selección de especies vegetales debe cumplir con ciertas características, entre ellas destacan resistir condiciones de austeridad, lo que permite que un sustrato con buen desempeño térmico e hídrico cumplirá sin dificultad las necesidades de la planta.

Sobre caracterización de los sustratos

- La caracterización física y química de los sustratos reveló que los tipos A y B contienen mayor cantidad de materia orgánica y de nutrimentos, buena distribución de partículas, la mayor capacidad de retención hídrica y alta porosidad, lo cual revela el motivo del mejor rendimiento del crecimiento vegetal en ellos y en el caso del sustrato B proporcionar el mayor efecto de regulación térmica.
- El sustrato C es el más deficiente en cuanto a materia orgánica y nutrimentos, tiene alta densidad, mala distribución de tamaño de partículas y escasa retención hídrica, lo cual limita su desempeño térmico, hídrico y desarrollo de la cobertura vegetal.
- Es indispensable conocer la caracterización física y química sustratos, esto permitirá predecir su desempeño en los sistemas de naturación.
- Se resalta la necesidad de altas porosidades y bajas densidades, dado que un peso ligero permitirá el uso de sistemas naturación en construcciones existentes, se pretende que sean materiales ligeros, de fácil manipulación y transporte.

Sobre el desempeño térmico

- En enero y mayo el sustrato B es el que registra el mayor desempeño térmico.
- En enero el sustrato C es el que registra el menor desempeño térmico.
- En mayo el sustrato E es el que registra el menor desempeño térmico.
- El desempeño térmico es mejor en los módulos con vegetación plantada.
- A mayor espesor de sustrato mayor regulación térmica.

Sobre el desempeño hídrico

- A mayor espesor de sustrato mayor retención hídrica.
- A mayor cantidad de materia orgánica mayor retención hídrica.
- La mayor retención hídrica se registra en el sustrato
- La menor retención hídrica se registra en el sustrato
- Los análisis realizados a los líquidos drenados por riego controlado con agua destilada a muestras de sustratos secos en laboratorio y a los líquidos drenados por lluvia de los módulos de pruebas hídricas en el modelo experimental indican que los sustratos tienen la capacidad de retención de elementos, por lo que actúan como un filtro en los sistemas de naturación. La capacidad de retención de macronutrientes se incrementa en los sustratos con mayor espesor, y en los elementos tóxicos la retención es mayor en los sustratos de menor espesor.

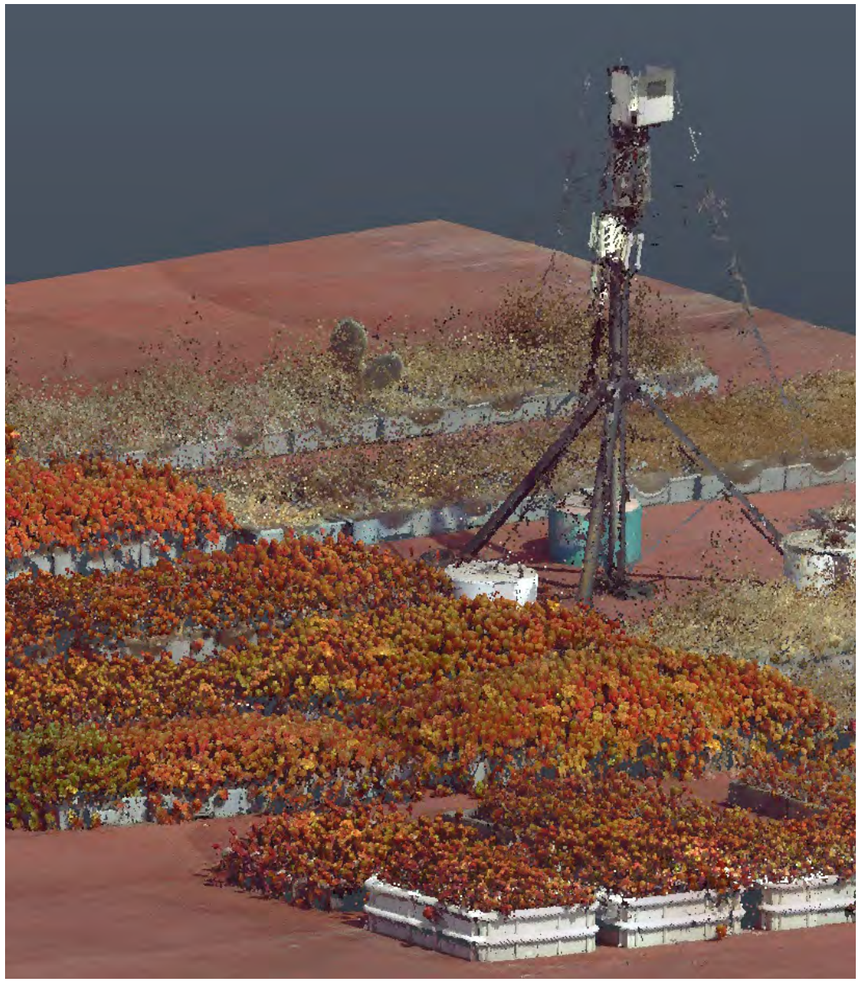
Esta investigación enriquece el conocimiento de la optimización del desempeño térmico de los sistemas de naturación en nuestro país, a tal grado que permite una mejor selección y uso de materiales, lo que impacta positivamente en la calidad y eficiencia de cada uno, perfeccionando e incrementando las externalidades del sistema; además, crea estrategias y mayores posibilidades de diseño en cuanto a recursos, procedimientos constructivos y diseño bioclimático, eficientando el rendimiento de los sistemas de naturación como herramienta básica en el trabajo arquitectónico, lo que se traduce en mejores y mayores índices y condiciones de confort, incrementando la habitabilidad espacial y haciendo uso eficaz de todos los recursos e insumos.

Sobre la cobertura vegetal

- A mayor espesor de sustrato mayor cobertura vegetal, excepto en el sustrato C.
- El sustrato A registró el mayor crecimiento de cobertura vegetal.
- El sustrato C registró el menor crecimiento de cobertura vegetal.
- En forma general en todos los sustratos se identificaron cuatro periodos durante el monitoreo del modelo experimental: un periodo de crecimiento de aproximadamente 8 meses (de junio a diciembre de 2015), un periodo de dormancia de la vegetación de cinco meses la cual se presenta en la temporada seca del año (de enero a mayo de 2016), un periodo de crecimiento de cinco meses en la temporada de lluvias (de junio a noviembre de 2016), y por último un periodo de disminución de la vegetación por la temporada seca (de diciembre de 2016 a enero de 2017 fin del monitoreo).
- La mayor diferencia del crecimiento por el espesor en los sustratos A, B y E se registraron en los meses de junio a octubre de 2016.

Propuestas de líneas de investigación a seguir

- Determinar técnicas y métodos de análisis para la caracterización fisicoquímica de sustratos en nuestro país, si bien la Norma Oficial Mexicana 021-RECNAT-2000 indica las metodologías de análisis de suelos, es indispensable contar con literatura específica sobre el análisis de sustratos.
- Implementación a la mezcla de sustrato de nuevos materiales industrializados que permitan eficientar el desempeño térmico e hídrico, deben elegirse materiales de menor impacto energético, principalmente de origen vegetal o natural que consuman menor cantidad de energía en su proceso de fabricación y transportación, que sean resistentes a la compactación, ligeros, durables y salubres, así como compatibles con otros materiales, y por supuesto analizando su ciclo de vida (diseño, fabricación, uso, mantenimiento y desechado o reciclado).
- Analizar el desempeño térmico, hídrico y desarrollo de cobertura de distintas especies vegetales en los sistemas de naturación extensiva. Es indispensable generar una paleta vegetal amplia, en distintos tipos de regiones y climas de nuestro país; así como crear criterios de diseño paisajístico de acuerdo a la estructura vegetal, estacionalidad y las características del sistema de naturación.



BIBLIOGRAFÍA

CITADA

•Alpuche, Moreno, Ochoa, & Marincic. (2010). Analisis térmico de viviendas económicas en Mexico utilizando techos verdes. Estudios sobre arquitectura y urbanismo del desierto, volumen III(núm. 3), 59–68.

•Ampim, P., Sloan, J., Cabrera, R., Harp, D., & Jaber, F. (2010). Green Roof Growing Substrates: Types, Ingredients, Composition and Properties. Journal of Environmental Horticulture, 28(4), 244–252.

•Ansorena Miner, J. (1994). Sustratos. Propiedades y caracterización. Bilbao, España: Ediciones Mundi-Prensa.

•Ávila, R. (2011). La reforestación en la formación de suelo a partir de tepetates (Tesis de maestría). Texcoco, México: Colegio de Posgraduados, Universidad Autónoma de Chapingo.

•Ballester, F., Castro, D., & Oceja, M. (2000, octubre). Definición, función y clasificación de los geotextiles. Arte y cemento: revista de la construcción y su entorno, (1895), 122–130.

•Bastida Tapia, A. (1999). El medio de cultivo de las plantas. sustratos para hidroponia y producción ornamental. Universidad Autónoma de Chapingo. Preparatorio Agrícola, Serie de publicación Agrícola y Botánica Núm. 4.

•Boul, S. W., Hole, F. D., & McCracken, R. J. (2013). Génesis y clasificación de suelos (Segunda edición). México: Trillar.

•Briz, J. (2004). Naturación urbana: cubiertas ecológicas y mejora medioambiental. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.

•Bruker AXS GmbH. (2015). S1 TITAN User guide.

•Buckman, H. O., & Brady, N. C. (1991). Naturaleza y propiedades de los suelos: texto de edafología para enseñanza. México: Limusa.

•Burés. (1997). Sustratos. Madrid, España: Ediciones Agrotécnicas.

•Cabrera, R. (1990). Propiedades. uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. Revista Chapingo Serie Horticultura, 5, 5–11.

•Camacho. (1993). Temperatura Media (1963-1992). (Boletín Meteorológico). México, D.F.: Facultad de Folosifía y Letras. UNAM.

•Carrillo, C. (1995). El Pedregal de San Ángel (1ra ed.). México, D.F.: Univeridad Nacional Autónoma de México.

•Coordinación General de Minería. (2014). Perfil de mercado de la dolomita. México: Dirección General de Desarrollo Minero. Secretaría de Economía.

•Dávila Burga, J. (2011). Diccionario Geológico. Perú: Arth Grouting S.A.C. Recuperado a partir de http://www.geoss.com.pe/docs/DICCIONARIO%20GEOLOGICO.pdfPortland, Or: Timber Press.

•Dunnett, N. (2008). Planting green roofs and living walls (Rev. and updated ed., [2nd]). Portland, Or: Timber Press.

•Environmental Affairs Department City of Los Angeles. (2006). Green Roofs - Cooling Los Angeles. A Resource Guide. Los Angeles, EUA.

•Estrada, C. (2007). Efectos psicológicos de la contaminación por ruido en escenarios educativos. (No. Tesis de doctorado). México: Universidad Nacional Autónoma de México.

•FitzPatrick, E. A. (1993). Suelo. Su formación, clasificación y distribución (Quinta reimpresión). México: Compañía Editorial Continental.

•Foth, H. (1997). Fundamentos de la ciencia del suelo. México: Compañía Editorial Continental.

•García, E. (2004). Modificación a la clasificación climática de Köpen (Quinta). México: Instituto de Geografía, UNAM. Recuperado a partir de http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_lib/modific_al_sis.pdf

•García Casillas, I., & Briones Sánchez, G. (1997). Sistemas de riego por aspersión y goteo. México: Trillas.

•García Villalobos, I. (2009). Cubiertas Verdes (Tesis Licenciatura). UNAM, Facultad de Arquitectura, México, D.F.

•García Villalobos, I. (2010). Beneficios de los sistemas de naturación en las edificaciones. ANES XXXIV.

•García Villalobos, I. (2011). La vegetación como sistema térmico en la naturación extensiva de cubiertas (Tesis de Maestría). UNAM, Facultad de Arquitectura, México.

•Getter, K. L., & Rowe, D. B. (2006). The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable

•Development. HortScience, 41 núm. 5, 1276–1285.

•Gómez de Silva, G. (1999). Breve diccionario etimológico de la lengua española (2da ed). México: Fondo de cultura económica.

•Gómez Sanz. (2002). Micrometeorología de masas forestales de pino silvestre (Pinis sylvestris) y rebollo (Quercus pirenaica Will.) en la vertiente norte del sistema central (montes de Valsain-Segovia). Consecuencias selvícolas. (Tesis doctoral). Madrid,

•España: Univerdidad Politécnica de Madrid.

•Guerrero, F., & Masaguer, A. (2004). Utilización de sustratos en la naturación urbana. En Naturación urbana: cubiertas ecológicas y mejora medioambiental (pp. 212–229).

•Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.

•Guillot Ortiz, Laguna Lumbreras, & Rosselló Picornell. (2009). La familia Crassulaceae en la flora alóctona valenciana. Huesca. España: Cedro. Recuperado a partir de http://www.floramontiberica.org/bouteloua/monogbouteloua_04_crassulaceae.pdf

•Hernández Escobar, J. L. (2009). Propiedades hídricas de sustratos con diferentes proporciones y tamaños de partícula (Tesis de Maestría). Institución de Enseñanza e

•Investigación en Ciencias Agrícolas. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México.

•Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). Metodología de la investigación. México: McGraw Hill.

•Heuveldop, J. (Ed.). (1986). Agroclimatología tropical (1a ed). San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.

•Hodgson, J. M. (1987). Muestreo y descripción de suelos. Barcelona: Reverté.

•Honorato Pinto, R. (2000). Manual de edafología. Alfaomega.

•Horonato, R. (2000). Manual de edafología. Alfaomega.

International Plant Nutrition Institute. (2007). Carbonato de Calcio (Hoja informativa No. 18). Georgia, EUA.

•Jordán López, A. (2005). Manual de edafología. Universidad de Sevilla. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola.

•Köhler, M., & Clements, A. M. (2012). Green Roofs green roof , Ecological Functions green roof ecological functions. En R. A. Meyers (Ed.), Encyclopedia of Sustainability Science and Technology (pp. 4730–4754). Springer New York. Recuperado a partir de http://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-1-4419-0851-3_207

•Lazzarin, R. M., Castellotti, F., & Busato, F. (2005). Experimental measurements and numerical modelling of a green roof. Energy and Buildings, 37(12), 1260–1267. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.02.001

•León Arteta, R. (1991). Nueva edafología: regiones tropicales y áreas templadas de México (2da ed). México: Fontamara.

•Liu, K. (2003). Engineering performance of rooftop gardens through field evaluation. Proc. Of the 18th International Convention of the Roof Consultants Institute, 93–103.

•López de Juambelz. (2008). Diseño ecológico. Aspectos estéticos, formales y técnicos (Tesis doctoral). México.

•López de Juambelz, R., & Cabeza Pérez, A. (2000). La vegetación en el diseño de los espacios exteriores. México: Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México.

•López de Juambelz, R., & Sainz, S. (2015). Manual de técnicas de análisis: materiales ecológicos y constructivos. (1ra Edición). México, D.F: Laboratorio de Conservación del Patrimonio Natural y Cultural, Facultad de Arquitectura UNAM.

•Machado. (2003). El cálculo de la conductividad térmica equivalente en la cubierta ecológica. Ambiente Construido. 65-75.

•Machado, M., Britto, C., & Neila, J. (2000, junio). La cubierta ecológica como material de construcción. Informes de la Construcción, 52 Núm. 467. Recuperado a partir de http://digital.csic.es/bitstream/10261/97355/1/28-05-2014-tres.pdf

•Martin, B. (2008). The Dynamic Stormwater Reponse of a Green Roof (Tesis de Maestría). The University of Guelph, Canada. Recuperado a partir de http://atrium.lib.uoguelph.ca:8080/xmlui/handle/10214/1905

•Matt, K. (2008). A comparative analysis of green roof designs including depth of media, drainage layer materials, and pollution control media (Tesis de Maestría). University of Central Florida, Orlando Florida.

•Minke, G., & Lagrotta, D. E. (2010). Techos verdes: Planificación, ejecución, consejos prácticos. Montevideo, Uruguay: Fin de Siglo.

•Morán, Hunt, & Jennings. (2004). A North Carolina field study to evaluate green roof runoff quantity, runoff quality, and plant growth. In Proc. of 2nd North American Green Roof Conference: Greening rooftops for sustainable communities, Portland, Toronto., Portland, Toronto., 446–460.

•Neila. (2004). La Cubierta Ecológica en el Contexto de la Arquitectura Bioclimática. En En Naturación Urbana: cubierta ecológica y mejora medioambiental. Madrid, España: Grupo Mundi-Prensa.

•Niachou. (2000). Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. Energy and Building, Vol. 33, 719-729.

•Nuñez Solis, J. (2000). Fundamentos de edafología (2da ed). San José, Costa Rica: EUNED.

•Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2009).

•Guía para la drescripción de suelos (4a ed.). Roma: FAO.

•Ortega, Morales, López, & Canseco. (2010). Diseño del modelo paramétrico para evaluar el desempeño térmico de una cubierta verde. ANES XXXIV.

•Palomino, B. (2012). Aplicaciones paisajísticas del género Sedum para el aligeramiento de sustratos sobre azoteas verdes (Tesis Licenciatura). UNAM, Facultad de Arquitectura, Unidad Académica de Arquitectura del Paisaje, México.

•Palos Macías, L. (1998). Suelo: recurso básico para la producción de alimentos. Universidad Autónoma de México, Colegio de Ciencias y Humanidades, Plantel Sur.

•Peck, & Kuhn. (2001). Design guidelines for green roofs. Ontario, Canadá: Canada Mortgage and Housing Corporation.

•Rosatto, H. G., Laureda, D., Pérez, D., Barrera, D., Meyer, M., Gamboa, P., … Calvo, G. (2010). Eficiencia de la retención hídrica de las cubiertas vegetadas. (Spanish). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, 42(1), 213–219.

•Sailor, D. J., Hutchinson, D., & Bokovoy, L. (2008). Thermal property measurements for ecoroof soils common in the western U.S. Energy and Buildings, 40(7), 1246–1251. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.11.004

•Sánchez, Guerrero, & Castellanos. (2005). Ecología. México: Umbral.

•Scholz. (2001, febrero). Green roofs: Stormwater management from the top down. Environmental Design & Construction, 4, 63–70.

•Secretaría de Medio Ambiente. (2008). Norma Ambiental NADF-013-RNAT-2007 (Gaceta Oficial del Distrito Federal No. 491) (pp. 12–33). México, D.F: Gobierno del Distrito Federal. Recuperado a partir de http://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/577/293/a6b/577293a6bdb5f737295949.pdf

•Tanner, & Scholz-Barth. (2004). Green Roofs. Report to U.S. Depertmente of Energy. Energy Efficiency and Renewable Energy Federal Technology. https://doi.org/0298

•Terés, V. (2011). Relaciones aire-agua en sustratos de cultivo como base para el control del riego. Metodología de laboratorio y modelización (Tesis de Doctorado). Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Departamento de Producción Vegetal. Fitotecnia., Madrid, España.

•Tolderlund, L. (2010). Design Guidelines and Maintenance Manual for Green Roofs in the Semi-Arid and Arid West. Colorado State University.

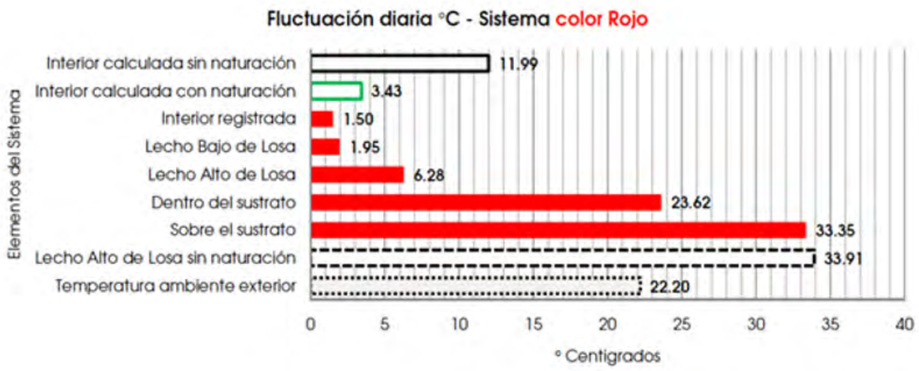
•Tovar, Figueroa, & Gordon. (2010). Potencial bioclimático de la vegetación nativa de México aplicada en envolventes arquitectónicas como dispositivo de control térmico. ANES XXXIV, ABC-012.

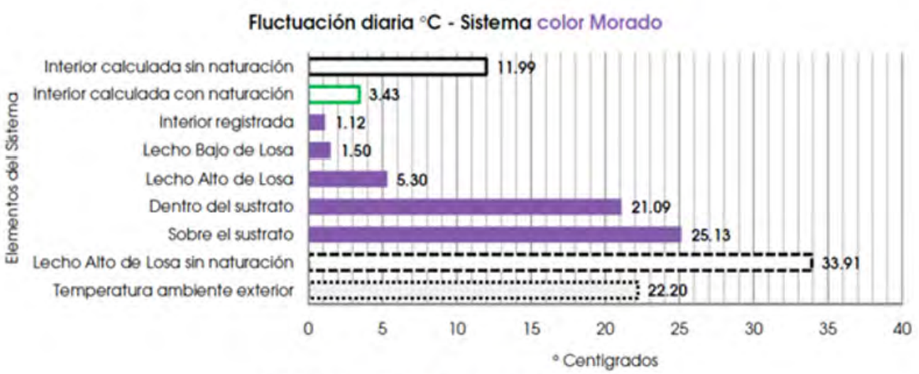
•Trujillo, Rangel, & Castañeda. (2015). Potencial del techo verde, para ahorrar electricidad por aire acondicionado en la edificación. Nova Scientia, 7(15), 577–596. https://doi.org/10.21640/ns.v7i15.389

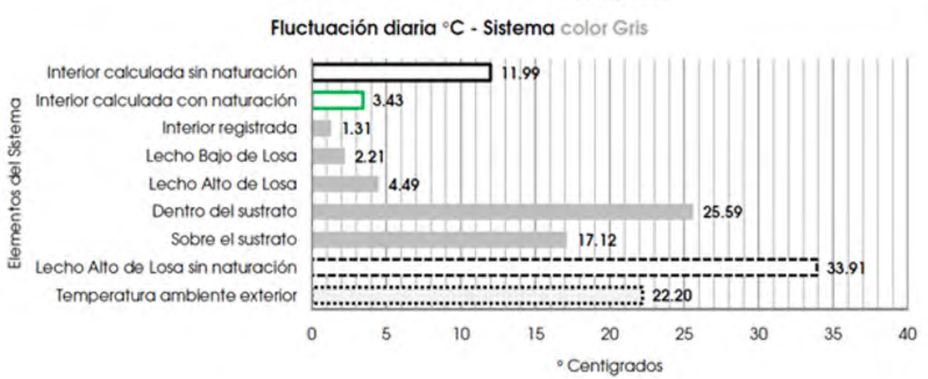
•Van Renterghem, T., & Botteldooren, D. (2009). Reducing the acoustical façade load from road traffic with green roofs. Building and Environment, 44(5), 1081–1087. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.07.013

•Vecchia. (2006). Aplicación de cubiertas verdes en climas tropicales. Ensayo experimental comparativo con techumbres convencionales. Tecnología y Construcción. Vol. 22 n. 2.

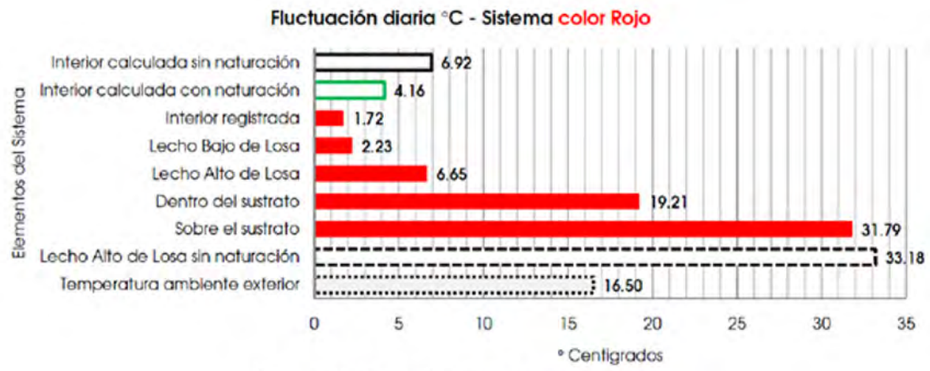
ANEXO

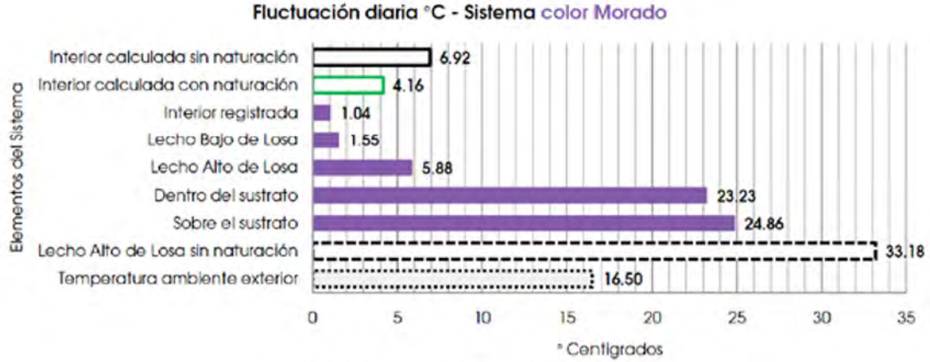


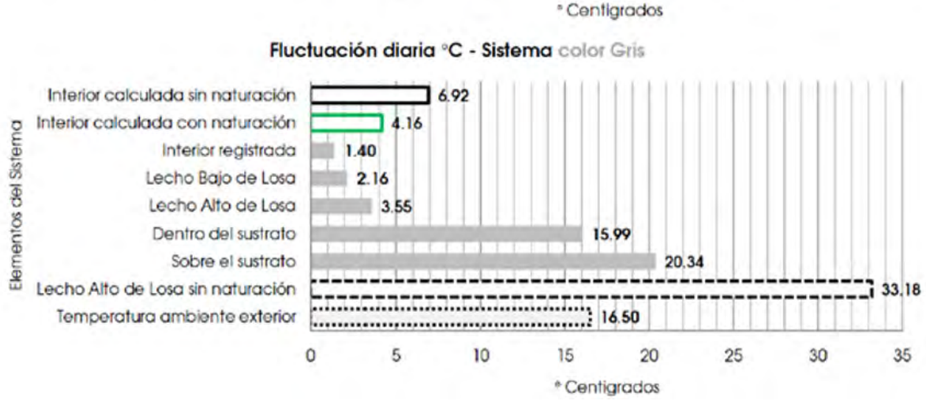




Gráfica 18. Fluctuaciones diarias de temperaturas en una cubierta naturada con un sustrato de 7.5cm, el 21 de enero, mes más frio. Fuente: GARCÍA, Ilse (2011).







Gráfica 19. Fluctuaciones diarias de temperaturas en una cubierta naturada con un sustrato de 7.5cm, el 21 de junio, mes más cálido. Fuente: GARCÍA, Ilse (2011).

Figuras

Figura 1 Relación de variables
Figura 2 Esquema de relación de variables
Figura 3 Tipos de sustratos
Figura 4 Dos espesores
Figura 5 Identificación de espesores según tipo de sustrato
Figura 6 Esquema de ubicación de Ciudad Universitaria
Figura 7 Diagrama triangular de las clases textuales
Figura 8 Tipos de estructura del suelo
Figura 9 Disponibilidad relativa de los varios nutrientes
Figura 10 Esquema contenedor
Figura 11 Apropiada distribución de partículas
Figura 12 Capacidad de retención hídrica
Figura 13 Circulación eficiente de aire
Figura 14 Drenaje eficaz
Figura 15 Baja densidad
Figura 16 Buena estabilidad física
Figura 17 Capacidad de intercambio catiónico
Figura 18 pH apropiado
Figura 19 Libre de enfermedades, plagas y sustancias tóxicas
Figura 20 Disponibilidad y bajo costo
Figura 21 Uniformidad de características
Figura 22 Esquema de componentes de los sistemas de naturación
Figura 23 Tipos de sistemas de naturación en cubiertas
Figura 24 Temperatura en una cubierta naturada en verano
Figura 25 Temperatura en una cubierta naturada en invierno
Figura 26 Gráfica de la escorrentía pluvial
Figura 27 Retención de agua pluvial y espesor de sustrato
Figura 28 Proceso de preparación de mezclas de sustratos en sitio
Figura 29 Ubicación del modelo experimental
Figura 30 Matriz de sujetos de prueba para desempeño térmico
Figura 31 Esquema de contenedores
Figura 32 Esquema de contenedor con cinta perimetral y geotextil
Figura 33 Esquema de distribución vegetal
Figura 34 Distribución de sensores térmicos en módulos
Figura 34 Imagen termográfica
Figura 36 Matriz de sujetos de prueba para desempeño hídrico
Figura 37 Sensor de humedad del suelo
Figura 38 Esquema repeticiones de prueba por material
Figura 39 Imágenes de partículas sustrato

Tablas

Tabla 1 Tipos de sustratos.
Tabla 2 Resultados del cálculo de riego para el mes de mayo.
Tabla 3 Gasto total de agua para el mes de Mayo.
Tabla 4 Gasto de agua diario para el mes de Mayo.
Tabla 5 Factores de manejo de suelo según su tipo de textura.
Tabla 6 Clasificación funcional de los poros de suelo.
Tabla 7 Clasificación de los sistemas de naturación.
Tabla 8 Composición de mezclas.
Tabla 9 Conductividad térmica de los materiales.
Tabla 10 Conductividad térmica de vegetación
Tabla 11 Interpretación niveles de pH.
Tabla 12 Interpretación MO % Walkley-Black.
Tabla 13 Interpretación MO % ignición.
Tabla 14 Interpretación valores de nutrimentos.
Tabla 15 Cuantificación hídrica.

Fotografías

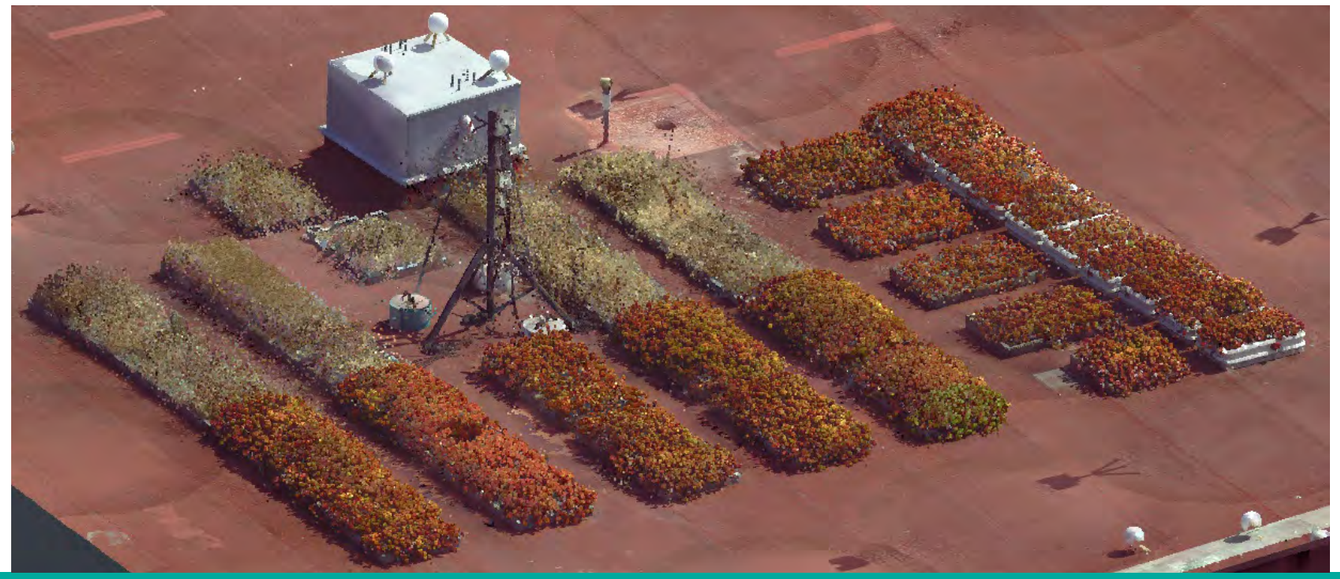
Fotografía 1 Tierra de hoja.
Fotografía 2 Abono de borrego.
Fotografía 3 Composta.
Fotografía 4 Tierra negra.
Fotografía 5 Dolomita.
Fotografía 6 Carbonato de calcio.
Fotografía 7 Agrolita.
Fotografía 8 Tepojal.
Fotografía 9 Tezontle.
Fotografía 10 Estación meteorológica
Fotografía 11 Esquejes Sedum x rubrotinctum
Fotografía 12 Sensores de temperatura tipo Pendant UA-01-64
Fotografía 13 Instalación del modelo experimental – junio 2015.
Fotografía 14 Módulos de pruebas hídricas.
Fotografía 15 Perforación de contenedores.
Fotografía 16 Geotextil en módulos.
Fotografía 17 Distribución de esquejes en los módulos.
Fotografía 18 Llenado de módulos con sustrato.
Fotografía 19 Modelo experimental hídrico.
Fotografía 20 Sección de área para fotografías de análisis de cobertura vegetal.
Fotografía 21 Secado de muestras a temperatura ambiente.
Fotografía 22 Pesaje de muestras.
Fotografía 23 Tamizadora digital.
Fotografía 24 Muestras de sustratos tamizados.
Fotografía 25 Identificación y almacenaje muestras.
Fotografía 26 Determinación de textura - Método de probeta.
Fotografía 27 Determinación densidad real - Método de probeta.
Fotografía 28 Colocación de muestras en la mufla para su secado.
Fotografía 29 Tamizadora, tipos de tamices y muestra tamizada.
Fotografía 30 Captura de imágenes con el microscopio estereoscópico.
Fotografía 31 Tabla Munsell.
Fotografía 32 Uso del potenciómetro.
Fotografía 33 Proceso de la determinación de materia orgánica vía húmeda.
Fotografía 34 Proceso de la determinación de materia orgánica vía seca.
Fotografía 35 Imágenes de muestras, curva patrón y colorímetro.
Fotografía 36 Imágenes de extracciones y uso del
Fotografía 37 Equipo Kjeldahl.

Gráficas

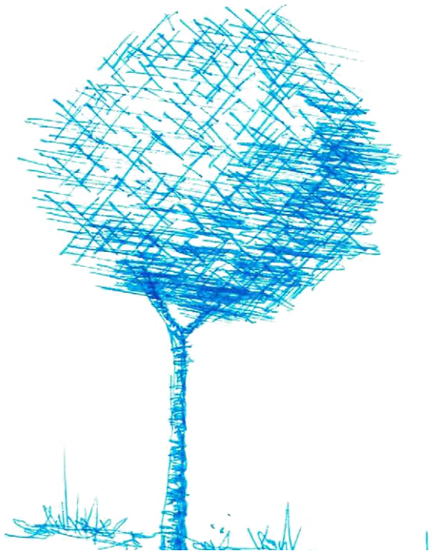
Gráfica 1 Temperaturas medias mensuales Ciudad Universitaria.
Gráfica 2 Precipitación promedio mensual.
Gráfica 3. Comparación de valores de densidades y porosidad.
Gráfica 4 Peso volumétrico de los tipos de sustratos en estado seco y húmedo.
Gráfica 5 Capacidad de campo registrado en porcentaje.
Gráfica 6. % de partículas según su granulometría.
Gráfica 7. Niveles de pH de los sustratos.
Gráfica 8. Valores de %M.O. – método ignición.
Gráfica 9. Valores de %M.O. – método Walkley y Black.
Gráfica 10 Determinación de Nitrógeno total y asimilable.
Gráfica 11 Determinación de Fósforo total y asimilable.
Gráfica 12 Determinación de Sodio total y asimilable.
Gráfica 13 Determinación de Potasio total y asimilable.
Gráfica 14 Determinación de Calcio total y asimilable.
Gráfica 15 Porcentaje de líquido retenido y drenado.
Gráfica 16 Determinación de macronutrimentos.
Gráfica 17 Determinación de la presencia de elementos tóxicos.
Gráfica 18. Fluctuaciones diarias de temperaturas en enero.
Gráfica 19. Fluctuaciones diarias de temperaturas en junio.

GLOSARIO

•Abiótico: Biol. Sin vida.
•Aislamiento: Sistema o dispositivo que impide la transmisión de la electricidad, el calor, el sonido, etc.
•Albedo: Relación expresada en porcentaje, de la radiación que cualquier superficie refleja comparada con la radiación que incide sobre la misma.
•Bien público: Bien cuyos beneficios se reparten de manera indivisible entre toda la comunidad, independientemente de que determinadas personas deseen o no consumirlo.
•Biodiversidad: Variedad de especies animales y vegetales en su medio ambiente.
•Biótico: Biol. Que es característico de los seres vivos o se refiere a ellos.
•Biotopo: Biol. Territorio o espacio vital cuyas condiciones ambientales son las adecuadas para que en él se desarrolle una determinada comunidad de seres vivos.
•Calor específico: Fís. Cantidad de calor que por unidad de masa necesita una sustancia para que su temperatura se eleve un grado centígrado.
•Cobertura vegetal. Capa de material de origen vegetal vivo o muerto que se encuentra sobre un área determinada.
•Condensación: Acción y efecto de condensar. Convertir un vapor en líquido o en sólido.
•Conductividad térmica: Fís. Propiedad que tienen los cuerpos de transmitir el calor
dB Decibelio: Fís. Unidad empleada para expresar la relación entre dos potencias eléctricas o acústicas; es diez veces el logaritmo decimal de su relación numérica.
•Confort: expresa el bienestar físico y psicológico del individuo cuando las condiciones de temperatura, humedad y movimiento del aire son favorables a la actividad que desarrolla.
•Densidad: Fís. Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. Su unidad en el Sistema Internacional es el kilogramo por metro cúbico (kg/m3).
•Dosel: Biol. Capa aérea vegetal, formada por el follaje.
•Edafológico: Relativo a la ciencia que trata de la naturaleza y condiciones del suelo, en su relación con las plantas.
•Endémica: Biol. Propio y exclusivo de determinadas localidades o regiones.
•Escorrentía: f. Agua de lluvia que corre por la superficie de un terreno.
•Evapotranspiración: Pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Se expresa en mm por unidad de tiempo.
•Externalidad: Todo efecto involuntario en el bienestar de las personas y empresas, sin que éstos paguen por ellas o sean compensados. Se denomina positiva, cuando benefician a otros, y negativa cuando los perjudican.
•Fluctuación: Diferencia entre los valores.
•Geosintético: Es el término utilizado para describir una variedad de polímeros en general.
•Hábitat: Ecol. Lugar de condiciones apropiadas para que viva un organismo, especie o comunidad animal o vegetal.
•Índice de área foliar: Área total de la superficie superior de las hojas por área de unidad de terreno que se encuentre directamente debajo de la planta.
•Inerte: Sin vida.
•Intemperie: A cielo descubierto, sin techo ni otro reparo alguno.
•Isla de calor: El efecto de isla de calor urbano es el aumento de la temperatura en zonas urbanas y suburbanas, en relación con los alrededores.
•Lixiviado: Es el líquido producido cuando el agua fluye a través de cualquier material permeable.
•Morfología: Es la disciplina encargada del estudio de la forma y estructura de un organismo o sistema.
•Naturación: Es el tratamiento técnico de superficies verticales, horizontales e inclinadas con vegetación.
•Parámetro: m. Dato o factor que se toma como necesario para analizar o valorar una situación.
•Perenne: Bot. Que vive más de dos años
•Permeabilidad: adj. Que puede ser penetrado o traspasado por el agua u otro fluido.
•Punzonamiento: Es un esfuerzo producido por un efecto puntual sobre un plano de apoyo.
•Radicular: adj. Perteneciente o relativo a las raíces.
•Servicio ambiental: Son las aquellas actividades, productos y procesos que la naturaleza proporciona y que posibilitan que la vida pueda desarrollarse sin mayores costos para la humanidad.
•Sistema radical: Conjunto de raíces de una planta.
•Suelo: capa superficial de la corteza terrestre conformada por material mineral, materia orgánica, agua y aire, donde existen los microorganismos y se sustenta la vida vegetal
•Sustentable: Aquel que satisface las necesidades actuales sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.
•Sustrato: Biol. Material sólido, natural, sintético o residual, mineral u orgánico, distinto del suelo natural, colocado dentro de un contenedor y sirve de lugar para el desarrollo vegetal.



Imágen de modelo de nube de puntos 3D realizado mediante escaneo de rayo laser



Estudia la naturaleza,
ama la naturaleza,
acércate a la naturaleza.
Nunca te fallará.

Frank Lloyd Wright

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA D MEXICO

POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU

FACULTAD ARQUITECTURA

INVESTIGACIÓN Y POSGRADO