



Monitoreo térmico de barrera vertical con vegetación, evaluando el desempeño a través de la experimentación y herramienta de simulación

Thermal monitoring of vertical barrier with vegetation, evaluating performance through experimentation and simulation tool

Carmiña Elizabeth Domínguez Cicorio ¹, Luis Aaron García Solorzano ¹, Raúl Pavel Ruíz Torres ²

¹División de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México, Av. Tecnológico No.1 Villa de Álvarez, Colima, México

²Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Chiapas, Blv. Belisario Domínguez Km. 1081, Terán, 29050 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

Autor de correspondencia: Carmiña Elizabeth Domínguez Cicorio, División de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México, Av. Tecnológico No.1 Villa de Álvarez, Colima, México. E-mail: carmidominguez@gmail.com. ORCID: 0000-0001-5512-0657

Recibido: 16 de Abril del 2021 **Aceptado:** 16 de Diciembre del 2021 **Publicado:** 7 de Enero del 2022

Resumen. - A consecuencia del calentamiento global y el deterioro ambiental del cual somos víctimas, se considera necesaria la innovación arquitectónica a través del diseño sostenible, y valorar los efectos térmicos positivos de la vegetación en la integración a la misma. El propósito de este trabajo fue investigar el uso de la vegetación como barrera vertical como estrategia bioclimática y evaluar su desempeño en un módulo experimental; la metodología utilizada fue realizando un monitoreo experimental y utilizando la herramienta de simulación térmica, en ambos casos, para comprobar el aporte al mejoramiento de la calidad ambiental con la disminución de la temperatura interior. Los resultados permitieron demostrar la reducción de la temperatura del aire interior, concluyendo que con el resultado obtenido se busca una alternativa ecológica, promoviendo la renovación y depuración del aire como estrategia proyectual. Tomando en cuenta que cada acción puede tener consecuencias ambientales y a favor de la disminución del consumo energético, a causa la climatización artificial. La investigación está apoyada en el beneficio de las herramientas utilizadas para la simulación térmica, como instrumentos de planificación urbana y arquitectura sustentable, ya que a través de éstas se pueden evaluar las distintas alternativas de diseño, pronosticando el comportamiento térmico de zonas ya construidas o no, sin la necesidad de trabajos exhaustivos de campo.

Palabras clave: Barreras verticales; Vegetación; Simulación.

Abstract. - As a result of global warming and the environmental deterioration of which we are victims, architectural innovation through sustainable design is considered necessary, and the positive thermal effects of vegetation in its integration are considered necessary. The purpose of this work was to investigate the use of vegetation as a vertical barrier as a bioclimatic strategy and to evaluate its performance in an experimental module; The methodology used was carrying out an experimental monitoring and using the thermal simulation tool, in both cases, to verify the contribution to the improvement of the environmental quality with the decrease of the interior temperature. The results allowed to demonstrate the reduction of the indoor air temperature, concluding that with the result obtained an ecological alternative is sought, promoting the renewal and purification of the air as a project strategy. Taking into account that each action can have environmental consequences and in favor of reducing energy consumption, due to artificial air conditioning. The research is supported by the benefit of the tools used for thermal simulation, as instruments for urban planning and sustainable architecture, since through these it is possible to evaluate the different design alternatives, predicting the thermal behavior of areas already built or not, without the need for extensive field work.

Keywords: Vertical barriers; Vegetation; Simulation.



1. Introducción

La Guía de la Convención sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto [1] , señala que ante la situación actual sobre el cambio climático, se prevé un incremento en las temperaturas y condiciones climáticas severas a nivel mundial. Sumado a lo mencionado Vargas Robles [2] expresa que es necesidad y prioridad el diseño de acciones y procesos de adaptación que posibiliten prepararse ante la incidencia del cambio climático, ya que la región a la que pertenece México, presenta preocupantes procesos de degradación y, considerando lo expuesto por Peña Barrera [3] México pertenece a la región de América Latina y el Caribe, la cual conjunta muchas de las riquezas ecológicas y ambientales del planeta.

Por otra parte cabe resaltar y como señala Hernández [4] , la arquitectura sostenible es la creación de espacios a partir del diseño y la edificación, donde deben aplicarse criterios y condiciones del desarrollo sustentable, por lo que los recursos naturales, económicos y humanos se deben manejar de forma a reducir el daño ambiental, la contaminación del suelo, del agua (y su consumo) y del aire, mejorando el confort interno y externo (preferentemente de manera pasiva). Adicionalmente, Sosa y Siem [5] señalan que con la ayuda de masas de vegetación, a través del sombreado de paredes y techos con arbustos, árboles, pérgolas y otros elementos, se puede mejorar el microclima de un espacio, reduciendo las ganancias de calor.

Asimismo, en el Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico [5] , se resalta la importancia de la vegetación que se coloca en elementos verticales ya que absorbe la radiación solar, aísla térmicamente, y al mismo tiempo refresca el aire que circunda, por medio de la transpiración del vapor de agua que realizan las plantas. Además

de satisfacer la necesidad instintiva de protección del ser viviente, contribuyen a la mejora del ambiente físico inmediato. La superficie viscosa de las hojas de las plantas captura el polvo y filtran el aire. Del mismo modo, la vegetación asegura la privacidad visual y disminuye los efectos del deslumbramiento [6].

Por lo mencionado, en este trabajo se plantea un enfoque metodológico para la determinación de temperaturas en los espacios con y sin vegetación, realizando una comparación cuantitativa del desempeño entre ambos, a través de la herramienta de simulación térmica EnergyPlus y mediante la experimentación con la construcción de módulos auto-portantes. Se busca demostrar los cambios de temperaturas que se pueden producir con la implementación de vegetación y el diseño sustentable en barreras verticales, evaluando su desempeño como regulador térmico y comparando los resultados obtenidos.

Por lo tanto:

- Primeramente se realizó el diseño y la construcción de prototipos en campo para la experimentación; por medio de la elaboración de dos módulos auto-portantes, uno con la implementación de vegetación y el otro como testigo (sin vegetación) a modo de evaluar la temperatura ambiente promedio de los espacios interiores y el exterior.
- Simultáneamente se realizó el diseño y la construcción de prototipos en el software de simulación Energy Plus, el cual fue seleccionado por ser de acceso gratuito y por ofrecer la posibilidad de obtener variables de salida como la temperatura interna de cada zona y temperaturas superficiales.
- Y por último la comparación de los resultados obtenidos de temperaturas, mediante la experimentación y mediante la simulación.



Para la elección de la vegetación se tuvieron en cuenta las especies endémicas de la ciudad de Colima, a través de la consulta directa a viveros; además, como menciona Gómez-Azpeitia [7] por su uso eficiente como control climático en la misma; y, como señala Fajardo [8], en base a la experiencia de los especialistas empíricos, se desarrolla muy rápido y es altamente resistente al clima. Por lo mencionado se propone la elaboración de paneles adaptados a la flora nativa, con el uso de la especie *Cissus*, por ser además una especie de rápido crecimiento y de geometría regular que contribuye a la reducción del espacio requerido para su instalación, condiciones necesarias para el desarrollo del trabajo propuesto. Estas son plantas trepadoras que pueden ser cultivadas como enredaderas o como plantas colgantes, y se pueden encontrar abundantemente en algunas zonas de México, especialmente en estados como Chiapas y Colima; de fácil cultivo y mantenimiento, generosas en desarrollar hojas y ramas.

Beltrán-Melgarejo et al. [9] realizaron una investigación sobre el confort térmico de techos verdes con *Cissus verticillata* (Vitaceae) en viviendas tropicales en Veracruz, México, donde el prototipo disminuyó hasta 4.5° C la temperatura promedio de las láminas de zinc de las habitaciones. Las variables utilizadas para evaluar el confort térmico arrojaron resultados con una mejora del confort térmico debido al techo verde. Por otra parte, Fajardo [8] en su tesis *Desempeño costo – beneficio de dos sistemas pasivos de climatización en cubiertas para climas cálidos – sub húmedo. Caso Coquimatlán, Colima*, investigó el potencial de la enredadera *Cissus* para controlar la ganancia de calor que pasa a través de las cubiertas para dicha localidad. El resultado presentó dificultades para su crecimiento, a pesar de los cuidados y ayuda especializada para estimular y acelerar su desarrollo, teniendo un bajo desempeño; generando como nueva pregunta de

investigación, si fue la forma horizontal o el material (concreto) de la losa lo que afectó el crecimiento de *Cissus* en la cubierta plana.

Por otra parte, con relación a la selección del software de simulación y considerando el estudio realizado por J. Cárdenas et al. [10], el cual expone que la herramienta de simulación energética con mayor representatividad es EnergyPlus (34%), y se encuentra validado por la norma ASHRAE 140 [11], se opta por la misma en la etapa de experimentación, debido a las características de resultados necesarios para la simulación y el análisis de los módulos autoportantes construidos. El software Energy Plus, como hace mención Casa Arredondo [12], es un programa de código abierto y uso gratuito que permite realizar simulaciones térmicas y energéticas de las edificaciones, basándose en un modelo de transferencia de calor dependiente del tiempo. Por su parte, Flores Condori [13] resalta entre las posibilidades que permite la herramienta:

- Soluciones integrales para cada zona térmica.
- Climatización y movimiento de corrientes de aire simultáneamente en zonas.
- Intervalos de tiempo que se pueden definir por el propio usuario.
- Cálculo de balances térmicos en las superficies combinado radiación y convección.

Por lo expuesto y como consecuencia de búsquedas recientes, el enfoque del trabajo responde a analizar el desempeño térmico de las barreras verticales con vegetación, evaluadas a través de la experimentación en campo y la simulación, para demostrar su eficiencia en el mejoramiento de la calidad del ambiente. En este trabajo se plantea utilizar la vegetación para la mitigación de la radiación solar y que resulte en ambientes agradables, junto con la posibilidad de aprovechar la capacidad de proporcionar sombra y usarlo como sistema de amortiguamiento



térmico del edificio próximo; en respuesta a lo mencionado por Fuentes Freixanet [14], el sombreado es la primera estrategia de enfriamiento y es una de las más eficaces para evitar el sobrecalentamiento de los espacios.

2. Metodología

Se plantea a la metodología de trabajo como mixta de carácter exploratorio, método analítico y tipo de estudio comparativo correlacional; que tiene como propósito medir el grado de relación que existe entre dos o más conceptos o variables. La periodicidad de estudio fue transversal, debido a que los registros de las variables se hicieron en un momento predeterminado de tiempo. Para obtener los resultados acordes a los objetivos del presente trabajo se recurre a los modelos computacionales que actúan como simuladores, ya que representan el comportamiento térmico del espacio ya construido y delimitado, cuya validez de resultados del modelo simulado se basa en el grado de ajuste de predicciones con el comportamiento del caso real monitoreado.

El proceso metodológico incluye:

- Evaluación experimental para determinar el desempeño térmico de la barrera con vegetación, a partir de la construcción de módulos auto-portantes.
- Evaluación a través de la simulación aplicada al caso real con la herramienta Energy Plus.
- Simulación del escenario propuesto según porcentaje de vegetación y orientación.
- Evaluación y comparación de resultados obtenidos.

2.1 Área de estudio

- Caracterización climática del sitio y descripción del área: el área de estudio se ubica en el estado de Chiapas, dentro de los Estados Unidos Mexicanos, en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, entre las coordenadas 16°45'11" N, 93°6'56" W, dentro de Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapa.

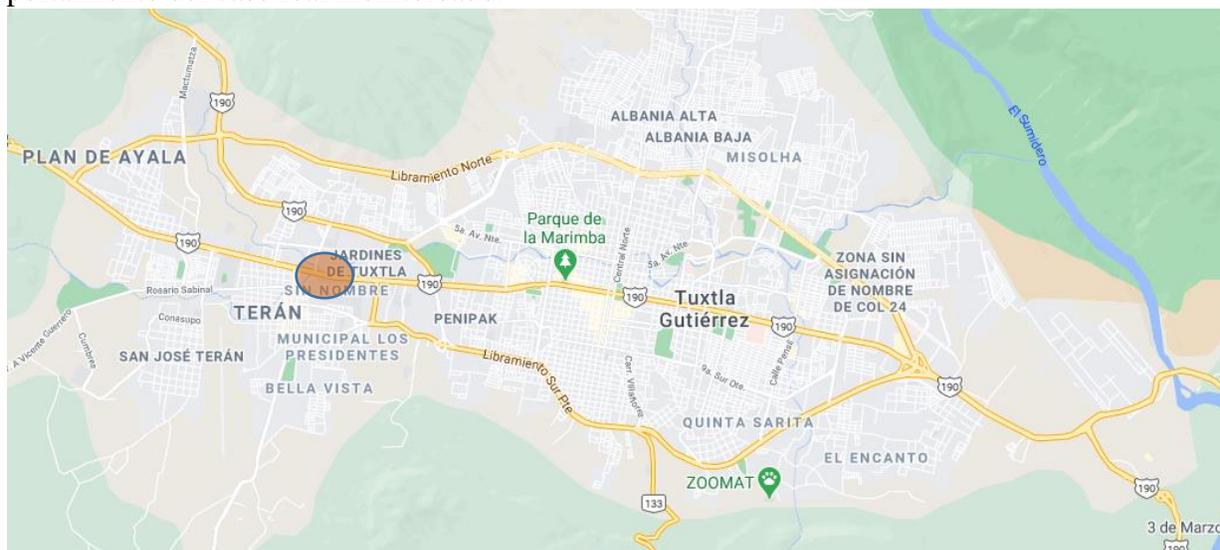


Figura 1. Ubicación de la UNACH en Tuxtla Gutiérrez (tomado de Google Earth. INEGI 2020).



El sitio de implantación se ubica en la franja tropical y se caracteriza por el clima cálido sub húmedo, Aw en la clasificación de Köppen-García. Los veranos son mucho más lluviosos que los inviernos y la temperatura media anual oscila los 20 °C. El sitio se ubica dentro del

campus universitario, cuyo entorno presenta baja densidad de construcción ya que los edificios alrededor del mismo no superan los 3 pisos de altura; en una zona de uso educativo, comercial y residencial.



Figura 2. Clasificación Köppen-García para México (tomado de <http://cbtf5.mx.tripod.com/unidad4.htm>).

2.2 Población y muestra

El espacio escogido es el exterior, sobre la cubierta superior de uno de los bloques del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables, el cual fue seleccionado por las características particulares

que posee las cuales se consideran deseables para lo establecido en el planteamiento de la investigación. El mismo tiene techo verde, se encuentra a una altura de 3 metros y forma parte del conjunto de espacios abiertos exteriores del campus, rodeado de bloques de aulas, áreas verdes con árboles y césped.

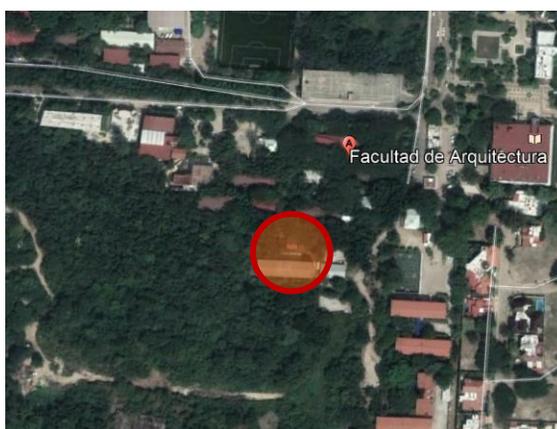


Figura 3. Ubicación de los bloques del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables (tomado de Google Earth. INEGI 2020).



Durante las dos primeras semanas del experimento, los módulos auto-portantes fueron colocados sobre techo losa. Debido al calentamiento de la superficie se modificó la ubicación sobre el techo verde existente a un

lado, en el mismo sector. La decisión de colocar en el techo responde a evitar la manipulación de las personas y que no obtuviera sombreado de ningún elemento preferentemente constructivo.



Figura 4. Ubicación de los módulos auto-portantes en el Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables.

- Descripción del modelo físico.
Caracterización formal y material:

Módulos auto-portantes: se utilizaron dos módulos auto-portantes con 5 placas de poliestireno expandido de 1 pulgada de espesor y estructura de madera de 40 x 40 cm. Se procedió a la colocación de vegetación (tipo Cissus) en la

cara Sur de uno de los módulos, para evaluar el desempeño de la misma en el clima cálido sub-húmedo, mientras que el otro módulo actuó de testigo (sin vegetación en la cara Sur). El registro de datos se realizó mediante registradores de datos (Data Logger) situados en el interior de los módulos.



Figura 5. Estructura de los módulos. Placas de poliestireno expandido con estructura de madera.



Figura 6. Estructura de alambre recocido N° 18, colocada a uno de los módulos para la fijación de la vegetación.



Figura 7. Sensores de temperatura colocados en el interior de cada módulo.

Vegetación: para generar la barrera vegetal se consideró cubrir una superficie aproximada del 80% de la cara sur de uno de los módulos, por lo

que se colocaron 4 plantas del tipo *Cissus*, proveídas por vivero local.



Figura 8. Vegetación tipo *Cissus* colocada a uno de los módulos.

Registadores de datos: fueron colocados equidistantemente en el interior de ambos módulos. Se realizó la medición de los datos,

siendo evaluados solamente los de la temperatura interior y temperatura exterior



Figura 9. Registrador de Datos (Data Logger) de uso Interior para Temperatura, Humedad Relativa, Luz y un canal para sensores Externos.

2.3 Determinación de variables

Por una parte, las variables están determinadas por dos categorías: las condiciones del ambiente natural, que se refieren a los factores climáticos meteorológicos; y, el ambiente artificial urbano-arquitectónico (módulos auto-portantes), que hace referencia al ambiente construido y de la influencia sobre la forma física y material del espacio y su entorno inmediato.

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

El experimento tuvo una duración total de 4 semanas, desde el 10 de noviembre de 2020 al 08 de diciembre de 2020. Cabe resaltar que el periodo de duración responde en gran parte a la pandemia ocasionada por el Covid19 y las restricciones consecuentes como la disponibilidad del uso de instalaciones y equipo de monitoreo.

2.5 Metodología de modelación y simulación

El modelado para proporcionar la estructura de los módulos, a través del diseño 3D, se realizó con el software SketchUp y para la ejecución de la simulación se utilizó el motor de cálculo

Energy Plus el cual proporciona los resultados o variables de salida. Ver tabla 1.

Tabla 1. Trabajo realizado para modelar y simular los módulos.

Herramienta	
SketchUp	Creación de: Modelado genérico – Tipos de espacios – Zonas térmicas
EnergyPlus	Creación y asignación de materiales, cargas, ubicación, horarios. Motor de simulación.

A partir de la configuración física del modelo en SketchUp, el cual fue utilizado en este trabajo para definir la orientación, la geometría, el diseño, la composición y la definición de los espacios y envolventes; se crean con el plugin de EnergyPlus en el mismo, las zonas térmicas configurándose todas las superficies que delimitan la envolvente de los módulos en estudio. Una vez terminado el diseño y guardado con extensión. IDF, el cual es uno de los archivos de entrada para el EnergyPlus, se ingresan el archivo de clima del sector con extensión. EPW y las diferentes variables de entrada en Energy Plus con la determinación de la ubicación geográfica, la caracterización de los materiales, las infiltraciones, las variables de salida, los



periodos de simulación, los horarios, entre otros. En la tabla 2 se especifican los datos de entrada en EnergyPlus.

Tabla 2. Se describen algunos datos de entrada utilizados en el trabajo para la modelación y simulación.

Datos de entrada	
EP-Launch	
Archivo de entrada (Input File)	Archivo .IDF creado en SkechtUp con el plugin de EnergyPlus
Archivo Meteorológico (Weather File)	Archivo .EPW correspondiente a la localización geográfica del caso de estudio
IDF Editor	
Versión	EnergyPlus 8.7
Control de Simulación	Ejecutar la simulación para un archivo climático determinado (EPW)
Características de los módulos	Nombre, ángulo de orientación (0°), tipo de terreno: ciudad (city), distribución solar: interior y exterior.
Localización	Nombre de la ciudad, latitud, longitud, zona horaria y altura
Materiales	Nombre: Poliestireno, rugosidad: lisa (smooth), espesor: 0.0254m, conductividad térmica: 0.035W/mk, densidad: 50kg/m3, calor específico: 1400J/kgK. Las propiedades del material fueron tomados de Materiales y Diseño Bioclimático [15].
Construcciones	Paredes, pisos y techos: Poliestireno

Finalmente se ejecutó la simulación y se corrigieron errores obteniendo como salida la tabla de datos en formato .CSV. Cabe resaltar que la aplicación de estrategia en el módulo de prueba se realizó considerando el mismo porcentaje cubierto en la experimentación (80%), ya que la herramienta no cuenta con la opción de simular con las propiedades térmicas favorables

del efecto de la fotosíntesis de la vegetación. La simulación fue realizada con módulos de 3.00 x 3.00 x 3.00 mts por estar dentro del rango de las dimensiones de un espacio habitable determinado por la CONAVI [16] y porque las simulaciones realizadas, para este trabajo, con módulos de menores dimensiones a la misma no arrojaron resultados comparables.

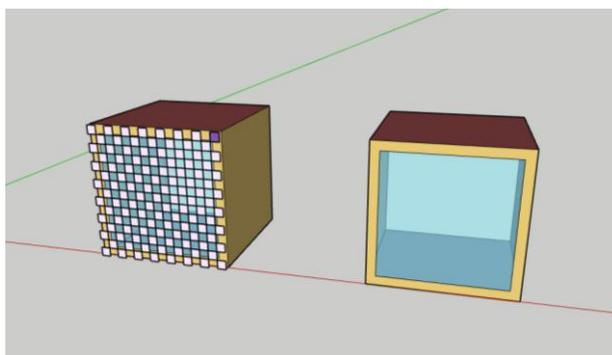


Figura 10. Digitalización de módulos de 3.00x3.00x3.00mts. en el programa SketchUp, con el plugin de EnergyPlus.



3. Resultados y Discusiones

Se presentan los resultados obtenidos durante las dos etapas, dentro de los módulos experimentales y la simulación. Cabe resaltar que el periodo utilizado en la simulación esta en correspondencia a los días utilizados en la experimentación en campo.

3.1 Experimentación

Con relación a la experimentación en campo, las temperaturas obtenidas al interior del módulo auto-portante con barrera vegetal (módulo prueba) fueron menores que las del módulo testigo. En la tabla 3 se muestran las temperaturas máximas y mínimas al exterior y al interior de ambos dispositivos, durante el periodo total de experimentación.

Tabla 3. Comparación de temperatura interior y exterior promedio del periodo total de experimentación. Diferencia entre módulos.

Temperatura	Tmin °C	Tprom.°C	Tmax. °C
Exterior	16.3	23.7	32.8
Módulo Prueba	15.4	25.06	47
Módulo Testigo	15.4	26.1	49

Se concluye que la diferencia entre las temperaturas ambiente exterior y los módulos testigo y prueba se debe a la radiación solar y el volumen de los módulos, lo que permitió alcanzar las temperaturas obtenidas; cabe resaltar la reducción de temperatura en el módulo con vegetación contra el testigo. Como los módulos no se encuentran con la superficie descubierta o cara abierta expuesta a los vientos dominantes, se produce un estancamiento, por lo que se deduce que las ganancias térmicas por radiación y conducción en el poliestireno generan una convección interior. Es importante considerar factores que generaron condiciones micro climáticas en el interior, como la radiación directa reflejada en el interior de los módulos por las superficies y el calor transferido a pesar de ser un material aislante.

A partir de los resultados de las temperaturas obtenidas en los módulos, se seleccionó 1 día por semana para un análisis más detallado, y considerar aquel de mayor diferencia de temperaturas entre el módulo testigo y el de prueba como se observa en la tabla 4 y en la figura 11.



Tabla 4. Comparación de resultados del experimento en temperaturas máximas obtenidas por semana.

		TESTIGO			CON VEGETACION			Diferencia entre temperaturas máximas
		Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	
SEMANA 1 10/11/2020 17/11/2020	10/11/2020	22.178	30.5288333	44.012	22.417	28.842	40.228	3.784
	11/11/2020	18.628	29.2231458	47.32	18.937	27.5286458	44.999	2.321
	12/11/2020	21.604	28.4404583	47.548	21.652	27.1261875	41.065	6.483
	13/11/2020	20.46	28.0139375	45.405	20.603	26.9981042	41.59	3.815
	14/11/2020	20.889	28.3735833	45.154	20.984	27.1950833	42.564	2.59
	15/11/2020	21.223	28.408125	46.099	21.413	27.4485208	42.773	3.326
	16/11/2020	21.795	25.5948542	38.282	21.915	25.0608542	36.012	2.27
	17/11/2020	20.436	28.3292708	45.217	20.531	27.5390625	46.995	-1.778
SEMANA 2 18/11/2020 24/11/2020	18/11/2020	21.079	25.9520833	40.257	20.913	25.3494583	40.057	0.2
	19/11/2020	19.96	22.4559167	27.259	19.865	21.93275	25.162	2.097
	20/11/2020	20.079	24.7302708	35.422	20.079	23.681	30.9	4.522
	21/11/2020	20.984	27.744875	46.577	20.746	25.7565625	39.601	6.976
	22/11/2020	21.199	27.2546667	44.75	21.223	25.6897708	40.92	3.83
	23/11/2020	20.007	25.5285208	42.356	20.198	24.4031042	39.205	3.151
	24/11/2020	19.436	27.7872083	46.162	19.579	25.7649167	38.449	7.713
SEMANA 3 25/11/2020 01/12/2020	25/11/2020	18.509	28.6557292	48.205	18.604	26.973875	43.982	4.223
	26/11/2020	20.103	28.4973333	46.609	20.246	27.1306875	41.268	5.341
	27/11/2020	20.341	28.8812292	48.238	20.412	27.4519375	42.803	5.435
	28/11/2020	22.561	29.2217083	49.039	22.537	27.9564792	44.503	4.536
	29/11/2020	21.246	28.5379583	47.028	21.246	27.4442292	42.773	4.255
	30/11/2020	20.174	25.7958333	42.386	20.174	25.2276458	38.7	3.686
	01/12/2020	18.176	22.246375	36.715	18.271	21.7722292	33.6	3.115
SEMANA 4 02/12/2020 08/12/2020	02/12/2020	15.438	25.7432708	47.941	15.414	24.2761042	40.114	7.827
	03/12/2020	17.653	22.0806667	29.439	17.677	21.621125	28.617	0.822
	04/12/2020	19.413	23.1788125	39.008	19.294	22.6708333	36.254	2.754
	05/12/2020	18.58	23.9357083	44.288	18.533	22.9954792	37.728	6.56
	06/12/2020	19.579	22.3737708	30.343	19.508	22.0823958	28.568	1.775
	07/12/2020	16.701	20.8234583	29.19	17.225	20.6719583	27.702	1.488
	08/12/2020	16.01	20.5362917	32.021	16.63	20.3867292	29.265	2.756

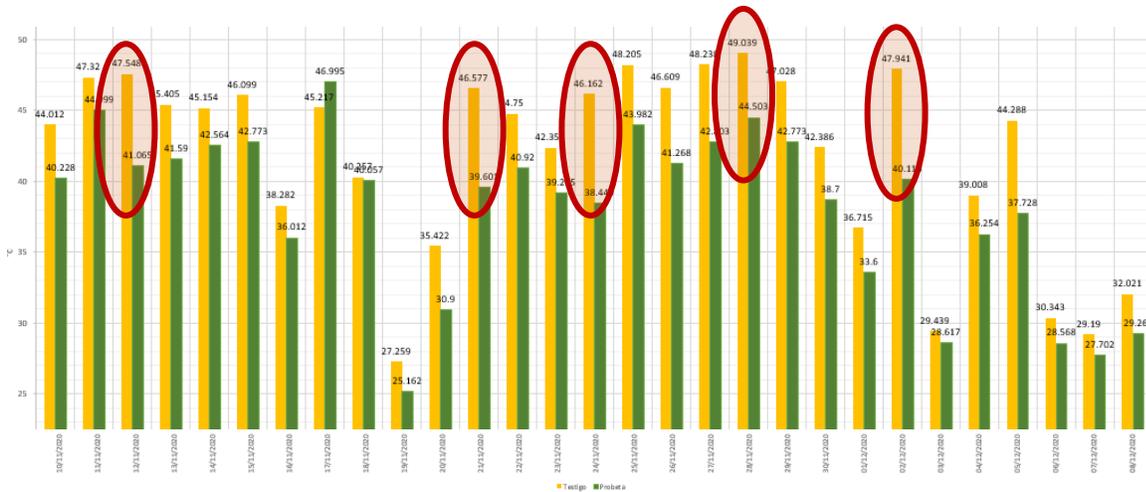


Figura 11. Comparación de los resultados del experimento en temperaturas máximas obtenidas por semana.

La diferencia en las máximas temperaturas promedio en general entre los módulos de prueba y el de testigo es de 2°C (tabla 3) pero se pueden

observar mayores diferencias en días y horas de mayor temperatura ambiental como se puede observar en las figuras 12, 13, 14, 15 y 16.

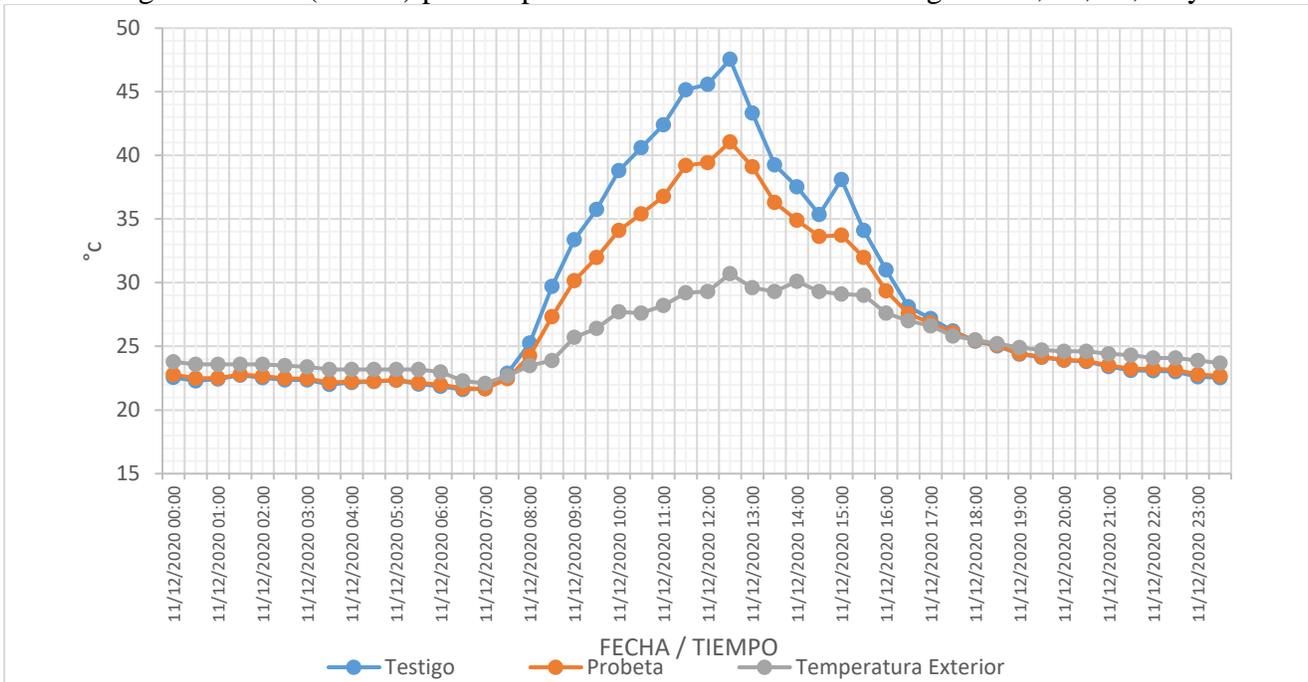


Figura 12. Comparación de resultados del experimento en el día seleccionado, el 12 de noviembre, de la semana 1. Se observa una diferencia de hasta 6.5°C entre el testigo y el módulo de prueba a las 12:30 horas, siendo el módulo con vegetación el que presenta menor temperatura.

Como puede observarse en la figura 12, es notable las temperaturas del aire que se logran alcanzar en el módulo testigo, siendo una temperatura que supera las temperaturas del ambiente exterior, esto debido al volumen del módulo y la orientación al sur que se colocó la

abertura, por tal motivo el módulo capta la radiación solar directa e indirecta influyendo en el aumento de las temperaturas del aire. Lo relevante es que el módulo con barrera vegetal se logra reducir hasta 6.5 °C en la temperatura del aire.

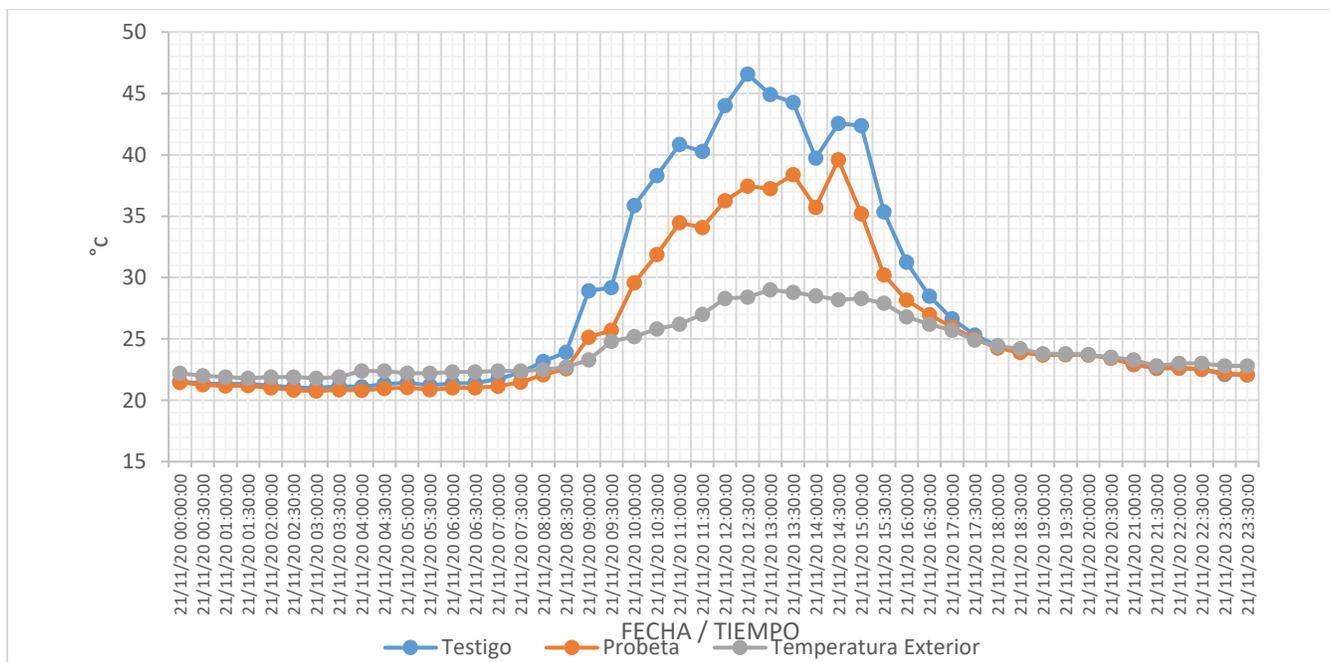


Figura 13. Comparación de resultados del experimento en el día seleccionado, el 21 de noviembre, de la semana 2. Se observa una diferencia de hasta 6.98°C entre el testigo y el módulo de prueba a las 12:30 horas, siendo el módulo con vegetación el que presenta menor temperatura.

En la figura 13, se observa que en el módulo con barrera vegetal, para este día se logró disminuir 6.8°C, cabe mencionar que se trabajaron con gráficas en días con condiciones de cielo despejado, aunque se puede notar que entre las

14 hrs y 15 hrs existió un poco de nubosidad. Esto fue para identificar bajo condiciones críticas el desempeño térmico en el módulo con la barrera vegetal.

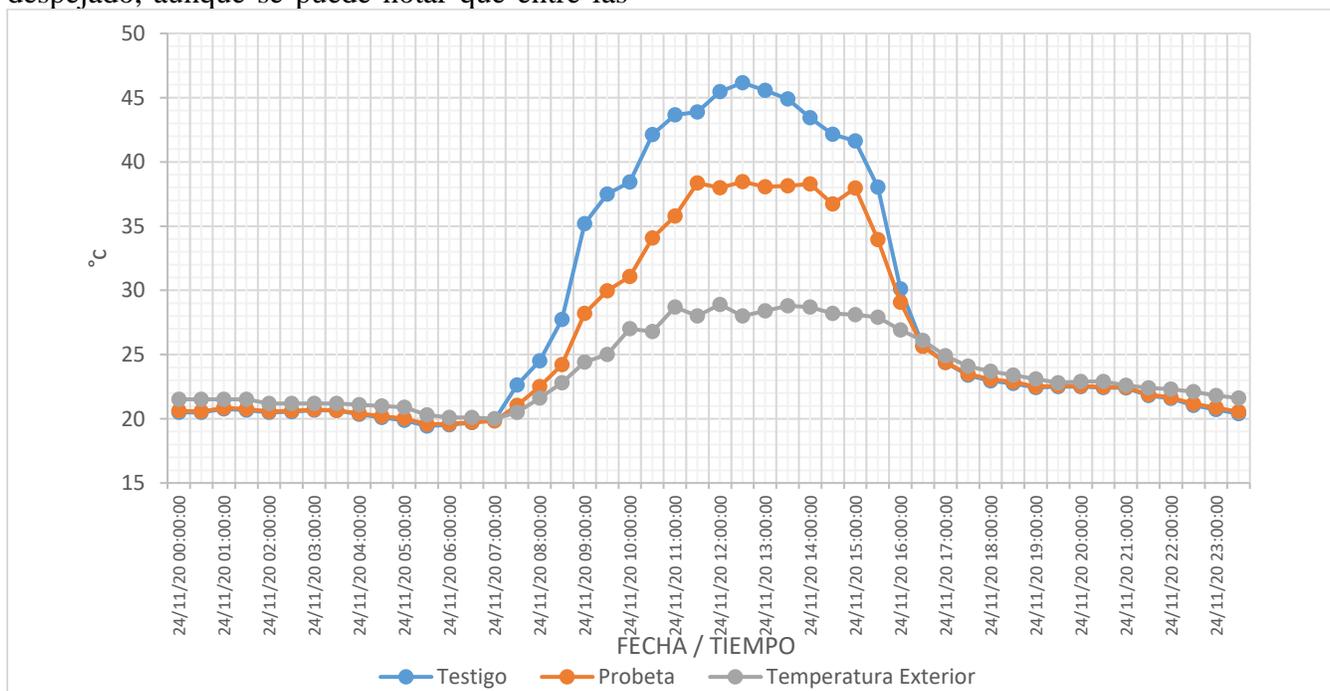


Figura 14. Comparación de resultados del experimento en el día seleccionado, el 24 de noviembre, de la semana 2. Se observa una diferencia de hasta 7.7°C entre el testigo y el módulo de prueba a las 12:30 horas, siendo el módulo con vegetación el que presenta menor temperatura.



En este caso de la figura 14, se observa que se logró disminuir hasta 7.7°C, en base a esto podemos ver que la barrera vegetal permite ser

una estrategia pasiva que reduce sustancialmente la ganancia por radiación solar directa e indirecta.

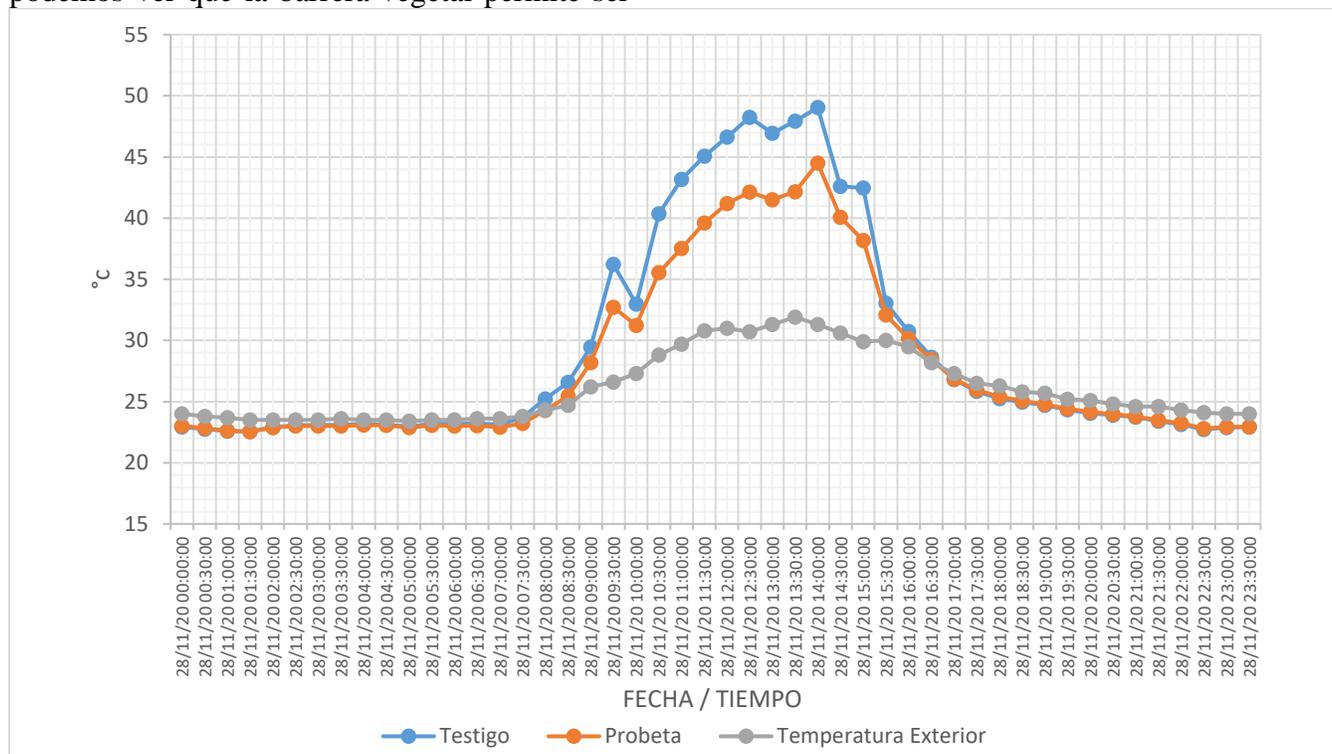


Figura 15. Comparación de resultados del experimento en el día seleccionado, el 28 de noviembre, de la semana 3. Se observa una diferencia de hasta 4.5°C entre el testigo y el módulo de prueba a las 14:00 horas, siendo el módulo con vegetación el que presenta menor temperatura.

En la figura 15 aprovechamos en mencionar cómo desde que empieza el amanecer, se observa que la temperatura del aire interior del módulo testigo comienza a elevarse con respecto al módulo testigo, esta es una de las razones que nos permitió inferir que la variable relevante es la

radiación solar directa e indirecta, ya que esta diferencia se aprecia sólo durante el día, mientras que en la noche las temperaturas del aire son idénticas entre el módulo testigo, el módulo con barrera vegetal y la temperatura exterior.

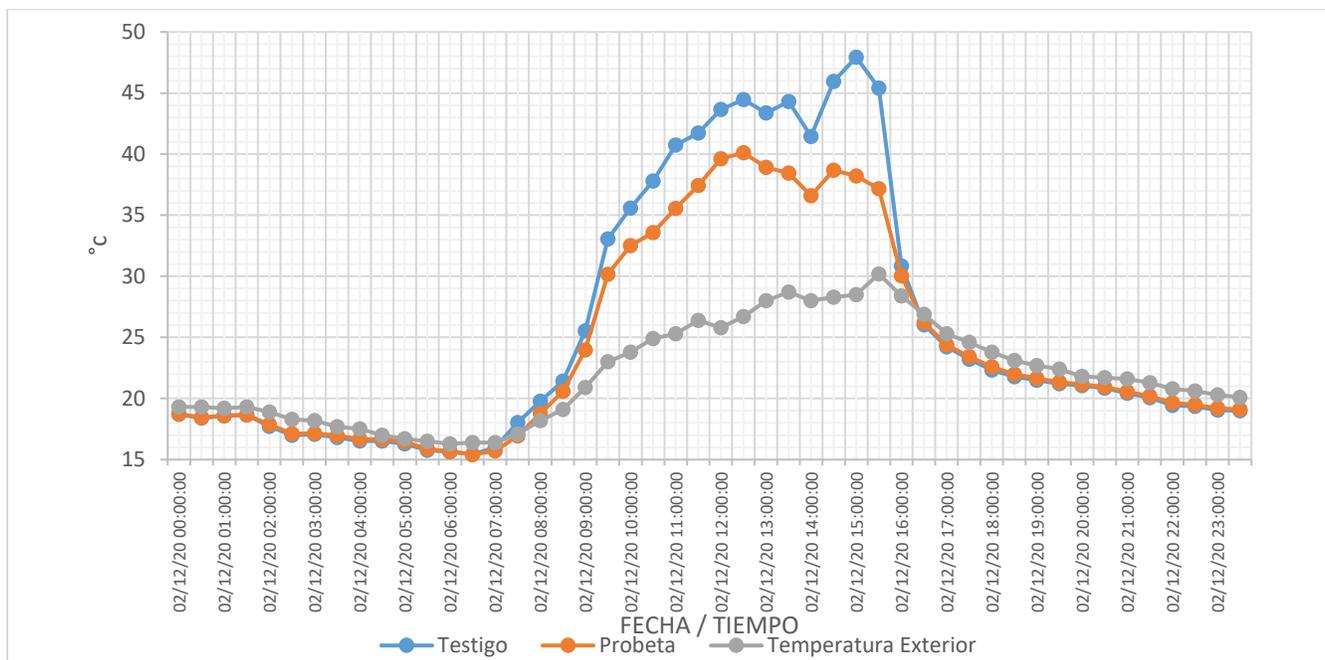


Figura 16. Comparación de resultados del experimento en el día seleccionado, el 2 de diciembre, de la semana 4. Se observa una diferencia de hasta 7.8°C entre el testigo y el módulo de prueba a las 15:00 horas, siendo el módulo con vegetación el que presenta menor temperatura.

A partir de las figuras presentadas se pueden observar las diferencias de temperatura entre ambos interiores de los días seleccionados, siendo el módulo de prueba con barrera vegetal la más beneficiada, con la disminución de temperatura del aire al interior, especialmente en las horas de mayor temperatura ambiental, entre las 12:00 y 15:00 horas.

3.2 Simulación

Con relación a la simulación, las temperaturas obtenidas al interior de la Zona Testigo fueron mayores que las de la Zona con Estrategia. En la tabla 5 se muestran las temperaturas máximas y mínimas al exterior y al interior de ambos módulos, durante el periodo total de simulación en correspondencia a la duración de la experimentación como se ha señalado anteriormente.

Tabla 5. Comparación de temperatura interior y exterior. Diferencia entre módulos imulados.

Temperatura	Tmin °C	Tprom.°C	Tmax. °C
Exterior	7.98	22.5	32
Módulo con Estrategia	7.4	26.7	47.13
Módulo Testigo	7.16	28.8	54.5

Se concluye que la diferencia entre las temperaturas ambiente exterior y los módulos se debe también a la radiación y el material simulado, lo que permitió alcanzar las temperaturas obtenidas; cabe resaltar sin embargo la aportación en la reducción de

temperatura en el módulo con la implementación de estrategia contra el testigo. Como los módulos no se encuentran con la superficie descubierta o cara abierta expuesta a los vientos dominantes, se produce un estancamiento, por lo que se deduce que las ganancias térmicas por radiación y



conducción en el poliestireno generan una convección interior.

seleccionaron los mismos días tenidos en cuenta en la etapa de la experimentación para un análisis más detallado, como se observa en la tabla 6.

A partir de los resultados de las temperaturas obtenidas en la experimentación, se

Tabla 6. Comparación de resultados de la simulación en temperaturas máximas obtenidas por semana.

		ZONA ESTRATEGIA			ZONA TESTIGO			Diferencia de temperaturas máximas
		Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	
SEMANA 1 10/11/2020 17/11/2020	10/11/2020	17.0729821	26.0977779	42.7110974	16.8896071	28.2299597	49.5321047	6.821007274
	11/11/2020	16.6210694	26.3411132	41.0270796	16.4774809	28.3961391	47.1933622	6.166282598
	12/11/2020	14.6478872	25.3944852	39.4348106	14.4466427	27.4421889	45.9923928	6.55758217
	13/11/2020	17.4044182	26.1805299	40.8072274	17.2283255	27.6846841	47.3425474	6.535320008
	14/11/2020	19.1886963	24.9571352	36.2908113	19.0344405	25.7795686	39.6467146	3.355903284
	15/11/2020	19.2267357	27.549929	41.9316966	19.0763994	29.3841936	48.5080282	6.576331648
	16/11/2020	17.6427613	26.8699124	43.4951379	17.5065028	28.7324985	50.2272374	6.732099459
SEMANA 2 18/11/2020 24/11/2020	17/11/2020	13.8654072	25.9902331	43.9609819	13.8098445	28.2690891	51.0062811	7.045299169
	18/11/2020	14.3498193	26.6564358	44.9594123	14.1514418	29.1599701	52.163517	7.204104742
	19/11/2020	18.0860486	27.2443635	41.136466	17.9139036	29.3242473	48.4320776	7.295611619
	20/11/2020	17.6720177	27.9269592	44.4148619	17.5249074	30.3816547	52.0698592	7.654997296
	21/11/2020	17.5250262	28.3610921	45.5790826	17.3356669	30.7845891	52.8090857	7.230003083
	22/11/2020	18.23087	28.7583778	45.3399448	18.0550436	31.1881387	52.9989818	7.659037071
	23/11/2020	18.0374772	27.0421128	41.3009489	17.8610944	28.7868665	47.6447527	6.343803724
SEMANA 3 25/11/2020 01/12/2020	24/11/2020	18.1165247	29.37328	45.7600502	17.9644731	31.8647992	52.8868754	7.126825247
	25/11/2020	18.111622	29.5726014	47.1295867	17.9344209	32.0403427	54.3176703	7.188083567
	26/11/2020	18.9920269	29.1156089	45.6418698	18.8368482	31.4967315	52.792771	7.150901161
	27/11/2020	18.9092505	28.347426	44.2242939	18.7364555	30.4537236	51.6547378	7.430443907
	28/11/2020	18.4950507	26.2361462	41.4022435	18.3683491	27.6547008	48.2277491	6.825505639
	29/11/2020	19.5517718	28.7727235	45.2890677	19.3862909	31.1002194	53.1631085	7.874040815
	30/11/2020	16.2226332	27.7692477	44.8538589	16.1320919	30.224213	52.4892541	7.635395232
SEMANA 4 02/12/2020 08/12/2020	01/12/2020	11.2107981	23.93982	43.5389008	11.0169605	26.4974811	51.5428354	8.003934585
	02/12/2020	7.36719958	19.7326884	39.9020179	7.15598255	21.6377955	47.645981	7.743963096
	03/12/2020	18.915789	28.6282006	42.56938	18.7413169	31.1629894	50.7973356	8.227955629
	04/12/2020	17.2868276	28.0237526	45.5451513	17.1094246	30.5401704	53.5499403	8.004788966
	05/12/2020	8.57582287	24.0820792	46.5405095	8.33658106	26.565221	54.4726823	7.932172786
	06/12/2020	14.5153154	28.3076955	42.3835161	14.2890839	30.6749144	50.5135237	8.130007561
	07/12/2020	16.7945199	22.6786229	37.2217932	16.6732954	23.5495482	42.9008095	5.679016304
08/12/2020	13.1991757	22.858249	39.6135267	13.0414635	25.0304211	47.8435419	8.230015153	



La diferencia en las máximas temperaturas en general entre los módulos es de 7°C (tabla 5), 5°C más en relación con la experimentación, resaltando ese promedio durante todo el periodo.

En la tabla 7 se puede observar las diferencias de temperaturas en los días seleccionados, entra la experimentación y la simulación.

Tabla 7. Comparación de la diferencia entre las temperaturas de la experimentación y la simulación.

Fecha	Experimentación	Simulación
12 Noviembre 2020	6.48°C	6.56°C
21 Noviembre 2020	6.98°C	7.23°C
24 Noviembre 2020	7.71°C	7.13°C
28 Noviembre 2020	4.5°C	6.82°C
02 Diciembre 2020	7.83°C	7.74°C

4. Conclusiones

El sistema de barrera vegetal con la especie *Cissus*, se pudo demostrar que contribuye a la disminución de temperaturas interiores, y puede ser utilizada como estrategia pasiva para mejorar el confort térmico de los espacios por sombreado vertical. Se identificó que el mayor factor que permite el mejoramiento térmico al interior, es la reducción de ganancias de radiación directa debido a la filtración por las hojas, además que bien es sabido, por las características propias de una planta, no transmite el flujo de calor que ellas reciben.

La experimentación fue uno de los elementos importantes a considerar para ver las diferencias que podían resultar de una simulación térmica con respecto a una experimentación física, considerando una superficie sombreada del 80 % en ambos casos, resultando en valores similares a favor de la disminución de las temperaturas interiores de los módulos.

En el monitoreo experimental nos permitió observar que la barrera vegetal permitió disminuir en algunos casos hasta 7.8 °C menor que el módulo testigo, y que la radiación solar directa e indirecta fue el principal factor que la barrera vegetal mitigó, evitando ganancias de calor interior de módulo con barrera vegetal, como se menciona en los comentarios de la figura 15. Por lo tanto, se concluye que en climas cálidos la implementación de barreras vegetales permite mejorar las condiciones de temperatura interior, siendo una estrategia factible para las condiciones climáticas experimentadas.

5. Agradecimientos

A la Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AMEXCID).

A la Facultad de Arquitectura. Universidad Autónoma de Chiapas.

Al Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables, sede Tuxtla Gutiérrez.



6. Agradecimiento de autoría

Carmina Elizabeth Dominguez Cicorio: Conceptualización; Ideas; Metodología; Recursos; Análisis formal; Investigación; Análisis de datos; Borrador original; Escritura; Revisión y edición; Administración de proyecto.

Luis Aarón García Solórzano: Conceptualización; Ideas; Metodología; Análisis formal; Análisis de datos; Revisión y edición.

Raúl Pavel Ruíz Torres: Conceptualización; Ideas; Metodología; Análisis formal; Investigación; Análisis de datos; Recursos; Escritura; Revisión y edición; Administración de proyecto; Supervisión.

Referencias

[1] R. Sola Nadal, “*Acciones locales frente a los retos del cambio climático en España: Objetivos globales, soluciones locales*”, Publicacions Universitat Rovira I Virgili, 2019. <https://doi.org/10.17345/9788484247821>

[2] L. A. Vargas Robles “Percepción del ambiente térmico en espacios de transición de clima cálido seco”, Tesis doctoral, Universidad de Colima, Facultad de arquitectura y diseño, 2016.

[3] L. Peña Barrera, “*Diseño Bioclimático*”, Primera edición, Ciudad Juárez, Chihuahua, México: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, 2015.

[4] S. Hernández, “*La sustentabilidad en la enseñanza de la arquitectura en México*”, México, Revista La Colmena, [S.l.], n. 59, p. 107-113, oct. 2017. ISSN 2448-6302. Disponible en:

<<https://lacolmena.uaemex.mx/article/view/5989>.

[5] M. E. Sosa y G. Siem, “*Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico*”, Ediciones FAU UCV, Caracas, Venezuela, 2012.

[6] E. T. Haro Carbajal, “Comportamiento de dos tipos de cubiertas vegetales, como dispositivos de climatización, para climas cálidos sub-húmedos,” Tesis de maestría, Universidad de Colima, Facultad de arquitectura y diseño, 2009.

[7] E. F. Villegas Gutiérrez, “*Estudio experimental con dispositivos de sobrecubierta como estrategia de control solar para un clima cálido sub-húmedo*,” Colima, Universidad de Colima, 2015.

[8] L. Fajardo, “*Desempeño costo – beneficio de dos sistemas pasivos de climatización en cubiertas para climas cálidos – sub húmedo*,” Caso Coquimatlán, Colima. Tesis para obtener el grado de Maestro en Arquitectura. Colima, México, 2005.

[9] A. Beltrán-Melgarejo, M. Vargas-Mendoza, A. Pérez-Vázquez y J. García-Albarado, “*Confort térmico de techos verdes con Cissus verticillata (Vitaceae) en viviendas rurales tropicales*,” Revista mexicana de ciencias agrícolas, 5(spe9), 1551-1560. <https://dx.doi.org/10.29312/remexca.v0i9.1047>, 2014.

[10] J. Cárdenas, G. Osma y G. Ordóñez “*Herramienta metodológica para la evaluación energética mediante simulación de edificaciones en el trópico*,” Rev. UIS Ing., vol. 18, no. 2, pp. 259-268, 2019. doi: <https://doi.org/10.18273/revuin.v18n2-2019024>.

[11] E. Orlando y L. Berkeley, “EnergyPlus Testing with ANSI/ASHRAE Standard 140-2001 (BESTEST),” *Environ. Res.*, vol. 2001, no. May, 2003.

[12] J. M. Casas Arredondo, “*Simulación térmica de edificaciones con Energy Plus y Ener-Hábitat: Análisis de la interacción entre los componentes de la envolvente*,” Tesis para optar por el grado de Maestría en Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Temixco, Morelos, 2014.

[13] A. Flores Condori, “*Simulación del desempeño térmico en viviendas altoandinas sostenibles con climatización pasiva en la*



provincia de El Collao,” Tesis, Universidad Nacional del Altiplano, Escuela de Posgrado, Puno, Perú, 2018.

[14] V. A. Fuentes Freixanet, “*Mapas bioclimáticos de la República Mexicana,*” Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco. División de Ciencias y Artes para el Diseño. México D.F., 2014.

[15] E.M. González Cruz, “*Selección de materiales en la concepción arquitectónica*

bioclimática,” Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Diseño (IFAD) Universidad del Zulia 4011-A-526 Maracaibo, Venezuela.

[16] (CONAVI) Comisión Nacional de Vivienda. “*Código de Edificación de Vivienda,*” 3ra. Edición, 2017.



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato — y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia - Texto completo de la licencia](#)