

Diseño y construcción de dos prototipos de techos verdes y techo plano para el análisis comparativo de temperatura y humedad en Progreso Yucatán

Jordy Jose Alvarado-Pacheco*, Francisco Gilberto Herrera-Chalé y Erika Haydeé Rubio-Cámara

Tecnológico Nacional de México Campus Progreso, Boulevard Víctor Manuel Cervera Pacheco s/n X 62, Progreso 97320, Yucatán, México

* Autor de correspondencia: jordyalvaradopacheco@gmail.com; Tel.: (52-9993-78-51-84)

Desarrollo sustentable (Bioconstrucción).

Resumen: Los techos verdes, son jardines o huertos pequeños que se adaptan en los techos de casas, empresas, comercios y edificios, con el propósito de reducir la temperatura y la humedad al interior del lugar. Entre los beneficios que aporta la implementación de los techos verdes esta la disminución del dióxido de carbono, crear microambientes de insectos y pájaros pequeños, disminuir el consumo energético y reducir el efecto de isla de calor de las ciudades. En esta investigación se realizó el diseño y simulación de una casa con un cuarto en el software SolidWorks. Asimismo, se construyeron 2 prototipos de casas a escala 1:10 y se instrumentó con sensores de humedad y temperatura (Dht11), para hacer la comparación de las variables de temperatura y humedad con la implementación de un techo verde extensivo, techo plano de concreto y un techo verde modular, tomando los datos cada 5 minutos durante el mes de mayo. Los tres modelos utilizados se instalaron en la parte posterior del taller de energías renovables del TecNM Campus Progreso para comparar la temperatura y humedad de los modelos en condiciones ambientales. El prototipo de techo verde extensivo y modular alcanzaron una reducción del 17.85 y 10.90 % de temperatura con respecto al prototipo de techo plano de concreto y una reducción del 8.64 % con respecto a la temperatura media exterior del mes de mayo en el municipio de Progreso Yucatán. El confort térmico no se puede lograr simplemente implementando un techo verde bajo las condiciones ambientales prevaletientes en el verano en el estado de Yucatán, ya que se requiere el uso de aparatos mecánicos de ventilación para lograr el confort térmico de los ocupantes, sin embargo, la implementación de estos permite reducir la necesidad de aires acondicionados y contribuir al desarrollo de investigación de esta tecnología.

Palabras clave: Techo verde; Temperatura; Humedad.

Design and construction of two prototypes of green roofs and flat roof for the comparative analysis of temperature and humidity in Progreso Yucatán

Abstract: Green roofs are small gardens or orchards that are adapted on the roofs of houses, companies, businesses and buildings, with the purpose of reducing the temperature and humidity inside the place. Among the benefits of implementing green roofs is the reduction of carbon dioxide, creating microenvironments for insects and small birds, reducing energy consumption and reducing the heat island effect of cities. In this research, the design and simulation of a house with a room was carried out in SolidWorks software. Also, 2 prototypes of houses were built at 1:10 scale and instrumented with humidity and temperature sensors (Dht11), to compare the temperature and humidity variables with the implementation of an extensive green roof, a flat concrete roof and a modular green roof, taking data every 5 minutes during the month of May. The three models used were installed at the back of the renewable energy workshop of the TecNM Campus Progreso to compare the temperature and humidity of the models under ambient conditions. The extensive and modular green roof prototype achieved a reduction of 17.85 and 10.90 % of temperature with respect to the flat concrete roof prototype and a reduction of 8.64 % with respect to the average outdoor temperature for the month of May in the municipality of Progreso Yucatan. Thermal comfort cannot be achieved simply by implementing a green roof under the environmental conditions prevailing in the summer in the state of Yucatan, since the use of mechanical ventilation devices is required to achieve thermal comfort of the occupants, however, the implementation of these allows reducing the need for air conditioners and contributing to the development of research on this technology.

Keywords: Green roof; Temperature; Humidity.

Introducción

La urbanización y el cambio climático están estrechamente relacionados. En la actualidad, más de la mitad de la población mundial vive en ciudades. En los próximos 40 años, se prevé que la población urbana mundial aumente en más de tres mil millones de personas (Buettner, 2015). Esto casi duplicará la población urbana actual y conducirá a cambios masivos en el uso de la tierra en y alrededor de los asentamientos urbanos actuales. Se espera que las áreas urbanas aumenten en un 250 % y cubren aproximadamente un millón de kilómetros cuadrados para 2030 (Angel et al.,

2005). Esto corresponde al desarrollo de más de cuatro hectáreas de tierra urbana nueva cada minuto en los próximos 20 años. Se espera que el noventa por ciento de la expansión urbana futura tenga lugar en Asia y África. La nueva urbanización es principalmente un problema en los países en desarrollo, mientras que entre el 70 y 90 % de la población del mundo desarrollado vive en asentamientos urbanos. Por lo tanto, la mitigación y adaptación al cambio climático es un tema igualmente importante tanto en el mundo desarrollado como en el mundo en desarrollo (Brenneisen et al., 2013). De ahí que nace la necesidad de reestablecer un balance ecosistémico en zonas interrumpidas por el crecimiento poblacional y su expansión inmobiliaria ha favorecido la adopción de techos verdes como una alternativa sostenible, que contribuye a la eficiencia energética en edificaciones. En los últimos años la aplicación de techos verdes ha incrementado gracias a los beneficios económicos y ambientales que brindan (Ziogou et al., 2018).

El entendimiento del efecto del cambio climático en las ciudades requiere un conocimiento, no sólo de los escenarios climáticos y las condiciones meteorológicas que van marcando el día a día en el medio urbano en el futuro, sino también la comprensión y ponderación de cada uno de los agentes que lo conforman como: la arquitectura, los materiales, las fuentes de calor, los factores antrópicos y la vegetación.

De igual forma en la actualidad el fenómeno “Isla de calor”, que es producido como resultado del aumento del flujo de calor sensible desde la superficie de la tierra a la atmósfera en las ciudades y su entorno próximo, especialmente durante el periodo nocturno. Este fenómeno se ve continuamente incrementado por la sustitución masiva de áreas de vegetación por edificios y superficies impermeables (Villanueva y Ranfla, 2012; Köhler y Andrew, 2013), que absorben el calor durante el día y lo devuelven en forma de radiación infrarroja durante la noche sin permitir el enfriamiento nocturno que regula térmicamente el ecosistema urbano (Córdova, 2011). También este efecto impacta severamente no solo el confort térmico de los habitantes de las ciudades, sino además en la demanda de electricidad para refrigeración en los edificios que se ve incrementada. (Robert, 2001).

Los edificios son la causa del 40 % del consumo energético en los países desarrollados y, en consecuencia, del 40 % de las emisiones de carbono (Seweryn y Collante, 2012), estas cifras se ven aumentadas a causa de la contribución cada vez mayor del sector inmobiliario que tiene una mayor demanda de refrigeración para mantener el confort térmico en este escenario de calentamiento. Aunado a esto en el estado de Yucatán predomina el clima BS (seco o árido) y el AW (cálido subhúmedo) de la clasificación de Koppen (Canto, 1997), por lo que la mayor parte del año se cuenta en condiciones de alta temperatura y humedad relativa. Por su latitud, y debido a que las construcciones usualmente cuentan con techos casi planos, la ganancia de calor en los edificios se da a través del techo y los muros sur y poniente, lo cual lleva a invertir importantes cantidades de energía para el confort térmico de los usuarios (Ordóñez-López y Pérez-Sánchez, 2015).

Los techos verdes, azoteas naturadas, cubiertas ajardinadas o ecológicas son sistemas que han sido utilizados a lo largo de muchos años en numerosas regiones del planeta tanto para fines ornamentales, como de ahorro de energía, amortiguamiento de la escorrentía de agua, cumplimiento con la normatividad en cuanto al porcentaje de áreas verdes (Fernández-Cañero y Emilsson, 2008), contribuir a la disminución de los gases de efecto invernadero, así como la creación de espacios para especies de insectos y aves pequeñas. De ahí la importancia de la implementación de los techos verdes ya que traen consigo muchos beneficios, principalmente para las zonas urbanas (Getter y Rowe, 2006).

En la actualidad existe muchas investigaciones sobre la implantación de esta tecnología en lugares en que las condiciones ambientales son distintas a las que prevalecen en la Península de Yucatán. Aunque existen algunos trabajos realizados en climas similares al de esta región, es notable la necesidad de realizar estudios más profundos y adquirir experiencias en cuanto a la aplicación de los techos verdes como un medio para reducir el flujo del calor causado por la radiación solar, hacia el interior de las edificaciones en el Estado de Yucatán (Ordóñez-López et al., 2012). Por lo tanto, este trabajo de investigación consiste en la implementación de 2 prototipos de techos verdes (extensivo y móvil), con la finalidad de hacer una comparación de pérdida de temperatura en los dos modelos y compararlo con un modelo de techo común (concreto), estos se pondrán a la intemperie, para registrar los datos de temperatura y humedad que nos proporcione una comparación de los 2 modelos elegidos, para posteriormente mostrar los beneficios que conlleva el implementar techos verdes en el estado de Yucatán.

Materiales y Métodos

El presente trabajo consiste en una investigación experimental, ya que se trata de diseñar o replicar un fenómeno cuyas variables son manipuladas en condiciones controladas. Al igual que este proyecto fue construido para generar conocimientos que se pueden poner en práctica con el fin de impulsar impacto en la vida cotidiana. Este trabajo se divide en dos fases experimentales: la fase de diseño y análisis del prototipo y la fase de construcción e instrumentación.

Fase de diseño y análisis del prototipo

Se realizó el proyecto en el laboratorio de cómputo y taller de energías renovables del Instituto Tecnológico Superior Progreso, en donde primero se hizo el diseño del prototipo a escala 1:10 tomando como referencia un cuarto de dimensiones de 3 x 4 x 4m, en el software SolidWorks para poder implementar el techo verde y los sensores para su respectivo análisis (Machado et al., 2020). En la Figura 1 se observa las vistas del prototipo con sus respectivas medidas, y el prototipo propuesto en 3D Y 2D.

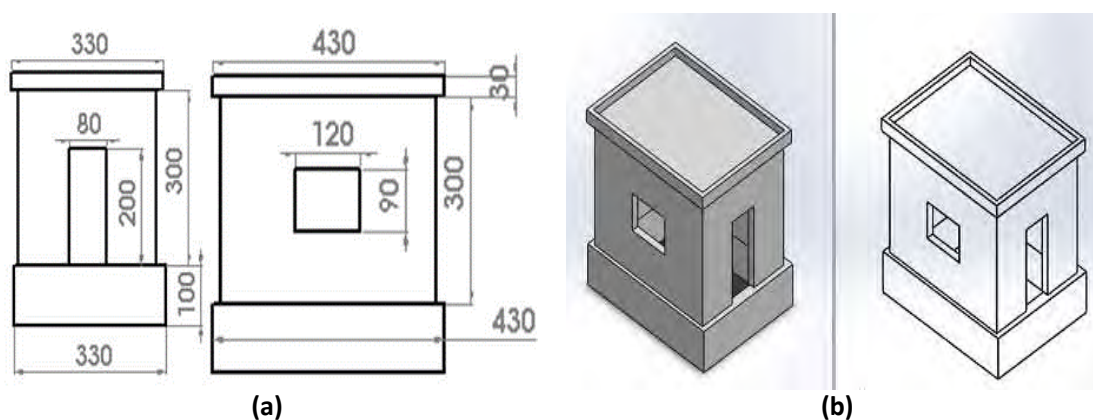


Figura 1. Diseño realizado en el software SolidWorks: (a) vista lateral derecha y frontal en milímetros y (b) diseño del prototipo en 3D.

Se efectuó el análisis de resistencia del techo, ya que Kóhler y Clements en su trabajo Green Roofs, Ecological Functions (2003) mencionan que, para techos verdes de tipo extensivo la fuerza que debe de soportar la estructura del techo debe de ser 40 kg/m^2 debido a todas las subcapas que lleva este tipo de techo. Para el análisis se utilizó el programa SolidWorks, se empleó una fuerza de (40kg/m^2), para techos extensivos, en la parte del techo se marcan los siguientes colores rojos, amarillo verde, azul claro y azul fuerte, esto se refiere que en las partes de color rojo sería la parte afectada o en donde podría haber una deformación, por lo tanto se realizó el análisis de tensiones y deformación para garantizar que el diseño del prototipo sea capaz de resistir la fuerza que ejerce el implementar un techo verde, en la Figura 2 se observa los análisis efectuados.

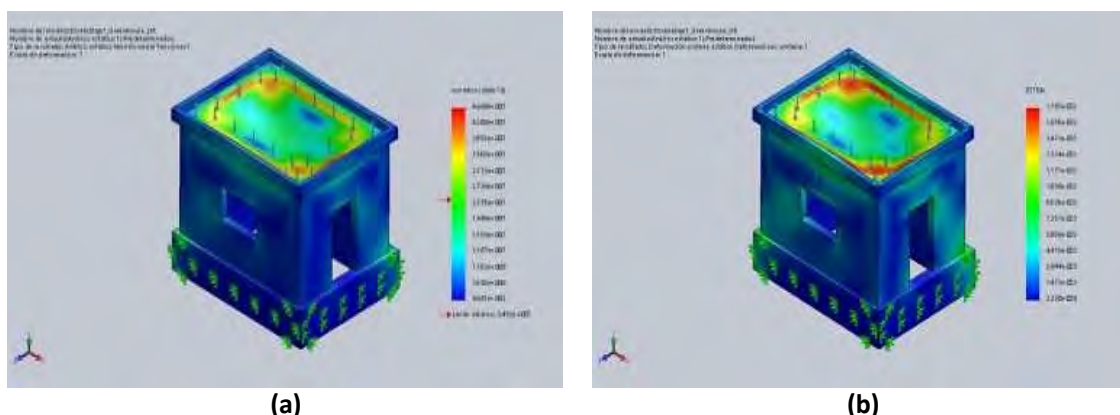


Figura 2. Análisis realizados en SolidWorks: (a) análisis estático de tensiones y (b) análisis estático de deformación unitario.

Fase de construcción e instrumentación

Para la construcción de los dos prototipos, primero se diseñó e imprimió el molde de los bloques de 2 x 4 cm y 3 x 6 cm, que fueron hechos con cemento y polvo, para poder realizar las paredes de la casa. De igual manera se construyó la base para el cimientado de la casa de cimbraplay 33 x 44 cm, como se visualiza en la figura 3. Se instaló mallas de gallinero adentro de la base, después se realizó la mezcla de cemento y polvo para rellenar la base de triplay para el cimientado, dejando secar por un día, después de tener el cimientado ya listo, se hicieron los cuatro castillos para refuerzo del techo de la casa poniendo cuatro varillas de hierro y alambre, para hacer un castillo armex, que luego se coloca una base de madera a los lados del castillo para después poder colarlo repitiendo este proceso 3 veces más, como se observa en la figura 4.



Figura 3: Molde de bloques de cemento y polvo, para construcción de las paredes del prototipo y base para el cimientado.



Figura 4. Construcción de los cuatro castillos para soporte del techo del prototipo.

Teniendo listos los cuatro castillos, se procedió a realizar las paredes del prototipo de la casa, pegando los bloques de forma horizontal, con cemento, poniendo uno encima de otro hasta tener la pared, de igual forma dejamos secar por cuatro horas, en las paredes laterales dejamos el espacio donde irán las ventanas poniendo un marco de madera para que no se ocupe el espacio, en la vista frontal se le dejó igual el espacio con un marco de madera para dejar libre el espacio donde irá la puerta, después se le dio un revoque fino para que mejorar la estética de la casa. Terminado las paredes del prototipo de la casa y el cimientado, se continuó con la construcción del techo, donde primero se realizó el armado del marco de triplay para poder realizar el colado del techo posterior a eso se procedió a colocar alambres con la finalidad que el techo tenga una mayor resistencia. Por último, se realizó la preparación de la mezcla de polvo, grava y cemento cris para colocarlo sobre la estructura que formara el techo del prototipo. Igualmente se pegaron bloques alrededor del techo para dejar un espacio para colocar las capas que lleva los modelos de techos verdes. En la Figura 5 se observa el proceso antes descrito.

Al concluir la construcción del techo se pintó de color blanco, la puerta de color café, la casa de color azul y se colocaron las ventanas de vidrio de 4 mm de espesor. Posteriormente para la implementación de las capas del prototipo de techo verde extensivo se incorporaron las siguientes capas: capa vegetal, capa de sustrato, laminas antirraiz, manta protectora, capa drenante, capa filtrante soporte (estructura del techo). Asimismo, para el prototipo de techo verde

modular se implementaron 8 macetas con cuatro capas: capa vegetal, sustrato, capa filtrante y soporte (Beltrán-Melgarejo et al., 2014).En la figura 6 se observa las capas utilizadas para el prototipo de techo verde extensivo.



Figura 5. Etapas de la construcción del techo del prototipo.



Figura 6. Capas del techo verde extensivo (Ramón, 2018).

Ordóñez-López et al. (2012) menciona que “Las especies originarias de la flora silvestre del Estado de Yucatán son: *Portulaca pilosa*, *Portulaca rubricaulis*, *Tradescantia bicolor* y *Comelina repens*”. También menciona “las especies ornamentales que se pueden conseguir fácilmente en viveros en Mérida Yucatán son: *Briophyllum pinnatum*, *Portulaca grandiflora*, *Portulaca umbraticola*, *Aptenia cordifolia*, *Kalanchoe fedtschenkoi purple*, *Kalanchoe gastonis bonnierii*, *Kalanchoe daigremontiana* y *Kalanchoe thyrsiflora*”. Por esta razón la vegetación utilizada para el prototipo de techo verde modular fue: *portulaca pilosa* (Flor Diez del Día) y *Aptenia cordifolia*. Para el prototipo de techo verde extensivo se usó como capa vegetal *Miscanthus Sinensis* (césped chino) y el sustrato estaba compuesto por composta y humus de lombriz californiana (Sánchez, 2012). Igualmente, para la instrumentación de los prototipos se utilizaron 2 sensores de temperatura y humedad (Dht11), Arduino uno, 2 interruptores, modulo lector sd, bomba sumergible, relevadores, display lcd (20x4), cables, relevador, etc. Se implementó el sistema (datalogger) en cada uno de los prototipos, al igual que se implementó un sistema de riego para el techo extensivo, se usó el software Arduino para realizar el programa y guardar las variables de temperatura y humedad cada 5 minutos en un periodo de tiempo de nueve de la mañana a 5 de la tarde para hacer la comparación de qué tipo de techo reduce más la temperatura y la humedad. Del mismo modo se usó el programa Fritzing para hacer el circuito electrónico y posteriormente hacer el montaje de este en placa para mejorar su funcionamiento.

Resultados y Discusión

Se concluyó la construcción de los tres prototipos, uno con la implementación del techo verde de tipo extensivo con su sistema de riego por aspersores, el techo verde modular y el techo plano de concreto. También se instalaron los tres modelos al ambiente ubicándolo en la parte trasera del taller de energías renovables del TecNM Campus Progreso, en un periodo de tiempo de 9:00 am a 5:00 pm durante 28 días en el mes de mayo. De igual manera se guardaron los datos obtenidos en una memoria micro Sd para posteriormente comparar los datos de humedad y temperatura entre los modelos como se observa en la Figura 6. Además, en la Figura 7 se observa el circuito eléctrico utilizado para la instrumentación, que permitió el análisis comparativo de temperatura y humedad en los prototipos en condiciones

ambientales. En la Figura 8 se observa la caja de control donde se almacenan los datos, se controla el sistema de riego, y se puede ver en tiempo real la variación de temperatura y humedad de los modelos propuestos.



Figura 6. Prototipos utilizados para la investigación: techo plano convencional, techo verde extensivo y techo verde modular ubicados en el taller de energías renovables del TecNM Campus Progreso.

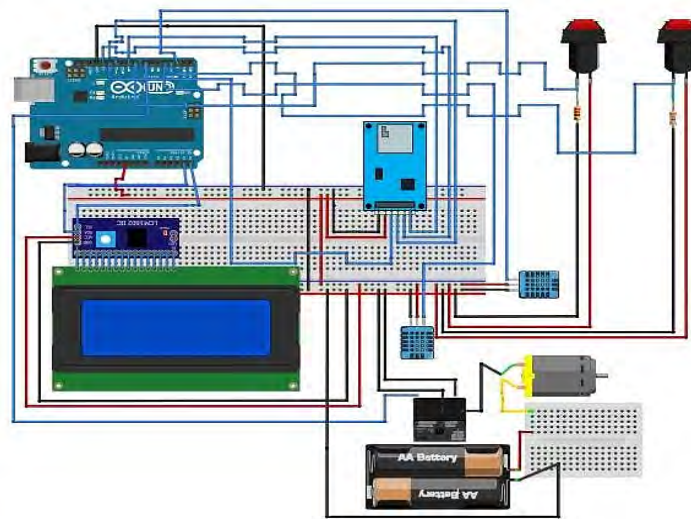


Figura 7. Diseño del sistema de control elaborado en el programa Fritzing.



Figura 8. Caja de control del circuito electrónico.

En la Tabla 1 se aprecia los datos estadísticos derivados del análisis de cada 5 minutos de los tres prototipos utilizados para la comparación de la temperatura y humedad en condiciones ambientales, para comprobar si lo que dice la literatura que se reduce la temperatura y la humedad de los techos verdes en comparación con un techo convencional que por el contrario gana mayor temperatura por el material del que este hecho.

Los resultados obtenidos de la comparación tanto de temperatura y humedad de los diferentes modelos como se observa en las Figuras 9 y 10. El prototipo de techo verde extensivo en promedio obtuvo una temperatura de 26.22 °C y 59 % de humedad, el techo plano de concreto 31.92 °C y 80 % de humedad y el techo verde modular una temperatura de 29.33 °C y 77 % de humedad, esto nos indica que la temperatura de la casa donde se implementó el techo verde extensivo es la más eficiente como aislante térmico e incluso reduce la humedad del interior del recinto.

Tabla 1. Datos estadísticos de la temperatura y humedad de los tres prototipos utilizados, usando como comparador el techo plano convencional que utilizan las viviendas de Progreso Yucatán.

| <i>Techo verde extensivo</i> | | | | |
|------------------------------|-------|---------|------|---------------------|
| Variable | Media | Mediana | Moda | Desviación estándar |
| Humedad (%) | 59 | 61 | 69 | 0.0989 |
| Temperatura (°C) | 26.22 | 28.30 | 30.1 | 3.9075 |
| <i>Techo plano</i> | | | | |
| Humedad (%) | 80 | 81 | 81 | 0.0572 |
| Temperatura (°C) | 31.92 | 31.4 | 34.9 | 4.9774 |
| <i>Techo verde modular</i> | | | | |
| Humedad (%) | 77 | 79 | 82 | 0.0572 |
| Temperatura (°C) | 29.33 | 31.4 | 34.9 | 4.9774 |



Figura 9. Datos de comparación de la humedad entre los tres tipos de modelos implementados donde: HumC1 es “techo verde extensivo”, HumC2 “techo plano” y HumC3 “techo verde modular”.

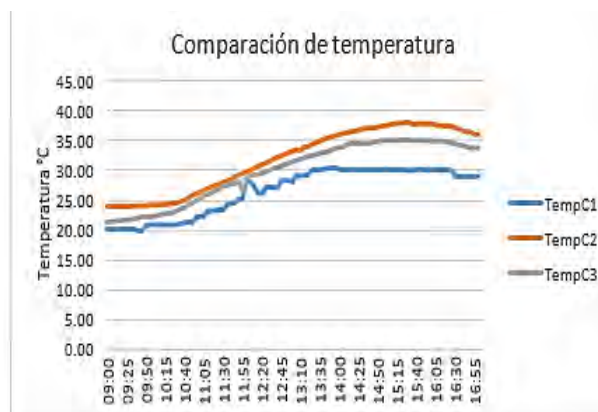


Figura 10. Datos de comparación de la temperatura en Grados Celsius entre los tres tipos de modelos implementados donde: TempC1 es “techo verde extensivo”, TempC2 “techo plano” y TempC3 “techo verde modular”.

La temperatura media y humedad al interior de los prototipos de viviendas bajo estudio, evaluadas en el mes de mayo en el municipio de Progreso Yucatán fue significativamente mayor en los dos prototipos de techos verdes, que en aquella con techo plano de concreto. Esto es un indicador de que los prototipos de techos verdes propuestos efectivamente mitigaron la carga térmica de los techos utilizados. Las reducciones de temperaturas en los prototipos de techo verde extensivo y modular fueron de 5.7 y 2.59 °C respectivamente con respecto al prototipo de techo plano de concreto y una disminución de 2.48 °C con respecto a la temperatura media exterior de Progreso Yucatán. Esos resultados son mayores a los reportados por Rosatto et al. (2016) en su trabajo realizado en Buenos Aires Argentina sobre la regulación térmica utilizando cubiertas vegetadas extensivas con sistema de riego en donde obtuvo una reducción de temperatura de 3.3 °C con respecto al techo de concreto. Asimismo, Abraham-Beltrán et al. (2014)

reporto una reducción de temperatura de 3.4 y 4.5 °C utilizando prototipos casa-habitación de 4x4x3 m, donde se implementó el techo verde modular, techo extensivo y techo de concreto en un clima seco-subhúmedo, estos resultados son similares a los obtenidos en este estudio, pero con mayor disminución de temperatura en el prototipo de techo extensivo utilizado en esta investigación. Al igual que las reducciones de temperatura reportadas fueron menores a Alpuche et al. (2010) en su trabajo “Análisis térmico de viviendas económicas en México utilizando techos verdes” realizó la comparación entre dos casas de 43m² en donde se implementó un techo extensivo y en otra de concreto reportando una disminución de temperatura de 6°C con respecto a la casa de concreto, el estudio se llevó a cabo en Hermosillo Sonora durante un año. El National Research Council of Canada realizó un estudio de 2 años de duración en el que se comparan los efectos sobre la temperatura interior de una edificación, encontrando que el uso del techo verde extensivo en promedio logró reducir la temperatura en 5°C en comparación con un techo con impermeabilizante claro. Del mismo modo este resultado es menor a lo reportado en nuestro trabajo utilizando el techo extensivo con cubierta vegetal (pasto chino). Otro rasgo de esta investigación es que las plantas utilizadas en la capa vegetal para este estudio resistieron las condiciones ambientales del puerto de Progreso Yucatán, por lo tanto, la portulaca pilosa (Flor Diez del Día), *Aptenia cordifolia* y *Miscanthus Sinensis* son una buena opción para implementar en los techos verdes. Los resultados obtenidos de este estudio sugieren que la implementación techos verdes en el puerto de Progreso y en general en la península de Yucatán, contribuiría a la disminución de la temperatura al interior del recinto y a su vez permitiría poder generar pequeños ecosistemas de plantas, insectos, reducir el consumo de aires acondicionados y disminuir la huella de carbono.

Como seguimiento de esta investigación se plantea realizar el estudio de un año con los tres prototipos para tener un estudio más preciso de la temperatura y humedad, al igual que ir variando la vegetación que se utilizaría en las capas de los techos verdes, buscando incorporar más plantas endémicas del estado de Yucatán. Asimismo, se implementaría un sensor de sonido para verificar si lo que dice la literatura sobre los techos verdes que funcionan como aislante acústico, dicho estudio tendría una duración de un mes y realizar un estudio costo-beneficio de los tipos de techos verdes, por medio de los prototipos realizados para poder visualizar si es factible la implementación de techos verdes en Progreso Yucatán.

Conclusiones

El diseño realizado en SolidWorks y la simulación fueron eficientes debido a que los modelos propuestos pudieron soportar el peso de los dos tipos de techos verdes.

El prototipo de techo verde extensivo y modular alcanzaron una reducción del 17.85 y 10.90 % de temperatura con respecto al prototipo de techo plano de concreto y una reducción del 8.64 % con respecto a la temperatura media exterior del mes de mayo en el municipio de Progreso Yucatán. Al obtenerse menos ganancias de calor a través de los techos verdes, se presenta un menor gasto energético por concepto de disminución en el uso de aire acondicionado, lo cual finalmente representa un ahorro que se ve reflejado en la facturación de la energía eléctrica y así contribuir a la disminución de gases de efecto invernadero.

El confort térmico no se puede lograr simplemente implementando un techo verde bajo las condiciones ambientales prevalecientes en el verano en la península de Yucatán, ya que se requiere el uso de aparatos mecánicos de ventilación para lograr el confort térmico de los ocupantes, sin embargo, la implementación de estos permite reducir la necesidad de aires acondicionados. Aunado a esto en el estado de Yucatán a nivel de investigación científica e implementación de esta tecnología se encuentra en una etapa temprana, por lo tanto, se abre un abanico de posibilidades y oportunidades a futuras investigaciones respecto a los beneficios que es posible obtener con base en las condiciones ambientales, sociales y económicas del estado.

Bibliografía

- Alpuche, M. G., Moreno, H., Ochoa, M. J., & Marinic, I. (2010). Análisis térmico de viviendas económicas en México utilizando techos verdes. Departamento de Arquitectura y Urbanismo, 3(3), 59-67.
- Angel, S., Sheppard, S., Civco, D. L., Buckley, R., Chabaeva, A., Gitlin, L., & Perlin, M. (2005). The dynamics of global urban expansion (p. 205). Washington, DC: World Bank, Transport and Urban Development Department.
- Beltrán-Melgarejo, A., Vargas-Mendoza, M. D. L. C., Pérez-Vázquez, A., & García-Albarado, J. C. (2014). Confort térmico de techos verdes con *Cissus verticillata* (Vitaceae) en viviendas rurales tropicales. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 5(SPE9), 1551-1560

- Brenneisen, S. & Gedge, D. (2013). Green Roof Planning in Urban Areas. En V. Loftness & D. Haase (Eds.), *Sustainable Built Environments* (PP. 268-281). Springer.
- Buettner, T. (2015). Urban estimates and projections at the United Nations: The strengths, weaknesses, and underpinnings of the world urbanization prospects. *Spatial Demography*, 3(2), 91-108.
- Canto Cetina, R. (1997). *Arquitectura bioclimática para Yucatán: principios generales y asoleamiento* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México.
- Córdova, K. (2011). Heat Island Impacts, and Urban Heat Islands in the Environment and Human Health. *Comparative Seasonal Analysis: Caracas*, October 2009, March 2010. *Terra nueva etapa*, 42(27), 95-122.
- Fernández-Cañero, R., & Emilsson, T. (2008). Tejados verdes: experiencias del jardín botánico de tejados de Augustenborg (Suecia), y su posible aplicación en la región Mediterránea. *Actas de Horticultura*, 52, 76-81.
- Getter, K. L., & Rowe, D. B. (2006). The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience*, 41(5), 1276-1285.
- Köhler, M y Andrew, M. (2013). *Green Roof Infrastructures in Urban Areas*. Springer.
- Köhler, M. & Clements, A.M. (2013). Green Roofs, Ecological Functions. En V. Loftness & D. Haase (Eds.), *Sustainable Built Environments* (PP. 282-306). Springer.
- Liu, K., & Baskaran, B. (2003). Thermal performance of green roofs through field evaluation—Ottawa. Ottawa (Canada): National Research Council Canada, Institute for Research in Construction. Report no. NRCC-46412.
- Machado, N. A. L., Cordero, W. J. B., Alvarado, E. D. R., & Cabrera, J. R. R. (2020). Evaluación del impacto de un techo verde sobre la escorrentía urbana usando un modelo a escala. *Revista Técnica*, 43(S1), 26-35.
- Ordóñez-López, E. E., & Pérez-Sánchez, M. M. (2015). Comparación del desempeño térmico de techos verdes y techos blancos mediante técnicas IR. *Acta universitaria*, 25(5), 11-19.
- Ordóñez-López, E. E., Zetina-Moguel, C., & Pérez-Cortés, M. (2012). Sobrevivencia y cobertura de plantas en techos verdes durante el estiaje en Yucatán. *Ingeniería*, 16(2), 93-107.
- Ramón, G.B. (20 de diciembre del 2018). Las cubiertas ajardinadas. Espacios verdes: Diseño y mantenimiento del jardín y el huerto. <http://espaciosverdes2017.blogspot.com/2018/12/cubiertas-verdes-ii.html>
- Robert, A. (2012). *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. Springer.
- Rosatto, H., Botta, G. F., Becerra, A. T., Tardito, H., & Leveratto, M. (2016). Problemáticas del cambio climático en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires- aportes de las cubiertas vegetadas en la regulación térmica. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 48(1), 197-209.
- Sánchez, M. (2012). *Manual para el diseño e instalación de una azotea verde*. (Tesis de Maestría), Universidad Nacional Autónoma de México.
- Seweryn, Z y Collante, G. (2012). Green Roofs: A feasible tool for environmental management in the hospitality sector of El Rodadero, Santa Marta?. *Gestión y Ambiente*.15(1), 91-104.
- Villanueva, S. Y Ranfla, A. (2012). Isla de Calor Urbana: Modelación Dinámica y Evaluación de medidas de Mitigación en Ciudades de Clima árido Extremo. *Universidad Autónoma de Baja California*, 24(1), 15-24.
- Ziogou, I., Michopoulos, A., Voulgari, V., & Zachariadis, T. (2018). Implementation of green roof technology in residential buildings and neighborhoods of Cyprus. *Sustainable cities and society*, 40, 233-243.