

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/343931549>

La cubierta verde como estrategia de mitigación en vivienda social ante el cambio climático

Article · July 2020

DOI: 10.47386/20203007B4

CITATIONS

0

READS

126

3 authors, including:



[Gabriel Castañeda Nolasco](#)

Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH)

26 PUBLICATIONS 24 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Jorge Villanueva-Solis](#)

Autonomous University of Baja California

13 PUBLICATIONS 30 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Eficiencia energética [View project](#)



ESTRATEGIA DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA SISMORRESISTENTE PARA VIVIENDA RURAL MEXICANA: Litoral Sur región de estudio. [View project](#)

CAPITULO 3

La cubierta verde como estrategia de mitigación en vivienda social ante el cambio climático

Jaime Andrés Quiroa Herrera <https://orcid.org/0000-0003-1173-9639>

Gabriel Castañeda Nolasco <https://orcid.org/0000-0003-0928-5551>

Jorge Villanueva Solís <https://orcid.org/0000-0002-9778-9225>

Quiroa J., Castañeda G. y Villanueva J. (2020). La cubierta verde como estrategia de mitigación en vivienda social ante el cambio climático En Ceballos S., Villanueva J. y Quiroa J. (Directores). *Infraestructura verde y planeación urbana para el desarrollo urbano sustentable*. Universidad Autónoma de Coahuila El Colegio de del Estado de Hidalgo, pp. 85-113 DOI <https://doi.org/10.47386/20203007BA4>

Resumen

El presente trabajo forma parte del proyecto integral de evaluación de la cubierta verde leve en diferentes zonas bioclimáticas del país, el proyecto ha sido financiado por el “Programa en Investigación en Cambio Climático (PINCC) de la Universidad Nacional Autónoma de México, (UNAM). En particular se evaluó experimental y comparativamente en celdas 1-1 construidas con materiales que componen la vivienda social de la región, la viabilidad económica, tecnológica y ambiental de la cubierta verde en una zona semiárida como lo es la ciudad de Torreón, Coahuila. El análisis de los datos mostró como resultado la necesidad de buscar alternativas de vegetación nativa por la cantidad de agua que requiere el pasto, así como la necesidad de buscar alternativas más económicas de sustrato. En el apartado del comportamiento térmico la cubierta verde leve se muestra como un elemento eficiente de mitigación térmica en la envolvente de la edificación, por lo que se viabiliza como una estrategia de adaptación al cambio climático en climas áridos y semiáridos.

Introducción

En México, la mitad de la superficie que comprende su territorio está clasificada como zona árida a semiárida, dentro de esta clasificación cabe

mencionar que el estado de Coahuila en una zona con esta clasificación (Cervantes, 2002). Se considera que, por el cambio climático, la región podría ser afectada por desertificación y erosión del suelo, cambios en los patrones de precipitación intensificando las sequías y olas de calor. (Secretaría del Medio Ambiente, 2013).

Además, el IPCC, considera necesario identificar y evaluar tecnologías para mitigar los efectos del cambio climático, por lo que, en este estudio, se evalúa experimentalmente la eficiencia de la cubierta verde como estrategia de mitigación ante el cambio climático aplicada a viviendas de interés social. Este estudio es parte de un proyecto de investigación en donde se evalúa a la cubierta verde en diferentes bioclimas de México.

El caso de estudio es en la Ciudad de Torreón Coahuila, que está localizada al norte del país en una zona árida-semiárida. Se describe como se seleccionaron los materiales a evaluar, los módulos experimentales utilizados, así como la metodología de evaluación, los resultados obtenidos y las conclusiones de este.

Antecedentes

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) define al mismo Cambio Climático como “la variación estadística del clima en un periodo prolongado”, y a la mitigación como “una intervención antropogénica para disminuir o mejorar los sumideros de gases de efecto invernadero” (IPCC, 2001). De igual forma, el IPCC dentro de sus recomendaciones para mitigar al cambio climático, menciona la mejora de la piel del edificio reduciendo la ganancia térmica y el consumo energético (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 1996).

En lo referente al estudio de cubiertas verdes, un estudio realizado por el Departamento de ingeniería mecánica de la Universidad de Maryland, identificó que existe una disminución de temperatura del sustrato con

relación al aumento del porcentaje de la cubierta vegetal. (Yaghoobian & Srebric, 2015), por lo que la cubierta vegetal sirve para aumentar la eficiencia del sistema.

En el Reino Unido mencionan entre sus beneficios la generación de un efecto de microclima, al ser utilizado en un edificio de oficinas, también identificaron una disminución de su eficiencia cuando la vegetación estaba seca. (Virk et al., 2015)

En zonas áridas, en Irán fue realizado realizadas simulaciones para estudiar la disminución de la demanda energética de la cubierta verde como sistema pasivo en donde identificaron que con el pasto denominado “sabanna” funciona mejor para el ahorro energético por climatización (Goudarzi y Mostafaeipour, 2017).

En México, se han realizados estudios sobre cubiertas verdes, en Chiapas se estudió la eficiencia de esta para la disminución del consumo eléctrico, los resultados para el clima cálido húmedo de la región mostraron a la cubierta verde como un sistema eficiente para el ahorro de energía (Trujillo, Rangel, y Castañeda, 2015).

Localización

El estado de Coahuila se localiza en el Noreste de la República Mexicana y colinda con los estados de Chihuahua, Nuevo León, Durango, Zatecas, en la Figura 1 se puede observar la localización del Estado de Coahuila en el territorio nacional y en punto rojo la localización de la ciudad de Torreón.

Clima

De acuerdo a la clasificación climática de Koppen, Torreón tiene un clima BWh, que significa que es un clima árido cálido (Climate-Data, 2016). En la Tabla 1 se identifica que de los meses de marzo a octubre

las medias máximas sobrepasan los 31°C por lo que el periodo experimental está comprendido dentro de estos meses.

Figura 1. Localización del Estado de Coahuila, marcado en color rojo



Fuente: Elaboración propia con base en Google (2020)

Clasificación de vivienda

La comisión nacional de vivienda (CONAVI) clasifica a la vivienda de acuerdo con el salario mínimo. Las principales diferencias están en el tamaño medido en m² y en la cantidad de espacios que componen a cada una de las categorías como se puede ver en la Tabla 2. Por lo que, de acuerdo con esta clasificación, la vivienda de interés social estaría comprendida desde los 30m² hasta los 60m².

Tabla 1. Normales Climatológicas de la ciudad de Torreón, Coahuila, correspondientes al periodo 1951-2010.

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL													
ESTADO DE: COAHUILA DE ZARAGOZA		NORMALES CLIMATOLÓGICAS											
ESTACION: 00005040 TORREON (OBS)		LATITUD: 25°31'11" N. LONGITUD: 103°25'52" W. ALTURA: 1,123.0 MSNM.											
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MÁXIMA NORMAL	22.3	25.3	26.0	32.5	35.3	35.4	34.3	33.7	31.8	29.5	26.1	22.8	29.6
MÁXIMA MENSUAL	25.9	28.9	32.1	36.2	38.5	38.5	36.9	36.2	34.1	32.6	29.2	25.7	
AÑO DE MÁXIMA	2000	2000	2000	2002	1998	1998	1996	1997	1999	1979	1973	1984	
MÁXIMA DIARIA	35.0	35.0	39.5	41.2	42.2	43.0	40.5	39.2	38.4	36.0	34.8	32.5	
FECHA MÁXIMA DIARIA	29/2002	24/2000	29/1998	30/2002	08/1998	05/1982	03/2002	29/1977	03/2001	08/1983	06/1996	21/1998	
AÑOS CON DATOS	32	33	30	33	32	32	33	32	33	27	30	30	
TEMPERATURA MEDIA NORMAL	14.5	17.0	19.0	24.1	27.2	28.1	27.4	27.0	25.2	22.4	18.2	15.1	22.1
AÑOS CON DATOS	32	33	30	33	32	32	33	32	31	27	30	30	
TEMPERATURA MÍNIMA NORMAL	6.8	8.6	11.9	15.6	19.0	20.8	20.5	20.3	18.6	15.2	10.3	7.4	14.6
MÍNIMA MENSUAL	2.0	3.8	7.4	11.6	12.7	13.9	13.8	12.3	12.7	12.6	6.9	2.0	
AÑO DE MÍNIMA	1973	1972	1971	1972	1972	1972	1972	1971	1971	1979	1972	1973	
MÍNIMA DIARIA	-7.0	-5.0	-5.5	1.8	4.0	10.0	11.0	10.0	7.5	4.0	-2.8	-8.0	
FECHA MÍNIMA DIARIA	07/1971	09/1973	04/1971	05/1977	14/1971	01/1972	15/1972	13/1971	21/1971	31/1993	28/1992	13/1997	
AÑOS CON DATOS	32	33	31	33	32	32	33	32	31	27	30	30	
PRECIPITACION NORMAL	11.3	3.5	1.7	5.7	21.1	33.5	34.6	36.9	44.3	18.0	6.7	10.6	227.9
MÁXIMA MENSUAL	85.7	31.6	24.5	37.1	110.1	146.6	119.6	218.0	158.4	66.2	34.2	64.8	
AÑO DE MÁXIMA	1992	1986	1997	1985	1992	1999	1990	1998	1995	1990	1976	1982	
MÁXIMA DIARIA	49.8	31.6	15.8	20.8	92.5	72.8	40.9	101.9	99.4	47.1	18.0	39.6	
FECHA MÁXIMA DIARIA	30/1984	03/1986	10/1997	09/1985	03/1992	16/1981	18/1990	17/1998	13/1995	09/1990	25/1976	25/1982	
AÑOS CON DATOS	32	33	32	33	33	33	33	32	31	28	32	32	

Fuente: (CONAGUA, 2016)

Tabla 2.- Clasificación de la vivienda por precio promedio

Promedios	Económica	Popular	Tradicional	Media	Residen- cial	Residencial Plus
Superficie construida promedio	30 m2	42.5 m2	62.5 m2	97.5 m2	145 m2	225 m2
Costo Pro- medio						
Veces Sala- rio Mínimo Mensual del D.F. (VSM MDF)	Hasta 118	De 118.1 a 200	De 200 a 350	De 350.1 a 750	De 750.1 a 1500	Mayor a 1,500
Número de cuartos	Baño Cocina Área de usos múlti- ples	Baño Cocina Estancia- comedor De 1 a 2 recáma- ras	Baño Cocina Estancia- comedor De 2 a 3 recámaras	Baño 1/2 baño Cocina Sala Comedor De 2 a 3 recáma- ras Cuarto de servicio	De 3 a 5 baños Cocina Sala Comedor De 3 a 4 recámaras Cuarto de Servicio Sala fami- liar	De 3 a 5 baños Cocina Comedor De 3 a más recámaras De 1 a 2 cuartos de servicio Sala Fami- liar

Fuente: (CONAVI, 2010)

En Torreón, de acuerdo al IMPLAN, existen 224,234 viviendas, en las cuales son habitadas por 3.7 personas en promedio (IMPLAN, 2015). En donde los materiales más utilizados son los siguientes: el 98.36 % son casas, de las cuales el 98.82% es piso firme o con algún recubrimiento, el 94.05 % de los materiales que componen las paredes de la vivienda son: Block, Tabique, Ladrillo, Cemento. (INEGI, 2016).

Aunado a estas estadísticas, el gobierno del Estado de Coahuila, lanzo un programa denominado “En Coahuila Todos con Techo”, en donde apoyan a la población vulnerable que viven en zonas rurales o populares. El apoyo es para realizar acciones de obra en viviendas, consisten-

tes en la aplicación de una losa de concreto premezclado, de hasta 10 cm. De espesor, con una resistencia de 200 kg. por cm²; para cubrir un área de hasta 40 m². (SEDESOL, 2016)

Además fue lanzado el programa “Banco de materiales en Coahuila” en donde fueron donados 500 bultos de cemento, 350 mil varillas y cuatro millones de blocks para construir y mejorar la calidad de las viviendas (Triana, 2013).

Por lo que, de acuerdo a la información presentada anteriormente, para la evaluación experimental fueron seleccionados los siguientes materiales de construcción para que sea representativo de una vivienda de interés social:

construcción para que sea representativo de una vivienda de interés social:

- Muros: Block de block de cemento
- Cubierta: Losa de Concreto
- Cimentación: Losa de Concreto

Materiales y Métodos

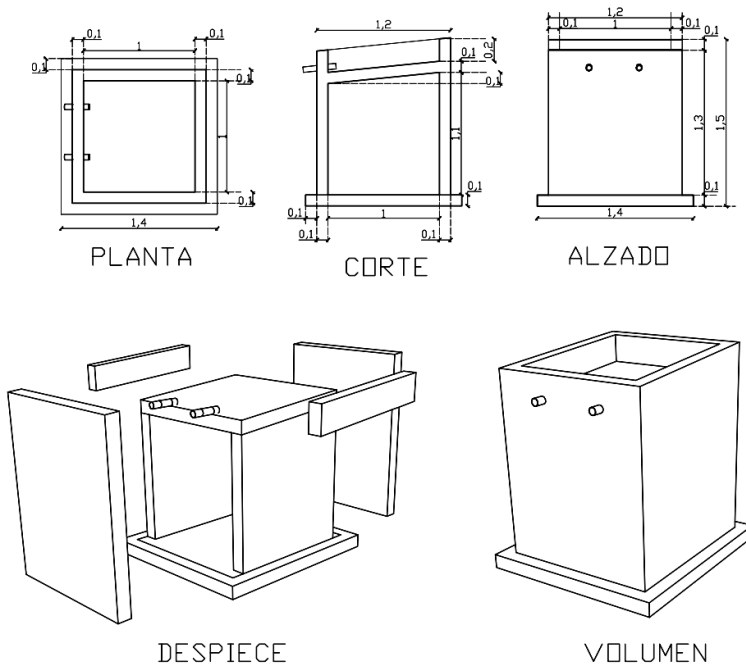
Instalación del Modulo

Características del módulo experimental

En la Figura 2, es posible observar las características del módulo, así como su despiece. El objetivo del módulo es que contenga 1m³ de volumen en su interior.

Fueron construidos dos módulos experimentales con los mismos materiales y sistemas constructivos, la diferencia entre ambos es que en fue instalada la cubierta verde y el otro queda en condiciones normales de una vivienda de interés social.

Figura 2. Propuesta de Modulo Experimental



Fuente: Castañeda (2017)

Nota: el objetivo del módulo era contener 1m^3 de aire para poder hacer el estudio y comparación de este.

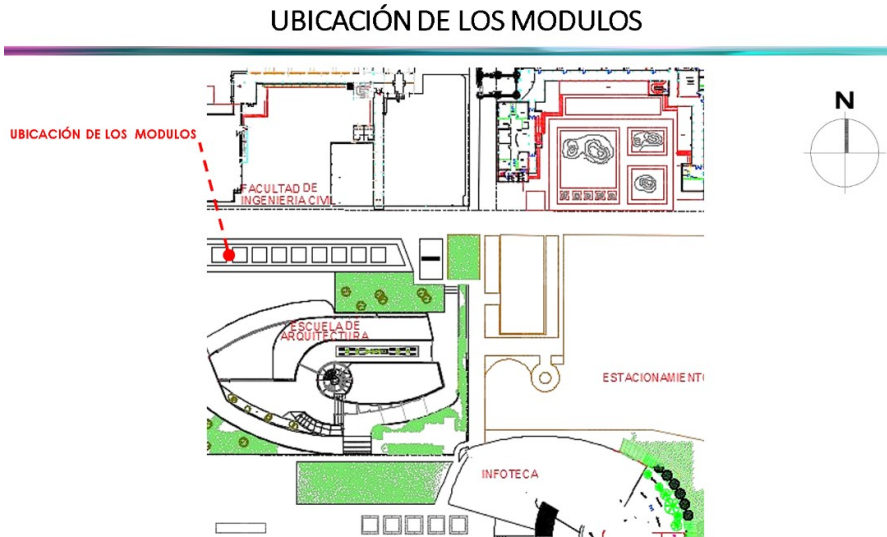
Elección del Sitio

Los parámetros para la selección del sitio para construir los módulos experimentales son los siguientes:

- Exposición durante todo el día a la radiación solar
- Que no tuviera elementos cercanos que pudieran interferir con el estudio
- Que el lugar fuera accesible para poder tener control del experimento y del equipo de mediciones.

En la Figura 3 se muestra el lugar que fue seleccionado y que cumplía con las características requeridas para el estudio.

Figura 3. Lugar Seleccionado para la construcción de los módulos experimentales



Elaborado por: Natalie Hernández Mijares.

Losa de Cimentación

Una vez hecha la limpieza, se realizó la nivelación para posteriormente colar las dos losas de cimentación de concreto de 10 centímetros de espesor como se puede observar en la Figura 4.

Figura 4. Llosa de cimentación de los módulos experimentales



Fuente: Elaboración Propia.

Muros

Al tener las losas de cimentación, comenzaron a edificarse los muros de los módulos experimentales. Para los muros fueron utilizados Blocks de cemento de 12x20, como se puede ver en la Figura 5.

Figura 5.-Proceso de edificación de los muros de los módulos experimentales



Fuente: Elaboración Propia.

Repello

En la Figura 6, puede observarse el proceso de repello de los módulos experimentales en donde se utilizó una mezcla de cemento arena.

Figura 6. Proceso de repello de los muros



Fuente: Elaboración Propia.

Cubierta

La cubierta de las celdas experimentales son losas de concreto de 10 cm de espesor con 10% de inclinación hacia el lado poniente como se puede observar en la Figura 7

Figura 7. Colado de los de concreto de 10 cm



Fuente: Elaboración Propia.

Pintura e Impermeabilización

Una vez terminado y repellado cada uno de los módulos, estos fueron pintados en color blanco, en la cubierta se utilizó un convencional, ver Figura 8.

Figura 8. Pintura e impermeabilización



Fuente: Elaboración Propia.

Equipo de Mediciones e Instalación

Para las mediciones se utilizó equipo de marca HOBO modelo U12-012 que registra temperatura del aire, temperatura superficial, humedad y luminosidad. En el experimento solo fueron monitoreados los datos de temperatura interior del aire y temperatura superficial interna de la losa. En la Figura 9 se muestra el equipo utilizado para las mediciones internas de cada módulo.

Figura 9. Equipo HOBO utilizado para las mediciones en las celdas experimentales



Para la temperatura externa se utilizó el equipo HOBO Pro V2 que mide la temperatura y humedad externa además se utilizó un protector de radiación solar modelo M-RSA. Ver Figura 10.

Figura 10. Sensor Hobo Pro V2 de temperatura y humedad Externa y protector de radiación solar M-RSA



Fuente: HOBO (n.d.)

Instalación Equipo de Mediciones

En cada módulo experimental fueron monitoreadas las temperaturas superficiales de la losa y la temperatura interna del aire. En la Figura 11 se pueden observar los sensores instalados en los módulos experimentales.

Figura 11. Sensores instalados para las mediciones internas



Fuente: Elaboración Propia.

De izquierda a derecha, se puede observar en la primera imagen el sensor colocado en la parte central del módulo midiendo la temperatura interna del aire y humedad relativa, en la imagen central y a la derecha se observa el sensor de temperatura superficial de la losa, con pasta térmica en color blanco.

Instalación de la Cubierta Verde

Materiales que componen la Cubierta Verde

La cubierta verde instalada fue desarrollada para ser accesible y no comprometer estructuralmente el patrimonio que es la vivienda. Por lo que puede ser aplicada a construcciones existentes y nuevas. A seguir, se describen los materiales y el proceso de instalación de cada uno de ellos.

Plástico

Fueron colocadas cuatro capas de plástico común sobre la losa de concreto, esto con el fin de evitar que la losa entre en contacto con la humedad y sea afectada por la misma como puede observarse en la Figura 12.

Figura_12.- Instalación de las cuatro capas de plástico en uno de los módulos experimentales.



Fuente: Elaboración Propia.

Botellas Pet

Posteriormente, fueron aplanadas botellas pet de 600 ml. para poder ser colocadas ordenadamente una a lado de la otra, con el sentido de la boquilla hacia la pendiente, esto con el objetivo de captar agua y mantener húmedo el sustrato de tierra. Ver Figura 13.

Figura 13.- Proceso de colocación de botellas pet de 600 ml en sus diferentes etapas realizados por alumnos de la escuela de arquitectura.



Fuente: Elaboración Propia.

Fieltro

Se colocaron cuatro capas de igual forma que el plástico. El conjunto de las capas de plástico, las capas de botellas pet y el fieltro tienen la función de una malla drenante, que deja pasar el agua, pero mantiene el sustrato en su lugar permitiendo la permanencia de la capa vegetal. Ver Figura 14

Figura_14.-Colocación del fieltro encima de las dos capas de pet, además de la colocación de las láminas de zinc en el contorno interno de el pretil.



Fuente: Elaboración Propia.

Características del Sustrato

Este sustrato fue propuesto por el Cuerpo Académico Componentes y Condicionantes de la Vivienda de la Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Chiapas. En la Tabla 3 se pueden ver las características de este sustrato.

Composición: 40% Perlita/Agrolita, 20% Fibra de coco y 40% Peat Moss. Costal de 100 litros (40% Perlita/Agrolita, 20% Fibra de coco, y 40% Peatmoss) Peso de la mezcla: 30 Kg. Costo de la mezcla: \$349.10. Punto de venta: Home Depot. (a precios 2018).

Tabla 3. Características del sustrato de la propuesta 2

	Perlita	Peat Moss	Vermiculita	Fibra de coco	Humus
Densidad	135 g/L	60-300 g/L	120 g/L	200 g/L	0.33 g/cm ³
Retención de Humedad	45 %	48 %	35 %	40 %	50 %
Aire	35 %	20 %	25 %	16 %	--
Materia sólida	20 %	32 %	40 %	40 %	--
Esterilidad	Muy alta	Media	Alta	Alta	Media

continua

continua

	Perlita	Peat Moss	Vermiculita	Fibra de coco	Humus
<i>Durabilidad</i>	3 años	1 año	1 año	1 año	3-5 años
<i>Composición</i>	Silicatos	Fibra vegetal	Mineral	Silicatos	Materia orgánica
<i>pH</i>	Neutro	Ácido	Neutro CIC	Neutro	6.5-7.5
<i>*CIC</i>	No	No	Alta	No	No

*Capacidad de Intercambio Catiónico

- ◆ Esta mezcla se recomienda principalmente para climas cálidos y muy cálidos ya que retiene una gran cantidad de agua. Se puede realizar el riego en diferentes periodos del día.
- ◆ El sustrato beneficia la oxigenación y aireación en las raíces de las plantas permitiendo el intercambio gaseoso.
- ◆ Se facilita el drenaje evitando la incidencia de hongos.
- ◆ Tendría del 70 al 75 % de humedad en el cultivo.

Fuente: Castañeda (2017)

Colocación del Sustrato

En la Figura 15 se observan la colocación del sustrato y la capa vegetal además de las canaletas de láminas de zinc en el pretil para la protección de los componentes de la radiación solar.

Figura 15. Colocación de Sustrato



Fuente: Elaboración propia.

Mediciones y Resultados

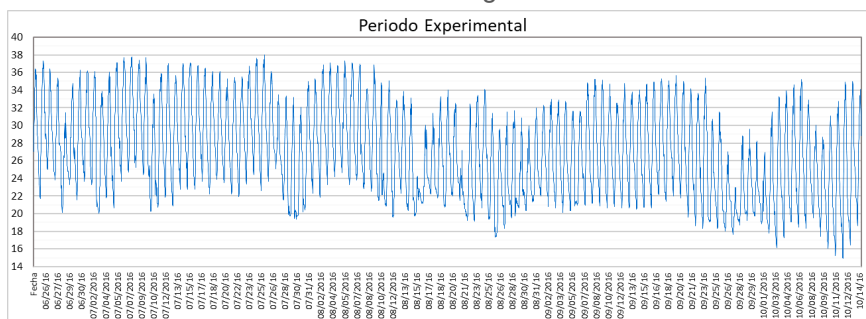
Periodo Experimental

Se utilizaron las normales climatológicas de la región, para identificar el periodo de mediciones, por lo que este comprende los meses de junio a septiembre del 2016.

Para el análisis de los resultados se utilizó el método de climatología dinámica utilizado por (Vecchia, 1997), en donde se hace el análisis de acuerdo a los estados de tiempo aplicado al ambiente construido.

El periodo experimental seleccionado está comprendido del 26 de junio al 14 de octubre, se puede observar este periodo y las mediciones de temperatura externa en la Figura 16. Las temperaturas máximas registradas alcanzaron casi los 39^o c, y las mínimas estuvieron cercanas a los 14^o c.

Figura 16. Periodo experimental de mediciones que está comprendido dentro de los meses más cálidos de la región de acuerdo con las normales climatológicas .



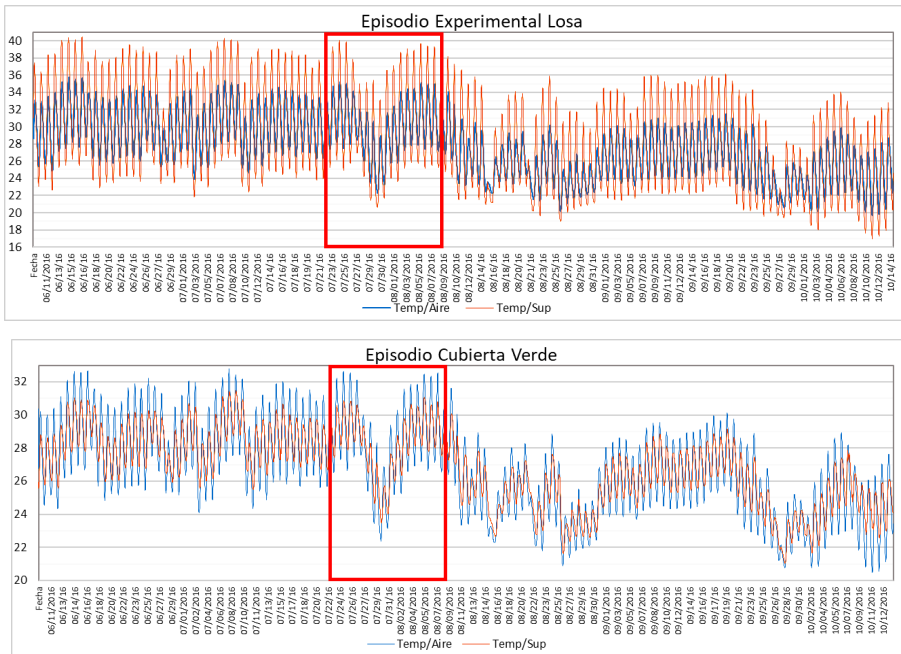
Fuente: Elaboración propia.

Periodo Experimental en los Módulos

En los datos registrados de las mediciones realizadas durante el periodo experimental, ya son perceptibles visualmente por medio de gráficos las diferencias entre ambos módulos. En la Figura 17 se puede observar como los rangos de temperaturas superficiales y de aire registrados en el módulo con la losa común son mayores a los valores registrados en la losa con la cubierta verde. En el recuadro rojo se marca el episo-

dio experimental seleccionado para el análisis y estudio comparativo esto a que en estos se presentan días con temperaturas elevadas representativas.

Figura 17. Datos registrado en el periodo experimental en ambos módulos experimentales, en el recuadro rojo se marca el periodo representativo para el análisis y comparación de los datos registrados. El gráfico superior corresponde a la losa convencional y el inferior a la cubierta verde



Fuente: Elaboración propia.

Episodio Experimental

Temperatura Exterior

El episodio experimental comprende del 23 de julio al 9 de agosto.

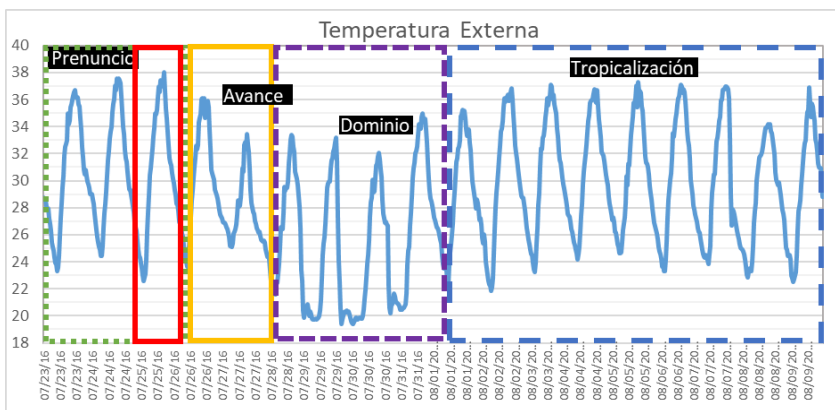
En la Figura 18 se observa el episodio seleccionado para el análisis a continuación se explica los significados de cada recuadro:

- Prenuncio (Verde): estos días representan la fase denominada de

calentamiento prefrontal, fenómeno que se presenta previo a la entrada de un frente frío a la zona de estudio.

- Rojo: puede observarse el día seleccionado para realizar las comparaciones de los resultados obtenidos de las mediciones de ambos módulos experimentales. Este se presenta prenuncio y fue seleccionado de acuerdo con las elevadas temperaturas registradas y por ser el más representativo en el episodio.
- Avance (Amarillo): en estos días representan la entrada masa de aire frío por lo que se puede notar la disminución de las temperaturas de aire externas.
- Dominio (Morado): en esta fase es en donde se presentan las temperaturas más bajas, y representa el dominio de la masa de aire fría.
- Tropicalización (Azul): en estos días, la masa de aire caliente regresa a la zona y es el periodo de transición entre la masa de aire frío y la masa de aire cálida, se puede observar el aumento paulatino de las temperaturas y como en estos días en los rangos de temperatura son muy similares entre ellos.

Figura 18. Episodio representativo seleccionado de acuerdo con las temperaturas del aire exterior.



Fuente: Elaboración propia.

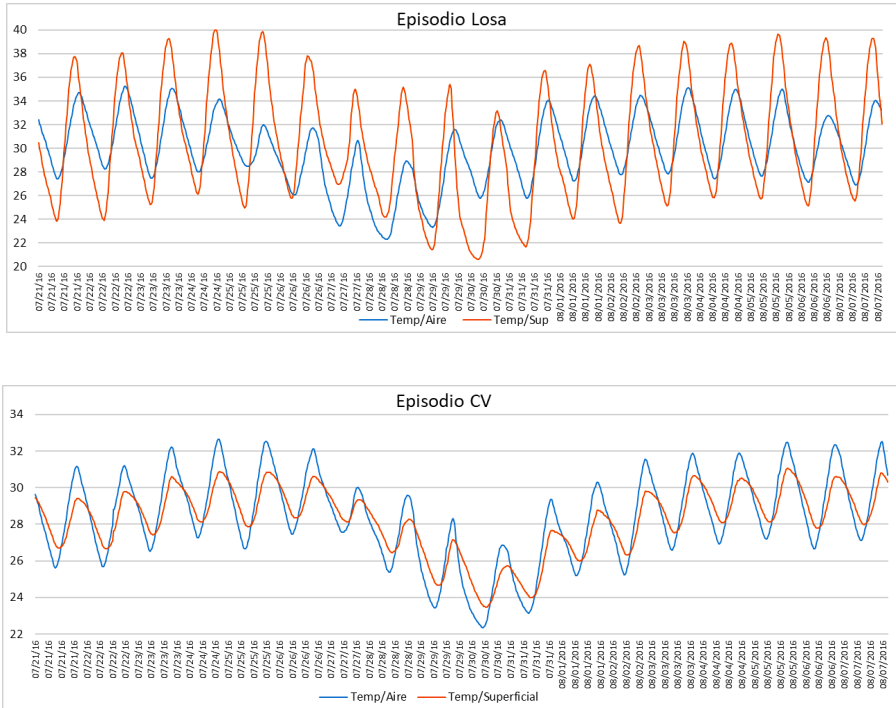
Módulos

En episodio representativo, las temperaturas registradas en los módulos experimentales fueron de la siguiente forma:

- **Modulo Losa:** En la Figura 19 puede observarse el comportamiento de la losa común y como en este episodio la temperatura superficial de la losa alcanzó los mayores valores de temperatura siendo hasta de 40°C, así como en la mayor parte de episodio también presento menores valores de temperatura siendo de 21°C, esto con relación a la temperatura del aire que registró valores máximos de hasta 35°C y mínimos de hasta 22°C. Por lo que se evidencia que además de que la temperatura del aire interna es elevada, también existe una ganancia por radiación de la losa por sus elevados valores de temperatura. También la amplitud térmica entre los valores registrados llego a ser de 16°C.
- **Modulo Cubierta Verde:** en lo que se refiere a la cubierta verde, se presentó un fenómeno contrario, en este caso los mayores valores de temperatura registrados fueron los de la temperatura del aire interior, los mayores valores registrados fueron de 32°C y los mínimos de 22°C durante el periodo. La ampliación térmica fue de 8°C la mayor registrada. La temperatura superficial de la losa sobrepaso los 30°C y los valores mínimos fueron de 22°C. En este módulo, la temperatura del aire fue menor y la ganancia por radiación de la losa no existe una vez que los valores registrados en esta son menores a la temperatura del aire.

En el recuadro rojo de la Figura 19 se puede observar el día típico experimental para la comparación de los resultados.

Figura 19. Gráficos con los resultados del episodio experimental seleccionado en la parte superior corresponde al de la losa común y el de la parte inferior a la losa con cubierta verde. En el recuadro rojo está marcado el día representativo



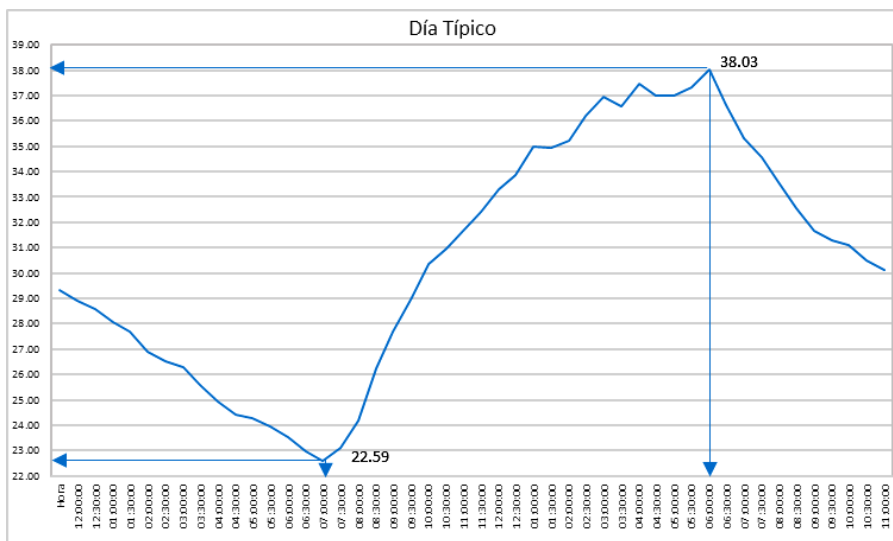
Fuente: Elaboración propia.

Día Típico Experimental

De acuerdo con el objetivo de la investigación, se seleccionó como día típico experimental, el día seleccionado es el 25 de agosto. Esto por como ya se ha mencionado anteriormente, es debido a que representa un día típico de una situación de calor.

En la Figura 20, puede observarse el gráfico de los valores de temperatura registrados durante el día. El valor máximo de temperatura del aire fue de 38.03 °c, y el mínimo valor mínimo de temperatura del aire registrado para este día fue de 22.59°c, presentando una amplitud térmica de 15.44°c.

Figura 20. Gráfico con los registros de las temperaturas del aire internas de los dos módulos experimentales, es visible la diferencia que existe entre las temperaturas de aire en los dos módulos, siendo la losa común la que registro los valores más elevados.



Fuente: Elaboración propia.

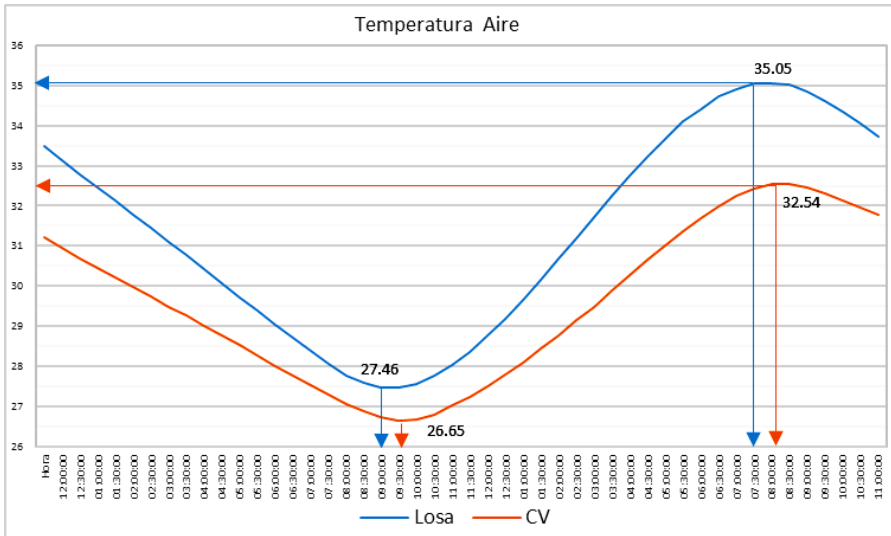
Día Típico Módulos

Temperaturas del Aire

En lo que se refiere a las temperaturas del aire, la losa registró una temperatura máxima de 35.05°C y una mínima de 27.46°C lo que representa una amplitud térmica de 7.5°C. La cubierta verde presentó una temperatura máxima de 32.54°C y una temperatura mínima de 26.65°C lo que representa una amplitud térmica de 5.99°C.

Comparando las dos, la losa común presentó una temperatura 2.5 grados más elevada en la temperatura máxima y 1°C más elevada en la temperatura mínima. En este apartado la losa con cubierta verde tuvo menores valores de temperatura y menor amplitud térmica en lo que se refiere a las temperaturas del aire internas. En la Figura 21 puede observarse lo descrito anteriormente.

Figura_21. Gráfico con los registros de las temperaturas del aire internas de los dos módulos experimentales, es visible la diferencia que existe entre las temperaturas de aire en los dos módulos, siendo la losa común la que registro los valores más elevados.



Fuente: Elaboración propia.

Temperaturas Superficiales

En lo que se refiere a las temperaturas superficiales se presentó una clara y evidente diferencia entre ambos módulos.

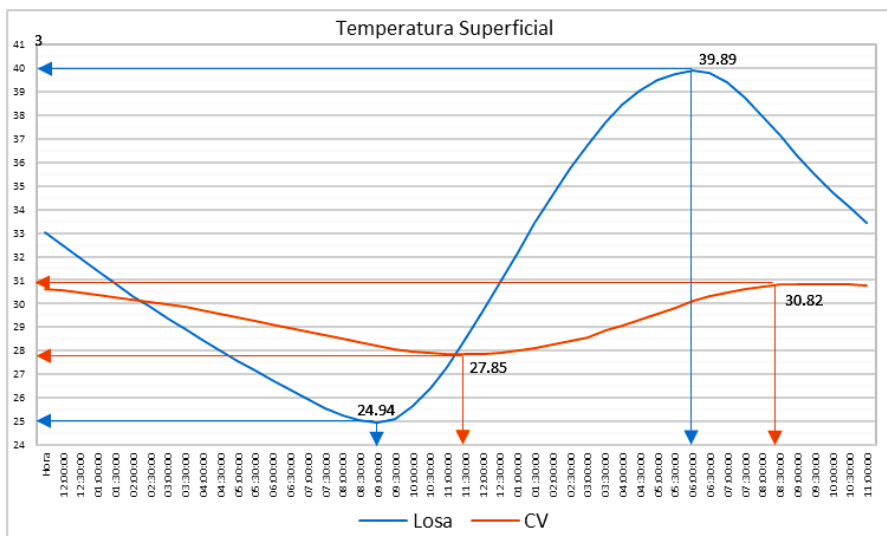
En la temperatura superficial de la losa común, se presentó un valor de 39.89°C en la temperatura superficial máxima y un valor de 24.94°C en la temperatura superficial mínima, la amplitud térmica es de 14.95°C entre ambos valores.

En la losa con cubierta verde se presentó un registro de casi a los 30.82°C en la temperatura máxima y un valor de 27.85°C en la temperatura mínima, por lo que la amplitud térmica es de solo 2.97°C.

La diferencia entre las temperaturas registradas en los módulos es de 9.07°C entre las temperaturas superficiales máximas siendo la losa común la más elevada y de 2.91°C en las temperaturas superficiales mínimas. Esto significa que la losa común tiene una ganancia de calor por radiación significativa con relación a la losa con cubierta verde. En la

Figura 22 se puede observar dicho comportamiento.

Figura 22. Gráfico con los valores registrados de temperatura superficial de las losas, es evidente como en la losa común los valores de temperatura son más elevados en comparación a los valores de temperatura de la losa con cubierta verde.



Fuente: Elaboración propia.

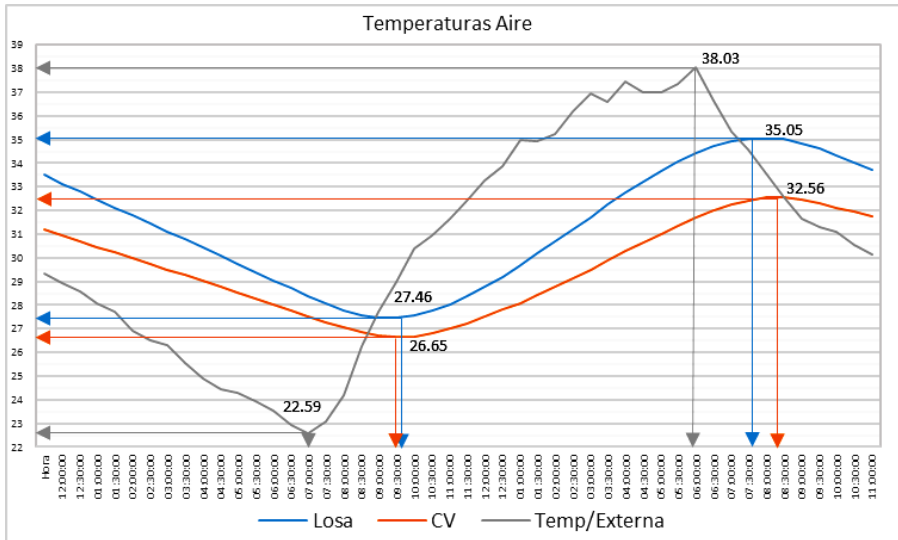
Comparando las temperaturas del aire internas con la temperatura del aire externa se obtuvieron los siguientes resultados.

Losa común: presentó una temperatura menor a 2.98°C a la temperatura externa registrada. En las temperaturas mínimas fue 4.87°C mayor al valor de la temperatura externa del aire.

Cubierta Verde: en las temperaturas máximas presentó una diferencia de 5.47°C menor a la temperatura externa. En las temperaturas mínimas la diferencia fue de así 4.06°C más que el valor mínimo de la temperatura externa.

En ambos casos se presentaron menores valores de temperatura del aire en los valores máximos, siendo la losa verde la que presentó menores valores de temperatura con relación a la temperatura exterior. En la Figura 23 se puede observar lo descrito anteriormente.

Figura 23. Gráfico con los valores de temperatura externa e interna registrado durante el día típico experimental. Se puede observar como la cubierta verde presenta los menores valores de temperatura.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis de Resultados

En los resultados obtenidos los valores de temperatura superficiales y del aire la cubierta verde presentó una disminución a la temperatura superficial de la losa, y a la temperatura interna del aire en comparación a la losa común. Las mayores diferencias se presentaron en los valores de la temperatura superficial. También existe una reducción significativa de la temperatura del aire interna con relación a la temperatura externa. Por lo que la cubierta verde puede ser tomada en cuenta como una estrategia de mitigación adecuada para la disminución de la temperatura del aire interna disminuyendo la ganancia térmica por radiación interna de la losa, en este apartado su eficiencia es muy representativa debido a los valores registrados y analizados.

Conclusiones

El experimento realizado para evaluar a la cubierta verde como estrategia de mitigación en un clima cálido seco (árido), está se mostró como

una tecnología adecuada para su aplicación para el lugar y clima en donde se realizó el estudio. En lo que se refiere al pasto, se identificó que, por las características climáticas del lugar, es conveniente buscar vegetación endémica del lugar, lo que disminuiría el riego y mantenimiento de la cubierta.

Las mayores diferencias de temperaturas fueron registradas en las temperaturas superficiales siendo hasta nueve grados centígrados de diferencia entre la losa común y la losa con cubierta verde, lo que significa que se disminuye considerablemente la ganancia por radiación interna de la losa.

En lo que se refiere a las temperaturas del aire internas, la diferencia fue de hasta tres grados centígrados entre un módulo y otro, que representa una disminución significativa en la temperatura del aire interior y a esto es importante tomar en cuenta la disminución de ganancia por radiación interna de la losa.

En la comparación de las temperaturas del aire internas del módulo con la temperatura de aire externa, el módulo con la cubierta verde registró una disminución de casi seis grados centígrados. Tomando en cuenta los datos anteriores, en las diferentes mediciones y comparaciones que se realizaron del módulo con cubierta verde presentó condiciones más favorables que el módulo convencional, así como con las condiciones climáticas externas del lugar de estudio.

Esto evidencia la viabilidad de la utilización de este tipo de cubiertas en la región y de acuerdo al tipo de clima con el que se cuenta, ya que el estudio demuestra con los resultados obtenidos que se disminuye considerablemente la ganancia por radiación hacia el interior de los espacio al utilizar cubiertas verdes, por lo que se genera un ambiente de confort al interior de las mismas así como la disminución del usos de sistemas activos de control ambiental que en conjunto se traduce a la disminución del consumo energético, que se traduce a una reducción a la emi-

sión de gases de efecto invernadero por lo que estaría mitigando sus efectos.

Al existir esta disminución de consumo energético provocado por la mejora de las condiciones internas del edificio en una situación de calor y en un clima árido y de acuerdo con los resultados obtenidos, se concluye que la utilización de la cubierta verde en las viviendas de interés social es tecnología adecuada como estrategia de mitigación al cambio climático.

Bibliografía

Castañeda Nolasco G. (2017). *Adaptación de techo verde aplicable a la vivienda de interés social*. (Informe Técnico inédito, PINCC-UNAM). Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Chiapas.

Cervantes Ramirez, M. C. (2002). Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México. (Intituto de Geografía, Ed.) (UNAM). Ciudad de México: UNAM. Fecha de Consulta: septiembre 10 2018 URL: http://fenix.cichcu.unam.mx/libroe_2006/0965822/01_ptd.pdf

Climate-Data. (2016). Clima Torreón. Fecha de Consulta: septiembre 5 2018 URL: <http://es.climate-data.org/location/872606/>

CONAGUA. (2016). Normales Climatologicas. Fecha de Consulta: agosto 25 de 2018 URL: <http://smn.cna.gob.mx/es/component/content/article?id=42>

CONAVI. (2010). Código de Edificación de Vivienda, 499. Fecha de Consulta: julio 28 2018 URL: <http://www.cmic.org/comisiones/sectoriales/vivienda/biblioteca/archivos/CEV PDF.pdf>

Google. (2020). Mapa de México, México en Google Maps. Fecha de Consulta: junio 16 2020 URL: <https://www.google.com.mx/maps/@25.362715,-102.9226968,5.43z>

Goudarzi, H., & Mostafaeipour, A. (2017). Energy saving evaluation of

- passive systems for residential buildings in hot and dry regions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.002>
- Grupo Inergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (1996). *Tecnologías, Políticas Y Medidas Para Mitigar El Cambio Climático*. Documento técnico I del IPCC.
- HOBO. (n.d.). Onset HOBO and InTemp Data Loggers. Fecha de Consulta: diciembre 12 2017 URL: <http://www.onsetcomp.com/>
- IMPLAN. (2015). *La Laguna: Capital Humano y Calidad de Vida - IMPLAN Torreón*. Fecha de Consulta: diciembre 10 2016 URL: <http://www.trcimplan.gob.mx/blog/la-laguna-capital-humano-y-calidad-de-vida.html>
- INEGI. (2016). *Tabulados básicos*. Fecha de Consulta: diciembre 11 2017 URL: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/tabuladosbasicos/default.aspx?c=33725&s=est>
- IPCC. (2001). Anexo B. Glosario de términos. Informe de Síntesis - Cambio Climático 2001, 27. Fecha de Consulta: mayo 5 2017 URL: <https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>
- Secretaría del Medio Ambiente. (2013). *Plan Estatal Contra Cambio Climático en Coahuila*. Torreón.
- SEDESOL. (2016). *PROGRAMA "En Coahuila Todos con Techo."* Fecha de Consulta: diciembre 11 2011 URL: http://www.sedesocoahuila.gob.mx/pdf/FT_PROGRAMA_EN_COAHUILA_TODOS_CON_TECHEO.pdf
- Triana, A. (2013). *Arranca programa Banco de Materiales en Coahuila - Infonor*. Fecha de Consulta: diciembre 11 2016 URL: <http://www.infonor.com.mx/index.php/laguna/7/49864-arranca-programa-banco-de-materiales-en-coahuila>
- Trujillo Samayoa, R., Rangel Martínez, Y., & Castañeda Nolasco, G. (2015). Potencial del techo verde, para ahorrar electricidad por aire acondicionado en la edificación. *Nova Scientia*, 7(15). Fe-

cha de Consulta: junio 2 2018 URL: <http://www.redalyc.org/html/2033/203342741031/>

- Vecchia, F. (1997). *Clima e Ambiente construído. A abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano (Tesis Doctoral)*. Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brasil.
- Virk, G., Jansz, A., Mavrogianni, A., Mylona, A., Stocker, J., & Davies, M. (2015). Microclimatic effects of green and cool roofs in London and their impacts on energy use for a typical office building. *Energy and Buildings*, 88, 214–228. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.039>
- Yaghoobian, N., & Srebric, J. (2015). Influence of plant coverage on the total green roof energy balance and building energy consumption. *Energy and Buildings*, 103, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.05.052>