



Doctorado en Ciencias Ambientales

TESIS

**MODELO DE FACHADA VEGETADA EN EL CLIMA Aw
(CLASIFICACIÓN KÖPPEN): ACAPULCO, GUERRERO.**

PRESENTA:

M. EN ARQ. JAZMIN CARBAJAL AVILA

Para obtener el grado de:

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Director de Tesis

DRA. LUZ PATRICIA AVILA CABALLERO

Co-Director

DRA. AMÉRICA LIBERTAD RODRÍGUEZ HERRERA

Asesores

DR. ANTONIO A. RODRÍGUEZ ROSALES

DR. HERIBERTO HERNÁNDEZ COCOLETZI

DR. JOSÉ LUIS ROSAS ACEVEDO

ACAPULCO GUERRERO, SEPTIEMBRE 2016.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme concluir esta meta.

A mi familia, por su ayuda y ser un motor en mi vida.

RECONOCIMIENTOS

Al Dr. Antonio Alfonso Rodríguez Rosales, Dra. Luz Patricia Avila Caballero, Dr. Heriberto Hernández Cocoltzi, Dra. América Rodríguez Herrera por el tiempo, conocimientos y trabajo invertido en esta investigación. Al Dr. José Luis Rosas Acevedo por todo el apoyo y los conocimientos compartidos.

Al Centro de Investigación Científica y Tecnológica de Guerrero CICTEG, dirigido por el Dr. Antonio Alfonso Rodríguez Rosales, adscrito al Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico CCADET-UNAM; por el financiamiento para realizar gran parte del modelo, la adquisición del equipo, los análisis de laboratorio.

Al Dr. Roberto Ortega Martínez q. p. d. Investigador del CCADET, por confiar en esta investigación desde el inicio y por ayudarme aún después de su partida.

A la Dra. Beatriz Mónica Pérez Ibarra, adscrita al CCATED por su asesoría y a la M.C. Kumico Shimada Miyasaca del Instituto de Geología de la UNAM por la realización de las pruebas de contenido de carbono.

A los estudiantes y profesores del Instituto Tecnológico de Acapulco que atendieron la invitación para participar en el sondeo.

CONTENIDO

	Pag.
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
Capítulo I. La naturación de edificios y su aporte a la sostenibilidad.	6
1.1 Evolución histórica de la naturación de edificios.	6
1.2 La Naturación de edificios en el clima Cálido húmedo.	7
1.3 La importancia de la vegetación nativa.	8
1.4 Beneficios ambientales y sociales.	8
Capítulo II. Los sistemas de naturación en muros	13
2.1 Clasificación	13
2.2 El sustrato	14
2.3 La vegetación.	15
Capítulo III. Indicadores de la Infraestructura verde.	16
Capítulo IV. Caso de estudio.	17
4.1 Localización.	17
4.2 Espacio elegido.	18
4.3 Construcción del modelo.	18
4.4 Enredaderas seleccionadas	22
4.5 El sustrato.	24
Capítulo V. Comportamiento térmico del modelo.	26
5.1 Método de análisis térmico.	26
5.2 Resultados de las temperaturas.	28
5.3 Análisis de los resultados.	46
5.4 Reducción del uso de energía eléctrica para refrigeración.	48
Capítulo VI. Propiedades ópticas de la vegetación.	49
6.1 Estudios análogos.	50
6.2 Principios de óptica y espectroscopia utilizados.	51
6.3 Desarrollo experimental.	54
6.4 Resultados	55
6.5 Análisis de los resultados.	60

Capítulo VII. Captura de carbono de la vegetación.	62
7.1 Materiales y Métodos.	62
7.2 Resultados.	64
7.3 Análisis de los resultados.	65
Capítulo VIII. Percepción por la fachada vegetada.	67
8.1 Estudios análogos	67
8.2 Método.	69
8.3 Resultados.	70
8.4 Análisis de los resultados.	75
Capítulo IX. Costo-beneficio	77
9.1 Aumento del valor de la propiedad.	78
9.2 Mejoramiento de la biodiversidad.	78
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	80
CONCLUSION Y RECOMENDACIONES	84
BIBLIOGRAFÍA	85
ANEXOS	91

INDICE DE TABLAS

Tabla I. Indicadores para evaluar el desempeño de la infraestructura verde.	5
Tabla II. Beneficios de la naturación de edificios.	12
Tabla III. Paleta vegetal.	23
Tabla IV. Proporción de la mezcla de sustrato.	24
Tabla V. Registro de temperaturas analizadas.	26
Tabla VI. Comportamiento térmico de la fachada vegetada.	47
Tabla VII. Disminución promedio de las temperaturas en el horario crítico.	47
Tabla VIII. Consumo y costo de la energía para enfriamiento.	48
Tabla IX. Valor de energía evitada para enfriamiento.	48
Tabla X. Reflectancia normalizada de la especie <i>Pentalinon luteum</i> .	56
Tabla XI. Reflectancia normalizada de la especie <i>Clitoria ternatea</i> .	57
Tabla XII. Transmitancia normalizada de la especie <i>Pentalinon luteum</i> .	58
Tabla XIII. Transmitancia normalizada de la especie <i>Clitoria ternatea</i> .	59
Tabla XIV. Absorptancia normalizada de la especie <i>Pentalinon luteum</i> .	60
Tabla XV. Absorptancia normalizada la especie <i>Clitoria ternatea</i> .	60
Tabla XVI. Comparativa normalizada de materiales constructivos y especies vegetales.	61
Tabla XVII. Fracciones de las especies utilizadas.	62
Tabla XVIII. Contenido de carbono en cada fracción de las plantas.	64
Tabla XIX. Valores de Carbono y fijación de CO ₂ de la especie <i>Clitoria ternatea</i> .	64
Tabla XX. Valores de Carbono y fijación de CO ₂ de la especie <i>Pentalinon luteum</i> .	65
Tabla XXI. Captura de CO ₂ por m ² de vegetación en tres especies.	66
Tabla XXII. Edad, sexo y carrera de los encuestados.	71
Tabla XXIII. Sensaciones transmitidas.	71
Tabla XXIV. Inmuebles convenientes para instalarlo.	72
Tabla XXV. Percepción del costo.	73
Tabla XXVI. Preferencia por el color de la flor.	74
Tabla XXVII. Interés por más información.	74
Tabla XXVIII. Costo del modelo fachada vegetada.	77
Tabla XXIX. Costo por abono y mantenimiento.	78
Tabla XXX. Tiempo de recuperación de la inversión.	78
Tabla XXXI. Resultados de los indicadores.	82
Tabla XXXII. Desempeño ambiental por categorías.	83

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Clasificación de muros vegetados.	13
Fig. 2 Localización del caso de estudio.	17
Fig. 3 Fachada principal.	17
Fig. 4 Superficie elegida para naturar.	18
Fig. 5 Espacio interior.	18
Fig. 6 Fachada vegetada utilizando el sistema enrejado.	19
Fig. 7 Contenedor de acero.	19
Fig. 8 Anclaje de los soportes.	19
Fig. 9 Sujeción del contenedor.	20
Fig. 10 Goteros en el contenedor.	20
Fig.11 Amarre de la reja de bambú.	21
Fig.12 Estructura de bambú.	21
Fig. 13 Anclaje de la reja.	22
Fig. 14 Instalación de riego.	22
Fig.15 <i>Pentalinon luteum</i> .	23
Fig. 16 <i>Clitoria ternatea</i>	23
Fig. 17 Plantación de la especie <i>Pentalinon luteum</i>	24
Fig. 18 Fibra de coco.	25
Fig.19 Grava de tepetate.	25
Fig. 20 Trituración de tepetate.	25
Fig. 21 Mezcla de los materiales.	25
Fig. 22 Termómetro digital.	27
Fig. 23 Termómetro bajo la vegetación.	27
Fig.24 Termómetro la sombra.	27
Fig. 25 Variación de temperatura en las superficies del muro. 15 - noviembre - 2014.	28
Fig. 26 Variación de temperaturas del aire. 15 - noviembre - 2014.	29
Fig. 27 Variación de temperatura en las superficies del muro. 13 - diciembre - 2014.	29
Fig. 28 Variación de temperaturas del aire. 13 - diciembre - 2014.	30
Fig. 29 Variación de temperatura en las superficies del muro. 27 - diciembre - 2014.	31
Fig. 30 Variación de temperaturas del aire. 27 - diciembre - 2014.	31
Fig. 31 Variación de temperatura en las superficies del muro. 10 - enero - 2015.	32
Fig. 32 Variación de temperaturas del aire. 10 - enero - 2015.	33
Fig. 33 Variación de temperatura en las superficies del muro. 31 - enero - 2015.	34

Fig. 34 Variación de temperaturas del aire. 31 - enero - 2015.	34
Fig. 35 Variación de temperatura en las superficies del muro. 07 - febrero - 2015.	35
Fig. 36 Variación de las temperaturas del aire. 07 - Febrero - 2015.	36
Fig. 37 Variación de temperatura en las superficies del muro. 21 - Febrero - 2015.	37
Fig. 38 Variación de las temperaturas del aire. 21 - Febrero - 2015.	38
Fig. 39 Variación de la temperatura en las superficies del muro. 07- marzo-2015.	39
Fig. 40 Variación de las temperaturas del aire. 07 - marzo - 2015.	40
Fig. 41 Variación de la temperatura en las superficies del muro. 21 - marzo - 2015.	41
Fig. 42 Variación de las temperaturas del aire. 21 - marzo - 2015.	42
Fig. 43 Variación de la temperatura en las superficies del muro. 04 - abril - 2015.	43
Fig. 44 Variación de las temperaturas del aire. 04 - abril - 2015.	44
Fig. 45 Variación de la temperatura en las superficies del muro. 18 - abril - 2015.	45
Fig. 46 Variación de las temperaturas del aire. 18 - abril - 2015.	46
Fig. 47. Reflexión especular (izquierda) reflexión difusa (derecha).	52
Fig. 48 Transmisión de la luz en un material traslúcido.	52
Fig. 49 Absorción de la luz en un medio opaco.	52
Fig. 50 Arreglo experimental para medir la transmitancia de luz a través de las hojas.	54
Fig. 51 Arreglo experimental para medir la reflectancia de luz a través de las hojas.	55
Fig. 52 Reflectancia de la especie <i>Pentalinon luteum</i> .	56
Fig. 53 Reflectancia de la especie <i>Clitoria ternatea</i> .	57
Fig.54 Transmitancia de la especie <i>Pentalinon luteum</i> .	58
Fig. 55 Transmiancia de la especie <i>Clitoria ternatea</i> .	59
Fig. 56 Separación de la planta.	63
Fig. 57 Medición del peso en fresco.	63
Fig. 58 Muestra para secado	63
Fig. 59 Secado en mufla a 60° C asentar	63
Fig. 60 Sensaciones transmitidas vs beneficios al ambiente.	72
Fig. 61 Inmuebles convenientes vs económicamente caro.	73
Fig. 62 Vista exterior del modelo.	75
Fig. 63 Nido de aves.	79
Fig. 64 Insecto polinizador	79
Fig. 65 Mariposa	79
Fig. 66 Colibrí	79
Fig. 67 <i>Ipomoea spp.</i>	80

RESUMEN

La presente investigación muestra el análisis del desempeño de un modelo de fachada vegetada en el contexto del clima (Aw) cálido húmedo, a través de la utilización de indicadores sostenibles de la infraestructura verde. Los resultados mostraron beneficios ambientales, económicos y sociales significativos. La disminución de la temperatura bajo la vegetación alcanzó en promedio 3.6 °C esto representa una reducción del consumo de energía por enfriamiento del 15%.

Las cantidades de captura de carbono en ambas especies de enredaderas analizadas fueron muy similares, el promedio de carbono está en el intervalo de 39 – 46% del peso seco de la planta.

La sensación más percibida en el sondeo fue la frescura, la cual coincidió con el mayor beneficio que fue la mejora de la temperatura interior.

El tiempo de recuperación de la inversión es de seis años sin contar el mejoramiento de la biodiversidad y los servicios ambientales que se observaron.

ABSTRACT

This research shows the performance analysis model vegetated facade in the context of climate (Aw) warm moist through the use of indicators of sustainable green infrastructure. The results showed significant environmental, economic and social benefits. The decrease in temperature under the vegetation is on average 3.6 ° C this represents a reduction of energy consumption for cooling 15%. The amounts of carbon capture in both species analyzed vines were very similar, the average carbon is in the range of 39 - 46% dry weight of the plant. The sensation perceived in the survey was the freshness, which coincided with the biggest benefit was the improvement of the indoor temperature. The recovery time of the investment is six years without improving biodiversity and environmental services were observed.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional en las ciudades genera mayor demanda de bienes y servicios, esto se relaciona con la demanda de energía, cuyo suministro es responsable de aproximadamente el 26% de las emisiones globales de Gases de Efecto Invernadero GEI, siendo la quema de combustibles fósiles la fuente más importante (UN-Hábitat, 2011). Las estimaciones van en aumento, indican que en el 2050 se suscitará un Cambio Climático¹ más perjudicial debido principalmente al incremento del 70% en las emisiones de CO₂ relacionadas con la generación de energía (OCDE, 2012). Las principales actividades responsables de las emisiones de GEI en las urbes de América Latina y el Caribe son el transporte terrestre (38%) y la producción de electricidad (21%); México es el mayor responsable de la participación regional con el 30% (UN-Hábitat 2012), donde el 75% de la electricidad se genera a partir de combustibles fósiles; los sectores vivienda, comercio y servicio público consumen el 23% de la energía total (CONAVI, 2006). El fenómeno del Cambio climático implica diversos problemas de tipo ambiental, uno de ellos es el aumento de la temperatura ambiente, que se agudiza en las ciudades de clima cálido.

Como resultado del cambio climático, se espera que los episodios de calor extremo sean más frecuentes, intensos y duraderos en la mayor parte de la superficie terrestre (...) los episodios extremos son de mayor gravedad en ciudades debido al efecto isla de calor urbano (...) este fenómeno puede provocar en ciudades de países desarrollados con promedio de 1 millón de habitantes, temperaturas atmosféricas de 1 °C a 3 °C más que las áreas circundantes de la ciudad (ONU, 2011, IMAH 2011 p.32).

Uno de los factores que favorece el efecto *isla de calor* es la disminución de las áreas vegetadas en las ciudades, debido al proceso de urbanización, sobre todo en aquellas donde se ha minimizado el valor que poseen y los beneficios que aportan al ambiente urbano; ya que las superficies frecuentemente de concreto y asfalto

¹ Es el cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables (IPCC, 2007, p.67).

absorben y retienen con mayor proporción la energía solar que las superficies vegetadas, provocando el incremento en la demanda de energía para lograr espacios térmicamente confortables. De acuerdo con información de la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, el proceso de urbanización condujo al aumento de la temperatura media anual del valle de México casi dos grados centígrados respecto a mediados de los setentas (El universal, Abril, 2009). Por otro lado, en los últimos veinte años el CO₂ aumentó 30% en esta ciudad (Excélsior, agosto, 2012).

La conexión del ser humano con la vegetación es necesaria para una vida sana, es por ello la necesidad del equilibrio entre el espacio construido y la vegetación. Las grandes áreas vegetadas funcionan como sumideros naturales de carbono, disminuyendo así las concentraciones de GEI y otras partículas contaminantes en el aire. Según la Organización Mundial de Salud OMS, México es el segundo país de América Latina con mayor número de muertes relacionadas con la contaminación del aire (Green, J. & Sánchez, S. 2012), la misma organización sugiere mínimo nueve metros cuadrados de espacio verde por habitante (UN-HABITAT, 2014).

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) a través del Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC) ha emitido una serie de recomendaciones para la adaptación y mitigación ante los efectos del Cambio Climático, que de acuerdo a la capacidad de los Gobiernos locales podrán ser abordadas o ignoradas. En los edificios proponen la aplicación de aislamientos térmicos y recurrir al diseño solar pasivo². Una de las medidas que se aplica actualmente es la naturación urbana, la cual consiste en incorporar la vegetación al medio urbano con el objetivo de amortiguar el desequilibrio entre la urbanización y la conservación del medio ambiente (Urbano, B. & López de M., 2013). Esta tecnología funciona como una estrategia de diseño solar pasivo y consiste en cubrir las superficies de los edificios con vegetación, los fines pueden ser ecológicos, térmicos, estéticos o una combinación de ellos. Su aplicación depende principalmente de los factores climáticos y la vegetación recomendable en cada sitio.

² El diseño solar pasivo se refiere al uso y disposición de los elementos constructivos en función a la radiación solar para reducir el consumo de energía a partir de combustibles fósiles.

La presente investigación tuvo por objetivo medir el desempeño de un modelo de fachada vegetada en el contexto de un clima cálido húmedo a través de indicadores ambientales, sociales y económicos de la infraestructura verde.

La primera etapa de la investigación consistió en la selección del espacio a vegetar. Las condiciones fueron que la superficie del muro estuviera expuesta a la radiación solar durante la mayor parte del día, que protegiera un espacio interior y que su estructura fuera de un sistema tradicional a base de marcos rígidos de concreto.

La segunda etapa fue la construcción del modelo, el cual consistió en un sistema tipo contenedor o enrejado.

La cuarta etapa consistió en la obtención de los indicadores. Estos fueron propuestos de acuerdo a la literatura consultada. Se utilizaron algunos indicadores del desempeño de la infraestructura verde de Pakzad, P. & Osmond, P. S. (2015), los cuales se muestran en la tabla I.

El indicador reducción del uso de energía para enfriamiento se obtuvo a través del comportamiento de la temperatura del espacio vegetado durante seis meses; la estimación se obtuvo en porcentaje, tomando como referencia la disminución de la temperatura del aire promedio durante el horario crítico del día y el consumo de energía requerido para enfriar un grado centígrado una habitación con un equipo de refrigeración de una tonelada.

En este mismo indicador se realizó un estudio de las propiedades ópticas de la vegetación para conocer la absorción, reflectancia y transmitancia de luz a través de las hojas. Información útil en la simulación del comportamiento térmico de una fachada vegetada.

El indicador carbono capturado se basó en la producción de biomasa en un periodo de siete meses para la especie *Clitoria ternatea* y un año seis meses para la especie *Pentalinon luteum*. Posteriormente, se determinó el contenido de carbono por cada fracción de la planta, tomando como referencia un estudio realizado por Carvajal, M. *et al*, en plantas hortícolas de la región Murcia en España. La equivalencia en CO₂ se obtuvo considerando que por cada gramo de carbono asimilado se retira de la atmósfera 3.66 g de CO₂ (García, R. 2014). Dicha equivalencia asimismo la refiere el

Panel Intergubernamental de expertos en Cambio Climático IPCC que indica: (1 Ton de C = 3.667 Ton CO₂).

El indicador social se obtuvo por medio de un sondeo a estudiantes de nivel superior para conocer su percepción respecto al confort, los beneficios y la viabilidad del modelo.

El indicador valor del consumo de energía evitado se calculó utilizando la cantidad de energía evitada en porcentaje y el costo de la energía eléctrica para tarifa doméstica de alto consumo. Se incluyó el tiempo de recuperación de la inversión.

En el indicador aumento del valor de la propiedad se obtuvo a través de estudios previos.

El indicador protección y mejora de la biodiversidad se obtuvo por medio de una selección de las enredaderas nativas de la región norte y centro América originarias del clima cálido-húmedo, los criterios considerados fueron: que tuvieran adaptabilidad al entorno hostil, bajo requerimiento de agua, amplio follaje y apariencia estética. Se observó el riego, el mantenimiento, el abono, la protección de fauna y el aumento de la biodiversidad.

Tabla I. Indicadores para evaluar el desempeño de la infraestructura verde.

Indicador	Categoría
Indicadores ambientales	Reducción del uso de energía para refrigeración. CO ₂ capturado.
Indicador social.	Protección y mejora de la biodiversidad. Sensaciones percibidas.
Indicadores económicos	Valor del consumo de energía evitado. Tiempo de recuperación de la inversión. Valor de las emisiones evitadas de CO ₂ y el secuestro de Carbono.

Fuente: Elaboración propia basada en Pakzad, P. & Osmond, P. S. (2015)

CAPÍTULO I. LA NATURACIÓN DE EDIFICIOS Y SU APOORTE A LA SOSTENIBILIDAD.

1.1 Evolución histórica de la naturación de edificios.

La historia de la naturación inicia con los jardines ornamentales en el techo, desarrollados por las civilizaciones antiguas en los valles de los ríos Tigris y Éufrates. El primer ejemplo de una cubierta verde intensiva se le atribuye al rey Nabucodonosor II en el siglo V a. C. quien construyó los jardines colgantes de Babilonia; por su parte, en los territorios escandinavos se localizan las cubiertas vegetales originarias de las aldeas vikingas (Joost, V. H. & Froukje, V. D., 2008). La revolución industrial permitió la fabricación de nuevos materiales constructivos como el concreto y los impermeabilizantes, por lo que dejaba de ser una práctica vernácula para convertirse en una técnica especializada.

Los primeros techos vegetados en las ciudades surgen en Alemania en los años cincuenta, el detonante fue un movimiento que reconoció el valor de la flora y la fauna y que dio inicio a las investigaciones para mitigar la pérdida del paisaje. Entre los años sesenta y ochenta se profundizan las técnicas constructivas para el crecimiento de las plantas y se promueve su utilización a través de varios libros y artículos. En Sudamérica, Brasil es históricamente el líder en azoteas y muros vegetados, en parte por el legado de Roberto Burle Marx, uno de los diseñadores de paisaje más importantes del siglo veinte. En la Ciudad de México, la investigación de los sistemas de naturación se impulsó por los problemas ambientales (Dunnett, N. & Kingsbury, N. 2010). A partir del 2008 el Gobierno de esa ciudad puso en marcha la norma ambiental NADF-013-RNAT-2007, la cual establece las especificaciones técnicas para la instalación de azoteas vegetadas; cabe destacar que no incluye los muros vegetados. En el artículo 296 bis de su código fiscal señala una reducción del 10% del impuesto predial a los propietarios de inmuebles destinados a casa habitación que tengan azoteas vegetadas.

1.2 La Naturación de edificios en el clima cálido húmedo.

El conocimiento científico sobre naturación de edificios sigue limitándose a las regiones templadas debido al desarrollo y aplicación que tuvo en Europa desde principios del siglo XX, sin embargo, actualmente existen investigaciones para obtener la vegetación y la composición del sustrato más recomendable para regiones con clima cálido húmedo.

El clima cálido húmedo se caracteriza por altas temperaturas durante la mayor parte del año, poca oscilación térmica y alta humedad relativa, de todos los climas resulta ser el más complejo para el uso del diseño bioclimático³ ya que, para lograr espacios confortablemente térmicos es necesario disminuir tanto la sensación de calor como la humedad.

La ciudad de Acapulco posee a un clima cálido húmedo. Antes de convertirse en un polo de desarrollo turístico, su fisonomía estaba compuesta por casas y construcciones de adobe o bahareque⁴, cubiertas de teja y pórticos para la protección del sol; los espacios habitables se creaban con un sentido común para aprovechar el viento, la sombra, la luz y la vegetación. El crecimiento extensivo de la ciudad sin respetar la normatividad ha ejercido una fuerte presión sobre sus ecosistemas naturales. La Zona Metropolitana está clasificada por sectores, el denominado Sector Anfiteatro se localiza frente a la bahía de Santa Lucía, tiene una extensión de 2,400 Has, en él radica el 35% de la población total del municipio, es donde se concentra el mayor número de comercios, servicios públicos y privados, los cuales comprenden el 27.52% del área total del sector, el 48.29% es de uso habitacional y mixto. Los espacios abiertos que agrupan plazas, parques y campos de golf ocupan el 3.62% y las áreas de conservación el 6.32% destacando la Isla La Roqueta (PDZMA, 2001). De acuerdo a cifras del Plan Director de Desarrollo Urbano de Acapulco PDDUA (2015), la superficie de área verde por habitante en la Zona

³ El diseño Bioclimático es una manera de lograr espacios térmicamente confortables, se fundamenta en un estudio de las variables climáticas, biológicas y tecnológicas para implementar elementos y sistemas constructivos con nulo consumo de energía por medios mecánicos.

⁴El bahareque es un sistema constructivo vernáculo para la construcción de muros, consta de una estructura ligera entretejida de madera, caña o carrizo, rellena con piedras y cubierta con una mezcla de tierra y cal.

Metropolitana de Acapulco equivale a 2.57 metros cuadrados, menos de un tercio de lo recomendado por la OMS. La escasa vegetación implica menor área de sombra y con ello más absorción de calor; este escenario causa estrés térmico en las personas, pero también se asocia con incrementos potenciales en el consumo de energía eléctrica para enfriamiento de los espacios interiores. Desde el punto de vista bioclimático, en el clima cálido húmedo la naturación de edificios debe permitir la disminución de la temperatura y de la humedad relativa. La solución natural a esto es el incremento de la superficie sombreada y facilitar la ventilación.

1.3 La importancia de la vegetación nativa.

Es recomendable el uso de vegetación nativa, porque aportan mayores servicios ambientales⁵, ya que las especies introducidas⁶ o exóticas poseen una gran capacidad de adaptación y colonización, es decir, tienden a ser más resistentes y por lo tanto, pueden invadir y desplazar a la vegetación nativa, provocando la pérdida de diversidad dentro del ecosistema.

Las especies vegetales herbáceas y leñosas nativas tienen la potencialidad de crecer en zonas profundamente alteradas y con el tiempo permiten la recuperación de la fertilidad del suelo, un microclima y un ciclo hidrológico similar al original y el restablecimiento de al menos parte de la flora y fauna nativa que aún sobrevive en algunos sitios (Vázquez, C., *et al*, p.3).

1.4 Beneficios ambientales y sociales de la naturación.

1.4.1 Calidad del aire.

Las superficies vegetadas mejoran la calidad del aire ya que las plantas eliminan la concentración de contaminantes en el interior de los espacios, capturan bióxido de carbono y producen oxígeno. Un sistema de vegetación interior tipo maceta puede

⁵ Los servicios ambientales son los beneficios que la gente recibe de los diferentes ecosistemas forestales, ya sea de manera natural o por medio de su manejo sustentable, [...] los servicios ambientales influyen directamente en el mantenimiento de la vida, generando beneficios y bienestar para las personas y las comunidades. Son ejemplos de servicios ambientales del bosque: captación y filtración de agua, mitigación de los efectos del cambio climático, generación de oxígeno y asimilación de diversos contaminantes, protección de la biodiversidad, retención del suelo, refugio de fauna silvestre, belleza escénica entre otros (CONAFOR, 2014).

⁶ Las especies introducidas son aquellas que se dan fuera de su ámbito natural, como resultado de la dispersión incidental o accidental producida por actividades humanas.

reducir o eliminar los compuestos orgánicos volátiles VOC's del aire interior aproximadamente en veinticuatro horas (Wood, R. A. 2003).

25 m² de superficie de hoja produce 27 gramos de oxígeno por hora al día, lo que equivale la cantidad de oxígeno que un ser humano podría requerir para el mismo período de tiempo (Peck, S. & Callahan, C. 1999).

El CO₂ secuestrado por las plantas es el resultado de las diferencias entre el CO₂ atmosférico absorbido durante el proceso de la fotosíntesis y el CO₂ emitido durante la respiración. Esta diferencia es convertida en biomasa y suele oscilar entre el 45 – 50% del peso seco de la planta (Espada, J. L. 2013). Un estudio realizado por Getter K.L. *et al* (2009) muestran que una cubierta extensiva de Sedum⁷ puede capturar en promedio 375 g C por m² en un periodo de seis meses; 168 g C m² en la biomasa aérea, 107 g C m² en la raíz y 100 g C m² en el sustrato. Es decir, el 45% lo captura la vegetación aérea, el 28% la raíz y el 27% el sustrato.

1.4.2 Servicios ecosistémicos.

Los servicios ecosistémicos más fácilmente reconocibles son los de provisión. Se trata de bienes tangibles también llamados recursos naturales o bienes; en esta categoría están incluidos los alimentos, el agua, la madera, las fibras. Estos servicios proporcionan el sustento básico de la vida humana; los esfuerzos por asegurar su provisión guían las actividades productivas y económicas. Otros servicios igualmente fundamentales para el bienestar humano, aunque mucho menos fáciles de reconocer, son los de regulación. En este caso se incluyen procesos ecosistémicos complejos mediante los cuales se regulan las condiciones del ambiente en que los seres humanos realizan sus actividades productivas. En esta categoría se incluyen la regulación climática, la regulación de los vectores de enfermedades y la regulación de la erosión de los suelos, entre otros. Los servicios de sustento son los procesos ecológicos básicos que aseguran el funcionamiento adecuado de los ecosistemas y el flujo de servicios de provisión entre estos se encuentran el mantenimiento de la biodiversidad (Balvanera P.H. & Cotler *et al.* (2009).

⁷ Sedum es un género de plantas que pertenece a la familia crassulaceae, comúnmente nombradas suculentas porque retienen gran cantidad de agua en su interior.

1.4.3 Comportamiento térmico en climas cálidos.

Desde el punto de vista térmico los muros y azoteas vegetadas funcionan como aislamiento, es decir, permiten la estabilidad de la temperatura del aire en el interior de los edificios. En los climas cálidos resulta muy benéfico, sobre todo en la época de verano.

De acuerdo a Theodosiou, T. (2003) en un ambiente de calor se debe generar mayor área de sombreado. Por otro lado, la evapotranspiración⁸ causada por la vegetación y el sustrato puede disminuir la temperatura local; sin embargo, conlleva un incremento en la concentración de vapor en la zona del follaje; para que continúe el sistema de transpiración los vapores se deben retirar por medio del viento. Niachou, N. *et al* (2001) sugieren la ventilación durante el día y la noche para mantener la temperatura del aire a bajos niveles. Estudios realizados por Theodosiou T. (2003) & Niachou, N. *et al* (2001) demostraron que en climas cálidos, la ausencia de materiales aislantes es la decisión de diseño más efectiva en los techos vegetados.

En una simulación realizada por Alexandri, E. & Jones, P. (2008) se halló que para un clima cálido húmedo a escala urbana, las superficies vegetadas pueden disminuir la temperatura del aire en el interior del cañón urbano⁹ hasta 8.4 °C. Observaron que los muros vegetados tienen un efecto más fuerte que las cubiertas en el interior del cañón urbano y que la combinación de ambos conduce a la máxima disminución de las temperaturas.

Los edificios están aislados con mayor eficacia contra la ganancia de temperatura en el verano por el sombreado más que por el aislamiento dentro de la estructura, la sencilla razón es que el sombreado detiene la entrada de calor en el primer plano; las enredaderas son el camino más efectivo para lograrlo.

Las enredaderas pueden reducir drásticamente la temperatura máxima en un edificio por el sombreado de los muros, la fluctuación de la temperatura diaria se reduce hasta en un 50%. La eficacia de este enfriamiento se relaciona principalmente con el área total sombreada más que con el espesor de la planta. Junto con el efecto de

⁸ La evapotranspiración es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua.

⁹ El cañón urbano es el espacio que separa los edificios ubicados de forma paralela a lo largo de una calle.

aislamiento, las fluctuaciones de temperatura en la superficie de la pared se pueden reducir desde 10 °C y 60 °C hasta 5 °C y 30 °C.

Una reducción de F_{10^0} equivalente a 12.22 °C en la temperatura del aire exterior logrado a través de la disposición juiciosa de árboles de sombra (techos verdes y jardines verticales), puede reducir el consumo de energía para el aire acondicionado en un 50 - 70% (Peck, S. & Callaghan C. 1999).

En la Ciudad de Acapulco Guerrero se realizó una simulación del comportamiento térmico de una azotea vegetada para una vivienda popular, aplicando un modelo matemático-experimental. Las variables utilizadas fueron las propiedades térmicas y ópticas de los materiales constructivos y los factores climáticos. La conductividad térmica del sistema tipo extensivo sin vegetación fue de 0.091 W/m °C; por lo que se comprobó su alto funcionamiento como aislante térmico. También se observó una reducción del 40% en la ganancia de calor a través de la azotea y la disminución de la temperatura del aire interior hasta de 1.5 °C. Cabe señalar que la ventilación de la vivienda era deficiente, los resultados pueden mejorar en espacios interiores que tengan mejor ventilación natural (Carbajal, J., *et al*, 2009).

1.4.4 Manejo de las aguas pluviales.

Las azoteas vegetadas absorben y retardan el escurrimiento del agua pluvial, lo cual evita inundaciones por tormentas, muy comunes en los climas tropicales. El volumen de agua que puede retener una cubierta vegetada lo largo de un año puede comprender entre el 40% y el 80% de todo el volumen de la precipitación. Este porcentaje depende de la estructura de la cubierta, el número de capas y su correspondiente espesor, las condiciones climáticas y la cantidad de precipitación (Diez, T. 2013).

1.4.5 Bienestar mental.

La vegetación está relacionada con la satisfacción de las personas. Los empleados de oficina pasan la mayor parte de su tiempo en el trabajo; por lo tanto, es importante que el espacio interior sea benéfico para su salud y agradable a la vista. La vegetación en el interior de los edificios proporciona beneficios asociados con el mejoramiento del ambiente laboral derivado de investigaciones que vinculan la proximidad de la naturaleza con la recuperación rápida de pacientes y el menor

ausentismo en oficinas (Loh, S., 2008). En un estudio realizado a trabajadores de oficina en Noruega para detectar los beneficios de las plantas de interior en un contexto laboral se observó que las plantas ubicadas en espacios de descanso tienen efectos más placenteros que las colocadas en las áreas de trabajo, así mismo, destacó la importancia de la disponibilidad de una vista a través de una ventana. Parte de las conclusiones de este estudio fue la propuesta de investigar las características de las plantas más allá de su presencia física, como el tamaño, la forma, las especies y el color, ya que podrían desempeñar un papel importante en cómo se perciben y evalúan las plantas por los empleados (Bringslimark, T., Hartig, T. & Grindal, G. 2007).

1.4.6 Aspectos estéticos.

La parte estética generalmente es uno de los aspectos descuidados en las ciudades, en los edificios a menudo se abandona el mantenimiento exterior, por otro lado, la monotonía gobernada por el asfalto y el concreto provoca falta de identidad. Recurriendo al diseño de paisaje se pueden lograr superficies vegetadas que incorporen alto valor en el paisaje urbano.

En la tabla II se puede apreciar un resumen de los beneficios de la naturación en edificios.

Tabla II. Beneficios de la naturación de edificios.

Beneficios económicos	Beneficios ambientales	Beneficios sociales
<ul style="list-style-type: none"> • Reduce el consumo de energía por medios mecánicos de climatización. • Aumenta la esperanza de vida de los edificios. • Genera un efecto positivo en la imagen de la empresa. • Produce alimentos y especies ornamentales. • En algunas ciudades causa la reducción de impuestos por su aplicación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora la calidad del aire. • Mitiga el efecto isla de calor. • Controla la escorrentía pluvial. • Aumenta la biodiversidad. • Reduce el ruido al interior del inmueble. • Estabiliza la temperatura interior del inmueble. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce el estrés, la presión arterial y muscular de las personas que están en contacto con la vegetación. • Aumenta una superficie útil en la edificación • Aumenta las áreas verdes en las ciudades. • Mejora la estética y el entorno urbano.

Fuente: Elaboración propia basada en Diez I. (2013), Dunnett N. *et al*, (2008), Loh, S. (2008).

CAPÍTULO II. LOS SISTEMAS DE NATURACIÓN EN MUROS.

2.1 Clasificación.

“La naturación de muros suele clasificarse en tres sistemas: Paneles; bolsas de fieltro textil y contenedores o enrejados” (Loh S. 2008, p.2). El sistema panel comprende módulos que se sujetan o anclan al muro, dejando una separación variable entre ambas superficies; los paneles pueden ser prefabricados o contruidos *in situ*, la vegetación se incrusta en el panel, el cual contiene el medio de crecimiento o sustrato. En el sistema fieltro la vegetación se inserta en bolsas que se adhieren por la parte posterior a una membrana impermeable ya que el fieltro se debe mantener continuamente húmedo para nutrir las plantas. En el sistema enrejado se utilizan especies de trepadoras o enredaderas, las cuales se plantan en un contenedor y suben a través de una malla o reja metálica separada del muro. Cabe señalar que este último es el más apropiado para un clima cálido húmedo pues la estructura facilita la ventilación del follaje, por otro lado, es notable la diversidad de especies trepadoras que existen en los climas tropicales húmedos. Las características de los tres sistemas se pueden apreciar en la fig.1.

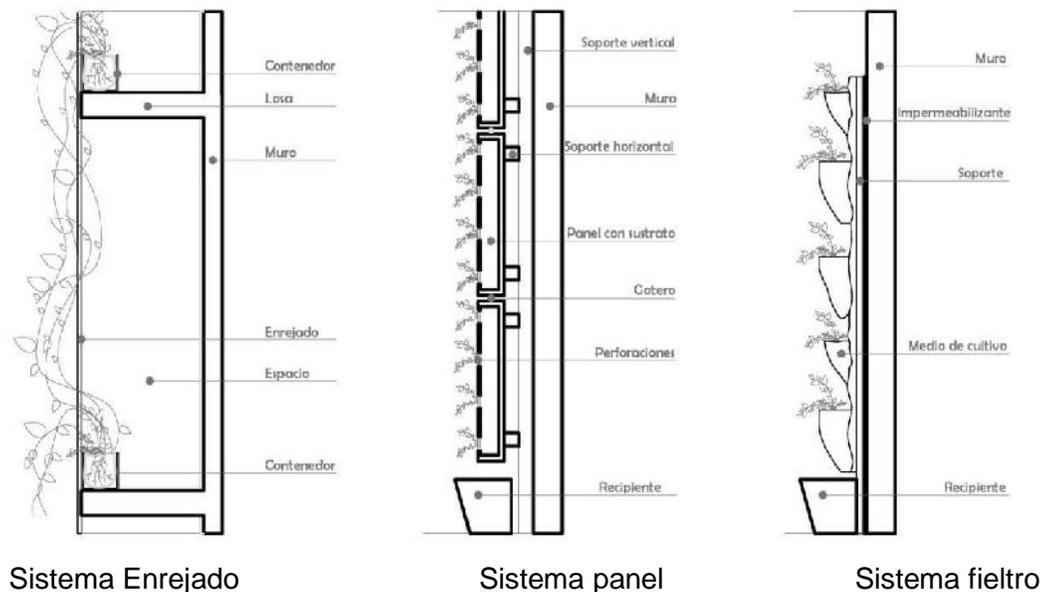


Fig. 1 Clasificación de muros vegetados
Fuente: Figura modificada de (Loh, S. 2008).

2.2 El sustrato.

El sustrato o medio de crecimiento junto con la vegetación, son los componentes térmicamente más significativos de los muros y las azoteas vegetadas. El primero debe ser de baja densidad y conductividad térmica, con la finalidad de disminuir la carga muerta en las estructuras y para aislar térmicamente los espacios interiores. En un estudio realizado por Palomo, E. (1998) para analizar los procesos térmicos que ocurren en las azoteas vegetadas y evaluar su potencial en verano concluyó que el espesor de la capa de sustrato, la densidad y el contenido de humedad determinan su difusividad térmica, esta aumenta con la densidad y disminuye con el contenido de humedad del suelo.

La capacidad de absorber y drenar agua es otra cualidad necesaria para prolongar la vida de las plantas, disminuir la temperatura de las superficies y para evitar la excesiva escorrentía pluvial en periodos cortos de tiempo.

El medio de crecimiento ideal es de peso ligero y bueno para retener agua, además de ser poroso y drenar libremente. Entre más cantidad de agua retenga el medio, más peso se añade a la azotea. El medio debe además proporcionar y absorber nutrientes, anclar las plantas, proveer suficiente peso para evitar que flote cuando esté mojado (...) y retener la mayor parte de su volumen. La mezcla ideal del medio extensivo es de arenilla o materiales granulares que equilibren la absorción de agua con una adecuada superficie porosa. El sustrato ideal para techos verdes extensivos debe consistir de 75 a 95 por ciento medio inorgánico (...) Los materiales particularmente adecuados para techos extensivos incluyen pizarra expandida, arcilla expandida, barro cocido, piedra pómez volcánica, escoria, arena y tejas de arcilla triturada (Snodgrass, E. & Snodgrass L., 2006, pp. 68-69).

De acuerdo a la Norma Ambiental de la Ciudad de México NADF-013-2007, en los sistemas de azotea extensivos la mezcla de sustrato deberá estar conformada por lo menos de 70% material poroso con un diámetro preponderante de 3.2 mm.

La combinación de humus de lombriz y fibra de coco puede funcionar como un sustrato con alto potencial de retención de agua y al mismo tiempo de gran eficiencia para el crecimiento de las plantas ya que el humus de lombriz en el sustrato causa la liberación gradual de nutrimentos, limita las pérdidas por lixiviación y favorece la

absorción paulatina de nutrimentos la fibra de coco supera al suelo en términos físicos como retención de humedad, densidad y peso, además posee excelentes propiedades de adhesión y cohesión (Gómez, F. 2001).

Según el biólogo Jerónimo Reyes investigador del Instituto de Biología de la UNAM, en la naturación de azoteas para el cultivo de hortalizas la combinación óptima es de 50% sustrato orgánico y 50% material pétreo poroso.

2.3 La vegetación.

Es necesario plantar una variedad de especies que requieran poco mantenimiento, que puedan adaptarse a las condiciones extremas del lugar de plantación y que permitan obtener una cobertura de vegetación rápida y duradera (NADF-013 2007). Las suculentas son especies que almacenan agua en sus hojas, en México existen comúnmente las familias: cactáceae, agaváceae y crassuláceae. En los climas húmedos es importante colocar vegetación con amplia densidad de follaje y de porte medio-alto para facilitar el flujo de aire y con esto retirar el vapor de humedad, así como aumentar el proceso de evapotranspiración (Theodosiou, T. 2003). Las plantas CAM¹⁰ que utilizan el ácido metabólico a modo de fotosíntesis como la familia crassulácea, que cierran total o parcialmente sus estomas durante el día evitando así la pérdida de humedad y realizando el efecto de evapotranspiración por la noche generando un sistema de enfriamiento evaporativo, mejorando el funcionamiento térmico sobre todo en climas secos (Wong N. 2005). El género *echeveria* pertenece a esta familia, crece de manera silvestre en el norte del Continente Americano y consta de aproximadamente 154 especies registradas, cerca del 85% son nativas de México (Reyes, P. J., 2011). El *Sedum dendroideum* es una de las especies con mayor rendimiento en los climas templados como la Ciudad de México, pues se abastecen solamente con el agua de lluvia y su mantenimiento es nulo. En el anexo 5 se muestran especies de crassuláceas que pueden adaptarse a un muro verde tipo panel en el clima cálido húmedo de Acapulco Guerrero, detectadas por medio de un estudio experimental (Carbajal, J., *et al*, 2012).

¹⁰ El metabolismo ácido de las crasuláceas CAM, es un ejemplo de adaptación al estrés ambiental y se presenta en plantas de sitios con periodos de escasa disponibilidad de agua o de CO² (Andrade, J.L. *et al* 2007)

CAPÍTULO III. INDICADORES DE LA INFRAESTRUCTURA VERDE.

Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico OCDE, un indicador es un parámetro o el valor resultante de un conjunto de parámetros, que ofrece información sobre un fenómeno y que posee un significado más amplio que el estrictamente asociado a la configuración del parámetro. Un indicador se usa para conocer algo y frecuentemente, tomar una decisión.

El Consejo de la Construcción verde de Estados Unidos *Green Building Council* creó la certificación Liderazgo en Energía y Diseño Medioambiental LEED¹¹ un sistema de certificación internacional del desempeño ambiental en los edificios. En este se utilizan categorías, prerrequisitos y requisitos para sumar puntos que dan como resultado el grado de sostenibilidad de las edificaciones nuevas y existentes. Los sistemas de naturación siguiendo sus criterios pueden funcionar como indicadores sostenibles en las siguientes categorías: uso eficiente del agua, al seleccionar vegetación de bajo requerimiento en agua y utilizar dispositivos de riego de bajo consumo; energía y atmósfera, al reducir el consumo de energía para climatizar y mitigar los niveles de contaminación del aire y por último en calidad ambiental interior, al mejorar el confort térmico.

Actualmente no existen indicadores específicos para evaluar el desempeño sostenible de los sistemas de naturación; sin embargo, se pueden utilizar algunos propuestos por Pakzad, P. & Osmond, P. S. (2015) para evaluar el desempeño sostenible de la infraestructura verde¹² ver (ANEXO 6)

¹¹ La certificación LEED consiste en hacer una evaluación de los edificios a partir de una metodología en las fases de diseño, construcción y operación, para conocer su grado de sostenibilidad.

¹² La infraestructura verde es una red planificada de espacios naturales, semi-naturales y otros elementos ambientales diseñados y gestionados para ofrecer una amplia gama de servicios ecosistémicos. Incorpora espacios verdes (o azules en el caso de los sistemas acuáticos) y otros elementos físicos de espacios terrestres (Comisión Europea, 2013, p. 3).

CAPÍTULO IV. CASO DE ESTUDIO.

4.1 Localización.

El caso de estudio se localiza en la zona Centro de la Ciudad de Acapulco Guerrero, México, coordenadas 16.86° latitud Norte y 99.90° longitud Oeste. El inmueble forma parte del Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Guerrero CICTEG, localizado en la colonia Vista Alegre, cerrada Río Atoyac no. 05. En las fig. 2 y 3 se puede observar la ubicación y la fachada principal del inmueble respectivamente.

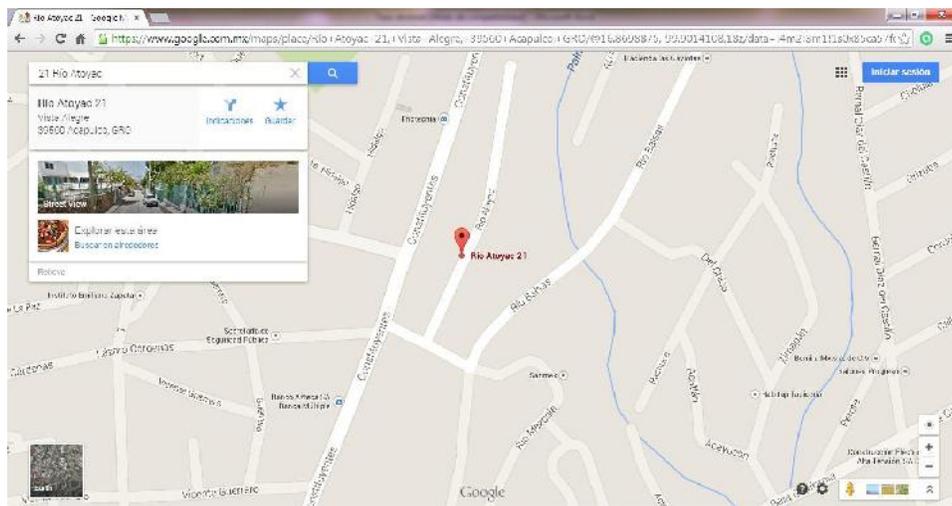


Fig. 2 Localización del caso de estudio.

Fuente: Google maps



Fig. 3 Fachada principal.

Fuente: Google maps

4.2 Espacio seleccionado.

Es una habitación que se localiza en la planta alta del inmueble, el muro se eligió por ser térmicamente el más crítico ya que su orientación es sur, expuesto al sol todo el día. La fachada principal está orientada al poniente y tiene salida un balcón que recorre edificio. En la fig. 4 se observa la superficie exterior del muro a natural, es un macizo de 7.70 m²; a un costado tiene una ventana de 1.80 m². En la fig. 5 se puede ver el espacio interior. La estructura del edificio está compuesta por marcos rígidos de concreto y muros de tabique rojo recocido con acabado de cemento-arena.



Fig. 4 Superficie elegida para naturar.
Fuente: Propia



Fig. 5 Espacio interior.
Fuente: Propia

4.3 Construcción del modelo.

Se seleccionó el sistema fachada vegetada, comprende un recipiente metálico y una reja prefabricada para la guía de la vegetación de tipo trepadora. En la fig. 6 se muestra el detalle del sistema. La reja se separó de la pared 5 cm para evitar la saturación de humedad en el follaje y proteger la superficie del muro.

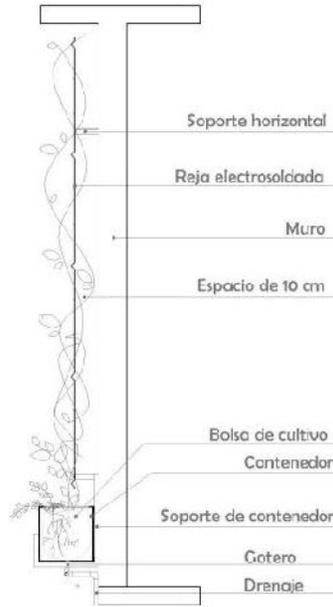


Fig. 6 Fachada vegetada utilizando el sistema enrejado.
Fuente: Elaboración propia

El contenedor de 30 cm de altura y profundidad por 1.80 m de longitud está formado por una estructura metálica con ángulos de 1 x 1/8 de pulgada, cubierto con lámina galvanizada calibre 18. Para protegerlo de la intemperie se cubrió por dentro y por fuera con dos capas de pintura anticorrosiva y una capa de pintura de aceite color metálico (ver fig. 7). En la parte inferior se hicieron cuatro perforaciones para el drenado del agua. Se sujetó por medio de tres soportes metálicos anclados al muro estructural (ver fig. 8).



Fig. 7 Contenedor de acero.
Fuente: Propia



Fig. 8 Anclaje de los soportes.
Fuente: Propia

Se colocaron dos capas de plástico en el interior del contenedor para protegerlo de la corrosión y evitar el contacto con el sustrato. En las fig. 9 y 10 se muestra la sujeción del contenedor, la colocación del plástico y los goteros para el drenado del agua. El agua que drena se canalizó por medio de una tubería de PVC de 10 cm a un jardín en la planta baja. Si no existiera una superficie permeable a nivel del piso se requeriría dirigir el agua a un sumidero. La instalación se realizó el día 29 de marzo de 2014, para realizarla se utilizaron andamios debido a que la superficie a natural se encuentra en un segundo nivel.



Fig. 9 Sujeción del contenedor.
Fuente: Propia



Fig. 10 Goteros en el contenedor.
Fuente: Propia

Al principio el enrejado consistió en una estructura de bambú, proveniente de la zona Llano largo, de diámetro aproximado de 1 pulgada. Fue curado previamente con una fórmula compuesta de ácido bórico, bórax decahidratado y sulfato de cobre en proporción 1:1:0.5. En 10 litros de agua se diluyeron 100 g de ácido bórico, 100 g de bórax decahidratado 50 g de sulfato de cobre, para impregnar los carrizos durante cinco días. Posteriormente se secaron al sol durante 24 horas. La reja de bambú se armó en secciones de 43 x 43 cm, los amarres se hicieron con yute como se muestra en las fig.11 y 12. La estructura de bambú no tuvo tanta rigidez. Puede funcionar si se colocan tornillos y rondanas de acero en los puntos de conexión y si la duración del secado se hace por mínimo cuatro días.



Fig.11 Amarre de la reja de bambú.
Fuente: Propia



Fig.12 Estructura de bambú.
Fuente: Propia

Se optó por una reja metálica prefabricada de 4.00 m² cuyas dimensiones son 2.00 x 2.00 m. Se sujetó al muro por medio de una solera de 2 pulgadas anclada en los extremos. En México existen dos marcas de rejjas prefabricadas EUROJERA y DEACERO, son paneles prefabricados de alambre electro-soldado, galvanizado y con acabado de poliéster para protegerse de la corrosión y evitar el calentamiento (ver fig. 13). El sistema de riego es por gravedad, provienen de un depósito en la azotea del edificio. Se colocó una válvula de globo para activar el riego manualmente. A un costado de la reja baja una tubería de PVC de ½ pulgada que distribuye horizontalmente el agua al contenedor con perforaciones de 3 mm a cada 10 cm (ver fig. 14). El riego para grandes extensiones puede funcionar con un sistema de riego por goteo automatizado por medio de un temporizador energizado a través de un panel solar fotovoltaico. Es recomendable que la tubería esté cubierta para evitar el desgaste por el sol.



Fig. 13 Anclaje de la reja.
Fuente: Propia



Fig. 14 Instalación de riego.
Fuente: Propia

4.4 Enredaderas seleccionadas.

La especie *Clitoria tenatea* pertenece a la familia Fabacea, es una leguminosa que crece de manera silvestre en el clima cálido húmedo; su follaje de hojas pequeñas y ovaladas de flores azules o blancas la hacen atractiva desde el punto de vista estético; actualmente tiene otras aplicaciones como abono verde y forraje para ganado bovino. Cabe señalar que no se distribuye en los viveros comerciales de la región; por lo tanto, se tuvo que hacer una colecta en sitio para reproducirla; se debe tener control en su reproducción ya que puede invadir rápidamente.

La especie *Pentalinon luteum* es de tallos leñosos, originaria de Centro América, pertenece a la familia *Apocinaceae*; sus hojas son ovaladas y ligeramente brillantes de color verde claro, sus flores son amarillas en forma de campana, actualmente se utiliza como planta ornamental, requiere de abundante exposición solar, posee alta tolerancia a la sequía y crece en suelos pobres de nutrientes.

Ambas son trepadoras nativas de las regiones tropicales húmedas de América, seleccionadas por su alta tolerancia a la sequía, a la exposición solar, por su aspecto ornamental y mínimo mantenimiento. Ambas tienen un ciclo vegetativo perennifolio.

En las fig. 15 y 16 se muestran parte del follaje de cada especie y en la tabla III la paleta vegetal que indica sus características y requerimientos.



Fig.15 *Pentalinon luteum*
Fuente: Propia



Fig. 16 *Clitoria ternatea*
Fuente: Propia

Tabla III. Paleta vegetal.

Taxonomía			Características			Requerimientos			
Familia	Género	Nombre científico	Origen	Altura	flor	Agua	Sol	Suelo	Plantación
Fabaceae	Clitoria	<i>Clitoria ternatea</i>	Regiones tropicales y subtropicales de ambos continentes.	2.0 m	Azul y Blanca	cada 3 días	Abundante	Drenado	cada 40 cm
Apocynaceae	Pentalinon	<i>Pentalinon luteum</i>	Centro América	2.00 - 3.00 m	Amarilla	cada 3 días	Abundante	Drenado	cada 60 cm

Fuente: Elaboración propia.

La plantación de la especie *Pentalinon luteum* se realizó el 04 de junio de 2014. Se plantaron dos individuos de 1m de altura separados 90 cm aproximadamente (ver fig. 17). El primer mantenimiento de la vegetación se realizó el día 26 de julio consistió en guiar las plantas a la reja; el segundo mantenimiento fue el día 20 de setiembre se colocó tierra de hoja como abono. El día 11 de octubre de 2014 se sembró la especie *Clitoria ternatea*. El miércoles 26 de noviembre de 2014 la especie *Pentalinon luteum* perdió el follaje casi completamente mientras que la especie *Clitoria ternatea* conservó su follaje y floración. Se decidió regarlo cada cuatro días durante siete minutos. Dos semanas después, el día 13 de diciembre la especie

Pentalinon luteum recuperó su follaje significativamente. Ese mismo día se detectó una especie de *Ipomoea* sp. de flor lila.

Ya que el experimento de captura de carbono se repitió, la especie *Clitoria ternatea* se sembró nuevamente el día 05 de mayo de 2015.



Fig 17 Plantacion de la especie *Pentalinon luteum*.
Fuente: Propia

4.5 El sustrato.

Es una mezcla de materiales locales, compuesto con piedra de tepetate triturada a 1 cm de granulometría aproximadamente, fibra de coco, humus de lombriz y abono de hoja. La fibra de coco se secó al sol durante tres días previamente para eliminar la salinidad. La proporción de la mezcla se muestra en la tabla IV. Los materiales utilizados y la mezcla de sustrato se observan en las fig.18 - 21.

Tabla IV. Proporción de la mezcla de sustrato.

Material	Proporción
Fibra de coco	0.30
Grava de tepetate	0.20
Humus de lombriz	0.30
Abono de hoja	0.20

Fuente: Elaboración propia.

El tepetate y la fibra de coco se encontraron disponibles en sitio en la zona de Cayaco-Puerto Marqués. Únicamente el humus de lombriz se adquirido en una tienda comercial.

La trituración de la piedra de tepetate se hizo manualmente como se muestra en la fig. 20 utilizando un marro.

Se observó dificultad para que los materiales se mezclaran con uniformidad. Por lo que se sugiere triturar previamente la fibra de coco y cribar la piedra previamente.



Fig. 18 Fibra de coco.
Fuente: Propia



Fig.19 Grava de tepetate.
Fuente: Propia



Fig. 20 Trituración de tepetate.
Fuente: Propia



Fig. 21 Mezcla de los materiales.
Fuente: Propia

CAPÍTULO V. COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL MODELO.

5.1 Método de análisis térmico.

Se compararon las temperaturas de la superficie exterior e interior del muro vegetado y no vegetado, así como las temperaturas del aire exterior e interior.

El registro de las temperaturas fue a cada hora en el horario de 8:00 a.m. - 6:00 p.m. En total se hicieron once registros a partir del día 13 de diciembre de 2014 al 18 de abril del 2015.

Se colocaron siete termómetros digitales con cable sensor que registraron las temperaturas en °C. Las temperaturas analizadas se muestran en la tabla V y el equipo utilizado se puede ver en la fig. 22.

Tabla V. Registro de temperaturas analizadas.

Temperatura del aire interior.
Temperatura del aire exterior (a la sombra)
Temperatura del aire exterior (al sol)
Temperatura del aire exterior (bajo la vegetación)
Temperatura de la superficie exterior (expuesta al sol)
Temperatura de la superficie exterior (vegetada)
Temperatura de la superficie interior.

Fuente: Elaboración propia

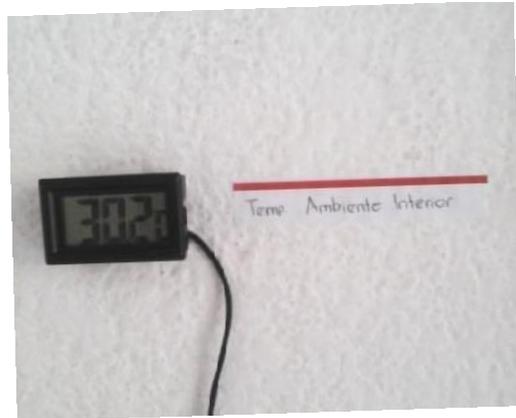


Fig. 22 Termómetro digital.
Fuente: Propia

En la fig. 23 se observa el sensor que registró la temperatura de la superficie exterior vegetada y la temperatura del aire bajo la vegetación. En la fig. 24 se aprecia el termómetro que registró la temperatura del aire exterior a la sombra; se colocó en la superficie interior del muro sin vegetación, en el espacio del corredor, su orientación es norte por lo tanto, no recibe radiación solar directa y está protegido del viento dominante.



Fig. 23 Termómetro bajo la vegetación.
Fuente: Propia



Fig. 24 Termómetro la sombra.
Fuente: Propia

5.2 Resultados de las temperaturas.

En la fig. 25 se aprecia la variación de la temperatura de las superficies del muro como función de la hora durante el día 15 de noviembre del 2014. La disminución máxima de la temperatura de la superficie interior respecto a la temperatura de la superficie expuesta al sol fue a las 14:00 con 9.2° C. La disminución máxima de la temperatura de la superficie interior respecto a la superficie exterior vegetada fue a las 13:00 horas con 7.2 °C. La sombra provocada por la vegetación disminuye la temperatura de la superficie exterior hasta 6.4 °C en el horario de las 15:00.

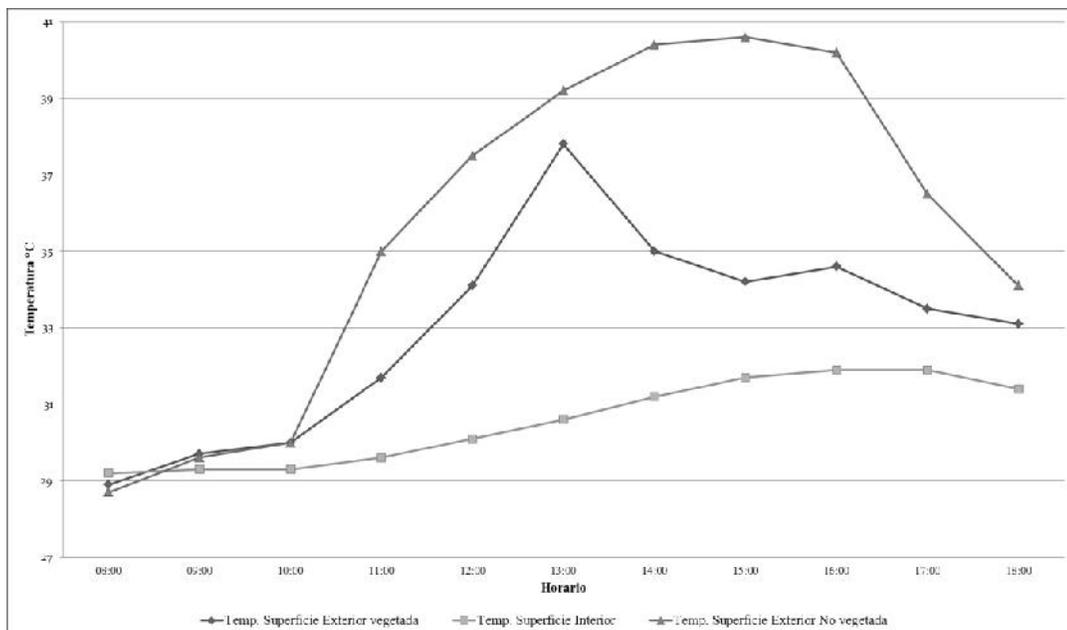


Fig. 25 Variación de temperatura en las superficies del muro. 15 de noviembre de 2014.
Fuente: Propia

En la figura 26 se pueden observar las diferencias entre la temperatura del aire del día 15 de noviembre de 2014. La disminución máxima de la temperatura del aire interior respecto a la temperatura del aire exterior a la sombra se registró a las 12:00, 13:00 y 15:00 horas alcanzando 0.9 °C.

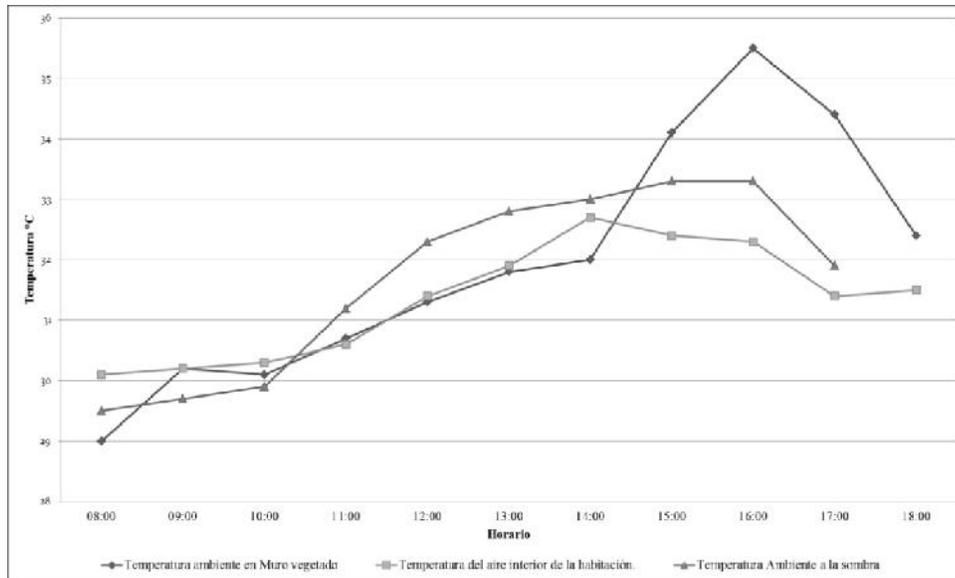


Fig. 26 Variación de temperaturas del aire. 15 de noviembre de 2014.
Fuente: Propia

En la figura 27 se aprecia la variación de la temperatura de las superficies del muro como función de la hora durante el día 13 de diciembre del 2014. La disminución máxima de la temperatura de la superficie interior respecto a la temperatura de la superficie expuesta al sol fue a las 14:00 con 9.4° C. La disminución máxima de la temperatura de la superficie interior respecto a la superficie exterior vegetada fue a las 17:00 horas con 6 °C. La sombra provocada por la vegetación disminuye la temperatura de la superficie exterior hasta 5.5 °C en el horario de las 16:00.

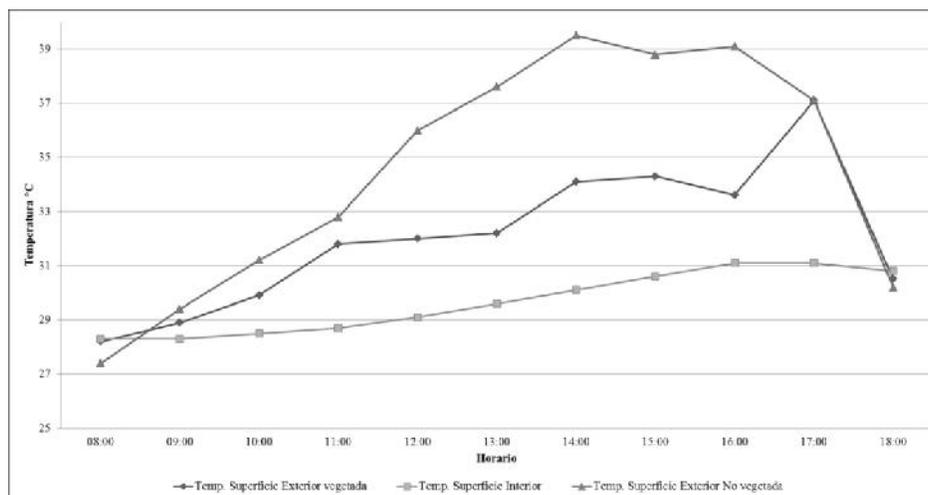


Fig. 27 Variación de temperatura en las superficies del muro. 13 de diciembre de 2014.
Fuente: Propia

En la figura 28 se pueden observar las diferencias entre la temperatura del aire del día 13 de diciembre de 2014. La disminución máxima de la temperatura del aire interior respecto a la temperatura del aire exterior a la sombra se registró a las 14:00 horas alcanzando 1.4 °C. La disminución máxima de la temperatura del aire interior respecto a la temperatura del aire exterior al sol se registró a las 12:00 horas alcanzando 7.3 °C.

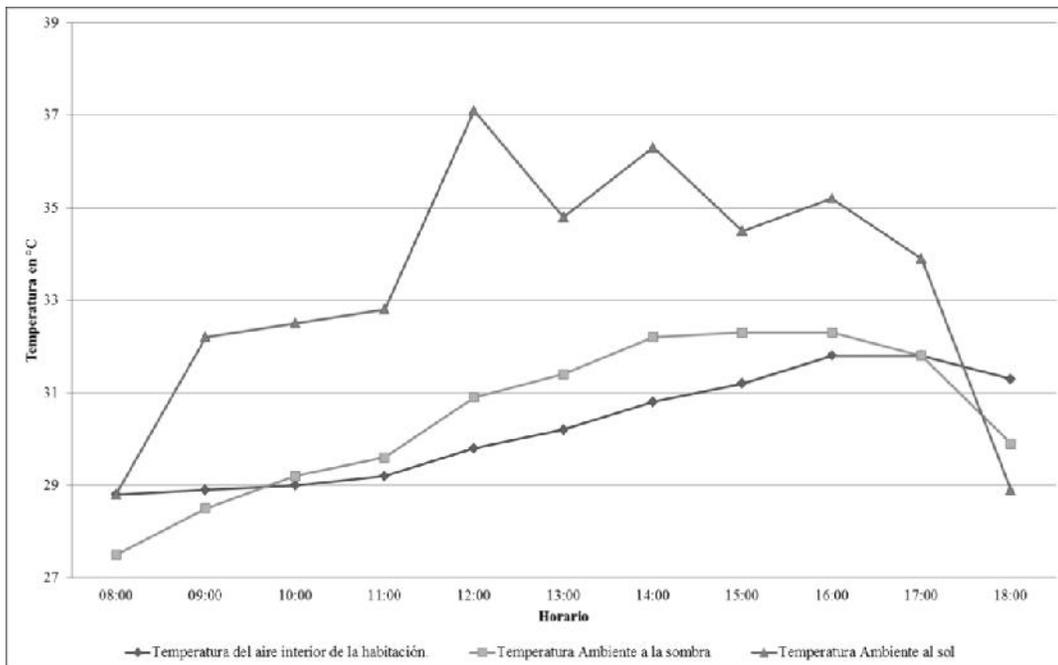


Fig. 28 Variación de temperaturas del aire. 13 de diciembre de 2014.
Fuente: Propia

En la figura 29 se aprecia la variación de la temperatura de las superficies del muro como función de la hora durante el día 27 de diciembre del 2014. La disminución máxima de la temperatura de la superficie interior respecto a la superficie exterior expuesta al sol fue a las 14:00 con 9.3° C. La disminución máxima de la temperatura de la superficie interior respecto a la superficie exterior vegetada fue a las 14:00 horas con 3.7 °C. La sombra provocada por la vegetación disminuye la temperatura de la superficie exterior hasta 5.8 °C en el horario de las 13:00.

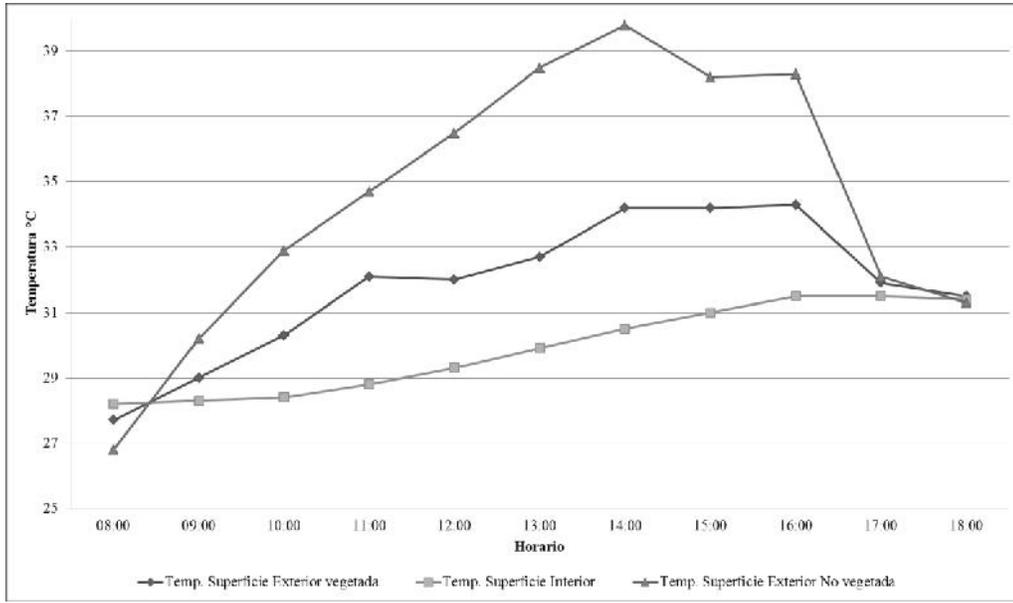


Fig. 29 Variación de temperatura en las superficies del muro. 27 de diciembre de 2014.
Fuente: Propia

En la figura 30 se pueden observar las diferencias entre la temperatura del aire del día 27 de diciembre de 2014. La disminución máxima de la temperatura del aire interior respecto a la temperatura del aire exterior a la sombra se registró a las 12:00 horas alcanzando 0.9 °C. La disminución máxima de la temperatura del aire interior respecto a la temperatura del aire exterior al sol se registró a las 10:00 horas alcanzando 8.7 °C.

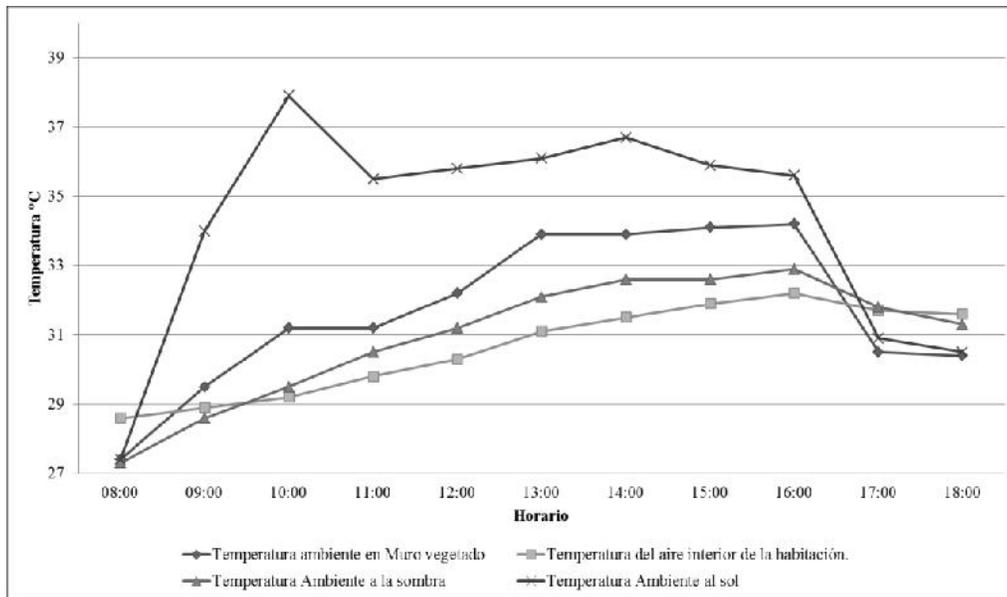


Fig. 30 Variación de temperaturas del aire. 27 de diciembre de 2014.
Fuente: Propia

En la figura 31 se aprecia la variación de la temperatura de las superficies del muro como función de la hora durante el día 10 de Enero del 2015. La disminución máxima de la temperatura de la superficie interior respecto a la superficie expuesta al sol fue a las 13:00 horas con 8.4 °C. La disminución máxima de la temperatura de la superficie interior respecto a la superficie exterior vegetada fue a las 17:00 horas con 5.8 °C. La sombra provocada por la vegetación disminuye la temperatura de la superficie exterior hasta 4.5 °C en el horario de las 13:00.

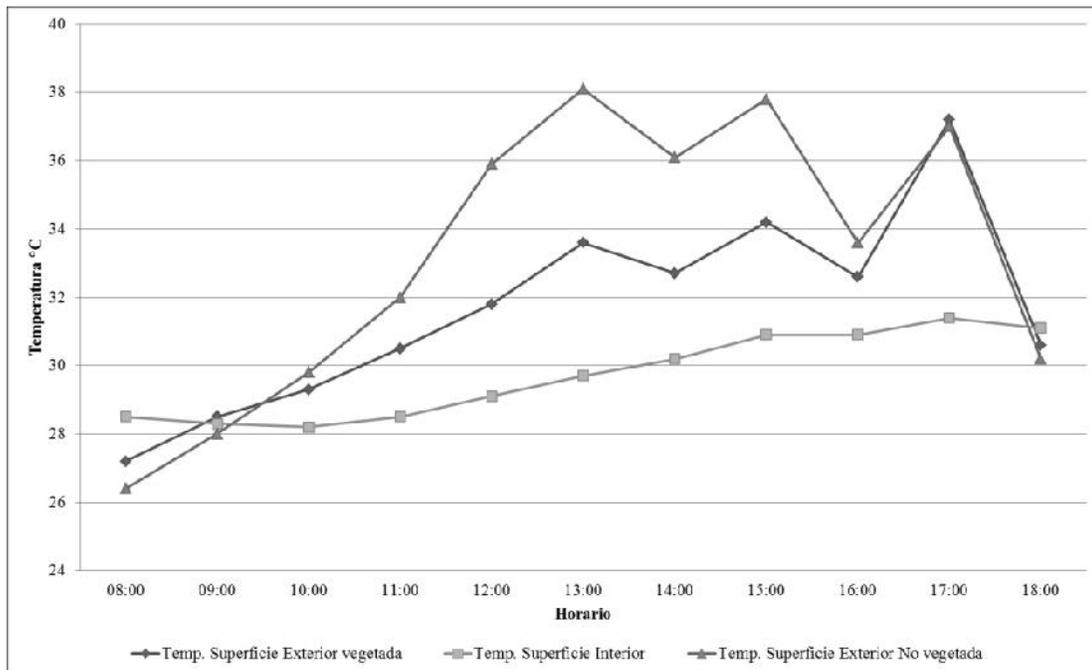


Fig. 31 Variación de temperatura en las superficies del muro. 10 de enero de 2015.
Fuente: Propia

En la figura 32 se pueden observar las diferencias entre la temperatura del aire durante el día 10 de enero de 2015. La disminución máxima de la temperatura del aire interior respecto a la temperatura del aire exterior a la sombra se registró a las 17:00 horas alcanzando 3.3 °C. La disminución máxima de la temperatura del aire interior respecto a la temperatura del aire exterior al sol se registró a las 13:00 horas alcanzando 7.7 °C.

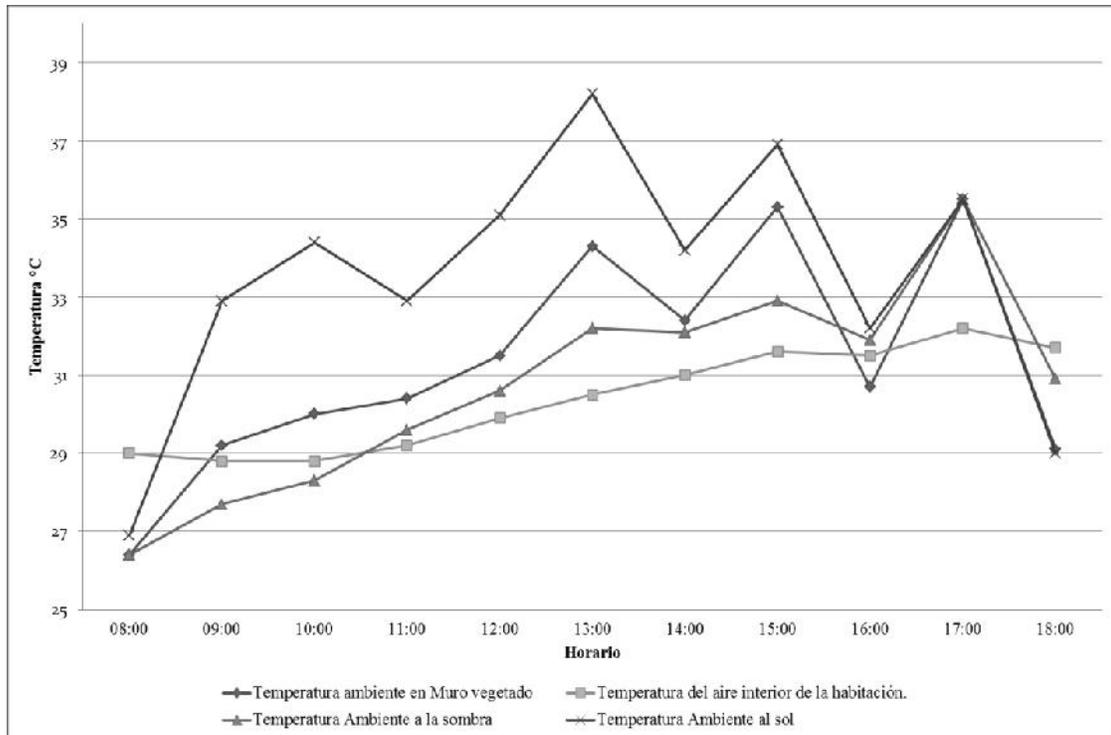


Fig. 32 Variación de temperaturas del aire. 10 de enero de 2015.
Fuente: Propia

En la figura 33 se aprecia la variación de la temperatura de las superficies del muro como función de la hora durante el día 31 de enero de 2015. La disminución máxima de la temperatura de la superficie interior respecto a la superficie expuesta al sol fue a las 15:00 horas con 9.2 °C. La disminución máxima de la temperatura de la superficie interior respecto a la superficie exterior vegetada fue a las 17:00 horas con 8.5 °C. La sombra provocada por la vegetación disminuye la temperatura de la superficie exterior hasta 6.2 °C en el horario de las 15:00.

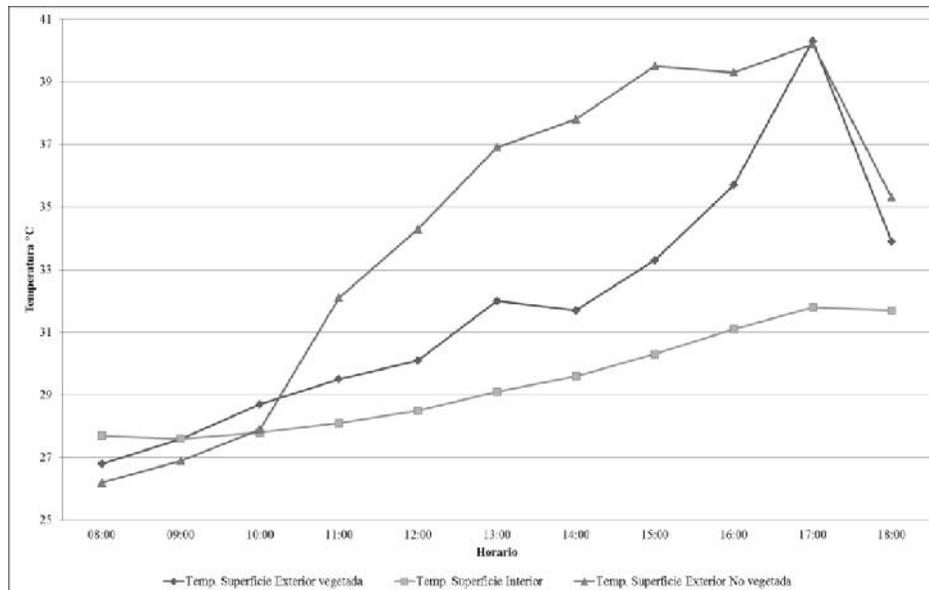


Fig. 33 Variación de temperatura en las superficies del muro. 31 de enero de 2015.
Fuente: Propia

En la figura 34 se pueden observar las diferencias entre la temperatura del aire durante el día 31 de enero de 2015. La disminución máxima de la temperatura del aire interior respecto a la temperatura del aire exterior a la sombra se registró a las 14:00 horas alcanzando 0.9 °C. La disminución máxima de la temperatura del aire interior respecto a la temperatura del aire exterior al sol se registró a las 13:00 horas alcanzando 6.2 °C.

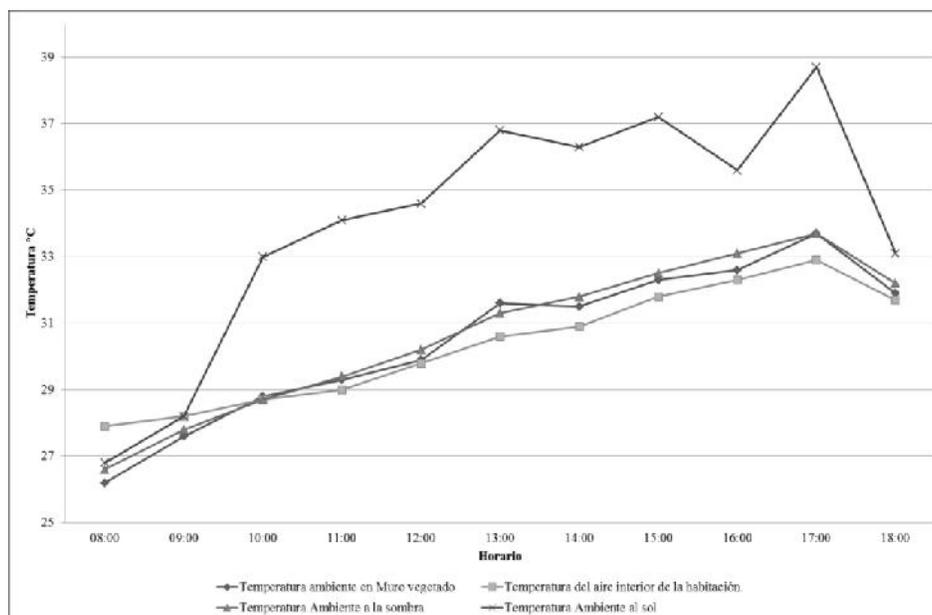


Fig. 34 Variación de temperaturas del aire. 31 de enero de 2015.
Fuente: Propia

En la figura 35 se aprecia la variación de la temperatura de las superficies del muro como función de la hora durante el día 07 de Febrero del 2015. La disminución máxima de la temperatura de la superficie interior respecto a la superficie expuesta al sol fue a las 15:00 horas con 9 °C. La disminución máxima de la temperatura de la superficie interior respecto a la superficie exterior vegetada fue a las 17:00 horas con 3 °C. La sombra provocada por la vegetación disminuye la temperatura de la superficie exterior hasta 6.6 °C en el horario de las 15:00.

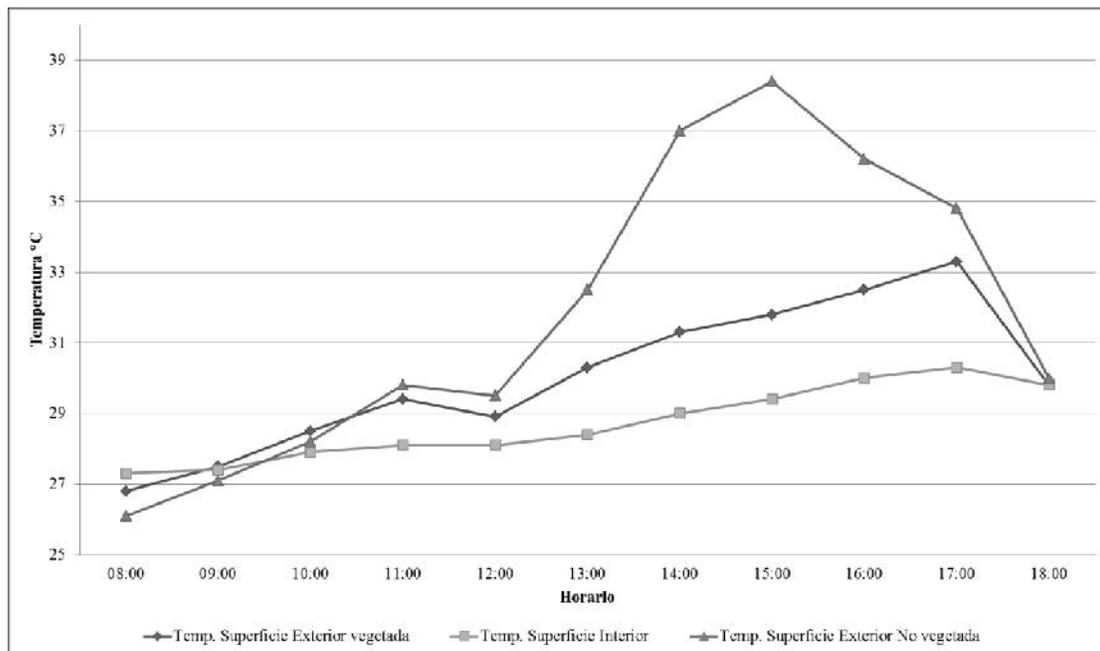


Fig. 35 Variación de temperatura en las superficies del muro. 07 de febrero de 2015.
Fuente: Propia

En la figura 36 se pueden observar las diferencias entre la temperatura del aire durante el día 07 de febrero de 2015. La disminución máxima de la temperatura del aire interior respecto a la temperatura del aire exterior a la sombra se registró a las 14:00 horas alcanzando 1.4 °C. La disminución máxima de la temperatura del aire interior respecto a la temperatura del aire exterior al sol se registró a las 15:00 horas alcanzando 6.2 °C.

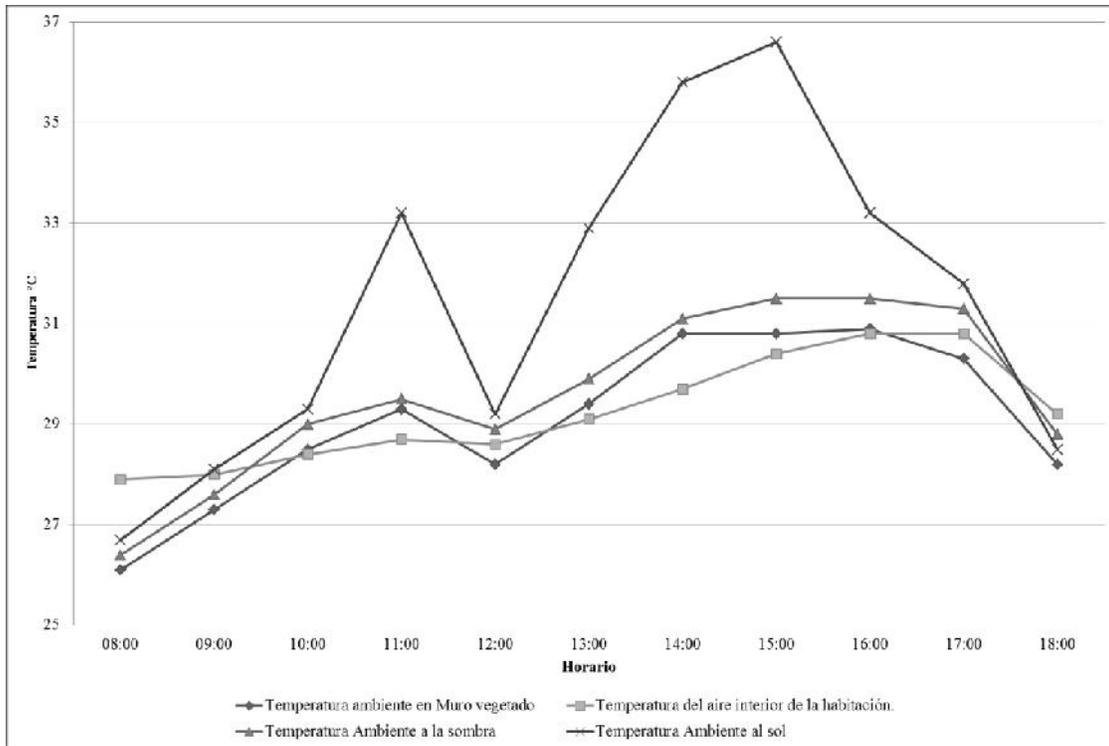


Fig. 36 Variación de las temperaturas del aire. 07 de Febrero de 2015.
Fuente: Propia

En la figura 37 se aprecia la variación de la temperatura de las superficies del muro como función de la hora durante el día 21 de Febrero del 2015. La disminución máxima de la temperatura de la superficie interior respecto a la superficie expuesta al sol fue a las 15:00 horas con 8 °C. La disminución máxima de la temperatura de la superficie interior respecto a la superficie exterior vegetada fue a las 13:00 y 17:00 horas con 1.2 °C. La sombra provocada por la vegetación disminuye la temperatura de la superficie exterior hasta 8 °C en el horario de las 15:00.

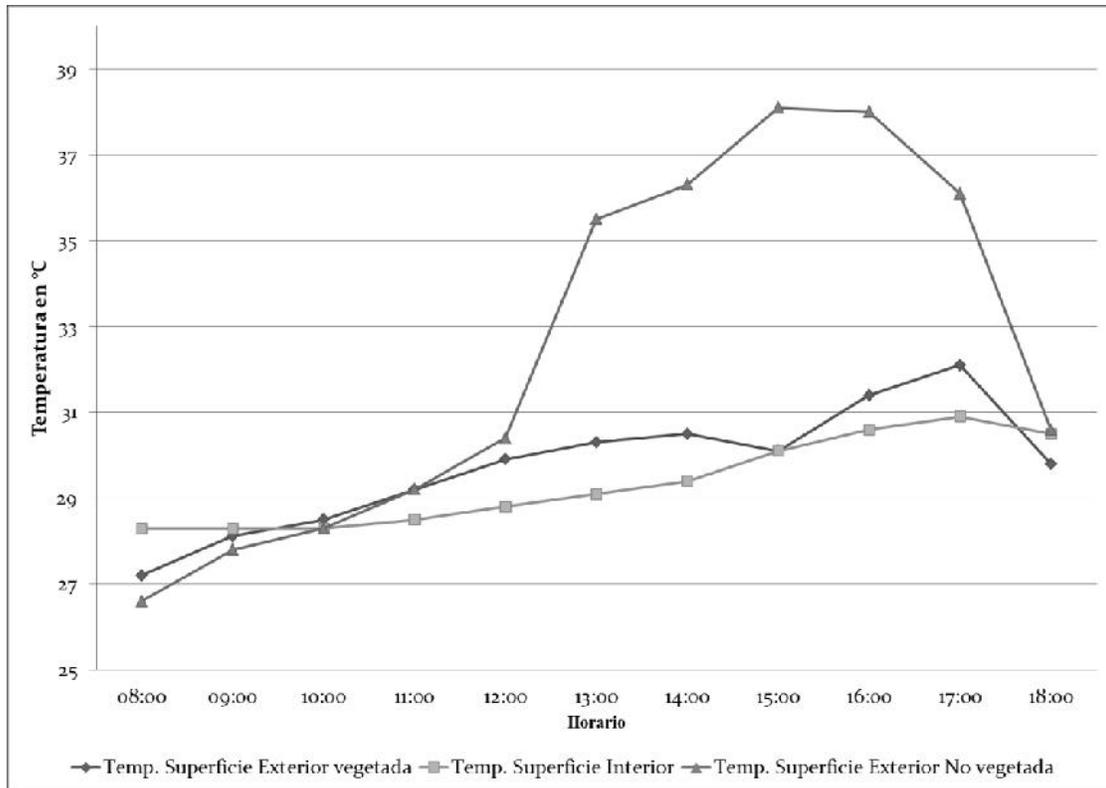


Fig. 37 Variación de temperatura en las superficies del muro. 21 de Febrero de 2015.
Fuente: Propia

En la figura 38 se pueden observar las diferencias de la temperatura del aire durante el día 21 de febrero de 2015. La disminución máxima de la temperatura del aire interior respecto a la temperatura del aire exterior a la sombra se registró a las 13:00, 14:00 y 15:00 horas alcanzando 1.2 °C. La disminución máxima de la temperatura interior respecto a la temperatura del aire exterior al sol se registró a las 13:00 horas alcanzando 7.4 °C.

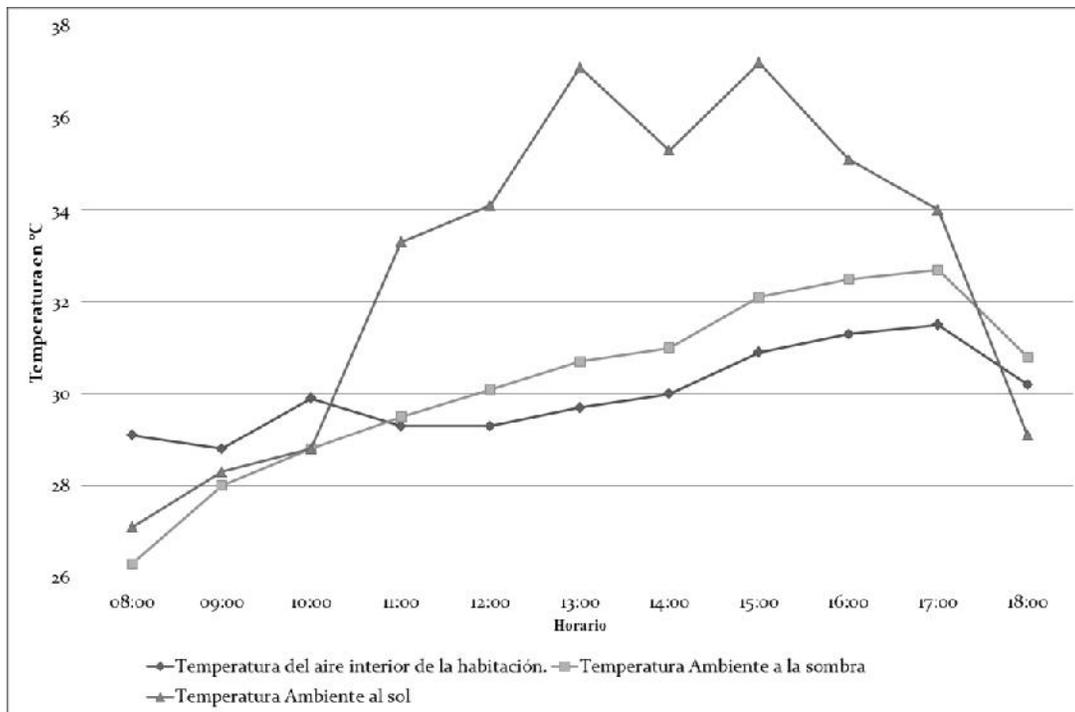


Fig. 38 Variación de las temperaturas del aire. 21 de Febrero de 2015.
Fuente: Propia

En la figura 39 se aprecia la variación de la temperatura de las superficies del muro como función de la hora durante el día 07 de marzo del 2015. La disminución máxima de la temperatura de la superficie interior respecto a la superficie expuesta al sol fue a las 15:00 horas con 8.8 °C. La disminución máxima de la temperatura de la superficie interior respecto a la superficie exterior vegetada fue a las 15:00 horas con 2.3 °C. La sombra provocada por la vegetación disminuye la temperatura de la superficie exterior hasta 6.5 °C en el horario de las 15:00.

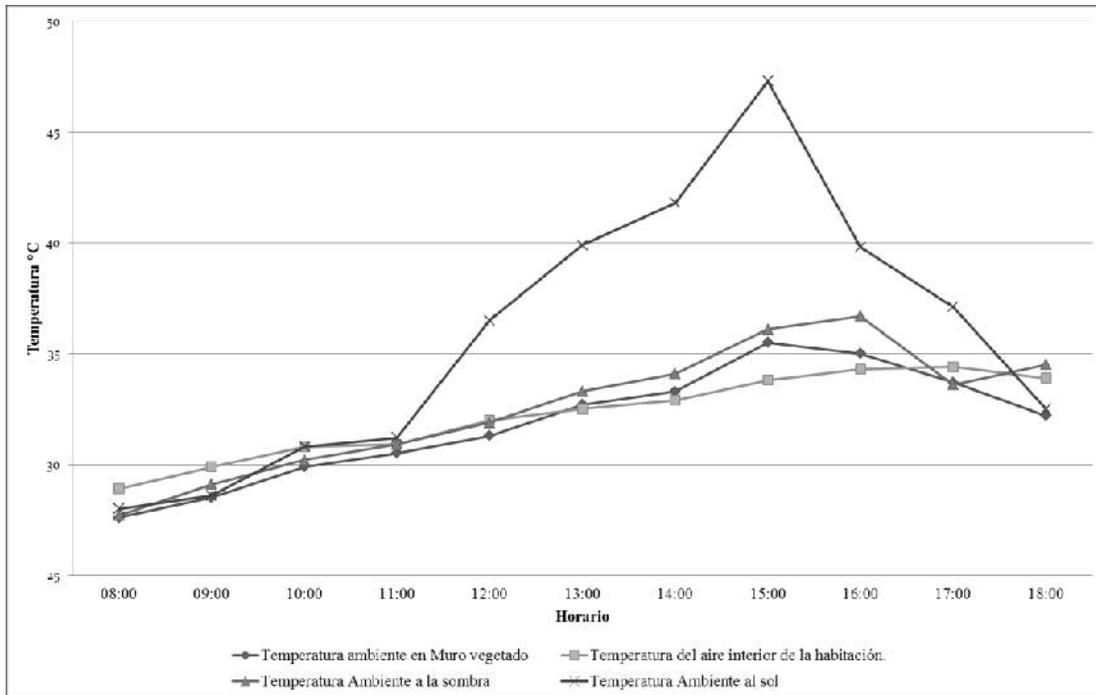


Fig. 39 Variación de temperatura en las superficies del muro. 07 de marzo de 2015.
Fuente: Propia

En la figura 40 se pueden observar las diferencias de la temperatura del aire durante el día 07 de marzo de 2015. La disminución máxima de la temperatura del aire interior respecto a la temperatura del aire exterior a la sombra se registró a las 16:00 horas alcanzando 2.4 °C. La disminución máxima de la temperatura interior respecto a la temperatura del aire exterior al sol se registró a las 15:00 horas alcanzando 13.5 °C.

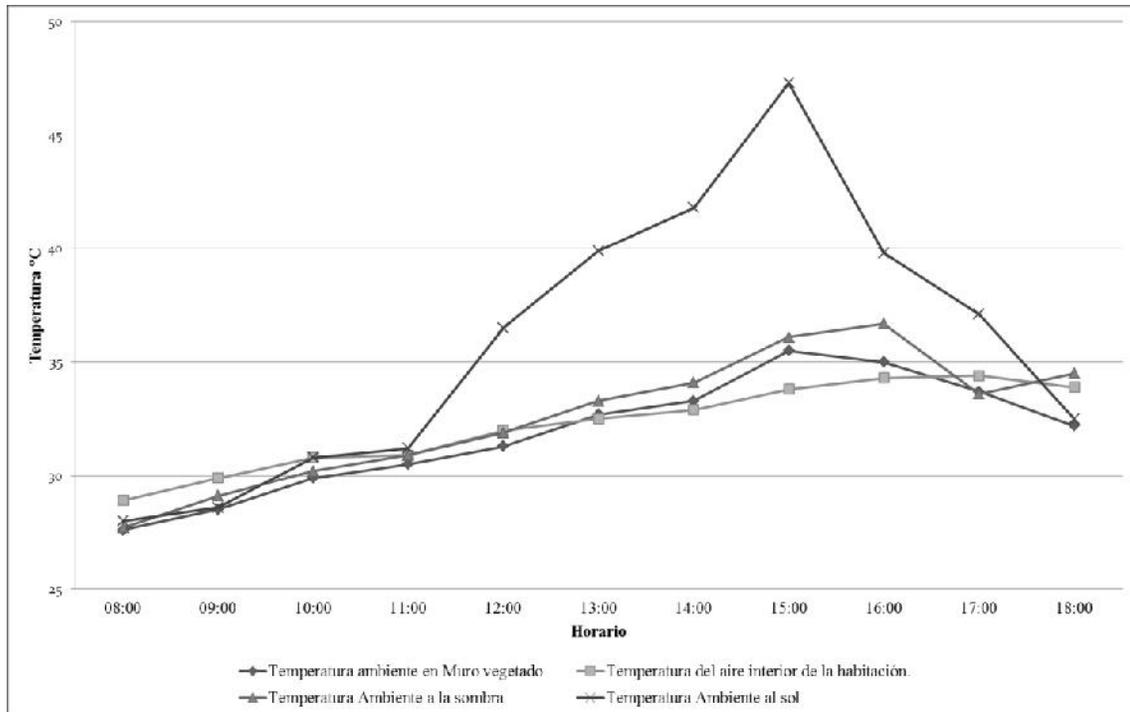


Fig. 40 Variación de las temperaturas del aire. 07 de marzo de 2015.
Fuente: Propia

En la figura 41 se aprecia la variación de la temperatura de las superficies del muro como función de la hora durante el día 21 de marzo del 2015. La disminución máxima de la temperatura de la superficie interior respecto a la superficie expuesta al sol fue a las 15:00 horas con 5.7 °C. La disminución máxima de la temperatura de la superficie interior respecto a la superficie exterior vegetada fue a las 15:00 horas con 0.7 °C. La sombra provocada por la vegetación disminuye la temperatura de la superficie exterior hasta 5 °C en el horario de las 15:00.

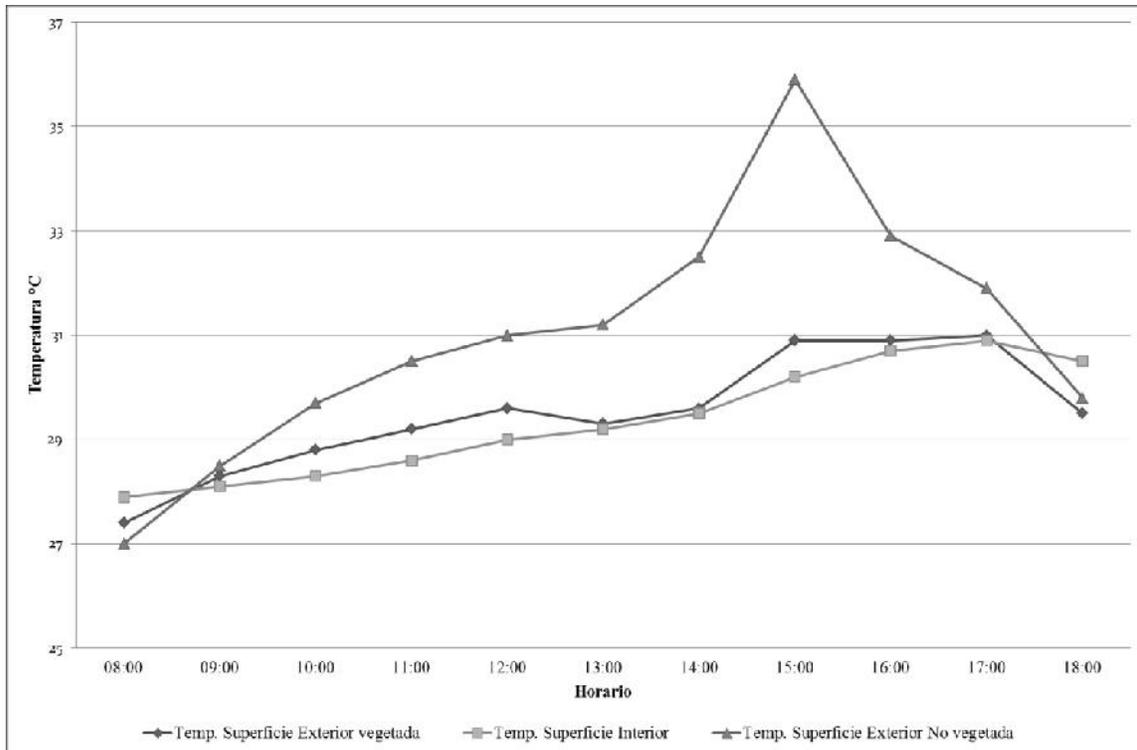


Fig. 41 Variación de la temperatura en las superficies del muro. 21 de marzo de 2015.
Fuente: Propia

En la figura 42 se pueden observar las diferencias de la temperatura del aire durante el día 21 de marzo de 2015. La disminución máxima de la temperatura del aire interior respecto a la temperatura del aire exterior a la sombra se registró a las 15:00 horas alcanzando 2.1 °C. La disminución máxima de la temperatura interior respecto a la temperatura del aire exterior al sol se registró a las 15:00 horas alcanzando 8 °C.

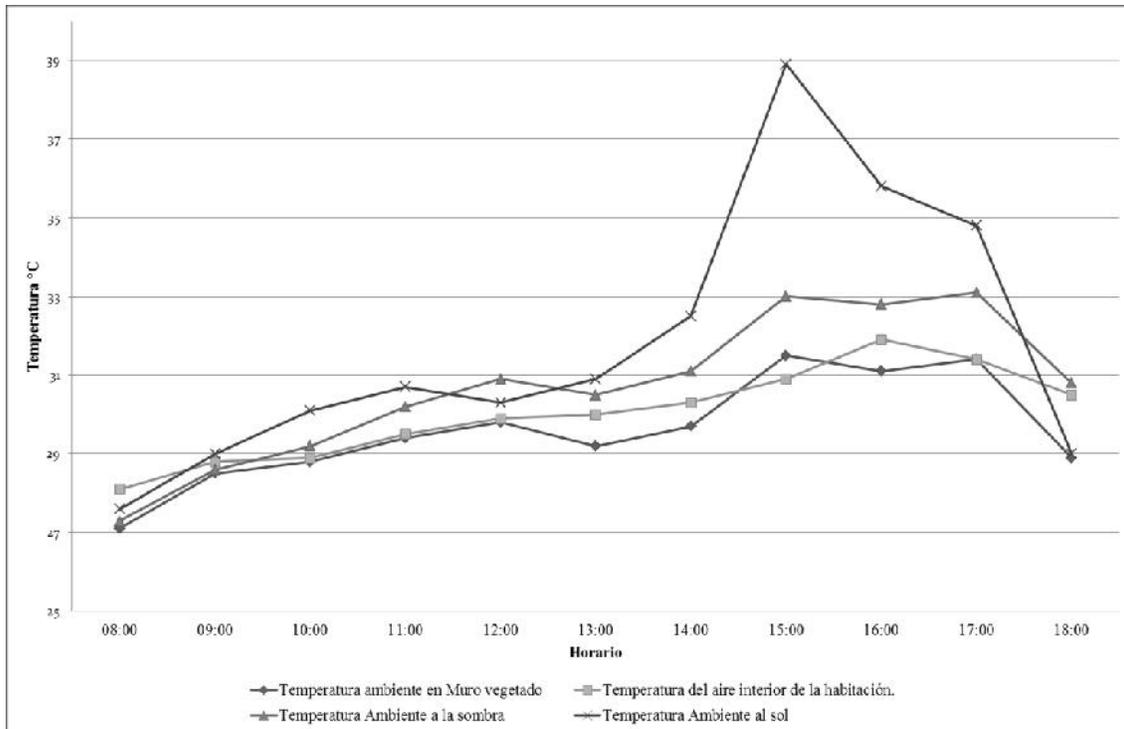


Fig. 42 Variación de las temperaturas del aire. 21 de marzo de 2015.
Fuente: Propia

En la fig. 43 se aprecia la variación de la temperatura de las superficies del muro como función de la hora durante el día 04 de abril del 2015. La disminución máxima de la temperatura de la superficie interior respecto a la superficie expuesta al sol fue a las 15:00 horas con 4.4 °C. La disminución máxima de la temperatura de la superficie interior respecto a la superficie exterior vegetada fue a las 14:00 horas con 0.9 °C. La sombra provocada por la vegetación disminuye la temperatura de la superficie exterior hasta 4 °C en el horario de las 15:00.

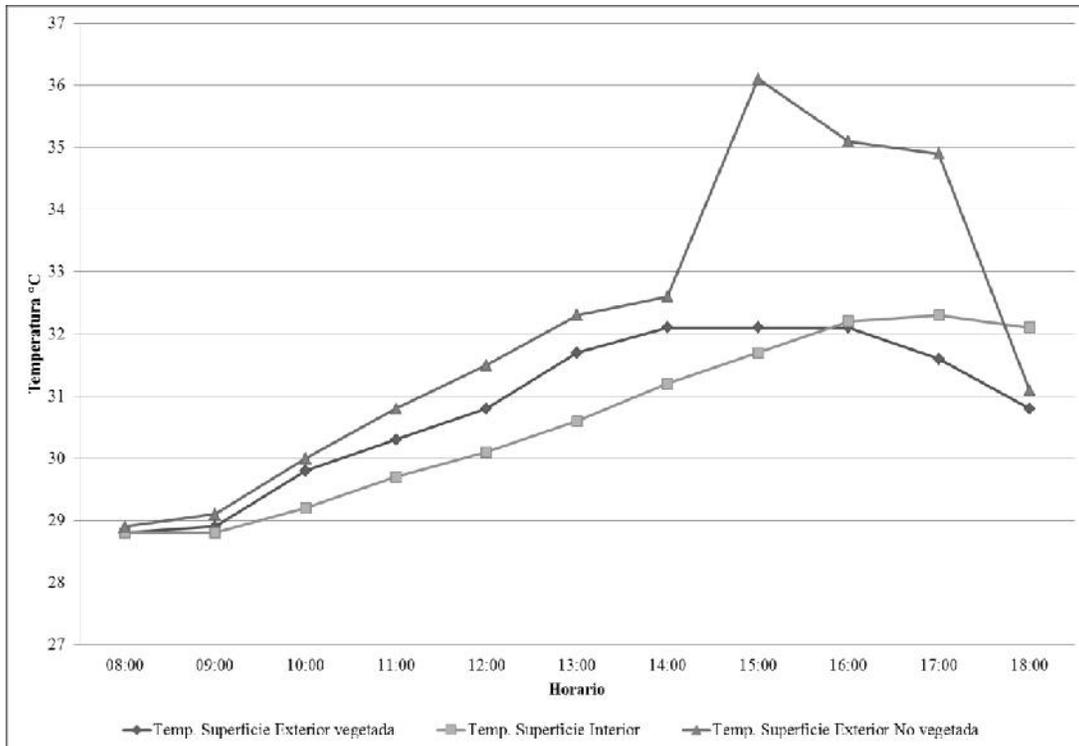


Fig. 43 Variación de la temperatura en las superficies del muro. 04 de abril de 2015.
Fuente: Propia

En la figura 44 se pueden observar las diferencias de la temperatura del aire durante el día 04 de abril de 2015. La disminución máxima de la temperatura del aire interior respecto a la temperatura del aire exterior a la sombra se registró a las 17:00 horas alcanzando 1.3 °C. La disminución máxima de la temperatura interior respecto a la temperatura del aire exterior al sol se registró a las 14:00 horas alcanzando 4.8 °C.

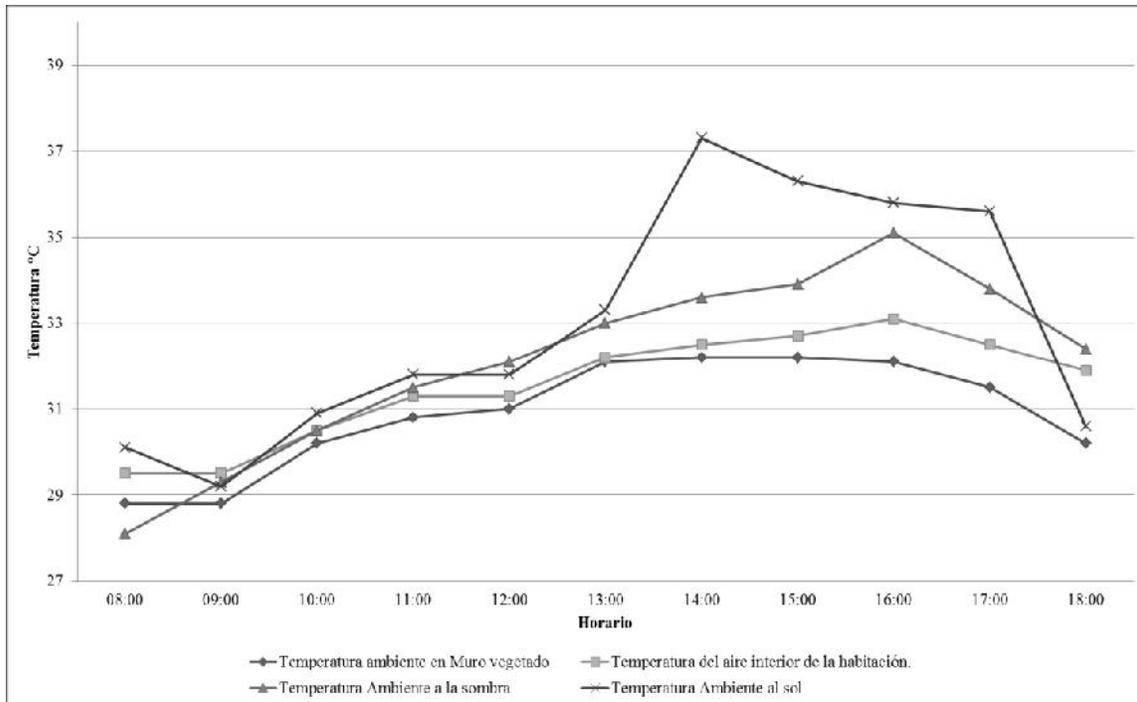


Fig. 44 Variación de las temperaturas del aire. 04 de abril de 2015.
Fuente: Propia

En la figura 45 se aprecia la variación de la temperatura de las superficies del muro como función de la hora durante el día 18 de abril del 2015. La disminución máxima de la temperatura de la superficie interior respecto a la superficie expuesta al sol fue a las 12:00 horas con 2 °C. La disminución máxima de la temperatura de la superficie interior respecto a la superficie exterior vegetada fue a las 12:00 horas con 1.7 °C. La sombra provocada por la vegetación disminuye la temperatura de la superficie exterior hasta 0.6 °C en el horario de las 15:00 y 16:00.

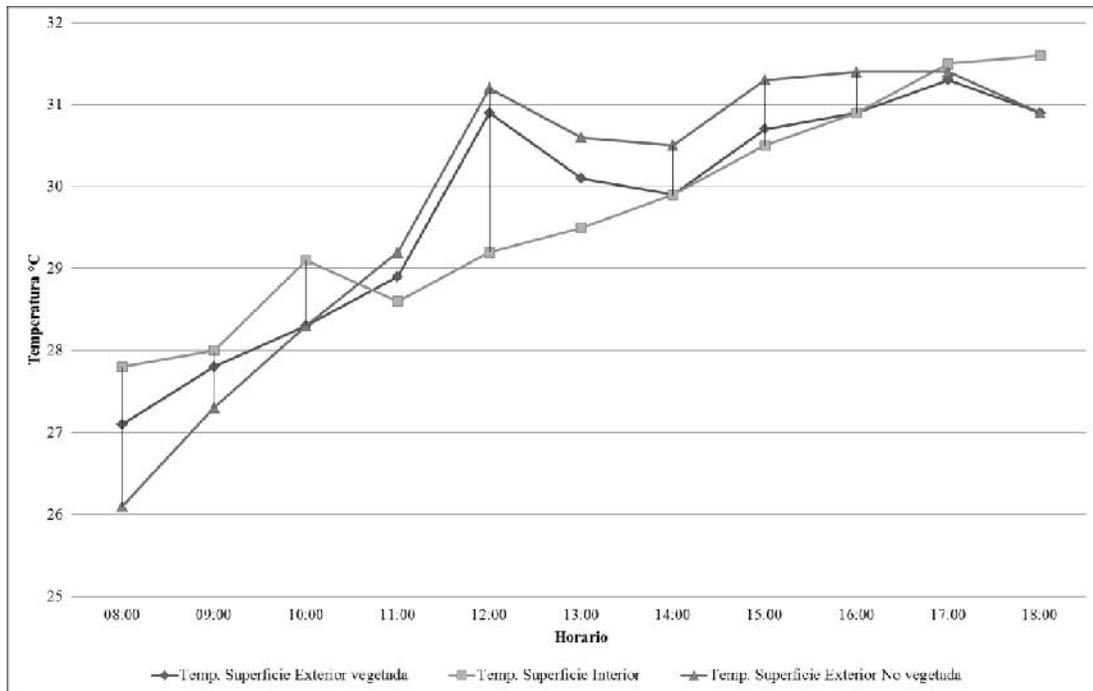


Fig. 45 Variación de la temperatura en las superficies del muro. 18 de abril de 2015.
Fuente: Propia

En la figura 46 se pueden observar las diferencias de la temperatura del aire durante el día 18 de abril de 2015. La disminución máxima de la temperatura del aire interior respecto a la temperatura del aire exterior a la sombra se registró a las 16:00 horas alcanzando 1.4 °C. La disminución máxima de la temperatura interior respecto a la temperatura del aire exterior al sol se registró a las 16:00 horas alcanzando 5.1 °C.

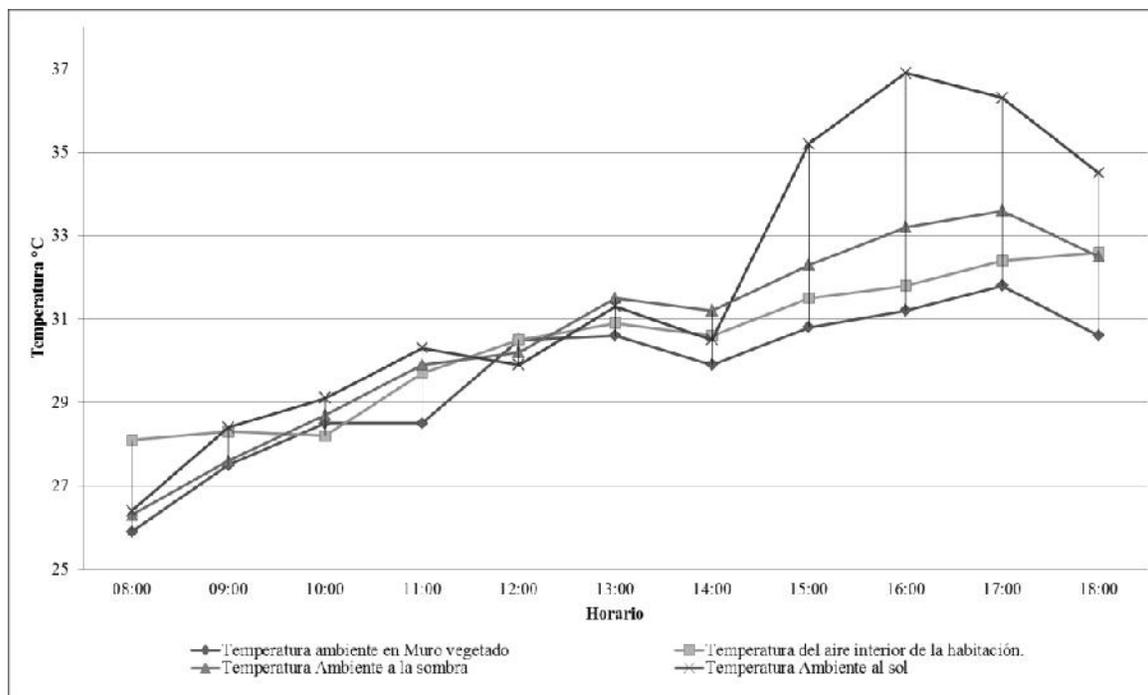


Fig. 46 Variación de las temperaturas del aire. 18 de abril de 2015.

Fuente: Propia

5.3 Análisis de los resultados.

Utilizando un sistema tipo enrejado en un clima (Aw) cálido húmedo la diferencia de temperatura entre la superficie expuesta al sol y la superficie sombreada por la vegetación alcanza hasta 6.6 °C. La superficie interior al muro vegetado puede disminuir hasta de 9.3 °C respecto a la superficie expuesta al sol. La disminución de la temperatura del aire interior a la fachada vegetada comparada con la temperatura del aire ambiente a la sombra alcanza hasta 3.3 °C. La disminución promedio de la temperatura del aire bajo la vegetación respecto a la temperatura del aire al sol es de 3.6 °C. La disminución promedio de la temperatura del aire interior en el horario crítico (12:00-14:00) es de 1.0 °C. Por lo anterior se puede concluir que existe una disminución significativa de la temperatura del aire y de la superficie en los muros que están vegetados respecto a los que no lo están. La disminución se puede incrementar entre mayor sea la superficie vegetada; a escala urbana esto provocaría una reducción considerable del efecto isla de calor en la ciudad.

La tabla VI muestra una síntesis de los resultados de las temperaturas obtenidas por la fachada vegetada. En la tabla VII se observa la disminución promedio de las temperaturas en el horario crítico (12:00-14:00).

Tabla VI. Comportamiento térmico de la fachada vegetada.

Parámetros medidos	Resultados	Fecha
Diferencia máxima entre la temperatura del aire ambiente a la sombra y la temperatura del aire interior a la fachada vegetada.	3.3 °C	Enero 10/ 2015
Diferencia máxima entre la temperatura del aire ambiente al sol y la temperatura del aire bajo la vegetación.	11.8 °C	Marzo 07/ 2015
Diferencia máxima entre la temperatura del aire ambiente al sol y la temperatura del aire interior a la fachada vegetada.	13.5 °C	Marzo 07/ 2015
Diferencia máxima entre la temperatura de la superficie expuesta al sol y la temperatura de la superficie sombreada por la fachada vegetada.	6.6 °C	Febrero 21/ 2015
Diferencia máxima entre la temperatura de la superficie expuesta al sol y la temperatura de la superficie interior a la fachada vegetada.	9.3 °C	Diciembre 27/ 2014

Fuente: Elaboración propia.

Tabla VII. Disminución promedio de las temperaturas en el horario crítico (12:00-14:00).

Disminución promedio de la temperatura del aire.	Disminución promedio de la temperatura de la superficie exterior vegetada.	Disminución de la temperatura del aire bajo la vegetación.
1.0 °C	3.6 °C	3.6 °C

Fuente: Elaboración propia

*Se realizaron un total de diez registros en el periodo diciembre 2014 – abril 2015.

De acuerdo a estudios previos, la disminución de 3.636 °C en la temperatura del aire bajo la vegetación indica una reducción del 15% en el consumo de energía para climatizar un espacio interior con aire acondicionado.

5.4 Reducción del uso de energía eléctrica para refrigeración.

A continuación se presenta una estimación de la reducción de energía eléctrica para climatizar una habitación, tomando como referencia el consumo promedio de energía para un equipo de 1 tonelada (INECC, 2010).

La tarifa doméstica de alto consumo hasta junio de 2016 es de \$3.169 pesos por KWh (CFE, 2016). Según la Agencia Gestión de Energía de la Región de Murcia ARGEM cada grado centígrado para enfriar o calentar equivale a un incremento del 8% del consumo total (ver tabla VIII).

El horario crítico de la temperatura ambiente en Acapulco es de 12:00-16:00 horas, intervalo frecuente para el uso del aire acondicionado. Tomando en cuenta la disminución promedio de la temperatura del aire bajo la vegetación de 3.6 °C por la fachada vegetada de cuatro metros cuadrados, el ahorro de energía estimado es del 15% y se traduce en \$1,249.00 pesos anuales (Ver tabla IX).

Tabla VIII. Consumo y costo de la energía para enfriamiento.

Consumo de energía por cada hora.	Consumo energético por grado centígrado de temperatura.	Costo de la energía por KWh (en pesos mexicanos).
1.2 KWh ⁽¹⁾	8% ⁽²⁾	\$ 3.169 ⁽³⁾

Fuente: Elaboración propia con datos de INECC 2010, ARGEM y CFE junio 2016.

⁽¹⁾ Consumo de equipo de aire acondicionado de 1 Ton.

⁽²⁾ Porcentaje de consumo energético por cada grado centígrado que disminuye la temperatura en el termostato.

⁽³⁾ Tarifa doméstica de alto consumo región sur, CFE.

Tabla IX. Valor de la energía evitada para enfriamiento.

Concepto		
Consumo de la energía para enfriar una habitación en el horario (12:00-14:00).		6 KWh
Costo de energía para enfriar la habitación.	6*3.8028	\$22.82
Disminución del consumo de energía.		15%
Valor de la energía diaria evitada.		\$3.42
Valor de la energía mensual evitada.		\$104.11
Valor de la energía anual evitada.		\$1,249.40

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VI. PROPIEDADES ÓPTICAS DE LA VEGETACIÓN.

Las propiedades ópticas de los materiales expuestos a la radiación solar influyen en su comportamiento térmico ya que parte de la energía es absorbida (A), otra es reflejada (R) y una porción puede ser transmitida (T) a través de ella. La suma de estas tres es igual a la unidad.

$$A+R+T = 1 \qquad \text{Ec. 1}$$

El espectro electromagnético está subdividido en regiones, la región visible de interés en este trabajo corresponde a longitudes onda en el intervalo 400 – 700 nm; longitudes de onda menores tiene la radiación ultravioleta mientras que longitudes de onda mayores se halla a la radiación infrarroja (Hecht, E. 2000). Las fronteras entre ellas son bastante flexibles y depende del detector que se utilice. En el presente estudio se analizó el intervalo de 400 – 1000 nm.

Por otro lado, en las edificaciones la envolvente arquitectónica¹³ es la que está expuesta a la radiación solar y en condiciones de calor resulta útil elegir los materiales que tengan más capacidad para reflejarla y menor para absorberla.

Los materiales blancos pueden reflejar el 90% o más de la radiación recibida y los negros el 15% o menos. Además, el intercambio térmico con el entorno se realiza a través de longitudes de onda infrarrojas. Las características de los materiales desde el punto de vista de la reflexión de longitudes de onda infrarrojas depende más de la densidad de su superficie y de su composición molecular que del color (Olgyay, V. 2006).

La naturación urbana es una de las estrategias de diseño solar pasivo aplicada a las envolventes de las edificaciones. En los últimos años el uso de los muros vegetados se ha incrementado; sin embargo, no todos los sistemas llegan a perdurar pues una incorrecta elección de las especies vegetales o del sistema constructivo puede

¹³ La envolvente arquitectónica se refiere a los cerramientos verticales y horizontales que separan el espacio interior del exterior en un edificio.

ocasionar que no permanezcan por mucho tiempo o que el funcionamiento térmico de los espacios habitables sea deficiente.

Las propiedades ópticas de los materiales constructivos están comúnmente disponibles en manuales de ingeniería; sin embargo, cuando se trata de una fachada vegetada, donde el material es la planta misma, resulta necesario conocer la absorptancia (**A**), la transmitancia (**T**) y la reflectancia (**R**) de luz a través del follaje.

En el presente estudio se reportan las propiedades ópticas de dos especies de enredaderas utilizadas en un sistema de fachada vegetada en el contexto de un clima cálido-húmedo, con la finalidad de conocer la absorptancia, la transmitancia y la reflectancia de la radiación solar en función de la longitud de onda y del ciclo vegetativo de las hojas con el fin de tener un mejor criterio al elegir las especies e incluso utilizar los datos en una simulación térmica del edificio antes de ser construido.

El experimento se realizó bajo condiciones controladas, dentro de un cuarto oscuro utilizando un espectrómetro ASEQ Instruments modelo LR1 V2.1 y una fibra óptica para guiar la luz. Para simular la radiación solar se elaboró una fuente de luz por medio de un foco de halógeno – tungsteno de 20W. El elemento de referencia para comparar los resultados de reflexión difusa de las hojas fue el carbonato de calcio CaCO_3 el cual tiene una reflectancia 99% (Arrizabalaga, I. 2015).

6.1 Estudios análogos.

Propiedades térmicas y funcionamiento energético de techos verdes.

En un experimento realizado en un hotel en la ciudad de Loutraki Atenas se observó que la temperatura de la superficie externa de la azotea presentó una variación significativa dependiente del tipo de vegetación utilizada en cada sitio. La temperatura más bajas en el techo vegetado estuvo en el intervalo de 26 °C a 29 °C la cual fue medida en los lugares dominados por vegetación verde y densa, las temperaturas más altas osciló de 36 °C a 38 °C hallada en lugares cubiertos por vegetación roja esparcida, mientras que en lugares sin vegetación, hallaron valores cercanos a los 40 °C (Niachou N. 2001).

Reducción térmica por la capa vegetal para azoteas.

En un estudio realizado en Taiwán sobre la reducción térmica debido a la capa vegetal sobre las azoteas, en el que la cobertura promedio del follaje y el grosor total de la hoja fueron las variables, se concluyó que al aumentar el grosor total de la hoja mejora la difusión de la luz y el efecto de la reducción térmica. Las plantas pueden reducir la energía térmica de la radiación solar del 70% al 90% cuando el grosor excede los 2.25 milímetros (mm) (Fang, C. 2008).

Propiedades ópticas de especies de flora en hábitats de sotobosque.

El estudio incluyó 26 especies de hierbas y árboles en hábitats de sotobosque en Kansas y Misisipi, E.U.A. La absorptancia media en la región visible (400-700 nm) fue de 0.87 en las hojas de sombra y 0.83 en especies de sol. Por lo tanto, no se hallaron diferencias generales en las propiedades ópticas de las especies en los grupos de sol y sombra (Knapp, A. & Carter, G. 1998).

Propiedades ópticas de tres especies de vid.

En un estudio realizado en Baja California México sobre las propiedades ópticas de las tres especies de vid Merlot, Cabernet y Tempranillo, se obtuvieron los valores medios de absorptancia de las hojas 0.80, 0.82, y 0.78 respectivamente, menores al valor de 0.84 de las plantas vasculares. La reflectancia en longitudes de onda > 750 nm aumentó con la edad de las hojas mientras que a 550 nm se mantiene relativamente constante. Otros autores han reportado variaciones de 0.805 a 0.916 en varias especies; sin embargo, generalmente se utiliza un valor promedio de 0.84 (Cabello, A. & Macías, V. 2011).

6.2 Principios de óptica y espectroscopía utilizados.

La óptica trata de la interacción de la luz con la materia. En este caso se tiene la interacción de la luz solar con la vegetación.

Reflexión. En los fenómenos ópticos se tiene el inherente a la reflexión de un rayo de luz, en el caso de la reflexión sobre a una superficie especular como un espejo, el ángulo de incidencia del haz es igual al ángulo reflejado $\theta_i = \theta_r$; en una superficie rugosa por ejemplo un papel o la hoja de una planta la reflexión es difusa por lo tanto, los ángulos de reflexión varían. Puede verse en la fig.47.

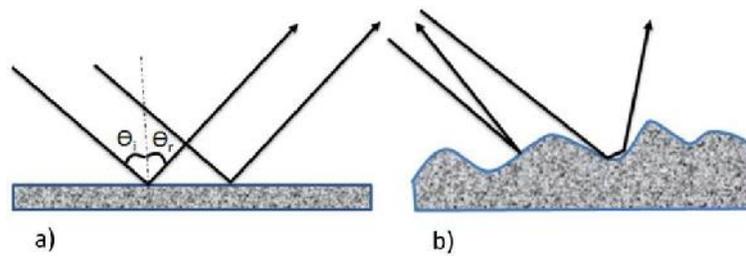


Fig. 47. Reflexión especular (izquierda) reflexión difusa (derecha).

Transmisión. Es el paso de luz a través de los cuerpos transparentes o traslúcidos. En este fenómeno la dirección de los rayos luminosos cambia por refracción al pasar oblicuamente de un medio a otro de distinta densidad, el fenómeno se aprecia en la fig.48.

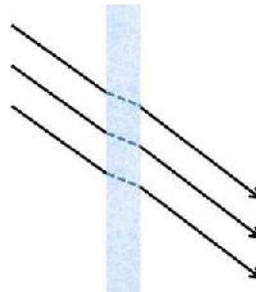


Fig. 48 Transmisión de la luz en un material traslúcido.

Absorción. Es la conversión de la luz en otra forma de energía. Parte de la luz que incide sobre los cuerpos es absorbida en mayor o menor proporción según la constitución de los materiales que la componen (Taboada, J. A. 1979). El proceso de absorción lleva aparejado un calentamiento de la superficie por su transformación en energía calórica. Puede verse en la fig. 49.

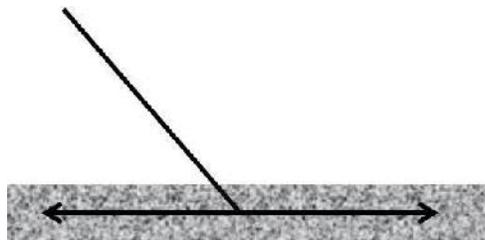


Fig. 49 Absorción de la luz en un medio opaco.

La espectroscopía es el estudio de los espectros o las radiaciones que emite y absorbe un material, de ahí que es importante entender conceptos como, reflectancia, transmitancia, absortancia, con el fin de tener una mejor comprensión del comportamiento óptico en la naturación de fachadas vegetadas ante la radiación solar.

Reflectancia óptica (**R**). Se refiere a la proporción de la radiación reflejada (I_r) por un cuerpo respecto a la radiación incidente en éste (I_i) a una longitud de onda (λ) y a un cierto ángulo (Θ) dado, se observa en la ecuación 2. Para el caso de las hojas en estudio, la superficie en la que incide la luz solar es de tipo difusa.

$$R(\lambda) = \frac{I_r(\lambda) \cos \theta_r}{I_i(\lambda) \cos \theta_i}$$

Ec. 2

Transmitancia (**T**). Se define como el cociente del flujo transmitido e incidente y queda dado por (3). En forma similar la transmitancia Óptica (T), se define como el cociente del flujo transmitido e incidente y queda dado por la ecuación 3.

$$T(\lambda) = \frac{I_t(\lambda) \cos \theta_t}{I_i(\lambda) \cos \theta_i}$$

Ec. 3

La relación anterior se refiere a la fracción de luz incidente (%) que se transmite a través de un material semi-transparente a una cierta longitud de onda, donde $I_i(\lambda)$ es la intensidad del rayo incidente a un ángulo Θ_i e $I_t(\lambda)$ es la intensidad de la luz a un ángulo Θ_t que sale de la muestra ambos a una longitud de onda (λ) determinada. En los experimentos realizados el ángulo de incidencia es normal a la muestra ($\theta_i = \theta_t = 0^\circ$).

Absorptancia (**A**). Es la fracción de la densidad de flujo absorbida por el material; esta fracción se determinó como:

$$1+T+ R =A$$

Ec.4

6.3 Desarrollo experimental.

Las pruebas ópticas fueron realizadas en condiciones estables dentro de un cuarto oscuro. Se utilizó un espectrofotómetro ASEQ Instruments modelo LR1 V2.1 el cual maneja un intervalo de 200 a 1100 nm, una fuente de voltaje VCD matrix modelo MPS-3005L-3, un ordenador y como fuente una lámpara de halógeno-tungsteno de 20W y cuenta con un ventilador interno para evitar el calentamiento. El diámetro del spot es de 1 mm, la distancia entre la lente y la hoja fue de 1 cm.

Se analizaron dos especies de enredaderas, utilizando tres hojas de distinta maduración. Seleccionadas por tamaño (de base a ápice) y clasificándolas como: hoja joven (h1) de 5 cm, hoja madura (h2) de 6 cm y hoja senil (h3) de 7.7 cm. El espesor promedio fue de 0.139 mm para la especie *Clitoria ternatea* y de 0.169 mm para la especie *Pentalinun luteum*. Se hicieron tres repeticiones en cada muestra para cada una de las pruebas ópticas.

6.3.1 Determinación de transmitancia.

Para medir de la transmitancia, la hoja se colocó entre dos placas de acrílico perforadas al centro y sujetadas por imanes de Neodimio. Se orientó en forma perpendicular al haz de luz colimado. En la parte posterior a la hoja se colocó la fibra óptica conectada al espectrofotómetro, por último los datos espectrales se capturaron en el ordenador. El arreglo experimental se muestra en la fig.50. Se hicieron tres repeticiones para cada tamaño de hoja y especie.

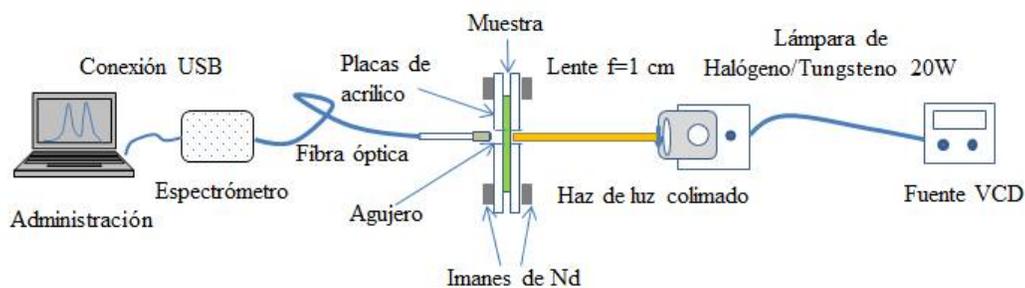


Fig. 50 Arreglo experimental para medir la transmitancia de luz a través de las hojas.

6.3.2 Determinación de la reflectancia.

Para medir la fracción de luz reflejada por la hoja se utilizó como base de referencia una muestra de carbonato de calcio (CaCO_3) J.T. Baker CAS1288 Lote 417859. Ambas muestras (hoja y CaCO_3) del mismo espesor, se colocaron sobre una pieza de cartulina alternando su registro, se orientaron a 45° respecto a la normal para detectar el pico máximo de luz reflejada. La fibra óptica del espectrofotómetro se colocó a 90° respecto a la normal de incidencia. El arreglo experimental se muestra en la fig. 51. Se hicieron tres repeticiones para cada tamaño de hoja y especie.

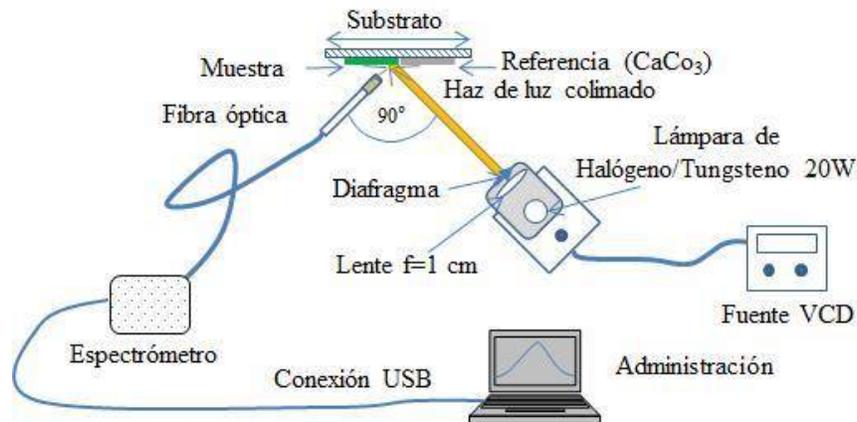


Fig. 51 Arreglo experimental para medir la reflectancia de luz a través de las hojas.

6.4 Resultados.

La fig. 52 muestra la reflectancia en porcentaje de la especie *Pentalinon luteum* en el intervalo de 400 – 1000 nm. Las hojas jóvenes *h1* presentan mayor reflectancia que las hojas maduras *h2* y éstas a su vez mayor que hojas seniles *h3*. En la región visible el mayor porcentaje de reflectancia se ubica a 550 nm alcanzando un promedio de 34%. En la región cercana al infrarrojo se mantiene relativamente constante en el intervalo de 700 – 1000 nm, en la longitud de 750 nm alcanza un promedio de 68%.

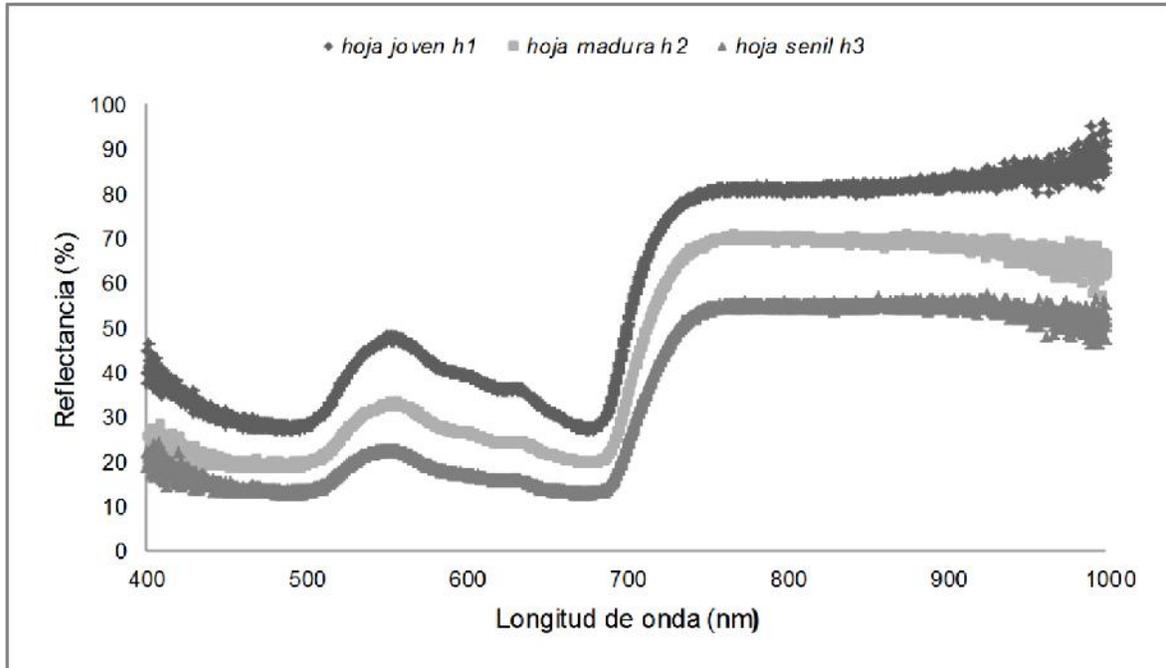


Fig. 52 Reflectancia de la especie *Pentalinon luteum*.

La tabla X muestra la reflectancia normalizada de la especie *Pentalinon luteum* para distintas longitudes de onda y su respectivo promedio de acuerdo al tamaño de la hoja. Se puede observar que la reflectancia es mayor cuanto más joven es la hoja.

Tabla X. Reflectancia normalizada de la especie *Pentalinon luteum*.

Longitud de onda (λ)	Tamaño de la hoja			Media
	h1(5 cm)	h2(6 cm)	h3(7.7 cm)	
380 nm	0.52	0.30	0.32	0.38
550 nm	0.48	0.33	0.22	0.34
650 nm	0.31	0.22	0.14	0.22
750 nm	0.80	0.70	0.54	0.68

Fuente: Elaboración propia.

La fig. 53 muestra la reflectancia en porcentaje de la especie *Clitoria ternatea* en el intervalo de 400 – 1000 nm. Las hojas jóvenes *h1* presentan mayor reflectancia que las hojas seniles *h3* y estas a su vez mayor que las hojas maduras *h2*. En la región visible el mayor porcentaje de reflectancia se ubica a 550 nm, alcanzó 15% en

promedio. En la región cercana al infrarrojo en el intervalo de 700 – 1000 nm se mantiene relativamente constante, en la longitud de 750 nm alcanzó 34% en promedio.

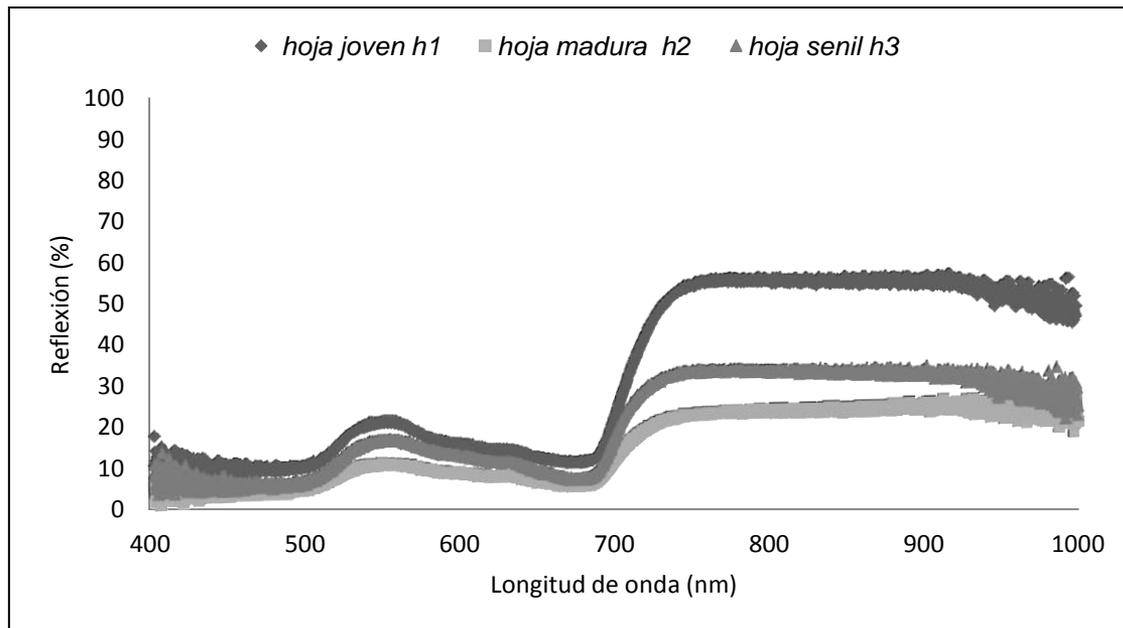


Fig. 53 Reflectancia de la especie *Clitoria ternatea*.

La tabla XI muestra la reflectancia normalizada de la especie *Clitoria ternatea* para distintas longitudes de onda y su respectivo promedio de acuerdo al tamaño de la hoja. Puede observarse que la reflectancia es mayor en las hojas jóvenes; sin embargo, las hojas seniles presentan mayor reflectancia que las hojas maduras.

Tabla XI. Reflectancia normalizada de la especie *Clitoria ternatea*.

Longitud de onda (λ)	Tamaño de la hoja			Media
	<i>h1</i> (5 cm)	<i>h2</i> (6 cm)	<i>h3</i> (7.7)	
380 nm	0.17	0.11	0.17	0.17
550 nm	0.20	0.09	0.15	0.15
650 nm	0.10	0.04	0.07	0.07
750 nm	0.52	0.20	0.31	0.34

Fuente: Elaboración propia.

La transmitancia de la especie *Pentalinon luteum* como función de la longitud de onda se muestra en la fig. 54. En general fue muy baja y constante en los tres tamaños de hoja *h1*, *h2* y *h3*. En la región visible a 550 nm fue de 1% en promedio y en la región cercana al infrarrojo a 750 nm fue de 3% en promedio.

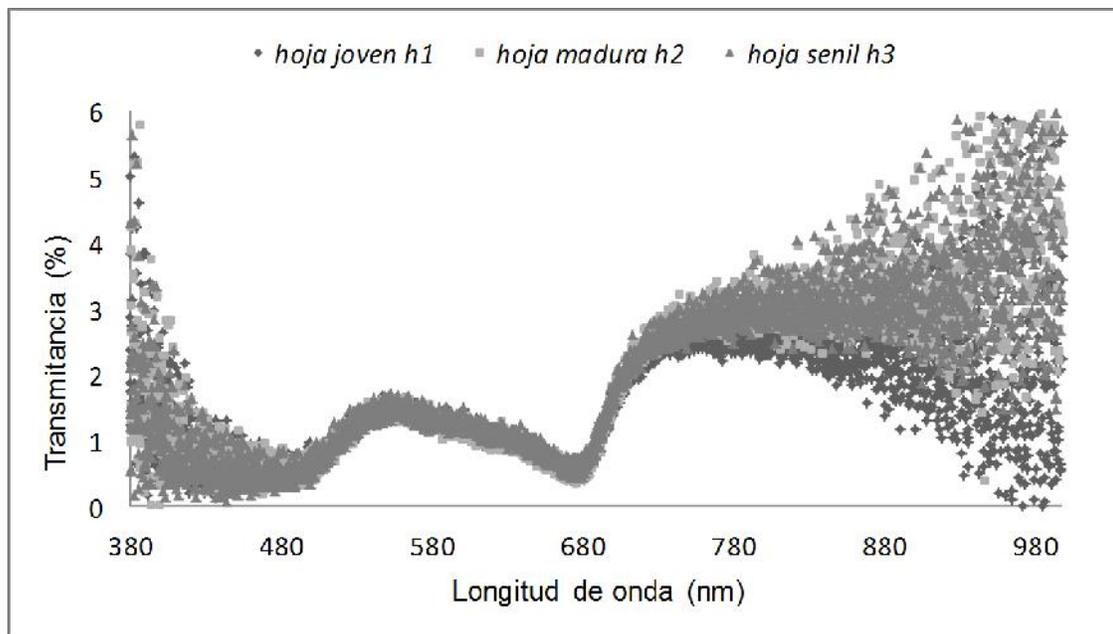


Fig. 54 Transmitancia de la especie *Pentalinon luteum*.

La tabla XII muestra la transmitancia normalizada de la especie *Pentalinon luteum* para distintas longitudes de onda y su respectivo promedio de acuerdo al tamaño de la hoja. Puede observarse que la transmitancia se comporta homogénea en los tres tamaños de hoja.

Tabla XII. Transmitancia normalizada de la especie *Pentalinon luteum*.

Longitud de onda (λ)	Tamaño de la hoja			Media
	<i>h1</i> (5 cm)	<i>h2</i> (6 cm)	<i>h3</i> (7.7.)	
380 nm	0.05	0.04	0.04	0.04
550 nm	0.01	0.01	0.02	0.01
650 nm	0.01	0.01	0.01	0.01
750 nm	0.02	0.03	0.03	0.03

Fuente: Elaboración propia.

La transmitancia de la especie *Clitoria ternatea* como función de la longitud de onda se muestra en la fig. 55. En general fue muy baja y constante en los tres tamaños de hoja *h1*, *h2* y *h3*. La transmitancia se observa en la región cercana al infrarrojo pero no supera el 1%.

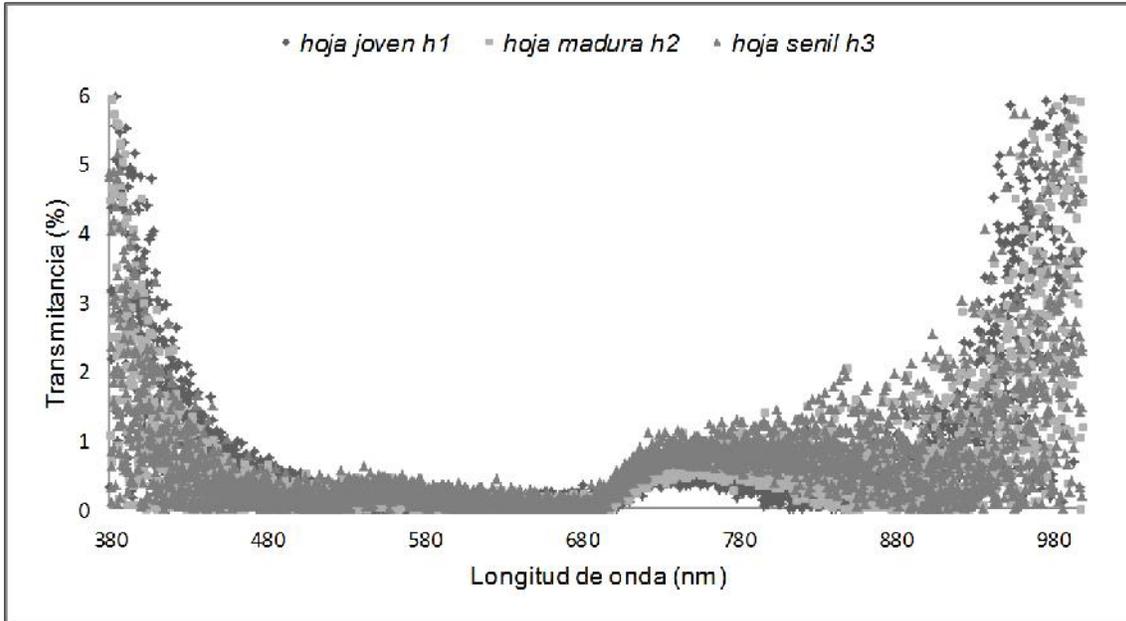


Fig. 55 Transmitancia de la especie *Clitoria ternatea*.

La tabla XIII muestra la transmitancia normalizada de la especie *Clitoria ternatea* para distintas longitudes de onda y su respectivo promedio de acuerdo al tamaño de la hoja. Tanto en la región visible como en la región cercana al infrarrojo fue prácticamente nula.

Tabla XIII. Transmitancia normalizada de la especie *Clitoria ternatea*.

Longitud de onda (Å)	Tamaño de la hoja			Media
	h1 (5 cm)	h2 (6 cm)	h3 (7.7 cm)	
380 nm	0.00	0.04	0.00	0.00
550 nm	0.00	0.00	0.00	0.00
650 nm	0.00	0.00	0.00	0.00
750 nm	0.00	0.00	0.01	0.00

Fuente: Elaboración propia.

La absorptancia normalizada de ambas especies se obtuvo utilizando la ecuación 4. Los resultados de la especie *Pentalinon luteum* se muestran en la tabla XIV. En la región visible a 550 nm fue de 0.64 en promedio, en la región cercana al infrarrojo fue de 0.29 en promedio. Esto indica que tiene baja capacidad de absorber la radiación térmica.

Tabla XIV. Absortancia normalizada de la especie *Pentalinon luteum*.

Longitud de onda (λ)	Tamaño de la hoja			Media
	<i>h1</i> (5 cm)	<i>h2</i> (6 cm)	<i>h3</i> (7.7 cm)	
380 nm	0.43	0.66	0.64	0.58
550 nm	0.51	0.66	0.76	0.64
650 nm	0.68	0.77	0.85	0.77
750 nm	0.18	0.27	0.43	0.29

Fuente: Elaboración propia.

La absorptancia normalizada de la especie *Clitoria ternatea* se muestra en la tabla XV. En la región visible a 550 nm fue de 0.85 en promedio, en la región cercana al infrarrojo fue de 0.65 en promedio. Esto indica que esta especie tiene mayor capacidad de absorber la radiación térmica comparada con la especie *Pentalinon Luteum*.

Tabla XV. Absorptancia normalizada la especie *Clitoria ternatea*.

Longitud de onda (λ)	Tamaño de la hoja			Media
	<i>h1</i> (5 cm)	<i>h2</i> (6 cm)	<i>h3</i> (7.7cm)	
380 nm	0.83	0.85	0.83	0.84
550 nm	0.80	0.91	0.85	0.85
650 nm	0.90	0.96	0.92	0.93
750 nm	0.48	0.80	0.68	0.65

Fuente: Elaboración propia.

6.5 Análisis de los resultados.

Para ambas especies los valores de reflectancia son más altos cuando las hojas son más jóvenes. La especie *Pentalinon luteum*, en la longitud de onda 550 nm (visible) el valor varía de 0.23 a 0.48, en longitudes de onda >750 nm (infrarrojo cercano) varía de 0.54 a 0.80. Para la especie *Clitoria ternatea* la reflectancia en la longitud de onda 550 nm (visible) varía de 0.09 a 0.20, en longitudes de onda >750 nm (infrarrojo cercano) varía de 0.20 a 0.52. El valor de transmitancia no excede de 0.05 para ambas especies y se mantiene relativamente constante independientemente del

crecimiento de las hojas. Respecto a la absorptancia en ambas especies es menor cuando las hojas son más jóvenes, para la especie *Pentalinon luteum* en la longitud de onda 550 nm (visible) varía de 0.51 a 0.76, a 750 nm (infrarrojo cercano) varía de 0.18 a 0.43; para la especie *Clitoria ternatea* en longitud de onda 550 nm (visible) el valor varía de 0.80 a 0.91 y para longitudes de onda 750 nm (infrarrojo cercano) varía de 0.48 – 0.80.

En la tabla XVI se observa la absorptancia, la reflectancia y la transmitancia de pastas hechas de cemento portlant tipo III en versión gris y blanco Hoyos, M. (2012), materiales comúnmente utilizados en la construcción, comparándolos con los resultados promedio de las especies estudiadas en el presente trabajo. En función a la longitud de onda 550 nm por ser la de mayor visibilidad para el ojo humano.

Tabla XVI. Comparativa normalizada de materiales constructivos y especies vegetales.

Longitud de onda (λ)= 550 nm	Propiedades ópticas		
	Absorbtancia	Reflectancia	Transmitancia
*Pasta de cemento gris	0.99	0.01	0.00
*Pasta de cemento blanco	0.91	0.09	0.00
<i>Pentalinon luteum</i>	0.64	0.34	0.01
<i>Clitoria ternatea</i>	0.85	0.15	0.00

Fuente: Elaboración propia con datos de *Hoyos, M. (2012)

Para ambas especies la reflectancia en el visible es mayor entre más joven es la hoja. La transmisión prácticamente se comporta homogénea independientemente del crecimiento de las hojas.

La absorptancia en la especie *Pentalinun Luteum* tiene valores notablemente menores al promedio documentado de plantas vasculares. La reflectancia difusa para longitudes de onda de 750 nm (infrarrojo cercano) varía de 54 a 80%. Por lo tanto, desde el punto de vista térmico es una especie recomendable para la utilización en fachadas vegetadas en los climas cálidos-húmedos.

CAPÍTULO VII. CAPTURA DE CARBONO DE LA VEGETACIÓN.

7.1 Materiales y Métodos.

El método se basa en la producción de biomasa en un periodo de siete meses para la especie *Clitoria ternatea* y un año seis meses para la especie *Pentalinon luteum*. Posteriormente se determinó el contenido de carbono por cada fracción de la planta, tomando como referencia un estudio realizado por Carvajal, M. *et al* en plantas hortícolas de la región Murcia en España. La equivalencia en CO₂ se obtuvo considerando que cada mol de CO₂ contiene 12 gramos de C (44/12), por tanto, la estequiometría de la reacción de fijación de este gas indica que, por cada gramo de carbono asimilado, se retira de la atmósfera 3,66 g de CO₂ (García, R. 2014). Dicha equivalencia la refiere asimismo el (IPCC) que indica (1 Ton de C = 3,667 Ton CO₂) Para obtener el contenido de biomasa, se extrajeron de la fachada vegetada dos individuos de cada especie desde la raíz, se colocaron cuidadosamente en bolsas de plástico para trasladarse al laboratorio donde posteriormente se limpiaron y separaron por fracciones indicadas en la Tabla XVII.

Tabla XVII. Fracciones de las especies utilizadas.

Fracciones de la planta	<i>Clitoria ternatea</i>	<i>Pentalinon luteum</i>
Hoja	*	*
Tallo	*	*
Raíz	*	*
Vaina	*	

Fuente: Elaboración propia

Nota: En ambas especies no se contó con suficiente muestra de flor para realizar su análisis.

Se obtuvo el peso fresco de cada fracción de las plantas utilizando una balanza granataria de alta precisión marca OHAUS modelo PA214 de capacidad máxima 210 g. En las figuras 56 y 57 se observa el proceso de separación y medición del peso fresco de cada planta. Posteriormente, muestras de 5 g se colocaron en recipientes de vidrio para secarse en una mufla (hand made) aproximadamente a 60 °C hasta

obtener el peso constante de cada fracción medido en una balanza digital de bolsillo marca pocket scale CE modelo 100 g/0.01 g. En las figuras 58 y 59 se observa el tamaño de la muestra y el equipo para el secado. A continuación las muestras se molieron en tres etapas, primero utilizando una licuadora común, seguido de un molido con mortero y por último utilizando un filtro de tela hasta obtener un polvo homogéneo.



Fig. 56 Separación de la planta.
Fuente: Propia



Fig. 57 Medición del peso en fresco.
Fuente: Propia



Fig. 58 Muestra para secado
Fuente: Propia



Fig. 59 Secado en mufla a 60° C
Fuente: Propia

Las partículas de polvo se etiquetaron y colocaron en bolsas de papel glassine para trasladarlas al Departamento de Edafología del Instituto de Geología de la UNAM donde se realizó el análisis por duplicado del contenido de carbono, utilizando un analizador elemental CNHS/O perkin Elmer 2400 series II en el modo CHN, los resultados se observan en la tabla XVIII.

Tabla XVIII. Contenido de carbono en cada fracción de las plantas.

Muestra	C total %
PLh	38.56
PLr	42.39
PLt	43.80
CTh	43.97
CTr	43.43
CTt	43.58
CTv	46.04

Fuente: Elaboración propia.

PL, *Pentalinon Luteum*; CT, *Clitoria Ternatea*; hoja (h), raíz (r); tallo (t); vaina (v)

7.2 Resultados.

En las tablas 19 y 20 se observa un resumen de los datos de biomasa, captura de carbono y CO₂ de cada especie. El carbono total fijado se obtuvo multiplicando el porcentaje de cada fracción por su respectivo peso seco en gramos. La estimación de CO₂ capturado se obtuvo de acuerdo a la equivalencia sugerida por el IPCC.

El contenido de carbono por cada fracción de la especie *Clitoria ternatea* varía de 43 - 46%. Captura en promedio 71.93 g C por planta, el tallo 44%, las hojas 26%, la vaina 21% y la raíz 9%; el equivalente en CO₂ es de 263.77 g. En la tabla XIX se muestra los resultados.

Tabla XIX. Valores de Carbono y fijación de CO₂ de la especie *Clitoria ternatea*.

<i>Clitoria ternatea</i>	Peso fresco g/planta	Peso seco (%)	Peso seco /planta (g)	Humedad (%)	C /planta (%)	C /planta (g)	CO ₂ /planta (g)
Hoja	123.78	34.38	42.56	65.62	43.97	18.71	68.61
Tallo	164.42	44.71	73.51	55.29	43.58	32.04	117.49
Raíz	30.02	48.37	14.52	51.63	43.43	6.31	23.14
Vaina	97.66	33.08	32.31	66.92	46.04	14.87	54.53
Total	415.87		162.89			71.93	263.77

Fuente: Elaboración propia

Periodo (junio 2015 - enero 2016)

Densidad de plantación sugerida: cada 40 cm (cobertura de follaje 0.80 m² por individuo).

El contenido de carbono en cada fracción de la especie *Pentalinon luteum* varía de 38 -44 %. Puede capturar en promedio 128.52 g C por m² en un periodo de año y medio, 60% el tallo, 25% la raíz y 15% las hojas; el equivalente en CO₂ alcanza 471.28 g. En la tabla XX se muestra los resultados.

Tabla XX. Valores de Carbono y fijación de CO₂ de la especie *Pentalinon luteum*.

<i>Pentalinon luteum</i>	Peso fresco y/planta	peso seco (%)	Peso seco /planta (g)	Humedad (%)	C /planta (%)	C /planta (g)	CO ₂ /planta (g)
Hoja	227.43	22.57	51.33	77.43	38.56	19.79	72.57
Tallo	422.07	41.73	176.13	58.27	43.80	77.14	282.87
Raíz	172.38	43.23	74.53	56.77	42.39	31.59	115.84
Total	821.88		301.99			128.52	471.28

Fuente: Elaboración propia

Periodo: (julio 2014 – enero 2016).

Densidad de plantación sugerida: cada 40 cm (cobertura de follaje 1.00 m² por individuo).

7.3 Análisis de los resultados.

El contenido de carbono de cada fracción de las especies analizadas es de 39 – 46%, muy cerca del margen 45 – 50% referido por Espada, J.L. (2013). La especie *Clitoria ternatea* puede capturar 71.93 g de C, equivalente a 263.25 g de CO₂ por planta en un periodo de siete meses, la mayor parte es capturado por el tallo 44%, seguido de las hojas 26%, vaina 21% y raíz 9%; mientras que la especie *Pentalinon luteum* puede capturar 128.53 g de C, equivalente a 470.43 g de CO₂ por planta en un periodo de año y medio, la captura principalmente es del tallo 60%, raíz 25% y hoja 15%. La especie *Clitoria ternatea* cubre una superficie aproximada de 0.80 m² y la especie *Pentalinon luteum* 1.0 m² por individuo; sin embargo, la densidad de plantación en el sistema tipo contenedor o enrejado es de 2.5 plantas por cada metro lineal comprendiendo la altura promedio de la planta 2.00 m.

Comparando los resultados de captura de carbono con el estudio realizado por Getter *et al* (2009) donde muestra que una especie de sedum sp. captura 275 g C por m² equivalente a 1008 g de CO₂ por m² en un periodo de seis meses, indica que las especies de enredaderas analizadas capturan menor cantidad de CO₂, debido

probablemente a la diferencia en biomasa; sin embargo, cabe señalar que en los sistemas de fachadas vegetadas se requieren especies de trepadoras y los sedum son plantas herbáceas de porte bajo, razón por la cual se emplean comúnmente en las azoteas extensivas y en los muros vegetados tipo panel o fieltro.

Las especies *Pentalinon luteum* y *Clitoria Ternatea* mostraron similar comportamiento en fijación de carbono, ambas presentaron alta tolerancia a la sequía, mínimos requerimientos de abono, poda y presencia de follaje permanente. Sirvan los resultados obtenidos para ampliar la investigación en otras especies ya que a la fecha no existen registros de captura de CO₂ específicos de especies recomendables en fachadas vegetadas.

La tabla XXI muestra los resultados de la captura de CO₂ de las especies analizadas comparadas con los datos de captura de carbono de una especie de sedum según Getter, K.L. *et al* (2009).

Tabla XXI. Captura de CO₂ por m² de vegetación en tres especies.

Especie	Periodo	CO ₂ /individuo (g)	CO ₂ /m ² (g)
<i>Clitoria ternatea</i>	Siete meses	263.77	329.71
<i>Pentalinon luteum</i>	Año y medio	471.28	589.10
<i>Sedum</i>	Seis meses	-	*1008

Fuente: Elaboración propia con datos de *Getter, K.L. 2009.

CAPÍTULO VIII. PERCEPCIÓN POR LA FACHADA VEGETADA.

8.1 Estudios análogos.

En los últimos años se han realizado algunos estudios de percepción sobre azoteas vegetadas. Un ejemplo fue en un centro comercial de Malasia, donde se observó que las personas con más nivel de estudios son más conscientes de los beneficios que aportan más allá de su valor estético. Este se basó en encuestar a ciento cuatro personas que visitaron la azotea vegetada, la mayoría de origen Chino y Malasio, con proporción similar entre hombres y mujeres y de edades entre los quince a treinta años principalmente. De acuerdo a los resultados, las razones que motivaron su visita fueron: el conciliar la mente (28%), la cercanía con la naturaleza (27%), ser atraído por su belleza (25%) y el aprendizaje ambiental (16%). En conclusión la azotea vegetada fue percibida como un lugar de retiro para la paz (Syumi, A., *et al* 2012).

Zahir, M., *et al* (2014) hacen una extensa revisión bibliográfica para explorar las experiencias pasadas acerca de estudios de percepción en profesionales del ambiente construido y los que instalan azoteas vegetadas, con la finalidad de elaborar una metodología que permitiera conocer la percepción de los arquitectos de Malasia en la aplicación de los techos vegetados. Observó que los estudios previos son en su mayoría una combinación cualitativa y cuantitativa. Para las futuras investigaciones recomiendan la necesidad de hacer hincapié no solo en la búsqueda de maneras para promover el techo vegetado entre todos los profesionales de la construcción, sino también sugerir mejoras en las políticas y campañas que motiven su uso.

Un estudio exploratorio realizado a tres habitantes de un edificio residencial en la Ciudad de Porto Alegre, cubierto en sus cuatro fachadas con vegetación trepadora concluyó que para los residentes el muro vegetado influye de una manera positiva en el confort térmico de las habitaciones, porque reduce principalmente la temperatura ambiente en verano; sin embargo, el mantenimiento y la necesidad de podar las plantas trepadoras fueron los principales motivos de insatisfacción entre los cabezas de familia entrevistados, pero la humedad y la presencia de insectos se consideró

irrelevante. Cabe señalar que las plantas simplemente estaban adosadas al muro, es decir no se utilizó algún sistema constructivo con soporte estructural adicional como actualmente se utilizan (Valesan, M., & Aloysio, M., 2008).

La vegetación está relacionada con la satisfacción de las personas. En un estudio realizado a trabajadores de oficina en Noruega para detectar los beneficios de las plantas de interior en un contexto laboral observó que las plantas localizadas en espacios de descanso tienen efectos más placenteros que las colocadas en las áreas de trabajo, así mismo destacó la importancia de la presencia de las plantas en un espacio de oficina o la disponibilidad de una vista de ventana. Parte de las conclusiones del estudio antes mencionado fue la propuesta de investigar las características de las plantas más allá de su presencia física “aspectos tales como el tamaño, la forma, las especies y el color podrían desempeñar un papel importante en cómo se perciben y evalúan las plantas por los empleados” (Bringslimark, T., Hartig, T. & Grindal, G. 2007).

Para conocer las sensaciones que los colores en el ambiente provocan en las personas es necesario acudir a la psicología del color. Está comprobado científicamente que los colores más oscuros absorben con mayor proporción la energía solar que los claros, incluso en el diseño los colores suelen clasificarse en cálidos y fríos; sin embargo, desde el punto de vista psicológico algunos colores oscuros pueden aportar una sensación refrescante. “Para los nómadas del desierto que vivían en un cálido ambiente dominado por el color arena, los frescos azules y verdes constituían una agradable anticipación de un paraíso celestial” (Zelanski, P., & Fisher, M.P., 2001, p.163). La variedad de colores que se propuso en la encuesta fue de acuerdo a la disponibilidad de las enredaderas nativas de la región; en Acapulco son comunes las especies de flor morada, amarilla, blanca y azul.

Respecto al costo, los sistemas de naturación son permanentes, en México la inversión de un muro vegetado con sustrato puede oscilar de dos mil quinientos a cinco mil pesos por metro cuadrado, descartando los muros hidropónicos o con base de fieltro, por requerir agua de manera constante. La variación del costo depende principalmente de la disponibilidad de los materiales así como la inclusión o no de un

sistema de riego; por lo tanto, el costo representa una limitante al momento de decidir adquirir un muro vegetado.

8.2 Método

Es un estudio exploratorio cuya muestra fueron jóvenes estudiantes de nivel superior de una institución pública. Se optó por el Instituto Tecnológico de Acapulco ITA, Institución de dependencia Federal con cuarenta años de antigüedad, que posee una matrícula de 3,526 estudiantes. Se invitaron a los docentes para que acompañaran a los grupos de estudiantes a su cargo, sin informarles que se haría un sondeo con la finalidad de no inducir en sus respuestas.

Participaron estudiantes de las carreras de Arquitectura, Ingeniería Electromecánica, Ingeniería Bioquímica, Ingeniería en Sistemas Computacionales y Contaduría. Previamente se realizó una prueba piloto con un grupo de Administración en la cual detectaron errores en el cuestionario.

La Real Academia de la Lengua Española define la percepción como la sensación interior que resulta de una impresión material hecha en nuestros sentidos. Por ello fue necesario permitir que los estudiantes estuvieran en contacto directo con el modelo vegetado, el cual se encuentra instalado en el Centro de Investigación Científica y Tecnológica de Guerrero A.C. CICTEG, organismo sin fines de lucro de reciente creación. Se ubica en el sector anfiteatro, dentro de la zona centro de Acapulco. Aunque su localización es accesible, para recorrer la distancia entre el ITA y el CICTEG se requiere de aproximadamente una hora y media utilizando transporte público, razón que limitó la visita de los estudiantes; sin embargo, la principal causa fue la falta de interés de los docentes invitados en participar en el estudio.

A pesar de esto, el total de los estudiantes que participaron fue de 124, cantidad que proporciona resultados para conocer la opinión de la colectividad. Se eligió este CICTEG por las facilidades otorgadas para la instalación del modelo y el financiamiento del estudio.

En el periodo de marzo a septiembre del 2015 hubo 9 visitas, cabe mencionar que en el mes de junio por la carga académica y en el mes de julio por las vacaciones de verano no hubo actividad. Acudieron únicamente los fines de semana para no

interrumpir el horario de clase. El sondeo se aplicó de la siguiente manera: se mostró el modelo desde la planta baja del edificio, instalado en la fachada sur, a la altura del segundo nivel. En esa ubicación incide la radiación solar la mayor parte del día. Después de una observación entre 3 a 5 minutos, en grupos de 6 ingresaron a la habitación adyacente a la fachada vegetada. Ahí permanecieron aproximadamente 5 minutos con la libertad de sentir el espacio, observar o tocar la vegetación. Posteriormente se les pidió bajar al vestíbulo, donde se le proporcionó a cada uno un cuestionario. Una vez contestado, se procedió a explicarles detalladamente al total del grupo en qué consiste el modelo, los objetivos de la investigación y los resultados obtenidos hasta ese momento. También se aclararon dudas y se recibieron sugerencias.

El sondeo se diseñó para identificar el confort, los beneficios y la viabilidad percibida por el modelo, incluyó datos generales de los participantes y consistió en 6 preguntas cerradas con opción a respuesta abierta, las cuales son: ¿Cuál de las siguientes sensaciones le transmite el muro vegetado?, ¿cuál de los siguientes beneficios al ambiente cree usted que genera el muro vegetado?, ¿en cuál de los siguientes inmuebles sería más conveniente instalar este sistema?, ¿Le parece que una instalación así requiere de mucho dinero?, ¿cuál de los siguientes colores le gusta más en las flores de la vegetación?, ¿le gustaría obtener más información al respecto?

8.3 Resultados.

Los participantes fueron en su mayoría hombres, el intervalo de edad predominante fue de dieciocho a veintiún años y el porcentaje de los alumnos por carrera fue: arquitectura 33.9 %, ingeniería electromecánica 22.6 %, ingeniería bioquímica 16.1 %, contaduría 15.3 % e ingeniería en sistemas computacionales 12.1 %. En la tabla XXII se dan las características generales de los estudiantes.

Tabla XXII. Edad, sexo y carrera de los encuestados.

Edad	Porcentaje (%)
18 - 21	66.6
22 - 25	31.0
26 - 30	2.4
Sexo	
Hombre	64.5
Mujer	28.2
No contestó	7.3
Carrera	
Arquitectura	33.9
Ingeniería Electromecánica	22.6
Ingeniería Bioquímica	16.1
Contaduría	15.3
Ingeniería en sistemas	
Computacionales	12.1

Fuente: Elaboración propia.

La tabla XXIII contiene los resultados correspondientes a la pregunta ¿cuál de las siguientes sensaciones le transmite el muro vegetado?; la mayoría de los participantes experimentó sensaciones térmicas de frescura 71.8 %. La calma también resultó una sensación importante 16.1 %, mientras que el aspecto estético fue relevante solo para el 2.4 % de ellos.

Tabla XXIII. Sensaciones transmitidas.

Sensación	Porcentaje (%)
Frescura	71.8
Calma	16.1
Humedad	6.5
Belleza	2.4
Otra	2.4
No contestó	0.8

Fuente: Elaboración propia.

La fig. 60 Muestra los resultados de una tabla de contingencia con las preguntas ¿cuál de las siguientes sensaciones le transmite el muro vegetado? y ¿cuál de los siguientes beneficios al ambiente cree usted que genera el muro vegetado?; 89 personas del total (124) consideraron que la mayor sensación transmitida fue la fresca, de las cuales 58 eligieron la mejora de la temperatura interior como el beneficio más aportado.

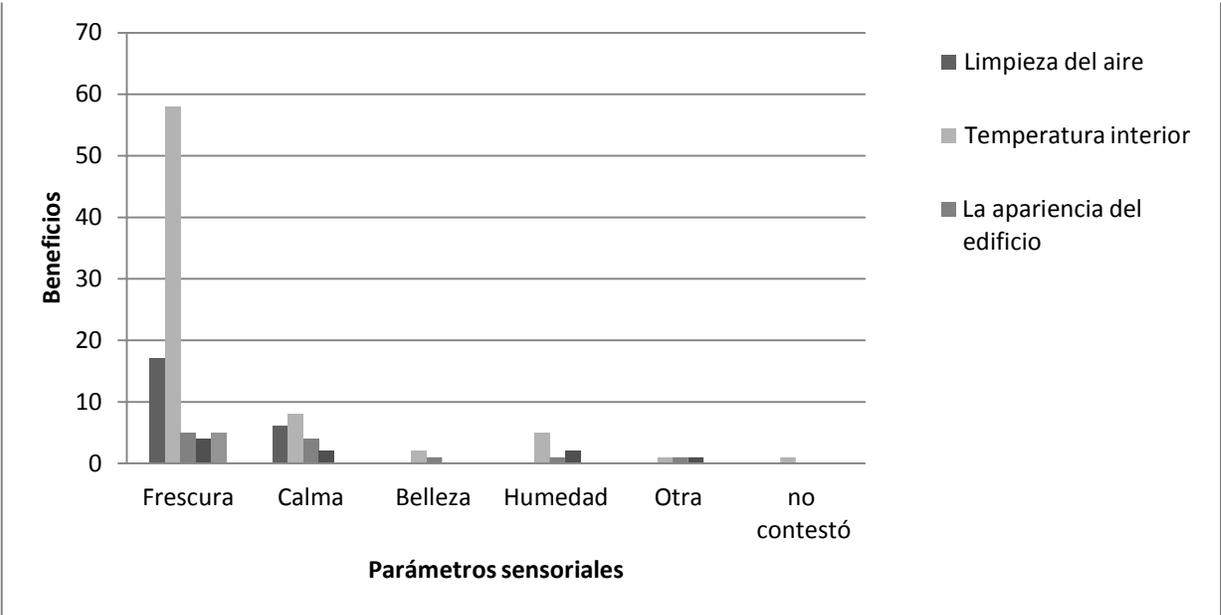


Fig. 60 Relación entre las variables: sensaciones transmitidas vs beneficios al ambiente.

En la tabla XXIV se muestran los resultados de la pregunta ¿en cuál de los siguientes inmuebles sería más conveniente instalar este sistema?; el 39.5 % cree viable instalarlo en las casas, el 28.2 % eligió las escuelas y el 16.1 % los hoteles.

Tabla XXIV. Inmuebles convenientes para instalarlo.

Inmuebles convenientes	Porcentaje (%)
Casas	39.5
Escuelas	28.2
Hoteles	16.1
Hospitales	12.9
Otro	3.2

Fuente: Elaboración propia.

La tabla XXV muestra la respuesta a la pregunta ¿le parece que una instalación así requiere de mucho dinero?; el 69.4 % de los encuestados piensa que es económicamente accesible.

Tabla XXV. Percepción del costo.

Requiere de mucho dinero.	Porcentaje (%)
No	69.4
Sí	30.6

Fuente: Elaboración propia.

En la fig. 61 se muestran los resultados de una tabla de contingencia con las preguntas ¿en cuál de los siguientes inmuebles convendría instalar más este sistema? y ¿le parece que una instalación así requiere de mucho dinero?; puede observarse que el modelo se percibe económicamente accesible independientemente del tipo de inmueble; sin embargo, para las escuelas la inversión se percibe por el doble de los demás.

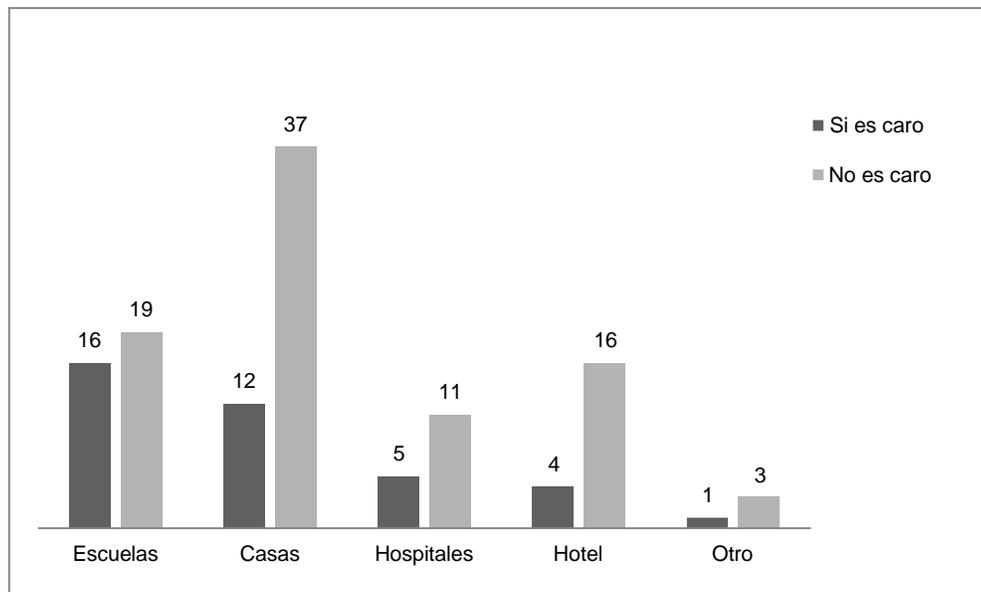


Fig. 61 Relación entre las variables: inmuebles convenientes vs económicamente caro.

En la tabla XXVI se muestra la respuesta a la pregunta ¿cuál de los siguientes colores le gusta más en las flores de la vegetación?; poco menos de la mitad eligió el amarillo 45.2 % de los encuestados, el cual es un color cálido; el azul fue elegido por

el 21.8 %, que es un color frío, el 16.9 % de los encuestados optaron por el color blanco, que es un color neutro. El morado fue el menos favorecido.

Tabla XXVI. Preferencia por el color de la flor.

Color de flor	Porcentaje (%)
Amarillo	45.2
Azul	21.8
Blanco	16.9
Morado	11.3
Otro	4.8

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla XXVII se observa la respuesta a la pregunta ¿le gustaría obtener más información al respecto?; el 92.7 % mostró gran interés de tal forma que se considera oportuno se le proporcione mayor información, el resto se mostró satisfecho con la información recibida.

Tabla XXVII. Interés por más información.

Más información	Porcentaje (%)
Si	92.7
No	7.3

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 62 se aprecia el modelo al sur del edificio perteneciente al CICTEG, la superficie vegetada es de 4 m². Se puede observar el contenedor metalizado y un andamio de madera utilizado para el mantenimiento del mismo.



Fig. 62 Vista exterior del modelo.

8.4 Análisis de resultados.

Estudios análogos se han realizado para conocer la opinión de profesionales del ambiente y de la construcción que han instalado azoteas vegetadas en los edificios y los usuarios de estos, con la finalidad de mejorar los sistemas constructivos y promover su uso; este trabajo permitió realizar un ejercicio de percepción sobre un modelo de fachada vegetada en un clima cálido húmedo, para además de incitar el tema en los próximos profesionales de diversos campos, se identifique la forma de mejorarlo, conociendo su viabilidad, sensaciones, beneficios y los colores más apreciados de las plantas.

En general el aspecto térmico fue el más destacado en el sondeo ya que la frescura y la temperatura interior fueron la sensación y el beneficio ambiental más distinguido respectivamente. La limpieza del aire fue el siguiente beneficio ambiental, este tiene relación con la producción de oxígeno y la captura de gases de efecto invernadero. Notoriamente el modelo se percibe más conveniente para las casas y las escuelas, pero económicamente más viable para las casas y los hoteles. Esto probablemente se deba a la necesidad del mantenimiento el cual requiere de recursos fácilmente disponibles.

Con relación a los colores, la variedad de colores que se propuso en el sondeo estuvo en función a la disponibilidad de las enredaderas nativas de la región; en Acapulco son comunes las especies de flor morada, amarilla, blanca y azul. El amarillo resultó el predilecto, es el más contradictorio de los colores, de la alegría, el

peligro, la diversión y el entendimiento. El azul fue el siguiente, se considera el color más frío, incluso más que el blanco, porque la piel se pone azul al experimentar frío y por lo tonos azulados que se muestran en el hielo y la nieve, también se relaciona con la pasividad, lo espiritual y lo femenino. Por último el blanco, aunque en la teoría óptica es la suma de todos los colores, simbólicamente sí es un color, el cual no tiene ninguna connotación negativa, al contrario, es atemporal, se relaciona con el bien, lo nuevo, la objetividad, la limpieza y la nieve (Heller, E. 2004). De acuerdo con la psicología del color, el verde del follaje combinado con los tres colores más apreciados en el sondeo es muy favorecedor. El verde es “tranquilizante junto al azul y el blanco; con el azul y el amarillo forma el acorde de la esperanza” (Heller, E. 2004, p. 55). En este trabajo se ha reportado la percepción por una fachada vegetada. El modelo fue percibido viable física y económicamente para todos los inmuebles, pero principalmente para las viviendas y los hoteles. La sensación más optada fue la frescura, la cual coincidió con el beneficio más percibido que fue la mejora de la temperatura interior. Esto indica que el modelo de fachada vegetada en un clima cálido húmedo tiene un efecto visual refrescante de la temperatura. Respecto a la apariencia estética es un punto que puede mejorarse, elemento importante para comercializar el modelo. A pesar de que el costo se percibe accesible, puede disminuir aún más si se logra un sistema constructivo más práctico de instalar. Los colores de las flores más apreciados fueron el amarillo, el azul y el blanco, esto permitirá seleccionar más especies vegetales nativas que lo cumplan, ya que desde el punto de vista psicológico la combinación de estos aporta sensaciones de tranquilidad. Por último, se distingue un alto interés por conocer más información acerca del tema en los futuros profesionales, por lo pronto, los resultados serán enviados a los estudiantes que participaron en la encuesta.

Los resultados mostrados van dirigidos a estudiantes de nivel superior, investigadores en ciencias relacionadas con el ambiente y profesionales de la construcción. En las próximas investigaciones es recomendable realizar entrevistas a los profesionales de la construcción, expertos en estructuras e instalaciones con la finalidad de identificar las dimensiones y los materiales más apropiados para mejorar la fijación y el mantenimiento.

CAPÍTULO IX. COSTO-BENEFICIO.

En México la inversión en la naturación por muros varía de \$2,500 a \$5,000 pesos por metro cuadrado; esto depende principalmente de los materiales constructivos así como la incorporación o no de un sistema de riego. Es necesario lograr que los costos se reduzcan a través de un mantenimiento mínimo y mejorando la instalación.

9.1 Costo por metro cuadrado.

La tabla XXVIII muestra el costo aproximado del modelo de fachada por metro cuadrado, el cual incluye los materiales y la mano de obra. En la tabla XXX se observa la estimación del tiempo de recuperación por el ahorro de energía, el cual se obtuvo considerando el porcentaje de ahorro energético por enfriamiento calculado en el capítulo cinco y el costo total del modelo el cual tiene una superficie de 4.00 m².

Tabla XXVIII. Costo del modelo fachada vegetada.

Concepto	P.U. Pesos	Unidad	Cantidad	Costo Total pesos
Euroreja verde 2.00 X 2.00	795.30	pza	1	795.30
Humus de lombriz 2 Kg	30.00	pza	4	120.00
Tierra de hoja	60.00	pza	2	120.00
Estructura metálica (contenedor y soportes del contenedor)		pza	1	3,500.00
Pintura anticorrosiva	189	Lt.	1	189
Pintura metálica	290	Lt.	1	290
Plástico	23	pza	1	23
Tubería y conexiones de pvc	500	Lote	1	500
Válvula de globo	89	pza	1	89
Total de material				5,626.30
Instalación de riego				600.00
Instalación de Estructura metálica				1,700.00
COSTO TOTAL DEL MODELO				7,926.30
Costo por m²				1,981.58

Fuente: Elaboración propia.

Tabla XXIX. Costo por abono y mantenimiento.

Concepto	Costo pesos	Periodo
Abono	30.00	Cada tres meses
Mantenimiento	60.00	Cada tres meses

Tabla XXX. Tiempo de recuperación de la inversión.

Costo por m ²	Superficie en m ²	Costo del modelo	Valor de la energía anual evitada	Tiempo de recuperación de la inversión	Costo de abono y mantenimiento anual.
1,981.58	4.00	7,926.30	1,249.40	6 .6 años	360.00

9.2 Aumento del valor de la propiedad.

Estudios norteamericanos y británicos muestran que la cobertura de árboles aumenta el valor de una casa de 6 - 15%. Los jardines verticales ofrecen ventajas visuales y ambientales muy similares. El embellecimiento urbano también tendrá un impacto en el turismo y la forma en que los visitantes ven la ciudad (Peck, S. & Callahan, C. 1999).

En un estudio por Nicholls, S. & Crompton, J.L 2005, mostraron que las viviendas adyacentes a un parque elevaron el valor de la propiedad del 6.3 - 20.2%.

9.3 Mejoramiento de la biodiversidad y servicios ecosistémicos.

Reconocer el valor de los ecosistemas, los paisajes, las especies y otros aspectos de la biodiversidad es lo único que a veces se necesita para garantizar su conservación y uso sostenible. La mayoría de los beneficios aportados por los ecosistemas son indirectos y proceden de procesos ecológicos complejos que a menudo implican cambios no lineales, por consiguiente, difícilmente se podrá evaluar la totalidad de todos los servicios. El valor de seguridad de la biodiversidad radica en la importancia

que tienen la riqueza y variedad de especies en la complejidad de los ecosistemas y su rol en el mantenimiento de servicios ecosistémicos a través del tiempo y en diferentes escalas. (IIRBAH, 2014)

El modelo funcionó como refugio para pequeñas aves, en la fig. 63 se observa un nido con dos polluelos de la especie *Columbina talpacoti*, su presencia no perjudica de alguna forma al muro. También funcionó de provisión para especies polinizadoras como son colibríes, mariposas, abejas y otros insectos (ver fig. 64-66). Se observó la reproducción natural de especies endémicas en la fig. 67 se observa una especie de *Impomoea sp.*



Fig. 63 Nido de aves



Fig. 64 Insecto polinizador



Fig. 65 Mariposa



Fig. 66 Colibrí canelo



Fig. 67 *Ipomoea* sp.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo de fachada vegetada logró una disminución de la temperatura del espacio interior respecto a la temperatura ambiente a la sombra hasta de 2.4 °C y en promedio 1.00 °C en el horario crítico (12:00-16:00).

De acuerdo a estudios previos que toman de referencia la disminución de la temperatura bajo la vegetación la cual alcanzó en promedio 3.6 °C, representa una reducción del consumo de energía por enfriamiento del 15%. Lo anterior demuestra que el uso de la fachada vegetada es recomendable para mejorar las condiciones térmicas de los espacios en el clima (Aw) cálido húmedo.

El costo total del modelo fue de \$7,926.30 es decir, \$1,981.58 por metro cuadrado, lo cual en México representa aproximadamente el 40% del costo de un muro vegetado tipo panel.

El valor de la energía anual evitada por enfriamiento se estimó en \$1,249.40 pesos y el tiempo de recuperación de la inversión de 6.3 años.

Las cantidades de captura de carbono en ambas especies de enredaderas analizadas fueron muy similares, el promedio de carbono está en el intervalo de 39 – 46% del peso seco de la planta. La especie *Pentalinon luteum* captura 128.52 g C m² en un periodo de año y medio y la especie *Clitoria ternatea* 86.32 g C m² en un periodo de siete meses. Un estudio previo muestra que una cubierta extensiva de *Sedum* puede capturar en promedio 375 g C m² en un periodo de seis meses.

Las enredaderas capturan menor cantidad de carbono debido probablemente a la diferencia en biomasa; sin embargo, cabe señalar que en los sistemas de fachadas vegetadas se requieren especies de trepadoras y los sedum son plantas herbáceas de porte bajo, razón por la cual se emplean comúnmente en las azoteas extensivas y en los muros vegetados tipo panel o fieltro.

La especie *Pentalinon luteum* puede capturar 589.10 g CO₂/m² en año y medio y la especie *Clitoria ternatea* 329.71 g CO₂/m² en siete meses.

Respecto a las propiedades ópticas, para ambas especies la reflexión en el visible es mayor entre más joven es la hoja. La transmisión es mínima y se comporta de forma homogénea independientemente del ciclo biológico. La absorción de la especie *Clitoria ternatea* a 550 nm fue de 0.85, en el infrarrojo cercano a 750 nm fue de 0.65, para la especie *Pentalinun Luteum* a 550 nm fue de 0.64, valor notablemente menor al promedio documentado de plantas vasculares de 0.84; en el infrarrojo cercano a 750 nm la absorción fue de 0.29, esto indica que tiene baja capacidad para absorber la energía en forma de calor. Parte de la energía absorbida por la vegetación es utilizada para los procesos de fotosíntesis y de evapotranspiración lo cual permite la regulación de la temperatura de la planta.

Estudios previos muestran que la vegetación está relacionada con la satisfacción de las personas; en los edificios influye de una manera positiva en el confort térmico de las personas y se percibe como un lugar tranquilo. Los resultados del presente sondeo muestran que el modelo de fachada vegetada fue percibido viable física y económicamente, principalmente para las viviendas y los hoteles. La sensación más distinguida fue la frescura, la cual coincidió con el beneficio más percibido que fue la mejora de la temperatura interior. Esto indica que el modelo de fachada vegetada en un clima cálido-húmedo tiene un efecto visual refrescante de la temperatura ambiente. Respecto a la apariencia estética, es un punto que debe mejorarse, requerimiento significativo para comercializar el modelo.

Los colores de las flores más apreciados fueron el amarillo, el azul y el blanco, desde el punto de vista psicológico la combinación de estos aporta sensaciones de tranquilidad. Esto permitirá seleccionar más especies vegetales nativas que lo cumplan.

Otras cualidades que se observaron del modelo fue su utilidad como refugio para aves pequeñas, la provisión para especies polinizadoras y la presencia de especies endémicas, servicios importantes en los ecosistemas para la conservación de las especies.

Aplicando los indicadores de la infraestructura verde, el resumen de los resultados obtenidos por el modelo se observan en la tabla XXXI.

Tabla XXXI. Resultado de los indicadores.

Indicador	Categoría	Ejemplo
Indicadores ambientales	Reducción del uso de energía para refrigeración o calefacción.	15%
	Carbono Capturado	589.10 CO ₂ por m ² Especie: <i>Pentalinon luteum</i> Periodo: año y medio. 329.10 Especie: <i>Clitoria ternates</i> Periodo: Siete meses
	Protección y mejora de la biodiversidad.	Protección de pequeñas aves. (Colibríes, Tortolitas, Mariposas, abejas). Presencia de especies endémicas <i>Ipomoea sp.</i>
Indicador social	Sensaciones percibidas	Frescura 72% Calma 16% Humedad 6.4% Belleza 2.4%
Indicadores económicos	Aumento del valor de la propiedad.	6% mínimo
	Valor de las emisiones evitadas de CO ₂ y el secuestro de Carbono.	-
	Valor del consumo de energía evitado anualmente.	\$1,249.40
	Tiempo de recuperación de la inversión.	6.3 años

Fuente: Elaboración propia.

Más resultados ambientales clasificándolos en energía, vegetación, aire, agua y sustrato se muestran en la tabla XXXII.

Tabla XXXII. Desempeño ambiental por categorías.

Indicador		Resultados
Energía	Disminución de la temperatura del espacio interior.	1.00 grado °C promedio.
	Disminución de la temperatura de la superficie del muro.	Hasta 6.4 °C exterior y 9.2 °C interior.
	Disminución de la temperatura del aire bajo la vegetación.	3.6 °C promedio
Vegetación	Porcentaje de especies nativas	100 %
Aire	Porcentaje de carbono capturado por las especies vegetales.	39 - 46 % del peso seco de la planta.
Agua	Riego	Cada 3 días en verano. Cada semana en invierno.
	Gasto de agua	-
Sustrato	Volumen de sustrato	0.0625 m ³ de sustrato/ml de fachada vegetada.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En la región de estudio existe mínima presencia de fachadas vegetadas y la difusión de su desempeño es relevante para motivar su utilización y para crear políticas públicas que ayuden a mitigar los efectos del Cambio Climático en regiones climáticas similares.

La inversión inicial de una fachada vegetada es menor que la de una azotea, ya que en la azotea se necesita cubrir por lo menos 100 m² de superficie para disminuir los costos de los materiales, pues estos se adquieren en grandes dimensiones. El desempeño de la fachada vegetada mejorará entre mayor sea la superficie vegetada, sin embargo, los 4 m² que forman el modelo mostraron beneficios ambientales, económicos y sociales significativos en el contexto de un clima cálido-húmedo.

De acuerdo a cifras del Plan Director de Desarrollo Urbano de Acapulco PDDUA (2015), la superficie de área vegetada en el sector anfiteatro de Acapulco equivale a 3.27 m² por habitante, muy por debajo de los 9 m² recomendados por la OMS. En el sector Anfiteatro se registran las viviendas con mejor calidad en los materiales de construcción hipotéticamente las más propicias para invertir en el modelo. Un incremento de 4 m² de vegetación en el total de viviendas del sector 64,839, incrementaría la superficie vegetada a 4.25 m² por cada habitante.

A escala urbana, las superficies vegetadas lograrían disminuir la temperatura del aire en el interior del cañón urbano, mejorando disminuyendo así el efecto isla de calor tan presente en este sector. El ahorro energético del 15% anual por enfriamiento en las viviendas equivaldría a \$81,000,000. La captura de carbono sería equivalente a 152,786,620 g CO₂ m² en un periodo de año y medio.

Aunque los servicios ambientales referentes a la mejora de la biodiversidad no se estimaron con valor monetario la presencia de fauna y flora nativa son un indicador de la mejora en la biodiversidad.

BIBLIOGRAFÍA

Alexandri, E. & Jones, P. 2008. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates, *Building and Environment*, 43(4):480-493.

Arrizabalaga I., Gomez O., Carrero J.A., Bustamante J., Rodríguez, A., Arana G., Madariaga, J.M. (2015) Diffuse reflectance FTIR database for the interpretation of the spectra obtained with a handheld device on built heritage materials, *The Royal Society of chemistry* 7:1061-1070.

Balvanera P.H. & Cotler *et al.* (2009). Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos, *Capital Natural de México, Volumen II*, CONABIO, Mexico, disponible en

http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20II/II04_EdoTendenciasServiciosEcosistemicos.pdf

Beatriz U. & López de M. 2013. Naturación urbana, un desafío a la urbanización, *revista chapingo, serie ciencias forestales del ambiente*

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-32312013000200005, (consultado 18 de marzo de 2016)

Bringslimark, T., Hartig, T. & Grindal, G. 2007. Psychological Benefits of Indoor Plants in Workplaces: Putting Experimental Results into Context. *HortScience*, 42(3)

<http://hortsci.ashspublications.org/content/42/3/581.full.pdf+html> (consultado 26 de diciembre de 2015)

Cabello, A. & Macías, V. (2011), propiedades ópticas de las hojas de vid: reflectancia, transmitancia absorptancia y concentración de clorofila, *Agrociencia*, 45: 943-957

Carbajal Avila Jazmin (2009), Thermal design of green roof in warm subhumid climate, *Healthy Buildings 2009, Conference and Exhibition, SYRACUSECoE, Syracuse NY USA*, 13-17 de septiembre, Art. 573

Comisión Europea, (2013). Infraestructura verde: Mejora del capital natural de Europa. Bruselas, sitio web [http://eur-](http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d41348f2-01d5-4abe-b817-4c73e6f1b2df.0008.03/DOC_1&format=PDF)

[lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d41348f2-01d5-4abe-b817-4c73e6f1b2df.0008.03/DOC_1&format=PDF](http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d41348f2-01d5-4abe-b817-4c73e6f1b2df.0008.03/DOC_1&format=PDF)

Carvajal, M. Mota, C., Alcaraz-López, C., Iglesias M. & Martínez-Ballesta. Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos más representativos. Consejo Superior de Investigaciones científicas (CSIC), Murcia España. Recuperado de

http://www.lessco2.es/pdfs/noticias/ponencia_cisc_espanol.pdf

CONAVI. (2006). Guía para el uso eficiente de la energía en la vivienda. ISBN 968-7729-34-1, D.F. México. Recuperado de <http://www.conavi.gob.mx/publicaciones>

Diez Torrijos Iganacio, (2013) Beneficios ambientales de las cubiertas verdes, Paisea, No. 25.

Dunnett, N. & Kingsbury N. (2010). *Green roof and living walls*. China: Timber press.

El universal. Mx, Abril (2009), [disponible en línea], URL:

<http://www.eluniversal.com.mx/ciudad/94876.html>,

Espada, J.L. (2013). Los árboles frutales como sumideros de CO₂ desempeñan un importante servicio ambiental. Informaciones Técnicas no.248. Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, Gobierno de Aragón. ISSN 1137/1730 Aragón España. Recuperado de

http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Departamentos/AgriculturaGanaderiaMedioAmbiente/AgriculturaGanaderia/Areas/07_Formacion_Inovacion_Sector_Agrario/02_Centro_Transferencia_Agroalimentaria/Publicaciones_Centro_Transferencia_Agroalimentaria/IT_2013/IT_248-13.pdf

Excélsior, agosto 2012, [disponible en línea], URL:

<http://www.excelsior.com.mx/2012/08/03/comunidad/851552>,

Fang Fang Chih, (2007). Evaluating the thermal reduction effect of plant layers on rooftops, *Energy and buildings* 40 (1048-1052).

Getter, K.L., Row, D.B., Robertson, G.P., Cregg, B.M., Andresen, J.A. (2009). Carbon sequestration Potential of extensive green roofs. *Environmental Science and Technology*, 43(19), 7564-7570. Doi: 10.1021/es901539x. Recuperado de <http://lter.kbs.msu.edu/docs/robertson/Getter2009EnvSciTech.pdf>

Gobierno del Distrito Federal, Plan verde de la Ciudad de México, (2011), [disponible en línea], URL:

http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/biblioteca/Informe_PV_a_4anos.pdf,

Gómez, F. (2001) Evaluación de Bokashi como sustrato para semilleros en la Región Atlántica de Costa Rica, Universidad EARTH, Guácimo, Costa Rica.[disponible en línea], URL:http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base_datos/bokashi_sustrato_para_semilleros_cr.pdf

Green, J. & Sanchez, S. (2012). La calidad del aire en América Latina, una visión panorámica. Clean Air Institute. Washington D.C. Recuperado de <http://www.cleanairinstitute.org/calidaddelaireamericalatina/cai-report-spanish.pdf>

Heller, E. 2004. Psicología del color, Editorial Gustavo Gili, Barcelona.

Hoof, J & Dijken, F. . (2008). *The Historical turf farms of Iceland: Architecture, building technology and the indoor environment*, . Building and Environment, 43, 1023-1030

Hoyos, M. (2012) Concreto traslucido transmisión de luz visible a través de morteros con fluorita como agregado fino, tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, http://www.bdigital.unal.edu.co/7232/1/76328514_2012.pdf

Instituto de Investigación de recursos Biológicos Alexander Van Humbolt, (2014). Valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos aspectos conceptuales y metodológicos, Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia, recuperado de [file:///C:/Users/dcep/Downloads/VIBSE_2014_1%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/dcep/Downloads/VIBSE_2014_1%20(1).pdf)

INEGI, Principales resultados del Censo de Población y vivienda 2010, recuperado de http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/poblacion/2010/princi_result/cpv2010_principales_resultadosl.pdf,

IPCC. (2008). Cambio climático 2007. Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático, ISBN 92-9169-322-7 Ginebra Suiza. Recuperado de https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf

Knapp, A. & Carter, G., (1998). Variability in leaf optical properties among 26 species from a broad range of habitats, American journal of botany 85(7) 940-946.

Loh, S. 2008. Living Walls - a way to Green the Built Environment. BEDP Environment Design Guide, 1(26),

<http://www.environmentdesignguide.com.au/media/TEC26.pdf> (consultado 26 de diciembre de 2015)

Manfred Köhler (2002) Green roofs in temperate climates and In hot humid tropics far beyond the aesthetics, *Environmental management and Health*, 13(4)

Niachou N., Papakonstantinou K., Santamouris M., Tsangrassoulis A., and Mihalakakou G. (2001), Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance, *Energy and Buildings*, 33: 719-729.

Nyuk, H. Puay, Y. & Chen, Y. C. 2007. Study of the thermal performance of extensive rooftop greenery system in the tropical climate, *Building and Environment*, 42:25-54

OCDE. (2012). *Perspectivas ambientales de la OCDE hacia 2050, consecuencias de la inacción*. ISBN 978-92-64-122161. Brasil. Recuperado de

<http://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/49884278.pdf>

Olgay, V. (2006), *Arquitectura y clima, manual del diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, Gustavo Gilli, España.

ONU (2011) Informe mundial sobre asentamientos humanos 2011, Las ciudades y el cambio climático, orientaciones para políticas, disponible en:

<file:///C:/Users/dcep/Downloads/Las%20Ciudades%20Y%20El%20Cambio%20Clim%C3%A1tico%20Orientaciones%20Para%20Pol%C3%ADticas.pdf>

Ortega A. Rosa, Jazmin Carbajal, Diego Morales (2008) Esbozo comparativo de modelos para el diseño térmico de cubiertas vegetales, memoria de la XXII Semana Nacional de energía solar ANES.

Pakzad, P. & Osmond P., (2015) Developing a sustainability indicator set for measuring green infrastructure performance, *Procedia science direct*, 216, pp. 68-79
sitio web

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042815061893>

Peck, S. & Callaghan, C. (1999). Greenbacks from Green roofs: forging a new industry in Canada, Canada Mortgage and housing corporation, disponible en <https://www.nps.gov/tps/sustainability/greendocs/peck-sm.pdf>

Reyes, P.J. *Et al*, (2011). *Echeveria, manual del perfil diagnóstico del género echeveria en México*, Universidad Autónoma de Chapingo, disponible en

<http://snics.mx/sinarefi/biblioteca/Echeveria:%20Manual%20del%20perfil%20diagnostico%20del%20genero%20Echeveria%20en%20Mexico.pdf>

Rojas Rodríguez Freddy et al, (2006) Plantas ornamentales de trópico, Editorial Tecnológica de Costa Rica, Costa Rica, [disponible en línea], URL.

http://books.google.com.mx/books?id=a_CF1vL6poAC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Snodgrass, E. & Snodgrass L. (2006). Green Roof Plants. China: Timber Press.

Syumi, A. R. Hamidah, A. Sapura, & M. Muhamad F.R. 2015. Perception of a Green roof as a tool for urban regeneration in a commercial environment: The secret garden, Malaysia. Procedia Social and Behavioral Sciences 170(2015)

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042815000373> (consultado 26 de diciembre de 2015)

Taboada, J. A. 1979, Manual de luminotecnia, Dossat, España.

http://www.fau.usp.br/cursos/graduacao/arg_urbanismo/disciplinas/aut0262/Artificial/Capitulo_6.pdf

Theodosiou, T. 2003. Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique, Energy and Buildings, 35(9): 909-917

UN-HABITAT. (2011). Las ciudades y el cambio climático: orientaciones para políticas, Informe mundial sobre asentamientos humanos 2011. ISBN 978-92-1-131929-3. Recuperado de

<https://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/onu/538-spa-ed2011-sum.pdf>

UN-HABITAT. (2012). Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe 2012, rumbo a una nueva transición urbana. ISBN 978-92-1-133397-8. Brasil. Recuperado de

http://www.cinu.mx/minisitio/Informe_Ciudades/SOLACC_2012_web.pdf

UN-HABITAT. (2014). Planeamiento urbano para autoridades locales. ISBN 978-92-1-132608-6, Bogotá Colombia Recuperado de

<http://unhabitat.org/books/planeamiento-urbano-para-autoridades-locales/>

Urbano, B. & López de M. (2013). Naturación urbana, un desafío a la urbanización, Revista chapingo, serie ciencias forestales del ambiente, 19(2), 225-235. Doi: 10.51/r.chscfa.2013.01.004 Recuperado de

<http://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v19n2/v19n2a5.pdf>

Valesan, M. & Aloysio M. 2008. Paredes verdes y su contribución al confort ambiental: Percepción ambiental en un edificio residencial. Conference on passive and low energy architecture, Dubli

<http://plea->

[arch.org/ARCHIVE/2008/content/papers/poster/PLEA_FinalPaper_ref_225.pdf](http://plea-arch.org/ARCHIVE/2008/content/papers/poster/PLEA_FinalPaper_ref_225.pdf)

(consultado 26 de diciembre, 2015)

Vázquez, C, A.I. Batis, A. I., Alcocer, M. I., Gual, M., & Sánchez, C. (Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación, [disponible en línea], URL:

http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/inicio.pdf

Wong Nyuk Hien, Tan Puay Yok, Chen Yu, (2007), Study of the thermal performance of extensive rooftop greenery system in the tropical climate, Building and Environment, 42: 25-54

Wood, R. A. 2003. Improving the indoor environment for health, well-being and productivity,

Greening cities: a new urban ecology, University of Technology, Sydney

[http://greenplantsforgreenbuildings.org/wp-](http://greenplantsforgreenbuildings.org/wp-content/uploads/2014/01/HealthProductivity.pdf)

[content/uploads/2014/01/HealthProductivity.pdf](http://greenplantsforgreenbuildings.org/wp-content/uploads/2014/01/HealthProductivity.pdf)

(consultado 26 de diciembre, 2015)

Zahir, M. H. Raman, S.N. Mohamed, M.F. Jamiland, M. & Nopiah, Z.M. 2014. The perception of Malaysian Architects towards the implementation of green roofs: A review of practices, methodologies and future research. E3s Web of Conferences

<http://www.e3s->

[conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2014/02/e3sconf_etsdc2014_01022.pdf](http://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2014/02/e3sconf_etsdc2014_01022.pdf)

(consultado 26 de diciembre de 2015)

Zelanski, P. & Fisher, M.P. 2001. Color, Editorial H. Blume, Madrid.

ANEXOS

A1. Indicadores, equipo e instalaciones para realizar el estudio.

	Indicador	Descripción	Unidad	Equipo	Lugar
Energía	Comportamiento térmico del aire.	Temperatura y humedad relativa interior horaria antes y después de la naturación.	°C , %	Termómetro digital Hidrógrafo	CICTEG
	Comportamiento térmico de la superficie del muro.	Temperatura horaria de la superficie exterior antes y después de la naturación.	°C	Termómetro digital	CICTEG
		Absorbancia, transmitancia y reflectancia de la radiación a través de las especies.	%	Espectrofotómetro	CICTEG
Vegetación	Porcentaje de especies nativas o con valor ecológico.	-	%	-	CICTEG
Aire	Cantidad de CO ₂ absorbido anualmente por las especies muestra.	-	g de C por especie	Analizador elemental CNHS/O perkin Elmer 2400 series II en el modo CHN Equivalencia 1 Ton C = 3,666 Ton CO ₂ (IPCC)	Instituto de Geografía UNAM Facultad de Ciencias Químicas BUAP
Agua	Riego	Tiempo estimado de riego.	minutos	Cronómetro	CICTEG
	Consumo de agua	Gasto	l/s	Cálculo de gasto	CICTEG

Fuente: Elaboración propia.

A2. Proceso para medir el Carbono capturado por las especies vegetales.

PASOS	EQUIPO	MATERIAL	OBSERVACIONES
Recolectar las muestras de cada especie en la fachada vegetada.	-	Pala pequeña Bolsas etiquetadas.	Se tendrá cuidado de no estropear la raíz y de tener la muestra en un lugar templado.
Separar las plantas por partes ejemplo: (tallo, hoja, flor y raíz.)	-	Navaja, guantes.	Se tendrá cuidado en la separación de cada muestra.
Pesar las partes de la planta para determinar su peso fresco.	Balanza de laboratorio de precisión.	Bolsas de plástico, plumón marcador.	Etiquetar las fracciones por muestra.
Secar las partes de la planta.	Estufa de aire caliente o mufla.	Crisoles o recipientes de vidrio.	Secar a 70 °C hasta peso constante.
Pesar muestras de las partes de la planta para determinar su peso seco.	Balanza de laboratorio de precisión.	Bolsas de plástico, plumón marcador.	Muestra de 5 gramos aproximadamente.
Moler las partes de la planta secas.	Molinillo de laboratorio	Mortero y filtro de tela.	Las partículas resultantes deberán ser homogéneas hasta llegar a un polvo.

Fuente: Elaboración propia basada en Carvajal, M., *et al.*

A3. Especies recomendables para fachadas vegetadas en un clima cálido húmedo.

Familia	Nombre científico	Ciclo vegetativo	Nombre común	Origen	Dimensión	Color de flor	Época de floración	Req. Suelo	Req. Sol	Req. Agua	Densidad de plantación
Apocynaceae	<i>Pentalinon luteum</i>	Perennifolia	Allamanda amarilla	Centro américa	2.00 -3.00 m	Amarilla	Junio- Octubre	Drenado	Abundante	Moderado Cada tres días	@ 0.70 m
Apocynaceae	<i>Mandevilla bolivien sis</i>	Perennifolia	Mandevilla	Centro y Sudamérica	4.00 m	Blanca	Permanente	Drenado	Abundante	Cada tercer día	@ 0.50 m
Fabaceae	<i>Clitoria ternatea</i>	Perennifolia	Conchita azul	Regiones tropicales y subtropicales (ambos hemisferios)	0.70 m	Azul y Blanca	Permanente	Arcilloso y Drenado	Abundante	Cada tercer día	@ 0.40 m
Euphorbiaceae	<i>Dalechampia dioscoreifolia</i>	Perennifolia	Mariposa	Centro y Sudamérica	0.70 – 0.90 m	Purpura	Permanente	Drenado	Abundante	Cada tercer día	@ 0.40 m

Clitoria ternatea. Enfermedad: ninguna reportada, Toxicidad: No reportada

Hojas de 3-5 cm de largo, vaina de 5-10 cm de largo, no tolera inundaciones ni encharcamientos. Cuando se usa como abono verde se siembra en surcos con una densidad de 5 a 7 kg/ha, profundidad de siembra de 1-4 cm

Mandevilla bolivien sis. Enfermedad: Araña roja, Toxicidad: cierto grado

Pentalinon luteum. Enfermedad: Hongos, tolera el viento salado, crece en suelos con pocos nutrientes, no tolera inundaciones con agua salada.

Las flores son de 2" de diámetro, florece todo el año, el pico es en primavera y verano. La savia es venenosa si se ingiere.

Fuente: Elaboración propia basada en © (The Institute for Regional Conservation. Delray Beach, Florida USA.

FAO Fiat plants)

			
<i>Pentalinon luteum</i>	<i>Mandevilla bolivien sis</i>	<i>Clitoria ternatea</i>	<i>Dalechampia dioscoreifolia</i>

A4. Registro fotográfico del crecimiento de la vegetación.



Día 04 de junio de 2014



Día 14 de junio de 2014



Día 05 de julio de 2014



Día 26 de Julio de 2014
Primer mantenimiento



Día 07 de septiembre de 2014



Día 14 de septiembre de 2014



Día 20 de septiembre de 2014
Segundo mantenimiento



Día 27 de septiembre de 2014



Día 25 de octubre de 2014



Día 08 de noviembre de 2014



Día 28 de Noviembre



Día 13 de Diciembre



Día 20 de Diciembre de 2014



Día 24 de Enero de 2015



Día 21 de Febrero de 2015



Día 21 de Marzo de 2014



Día 04 de Abril de 2015



Día 18 de Abril de 2015



Día 09 de Mayo de 2015



Día 16 de Mayo de 2015



Día 25 de octubre de 2014



Día 11 de noviembre de 2014



Día 13 de Diciembre de 2014.

A5. Encuesta de percepción.

Edad: _____ Carrera: _____ sexo: _____ Fecha: _____

Gracias por aceptar contestar esta breve encuesta, la cual nos ayudará a saber la percepción que genera un muro verde (cortina verde) ubicado en el CICTEG (Centro de Investigaciones científicas y tecnológicas del Estado de Guerrero)

Nota: Favor de contestar una opción en cada pregunta.

1. ¿Cuál de las siguientes sensaciones le transmite más el muro verde?	a) Frescura b) Calma c) Belleza d) Humedad e) Otra _____
2. ¿Le parece que una instalación así requiere de mucho dinero?	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
3. ¿Cree usted que sería posible instalarlo en otros lugares?	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
4. ¿En cuál de los siguientes inmuebles convendría instalar más este sistema?	a) Escuela b) Casa c) Hospital d) Hotel e) Otro: _____
5. ¿Cuál de los siguientes beneficios cree usted que ayuda a mejorar más el muro verde?	a) La limpieza del aire b) La temperatura interior c) La apariencia del edificio d) El paisaje urbano e) Otro: _____
6. ¿Cuál de los siguientes colores le gusta más para las flores de las enredaderas?	a) Amarillo b) Azul c) Blanco d) Morado e) Otro: _____
7. ¿Le gustaría saber más información al respecto?	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>

Si contestó sí en la pregunta 7, favor de anotar su correo electrónico:

¡Muchas gracias por su participación!

A6. Indicadores de la Infraestructura verde.

Indicador	Categoría
Indicadores ecológicos	Modificación del clima y microclima
	Mejora de la calidad del aire
	Las emisiones de carbono.
	Reducción del uso de energía para refrigeración o calefacción.
	Reducción hidrológica
	Mejora de la calidad del suelo y la prevención de la erosión.
	La descomposición de residuos y el reciclaje de nutrientes.
	Atenuación de los niveles de ruido.
	Protección y mejora de la biodiversidad.
Indicadores de salud	Mejorar el bienestar físico
	Mejorar el bienestar social
	Mejorar el bienestar mental
Indicadores socioculturales	Producción de comida.
	Oportunidades para la recreación, el turismo y la interacción social.
	La mejora de caminos peatonales y su conectividad.
	Mejora de la accesibilidad
	Utilización de emplazamientos al aire libre para la educación y la investigación.
	La reducción de los delitos y el temor a la delincuencia.
	Adhesión a un lugar y sentido de pertenencia.
	Aumentar el atractivo de las ciudades
Indicadores económicos	Aumento de los valores de propiedad.
	Mayor actividad económica local.
	Ahorro en los costos de atención médica.
	Beneficios económicos de los servicios ambientales.
	Valor de las emisiones evitadas de CO ₂ y el secuestro de Carbono.
	Valor del consumo de energía evitado.

Fuente: Pakzad, P. & Osmond, P. S. (2015)