



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

---

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO  
TÉRMICO DE UNA CUBIERTA VERDE EXTENSIVA EN  
EL PARQUE TEMÁTICO BIOUNIVERZOO DE  
CHETUMAL, QUINTANA ROO**

---

TESIS

Para obtener el grado de

**INGENIERA AMBIENTAL**

PRESENTA

**ELVIA DEL PILAR ALVARADO VALENCIA**

DIRECTORA

**BIÓL. LAURA PATRICIA FLORES CASTILLO**

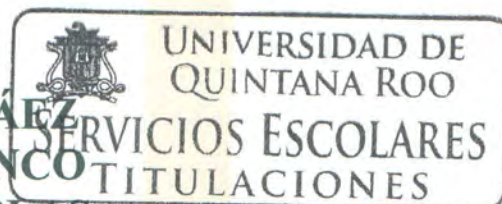
ASESORES

**DR. INOCENTE BOJÓRQUEZ BÁEZ**

**ENG. JOSÉ LUIS GUEVARA FRANCO**

**DR. VÍCTOR HUGO DELGADO BLAS**

**MIA. JUAN CARLOS ÁVILA REVELES**





**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

**TRABAJO DE TESIS BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DEL  
PROGRAMA DE LICENCIATURA Y APROBADA COMO REQUISITO PARA  
OBTENER EL GRADO DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**COMITÉ DE TESIS**

**DIRECTORA:**

**BIÓL. LAURA PATRICIA FLORES CASTILLO**

**ASESOR:**

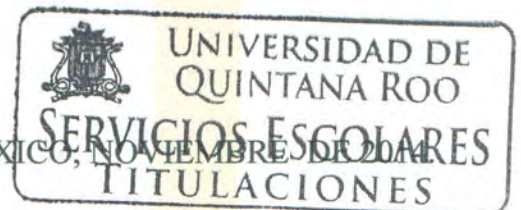
**DR. INOCENTE BOJÓRQUEZ BÁEZ**

**ASESOR:**

**ING. JOSÉ LUIS GUEVARA FRANCO**



CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, NOVIEMBRE DE 2014



## **AGRADECIMIENTOS**

El presente trabajo de tesis se lo dedico primeramente a mis padres, agradeciendo la oportunidad, el amor y el apoyo incondicional que me han brindado para poder cumplir mis objetivos como persona y estudiante. Muchas gracias por sus consejos, sus valores, sus palabras de aliento. ¡Los amo! A mis abuelos que han sido una fuente inmensa de cariño. A mi hermana que siempre ha estado presente, cuidándome.

A las personas que se convirtieron en mis amigos a lo largo de mi vida y de mi carrera, sin duda las mejores personas con las que pude haber concluido esta etapa de mi vida. A Ayrton, mi nanichango sin duda un excepcional amigo; Grijoyita, en ti encontré una verdadera amiga siempre con los mejores consejos; Samiri, siempre cuidándome y apoyándome en todo; Karen, lejos pero siempre me ofreciste ese abrazo que toda amiga necesita; A mi Bel, única, ¡eres mi mejor confidente!; Lupis, momentos divertidos que nunca olvidaré; Turin, por siempre hacernos reír; Russell, que antes que nada has sido un gran amigo, gracias por tu cariño y por compartir inolvidables momentos en mi vida; A Alo, Gina, Marce y Clau, su apoyo, sus consejos y por las interminables aventuras que hemos vivido juntas, ¡no lo cambiaría por nada!; a Victor, que más que un maestro es un amigo, gracias por leerme siempre; Rocío, Leydy, Silvia, Yu Lin y Mayte, aprendí mucho de ustedes! Rich, gracias por siempre apoyarnos en nuestros proyectos y por tu amistad. Yaz, Jane, Sergio, Adal, Chay, Zilpa gracias por su amistad! A quienes recién se sumaron a mi vida para hacerme compañía siempre con una sonrisa de ánimo, Alexa, Alan, Yaz, Yessi, Verito, gracias por siempre estar ahí; A mi madrina la Lic. Adelaida Sánchez, por sus consejos, su cariño y recomendaciones. A ti, esa persona extraordinaria. ¡Es indescriptible todo lo que significas para mí! ¡Gracias por ser todo lo que eres!

Quisiera agradecer a mis profesores durante toda mi carrera profesional, en especial a mi profesor M.I.A Juan Carlos Ávila Reveles quien siempre estuvo presente ofreciendo su ayuda y más que todo por su amistad, al Dr. Victor Hugo Delgado por sus consejos y sus ánimos. A mis directores de tesis Biol. Laura Patricia Flores, al Dr. Inocente Bojórquez Báez y al Ing. José Luis Guevara Franco, gracias por hacer posible esta tesis, sus consejos y su apoyo.

De igual manera ofrezco un agradecimiento a la Lic. Leslie Paola Martínez por haberme brindado la oportunidad de realizar el trabajo de campo para esta tesis en el actual parque “Payo Obispo zoo”, y en especial a Adrián González Alvarado, por ayudarme en mi practica y amistad. A la Universidad de Quintana Roo y a la División de Ciencias e Ingeniería.

# ÍNDICE

ÍNDICE .....	2
ÍNDICE DE IMÁGENES .....	3
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	4
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	5
I.1 Objetivos.....	8
I.1.a Objetivo general .....	8
I.1.b Objetivos específicos.....	8
I.2 Antecedentes.....	8
I.3 Justificación.....	13
CAPÍTULO II. ASPECTOS TEÓRICOS .....	17
II.1 Evolución de la vivienda .....	17
II.2 Arquitectura en México después de la Conquista.....	20
II.3 Enfoque Bioclimático, un camino a la Arquitectura Sustentable.....	24
II.4 Isla de calor .....	28
II.5 Confort .....	33
II.5.a Confort térmico .....	35
II.6 Herramientas de diseño bioclimático.....	39
II.7 El papel de la cubierta en el confort térmico interior .....	43
CAPITULO III.- DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.....	47
III.1 Características climáticas de la ciudad de Chetumal.....	47
III.2 Análisis del entorno .....	48
CAPITULO IV. METODOLOGÍA.....	50
IV.1 Metodología para la construcción de la cubierta verde .....	50

IV.1.a Diseño.....	50
IV.1.b Construcción .....	54
IV.2 Metodología para las mediciones .....	57
Los materiales y equipo que se utilizaron para las etapas de construcción y medición son:	58
CAPITULO V. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	59
V.1 Construir una cubierta verde en una casa de noche en el parque Biouniverzoo de la ciudad Chetumal.....	59
V.2 Comparar el comportamiento térmico en el interior de dos edificaciones con y sin cubierta verde durante de julio, agosto y septiembre. ....	64
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
BIBLIOGRAFÍA .....	79

# ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1.- Zonificación del clima cálido-húmedo .....	27
Imagen 2.- Efecto Isla de calor .....	29
Imagen 3.- Variación de la temperatura superficial y atmosférica .....	30
Imagen 4.- Comportamiento de las temperaturas en los alrededores de los edificios .....	31
Imagen 5.- Absorción de calor por diferentes materiales .....	32
Imagen 6.- El hombre y la interacción con el medio ambiente .....	34
Imagen 7.- Variables ambientales y su efecto en el confort térmico .....	36
Imagen 8.- Intercambio térmico entre el cuerpo humano y el medio ambiente.....	39
Imagen 9.- Gráfica bioclimática de Olgay .....	41
Imagen 10.- Diagrama psicrométrico de Givoni.....	42
Imagen 11.- Transferencia de calor de un edificio.....	43
Imagen 12.- Ubicación del parque en la ciudad de Chetumal. ....	48
Imagen 13.- Ubicación del parque.....	49
Imagen 14.- Localización de las casas de noche en el parque .....	51
Imagen 15.- Ubicación de las casas de noche.....	52
Imagen 16.- Construcción de capas de enjardinados para techos planos .....	54
Imagen 17.- Instalación capa drenante .....	60
Imagen 18.- Instalación del filtro.....	60
Imagen 19.- Instalación del sustrato .....	61
Imagen 20.- Aplicación de la vegetación .....	62
Imagen 21.- Instalación de la cubierta verde finalizada .....	63

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1.- Temperatura ambiente en Chetumal en el 2010) .....	15
Gráfica 2.- Temperatura ambiente en Chetumal en el 2011 .....	16
Gráfica 3.- Comparación de las temperaturas máximas de julio 2012 .....	65
Gráfica 4.- Comparación de las temperaturas máximas de agosto .....	66
Gráfica 5.- Comparación de las temperaturas máximas de septiembre.....	68
Gráfica 6.- Comparación de las temperaturas mínimas de julio.....	69
Gráfica 7.- Comparación de las temperaturas mínimas de agosto .....	70
Gráfica 8.- Comparación de las temperaturas mínimas de septiembre .....	71
Gráfica 9.- Ubicación de las temperaturas de julio en la zona de confort .....	74
Gráfica 10.- Ubicación de las temperaturas de agosto en la zona de confort .....	75
Gráfica 11.- Ubicación de las temperaturas de septiembre en la zona de confort.....	76

# CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La deficiente cultura ecológica entre la población y las industrias han sido los principales responsables de problemas ecológicos tales como: la contaminación por la emisión de sustancias tóxicas a la atmósfera, suelo y agua, la pérdida de biodiversidad, el aumento de los residuos, el uso desmedido de energía no renovable. Así mismo, la sobrepoblación y la urbanización han provocado un desmedido incremento en la construcción, de modo que innumerables áreas verdes han sido destruidas, ocasionando que la disponibilidad de espacios libres sea limitada, que en conjunto contribuyen significativamente a la degradación del medio ambiente y al cambio climático (Carbajal, 2009; Fuente, 2011).

En la actualidad el impacto del cambio climático es significativo y diversos temas se relacionan con éste: la huella de carbono, la isla de calor urbana y el protocolo de Kyoto, de donde se toman las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático. Sin embargo, la responsabilidad de la comunidad internacional no puede centrarse sólo en la reducción de contaminantes, sino que además, debe contemplar la ayuda a las poblaciones más vulnerables frente a lo que se aproxima. Los países industrializados les corresponde pagar su deuda medioambiental con aquellos que no han tenido ninguna responsabilidad en el cambio climático (Fuente, 2011).

El aumento y disminución de las temperaturas provocadas por el cambio climático y lo que estos factores causan, han ido creciendo de manera acelerada creando un desequilibrio social, económico y ambiental, por lo que algunos países desarrollados, mayormente de la unión europea, están tomando medidas para disminuir sus emisiones de CO<sub>2</sub>, como la utilización de energía solar y eólica. También promueven el desarrollo de tecnologías para disminuir el consumo de energía eléctrica y en general de combustibles fósiles, así como el uso de estrategias y técnicas que ayuden a mitigar los efectos del calor (Carbajal, 2009).



En este sentido, las cubiertas verdes también llamados techos verdes, azoteas verdes o techos ecológicos, son una tecnología con funciones ecológicas, las cuales pueden contribuir a la disminución de la temperatura ambiente, además de proteger la cubierta de la radiación solar y reducir la temperatura interior de las casas (Kidd, 2005; Carbajal, 2009; Ramos, 2010). Los árboles y las áreas verdes, proporcionan sombra a las viviendas. Por evapotranspiración enfrían el ambiente inmediato, ayudan a mitigar el efecto invernadero, a filtrar el aire y prevenir la erosión entre muchos otros beneficios, que permiten enfriar significativamente el medio ambiente y como consecuencia se produce el ahorro de energía. Estas cubiertas constan de varias capas que forman un medio de cultivo y las plantas en la parte superior, de un sistema de cubierta tradicional. Los dos tipos básicos de sistemas de techo verdes son extensivos e intensivos, diferenciados principalmente por el costo, la profundidad del medio de cultivo y la elección de las plantas (Peck *et al.*, 1999).

En México existen empresas que han implementado las “cubiertas verdes” en sus edificaciones desde hace 10 años aproximadamente, (Capital Verde. Portal Ciudadano del Gobierno Federal, 2007), generalmente construidos en lugares con clima templado para el aislamiento del frío. El desconocimiento del tema y de las ventajas que tienen para el aislamiento del calor, puede ser una de las razones por las cuales aún no han sido implementadas en regiones de clima cálido.

El Estado de Quintana Roo es una región cálida y húmeda, donde se presentan temperaturas elevadas mayormente en verano (junio, julio y agosto) así como también parte del otoño, como septiembre, pero es un hecho que en los últimos años el clima en el Estado ha cambiado notoriamente, varios reportes climáticos lo afirman (Orellana *et al.*, 2009). Las temperaturas se han ido incrementando cada vez más en las temporadas de verano con una larga duración, y en las temporadas de invierno las temperaturas descienden aún más de lo habitual. Bajo estas situaciones climatológicas es necesario lograr una adaptación climática que nos permita un mejor bienestar, de una manera eficiente y económica, con el acogimiento de tecnologías sustentables que

reduzcan dicho desequilibrio, propicien una mejor calidad del aire y mejoren las condiciones dentro del inmueble.

Una manera de hacerlo es mediante las cubiertas verdes que actúan como una medida de mitigación hacia el efecto isla de calor urbana, mejorando el aislamiento térmico de los edificios, reduciendo la temperatura de la cubierta y del aire que la rodea, capturando el agua de lluvia, disminuyendo el riesgo de inundaciones y los niveles de contaminación, ayudando a mejorar la calidad de vida. Representan un hábitat para especies nativas o migratorias (Lockhart, 2008).

En el presente trabajo se pretende analizar el cambio térmico al construir una cubierta verde sobre una cubierta tradicional de un recinto, denominados casa de noche, perteneciente al parque temático “Biouniverzoo”, ubicado en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, en el cuál se tiene el bienestar de los animales como su mayor prioridad. Misma que ha sido afectada por permanecer en espacios limitados y a los cambios climáticos. Uno de los principales problemas que se presentan en el parque, se generan en las instalaciones de resguardo de la fauna denominadas “casa de noche”, las cuales carecen de la tecnología adecuada que permita que la fauna ahí albergada, se encuentre en las condiciones de ventilación y temperaturas idóneas. Las cubiertas verdes pueden ser una opción viable como tecnología sustentable para dichas instalaciones, pues ayudará a mitigar la principal problemática causada por los efectos de la temperatura y aportar así un mejor bienestar en el interior de las mismas.

## **I.1 Objetivos**

Dado lo anterior, en este proyecto de titulación se han trazado los siguientes objetivos.

### **I.1.a Objetivo general**

Analizar el cambio térmico debido a una cubierta verde extensiva en una edificación durante julio, agosto y septiembre.

### **I.1.b Objetivos específicos**

- Construir una cubierta verde en una casa de noche del parque Biouniverzoo de la ciudad Chetumal.
- Comparar el comportamiento térmico en el interior de dos edificaciones con y sin cubierta verde durante julio, agosto y septiembre.

## **I.2 Antecedentes**

La aplicación de los techos verdes se ha llevado a cabo durante siglos, desde el año 500 A.C., en algunos países, tanto de climas fríos de Islandia, Escandinava, USA y Canadá, como en climas cálidos de Tanzania. Desde los jardines de Babilonia hasta la arquitectura actual, que integra la naturaleza al diseño urbano. Su uso fue principalmente debido a las excelentes cualidades aislantes de las plantas junto con la capa de suelo (Peck, 1999). En climas fríos ayudan a retener el calor en el edificio, y en los climas cálidos ayudan a mantener el calor (Minke, 2004).

En el siglo XX se habla de ciudades-jardín y la planificación bio-regional y continua la tendencia a la implantación de la terraza ajardinada, siendo Le Corbusier uno de sus más fervientes defensores (Briz, 2004). Según diversos autores, se origina en Alemania y posteriormente en países como Estados Unidos, Japón y Canadá y en algunos países europeos como Suiza, Austria y Escandinava, donde han implementado los techos verdes en sus construcciones dentro de los últimos 100 años, cuyo interés se debe

principalmente a la creciente preocupación sobre la degradación de la calidad del medio ambiente urbano y la rápida disminución de los espacios verdes en las zonas intensamente desarrolladas.

Islandia fue el único de los países nórdicos que mantuvo este tipo de arquitectura hasta finales del siglo XIX. Países como Austria, Gran Bretaña, Hungría, Holanda, Suecia, Suiza y Estados Unidos promueven la instalación de azoteas verdes mediante iniciativas locales oficiales y con la intervención de la empresa privada.

En el área de naturación urbana, una de las líneas de cooperación se inició mediante el “Joint European Project Agribusiness and Environmental Protection” apoyado por la Unión Europea. Asociaciones como Institut fur Agrar und Stadtokologische Projekte (IASP) en la Universidad Humboldt de Berlín y la Asociación PRONATUR, en la Universidad Politécnica de Madrid. Recientemente se ha creado una red internacional de ciudades, que tratan de aunar esfuerzos para su mejora medioambiental a través de la naturación urbana, la Red Internacional de Ciudades en Naturación (RICEN), la cual integra un grupo de 17 ciudades en todo el mundo, desde Moscú a Rio de Janeiro, de la Habana a Pekín y de México a San Juan de Puerto Rico (Briz, 2004). Cabe resaltar que a nivel de América Latina, es Argentina el país pionero, ya que en 2006 comenzó la construcción de un proyecto que busca convertir en jardines 3500 de las 20.000 hectáreas de la ciudad de Buenos Aires, luego de haber ganado el concurso promovido por la empresa cementera HOLCIM en 2005 (Vélez, 2010).

El proyecto de Azoteas Verdes llegó a México en 1999 mediante un convenio entre el Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y la Comisión de Recursos Naturales del Gobierno de la Ciudad de México, en el cual adoptan las azoteas verdes como una medida para mitigar los altos índices de contaminación atmosférica en la ciudad (Pérez J. , 2011). Hay diversas empresas constructoras de cubiertas verdes como “Techos y Azoteas Verdes”, “Green Roof”, y “Entorno Verde” en México D.F; GECER, Biozotea en Nuevo Leon y “Serbiorganic”, e “Ikarani” en Michoacán.

El país cuenta con una tradición arquitectónica que favorece la práctica y diseño de edificación armónica con el medio ambiente que reduce el impacto ambiental. Las políticas para fomentar la edificación sustentable son relativamente nuevas y, por lo general, se centran en el sector de la vivienda. La Comisión Nacional de Vivienda (Conavi) ha estado documentando prácticas sustentables y trabaja en la definición de criterios para la construcción de viviendas sustentables. El Instituto del Fondo Nacional de Vivienda para los Trabajadores (Infonavit) —importante fondo para vivienda sustentado por contribuciones obligatorias de patrones y empleados— ha creado un programa de “hipotecas verdes”.

En las últimas tres décadas se ha establecido una red en expansión de maestros, investigadores y profesionales en el campo de la arquitectura solar y bioclimática. Este proceso dio como resultado la creación en 2002 de la Red Nacional de Arquitectura Bioclimática, que ha estado activa en México y en toda América Latina. Ese mismo año se fundó el Consejo Mexicano de Edificación Sustentable (CMES), organismo que se relanzó en 2005 en Monterrey, pero que continúa siendo bastante pequeño (sólo 32 miembros) en comparación con los consejos estadounidense y canadiense USGBC y CaGBC (Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental , 2008).

Se han realizado investigaciones para la evaluación del desempeño térmico a través de cubiertas, algunos de ellos son:

- “Desempeño costo-beneficio de dos sistemas pasivos de climatización para clima cálido sub-húmedo” en Coquimatlán, Colima, realizado en el 2005 por Luis Fajardo Velasco. En el cual se investigó el potencial de dos tipos de vegetación, para controlar la ganancia de calor que pasa a través de las cubiertas en una localidad de Colima. Se concluye que el sistema a base de césped mejoró las condiciones térmicas al interior del módulo con un bajo costo a comparación del sistema a base de enredadera y otros tipos de climatización convencionales.

- “Comparación del desempeño térmico de una techumbre tradicional vs. una techumbre con cubierta verde” en Xochimilco, Ciudad de México, realizado en el 2010 por José D. Morales, Alma R. Ortega Mendoza, Rocío López de J, Miguel A. Canseco M. En este estudio se hace la comparación del cálculo térmico aplicado a una cubierta tradicional respecto de una cubierta verde. Se obtuvo una diferencia de 5 °C aún al estar parcialmente cubierta al momento de la medición.
  
- “Potencial bioclimático de la vegetación nativa de México aplicada en envolventes arquitectónicas como dispositivo de control térmico”, en Azcapotzalco, D.F, realizado en el 2010 por Edwin Tovar Jiménez, Aníbal Figueroa, Manuel Gordon, Alfonso Valiente Banuet. Se realiza un estudio de comparación en la ganancia solar y por conductividad obtenida por diferentes materiales constructivos, aplicando a uno de los materiales con el desempeño térmico más desfavorable, una cubierta de vegetación. Se obtiene una ganancia solar y por conductividad mucho menor en la construcción con la cubierta vegetal, que en las construcciones con techos de lámina y concreto.
  
- “Desempeño térmico de césped y suelo húmedo como sistema pasivo de enfriamiento. Estudio exploratorio en clima cálido”, en Mexicali, BC, realizado en el 2011 por Eduardo Vázquez, Ricardo Gallegos, Isaac Sahagun, Julio Garzón. En este estudio se obtuvo una reducción de las temperaturas por una cubierta verde, sin embargo, no fueron significativas por lo que se propone colocar una cubierta a base de tierra húmeda, de manera que no requiera el mantenimiento de una cubierta verde.

En la región de la península de Yucatán son pocas las investigaciones y la implementación de cubiertas verdes en las edificaciones.

- La Universidad Anáhuac Mayab instaló techos verdes como parte de un trabajo especial a nivel macro con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología para el

desarrollo de productos de nivel urbano, que puedan ser a largo plazo política pública.

- La Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH) y la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) realizan un proyecto sobre la aplicación de la técnica Techo Verde Ligero para conocer sus posibilidades en viviendas populares de climas cálidos.
- Integrantes del cuerpo académico "Desarrollo tecnológico" de la Facultad de Arquitectura están aplicando las cubiertas verdes en los municipios de Dzoyaxché, Izamal y Tahziú del estado de Yucatán.
- En Cancún Q. Roo, escuelas apoyan la implementación de cubiertas verdes.

Estos son algunos de los trabajos e investigaciones realizados en el país con la aplicación de techos verdes, algunos aplicados al beneficio térmico en el interior de las viviendas y otros al beneficio económico, realizados principalmente en climas templados y secos. En la teoría consultada se escribe que las cubiertas verdes pueden ser aplicadas en cualquier región y para cualquier tipo de clima, sin embargo estos estudios prueban que se deben evaluar tanto los materiales constructivos como los diferentes tipos de vegetación pertenecientes a cada clima que para ser aplicados a cubiertas verdes.

Se puede citar un estudio realizado en el 2008 en Cuba, región que posee un clima tropical como el de la región de Chetumal, titulado "Techos verdes en Cuba. Evaluación de prototipo experimental". En este estudio los diversos componentes de la cubierta presentaron daños al paso del tiempo, la mezcla de algunos de los materiales y la existencia de vegetación no deseada provocaron la eliminación de dos de las especies sembradas. Con esto se advierte que hay que tener un buen diseño constructivo de la cubierta y haber realizado un estudio previo en relación vegetación-sustrato así como, considerar el mantenimiento regular de la cubierta.

Se realizan además, algunos trabajos para la selección de componentes, selección de la vegetación y viabilidad de la construcción de éstos. Sin embargo, al ser México un país con una gran variedad climática, no se pueden considerar en su totalidad para ser aplicados a otros estudios en lugares con diferente clima. No obstante que se han realizado estudios en zonas con climas similares a los de la región, no se ha observado la aplicación de la arquitectura bioclimática en la ciudad de Chetumal.

### **I.3 Justificación**

Debido al desarrollo del país y la urbanización, las cubiertas naturales del suelo se han ido sustituyendo por construcciones, las cuales están compuestas por materiales duros e impermeables que alteran los patrones climáticos naturales, el ciclo del agua, importe de energía y recursos exteriores, déficit de zonas verdes y disminución de la biodiversidad (Vélez, 2010). Estas modificaciones aumentan el riesgo de inundaciones y se altera la permeabilidad del suelo, lo que contribuye al aumento de las temperaturas en las ciudades mayormente pobladas, provocando así, el llamado efecto *isla de calor*, conocido como el fenómeno donde los núcleos urbanos tienen temperaturas superiores a las del entorno o a las que tendría esa misma área si no estuviera edificada (Cuevas *et al.*, 2010). Esto hace necesario tomar en cuenta tecnologías y técnicas de construcción que permitan mejorar la calidad del medio ambiente e impulsen el desarrollo sustentable a largo plazo.

La ingeniería ambiental es la rama de la ingeniería que estudia los problemas ambientales y propone soluciones integrales a esos problemas, procurando un equilibrio entre el uso racional de los recursos para satisfacer las necesidades humanas y la salud del medio ambiente. Se considera a las cubiertas verdes como una forma de mitigar o compensar los impactos ambientales negativos ocasionados por las actividades antropogénicas y así procurar el desarrollo de estrategias de construcción más limpia, el uso eficiente de energía, el manejo integral de los materiales, dirigido hacia un equilibrio sustentable.



En la ciudad de Chetumal, recientemente se ha observado un incremento en la destinación de los usos del suelo exclusivos para zonas residenciales. Esto ha permeado en la disminución de áreas verdes y por lo tanto en el aumento de la temperatura, entre otras repercusiones ambientales. Dicho aumento de las temperaturas, ha provocado el uso desmedido de sistemas de enfriamiento y como consecuente, el uso de energía eléctrica (Ataxca, 2009).

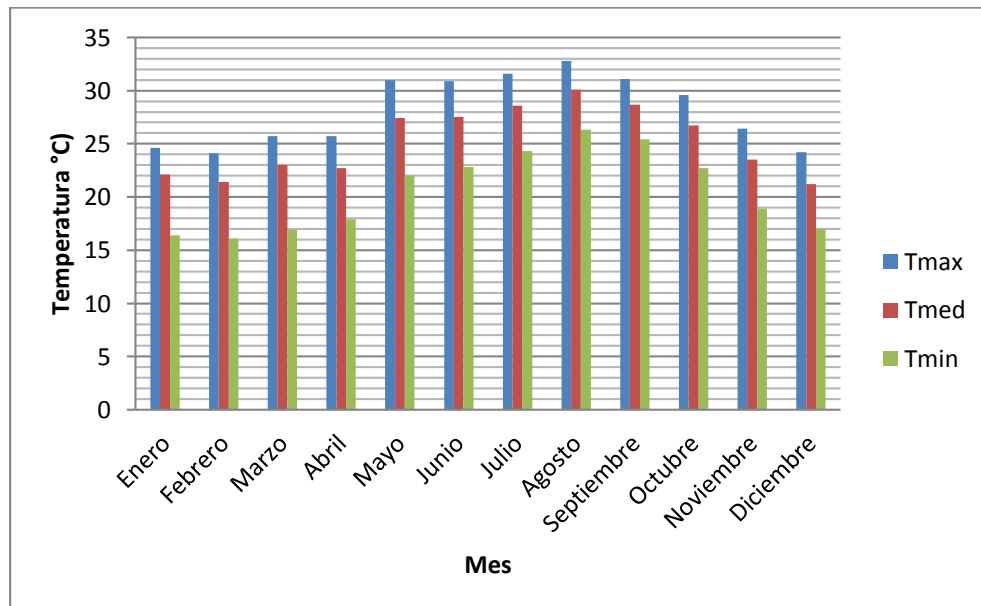
Biouniverzoo es un proyecto que surge de la remodelación del anteriormente llamado Zoológico de Payo Obispo, con el propósito de ser orientado al estudio y a la investigación, fomentando el ecoturismo en la capital del estado de Quintana Roo, a fin de contribuir al desarrollo económico del municipio. Además de ser un espacio de encuentro para las familias, su principal objetivo es la generación de un amplio conocimiento del entorno natural y la creación de conciencia sobre el cuidado que se le debe brindar, hasta lograr ser un parque sustentable y que contribuya a revertir el cambio climático.

Cuenta con la certificación de instancias federales como la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), las cuales son las encargadas de vigilar el buen manejo de las especies. Actualmente el parque maneja fauna de ciertas características particulares para sobrevivir, procuran condiciones lo más similares a su entorno natural, y que la fauna que ahí se encuentra, corresponde a la de la región.

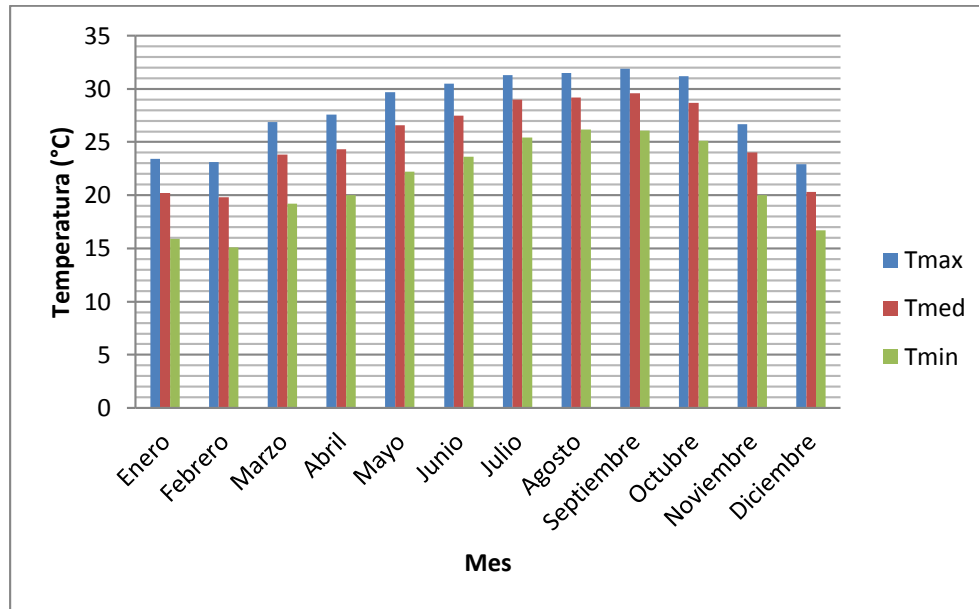
Este cambio en el clima ha perjudicado su bienestar, ya que se encuentran en exhibición parte del día y se resguardan en casas de noche al entrar la tarde, por seguridad y mantenimiento. A pesar de que es necesario, no es conveniente, ya que las edificaciones concentran todo el calor del día y no cuentan con las instalaciones necesarias de ventilación y climatización. Esto es de suma importancia, pues algunos animales son especies naturales protegidas y requieren que el área cuente con ciertas características que les permita lograr un cierto confort. Sin embargo, las temperaturas a las que son expuestos pueden provocar estrés.

De acuerdo a la literatura e investigaciones realizadas, las cubiertas verdes extensivas son adecuadas para techos previamente construidos sin considerar grandes cantidades de carga, tal como lo es la edificación considerada para el caso (Oberndorfer, *et al.*, 2007). Tomando en cuenta el tipo de cubierta, se considera qué tipo de vegetación debe colocarse y el sustrato. La flora es seleccionada de modo que sea endémica y presente las condiciones específicas de cubiertas extensivas, asimismo para todas las capas de la cubierta y sus dimensiones a ocupar.

Debido a que los efectos negativos de la temperatura afectan el bienestar principalmente en la temporada calurosa, en este proyecto se consideran tres de los meses más cálidos del año. Como se puede observar en las gráficas 1 y 2 para los años 2010 y 2011 los meses más cálidos del año son julio, agosto y septiembre.



Gráfica 1.- Temperatura ambiente en Chetumal en el 2010)  
Elaboración propia. Base de datos: (tutiempo.net, 2010-2011)



Gráfica 2.- Temperatura ambiente en Chetumal en el 2011  
 Elaboración propia. Base de datos (tutiempo.net, 2010-2011)

Las mediciones realizadas en el periodo de plantación y adaptación de la flora servirán para el análisis del comportamiento térmico del sustrato antes de concluir con la fijación del mismo, donde se supone que inician las variaciones térmicas. Esto es a modo de comparar el beneficio térmico de cada uno de los componentes y así determinar la eficacia de estos. Para poder comparar el aislamiento térmico en el interior de las edificaciones es necesario tomar la temperatura de ambas.

Asimismo, es importante realizar la medición de la radiación solar, pues ésta es una variable muy importante, ya que junto con las condiciones de sombra, influyen en la alteración de las instalaciones. Por lo que las dos edificaciones pueden no tener la misma radiación solar. De esta manera para determinar el beneficio térmico que las cubiertas verdes desempeñan dentro de las edificaciones fue necesario realizar un análisis de la información obtenida, y así comprobar el impacto que tienen las cubiertas verdes, sus efectos positivos o negativos en las casas de noche para la fauna del parque y fomentar la futura construcción de modo que se adopte como una alternativa sustentable.

## **CAPÍTULO II. ASPECTOS TEÓRICOS**

### **II.1 Evolución de la vivienda**

Por mucho tiempo el hombre recolectó sus alimentos en el medio ambiente y también se refugió en él. Muchos de los llamados Neandertales o cavernícolas, durante el invierno se refugiaron en las cuevas, de modo que se protegieran contra las corrientes de viento. Durante esa época se puede afirmar que hubo una adaptación del hombre, al medio, debido a que no modificó el medio físico de una manera significativa y menos aún, de modo permanente. En ellas encendían fogatas para cocinar alimentos y como una forma de convivencia. De acuerdo a los restos encontrados dentro de las cuevas, los materiales que utilizaban como combustible eran a base de huesos de mamut, estiércol y ramas de árboles (Yovane, 2003).

El hombre primitivo fue en un principio nómada y debió sufrir los rigores del intemperismo como el resto de las especies animales, de donde él provino. El desarrollo de nuevas habilidades en la especie estuvo a la par de ciertas transformaciones, tales como la postura erecta, la pérdida de la cola y la paulatina depilación en áreas de su cuerpo, las cuales le hicieron más susceptible al ambiente, por lo que reclamaron de él una creciente atención a la protección contra el intemperismo (Organización Mundial de la Salud, Organización Panamericana de la Salud, y División de Salud y Ambiente, 1999).

A pesar de lo poco o nada que se tenga de nuestros antepasados, los estudios realizados por arquitectos y arqueólogos han dado como respuesta suposiciones de la forma en que los primeros habitantes se protegían del clima, de los depredadores y cómo eran sus viviendas en el transcurso del tiempo. De igual manera, la construcción de viviendas ha ido evolucionando como respuesta a una de las más esenciales necesidades humanas, protegerse del entorno natural. El desarrollo de ideas con la

ayuda de diversas herramientas, permiten la edificación de las primeras viviendas que en un principio aun mantenían un equilibrio con el medio. Sin embargo, con los avances tecnológicos e industriales, el ser humano modificó las técnicas tradicionales de construcción y diseño por la construcción masiva, con tecnologías desfavorables para el medio ambiente.

Al ir evolucionando, los grupos humanos dejan de ser nómadas para convertirse en sedentarios y agricultores. Según los dibujos encontrados, se cree que a medida en viajaban y llegaban a zonas en donde no encontraron cuevas tuvieron que buscar medios de protección. Es ahí cuando aprenden a protegerse ya fuera de las cavernas, con refugios contruidos por ellos mismos a base de ramas y pieles de animales y algunos otros mediante excavaciones que luego cubrían con ramas y hojas.

En algunas partes del mundo se empiezan a usar las tiendas, las cuales eran cubiertas con pieles de animales, hojas de palmas, matorrales o ramas secas. En algunos pueblos de Noruega, Siberia y Mongolia se usaban los juncos amarrados, formando tiendas abiertas o cerradas como sombrillas. En Estados Unidos, las tribus indígenas formaban estructuras cónicas resistentes y fáciles de movilizar. En África, se realizaron construcciones de varas verdes y flexibles que cubren con hojas de palma y hierbas. Se podría decir que la tienda es el origen más básico de las viviendas prefabricadas, ligeras e incluso de las viviendas con ruedas o las flotantes (Yovane, 2003).

A partir de que el hombre usó el medio natural como refugio, estos desarrollaron sus conocimientos sobre el clima para la ubicación correcta de sus habitaciones en función de la dirección del viento, la lluvia y la orientación solar. No obstante, a partir de que el ser humano contó con las primeras herramientas, la experiencia, el valor y la organización para edificar sus primeras viviendas, el uso que le daban al medio como refugio natural quedó en desuso. Al mismo tiempo se desarrollaron la agricultura y la ganadería que, junto con los conocimientos del clima y la construcción llevaron al hombre a crear viviendas subterráneas, ya que las cuevas no eran suficientes en cuanto a número y espacio. Estas construcciones se daban más fácilmente en regiones

donde la capa de suelo era fina y permitía trabajarse con herramientas rudimentarias, para ese entonces no tenían el conocimiento de cómo trabajar la madera por lo que sus viviendas carecían de techo y por lo tanto limitaba sus dimensiones (Yovane, 2003).

Al pasar el tiempo, se difundieron nuevos sistemas de construcción como el uso del cemento, el cual era un material rígido y permitía la construcción de más niveles sobre la vivienda. Se construyen los primeros edificios multifamiliares dejando atrás el concepto bioclimático y de integración con el ambiente para dar prioridad al ahorro y al supuesto aprovechamiento del terreno en la construcción. Es aquí cuando las nuevas edificaciones, principalmente en las ciudades, rompen su relación con el medio ambiente generando un desequilibrio puesto que los intereses económicos prevalecen por encima de los medioambientales (Yovane, 2003).

En México, la presencia del hombre en el territorio dejó importantes hallazgos arqueológicos muy importantes para la explicación del hábitat del hombre primitivo y del hombre contemporáneo. Los estudios iniciados poco después del descubrimiento, especialmente por clérigos y los códices antiguos, han permitido trazar un cuadro general de distintas culturas junto con las investigaciones de los modernos arqueólogos americanos (Nonell, 1984). En el caso de las civilizaciones mesoamericanas, lograron tener un gran desarrollo estilístico y la forma fue evolucionando de la simplicidad a la complejidad estética. Muchas de estas civilizaciones usaron el adobe, la madera, la cerámica y la piedra para su arquitectura (Pérez A. V., 1992).

De estos datos históricos se puede deducir que la transformación de la vivienda está ligada al clima, ya que éste nos afecta fisiológica y conductualmente. Un clima desfavorable puede determinar la migración de pueblos enteros y propiciar la interacción entre pobladores de diferentes lugares y culturas, lo que conlleva a un intercambio de ideas técnicas y conocimientos. De igual manera, factores como la cultura y el comercio han contribuido para que a lo largo de la historia la vivienda se haya transformado. Sin embargo, el clima desde el punto de vista bioclimático fue el factor primordial que obligó al hombre a transformar su vivienda para lograr las

condiciones necesarias que solucionaran los problemas de confort y protección, variando de acuerdo a las características de cada región (Velasco, 2005).

## **II.2 Arquitectura en México después de la Conquista**

La arquitectura mexicana del siglo XVI es aquella que se dio en México, entonces conocido como la Nueva España, a raíz de la llegada de las órdenes mendicantes de religiosos que tenían la misión evangelizadora de los indios de las nuevas tierras conquistadas (*Ensayo: Arquitectura Prehispánica, 2010*). Existía una gran inquietud por el desarrollo urbano que posteriormente se reflejaría de igual forma en el diseño de la vivienda, ya que se desarrollaría además un interés por la armonía entre las construcciones al intentar regular los tipos de fachadas, los elementos que las constituirían y hasta los colores que éstas poseían (García, 2011).

La cultura que españoles y portugueses implantaron en el nuevo mundo no podía mantenerse idéntica a su tipo de origen. El trasplante obligaba a los europeos a modificarla inconscientemente para adaptarla a nuevos suelos y nuevas condiciones de vida. Además, las culturas indias ejercieron influencia muy variada sobre los europeos trasplantados. La conquista decapitó culturas nativas, pero sobrevivieron tradiciones locales en la vida cotidiana y doméstica.

Después de la conquista, las primeras viviendas de tipo multifamiliar se generaron a la llegada de los españoles, cuando los de menos recursos y los criollos se veían obligados a vivir en casas tipo vecindad, las personas poseían un área privativa y además existían también zonas que se podrían considerar de uso común, las cuales eran disfrutadas por todos los habitantes de la vecindad y de igual manera, el mantenimiento de estas áreas corría a cargo de todos. Se considera que fue el inicio de una forma de vida condominal (García, 2011).

En el siglo XIX la diferencia entre la tierra agrícola y la urbana no era tanta como en la actualidad, ya que los elementos diferenciales entre ambas no estaban tan marcados. El típico terreno urbanizado como lo conocemos en la actualidad no existía como tal, ni siquiera se había considerado hasta ese momento algún tipo de reglamentación o exigencia mínima de servicios para la incorporación de los terrenos, a lo que en ese entonces se consideraban zonas urbanas. El aumento en los precios del suelo en los centros urbanos, que excluyó progresivamente a la población de ingresos medios y bajos, generó un mercado para la tierra en zonas periféricas. De esta forma aparecieron, por una parte los fraccionadores, dispuestos a invertir tiempo, trabajo y dinero en el desarrollo de terrenos periféricos para la venta en pequeñas parcelas; y paralelamente los especuladores, propietarios de grandes parcelas esperaban el desarrollo de los terrenos aledaños para venderlos a un precio alzado (García, 2011).

Con la implementación de la política de desarrollo industrial se favoreció la migración campo-ciudad, lo que obligó al gobierno a decretar la Ley de Fraccionamientos en los estados del país. Esto a su vez estimuló la construcción de desarrollos habitacionales de tipo popular para atender a una parte de la población asalariada de las zonas urbanas (Rugarcía Caballer y Valenzuela Castillo, 2010). Se presentaron cambios importantes en la economía y en la demografía del país. La producción de vivienda no lograba satisfacer la demanda de la misma, sin embargo, en los años cincuenta y sesenta, la relación demanda-oferta se revierte positivamente. Aparecieron programas de arrendamiento de organismos públicos, el crédito hipotecario para la vivienda y el surgimiento de los fraccionamientos populares (García, 2011). También se implementaron políticas de apoyo a la vivienda por parte del sector público y se financiaron viviendas de interés social, por instituciones como INFONAVIT, FOVISSTE, entre otros (Rugarcía Caballer y Valenzuela Castillo, 2010).

Chetumal era una ciudad en la cual las construcciones anteriormente eran de madera, no obstante, debido a la modernización y a la necesidad que tuvo la población de resguardarse y de conservar sus casas en temporadas de huracanes, se hizo indispensable reemplazar los materiales de construcción para hacerlas más resistentes.



Sin embargo, la ciudad ha ido creciendo y urbanizando, por lo que se puede observar que los usos de suelo en su mayor parte, son destinados para áreas residenciales que resultan ser viviendas totalmente aisladas del entorno, que no satisfacen las necesidades espaciales, energéticas y funcionales de sus habitantes.

Desde tiempo atrás se cuenta con los reglamentos de construcción para cada municipio del país, donde además de otras facultades, se establecen las características de diseño de las construcciones tomando en cuenta su clima en particular, los sismos y desastres naturales que se presentan en dicha región, con la finalidad de que el diseño, los materiales a emplear, el uso de suelo, entre otras particularidades, sean las adecuadas para lograr la máxima seguridad para el habitante. Sin embargo, estos reglamentos muchas veces son empleados inadecuadamente por diferentes razones: 1)desconocimiento; 2)economía; 3)menor costo; 4)intereses políticos. Lo que ocasiona construcciones carentes de calidad en cuanto a sus materiales, carentes de servicios y con la mínima preocupación del entorno, pues implicaría un gasto mayor a los inversionistas.

Con el desarrollo económico y social surgió la posibilidad de diseñar independientemente del clima, al incorporar sistemas de enfriamiento convencionales a fin de contrarrestar cualquier efecto ocasionado por los problemas ambientales, sin considerar que son tecnologías sofisticadas, costosas y consumidoras de energía. Esta forma de diseño dio lugar a la arquitectura internacional, la cual en muchos casos empeora el clima interior y constituye en su conjunto una fuente de contaminación. Al alterar el campo bioenergético, contribuye al aumento de las temperaturas y a la emisión de contaminantes. Con esto se establece la interrelación entre la arquitectura y el clima, siendo una arquitectura impersonal sin vinculación alguna con las características ambientales, culturales, económicas y sociales del lugar y de sus pobladores.

Algunos arquitectos como Jericó y Briz coinciden en que la aparición de la era industrial permite mediante la tecnología, la obtención de ambientes climáticos más

perfeccionados, que conllevan una clara mejora en el confort, pero que trae como contrapartida el olvido de los sistemas tradicionales adaptados climáticamente al entorno, sin tomar en cuenta que un sistema energético no sirve más que de apoyo a un buen diseño higrotérmico. El abuso de energía y la escasez de la misma ha planteado serios problemas en el mundo. A partir de ese momento la evolución en el campo del control climático se ha hecho reversible, se ha regresado al pasado para perfeccionar las técnicas existentes, de tal modo que se garantice el buen funcionamiento del edificio, se impida que se continúe deteriorando el entorno y se obtengan mayores beneficios de ahorro energético.

La situación climática que se ha ido presentando años atrás se ha hecho cada vez más relevante y es importante resolver los problemas de adaptación climática, que tiende a concentrarse en zonas urbanas y crecer constantemente. En el libro “Sustainable practices in the built environment”, el autor indica que los impactos causados por problemas ambientales (como la contaminación del aire, de los océanos y la destrucción de la capa de ozono), no tienen fronteras ya que se ven reflejados alrededor del mundo y no solo están limitados a una sola nación o región de éste. Como consecuencia de los denominados “bienes globales” que refieren a los recursos que son compartidos a través de las naciones, hacen muy difícil su protección debido a que ninguna tiene la absoluta autoridad sobre estos.

Con estos problemas cada vez más presentes se han ido desarrollando leyes internacionales para viviendas sustentables. En varios países de Europa se han publicado algunas guías de documentos basados en las actividades de investigaciones internacionales, en los que se destacan los proyectos de la Unión Europea llamados PRESCO (Recomendaciones Prácticas para la Construcción Sustentable) y “Smart-ECO”, “Eco-edificios”, entre otros; la Guía alemana para el Edificio Sustentable, la cual es iniciativa gubernamental (Higuera Simbrón y Rubio Toledo, 2011).

Dichas leyes internacionales, entre otras, son creadas para proteger el ambiente de los bienes globales, sin embargo, el impacto de éstas leyes se ve limitado debido a que el

gobierno de cada país está preocupado por el crecimiento económico nacional y no están dispuestos a someterse a las normas ambientales internacionales cuando éstas sean incompatibles con las prioridades nacionales (Langston y K.C. Ding, 2001).

Se puede decir que del mismo modo en que el concepto de vivienda ha ido evolucionando a lo largo de la historia, vemos que ésta ha experimentado una serie de cambios, los cuales se puede decir han causado un desfase en su evolución. En un principio su ejecución siempre tuvo en cuenta el medio que le rodeaba, lo que se buscaba era mejorar las condiciones dentro de ella y por eso se hacían relevantes algunas decisiones sobre la orientación, los materiales, el tamaño y la ubicación de las aberturas, de los espacios, etc. Sin embargo, con el avance tecnológico e industrial, se ignoran los conocimientos y técnicas usadas anteriormente. La aparición de energías no renovables y el uso de las nuevas tecnologías de acondicionamiento artificial, motivaron el diseño de edificaciones aisladas, herméticas, donde ya no importan los factores ambientales, pues con la técnica podría ser resuelto.

La arquitectura de nuestros días es una evolución lógica del lenguaje racionalista nacido hace 80 años, que da respuesta arquitectónica a problemas sociales y culturales del momento y dibuja una dirección que actualmente presenta problemáticas sociales distintas, por lo que resulta necesario redirigirse. La arquitectura del movimiento moderno ha llevado a estructuras, tipologías y soluciones que no pueden resolver los actuales retos. Soluciones que disminuyen la inercia térmica y aumentan los puentes térmicos, y por lo tanto la imposibilidad del ahorro energético (Llopis, 2010).

### **II.3 Enfoque Bioclimático, un camino a la Arquitectura Sustentable**

En este siglo surge un nuevo problema generado por la construcción debido al excesivo consumo de recursos de todas las economías para construir, operar y usar. Además de ser el sector industrial de mayor consumo de materiales, la construcción es responsable

también de un 40 % de consumo de energía en el mundo (Higuera Simbrón y Rubio Toledo, 2011).

La utopía de un edificio de máxima eficiencia energética es alcanzable por medio de la arquitectura y de la manipulación de energía de origen natural o artificial, teniendo presente la preocupación porque su utilización sea sensata, no contaminante y eficiente (Urbina Soria y Martínez Fernández, 2005). Muchos autores coinciden en que es vital mejorar el desempeño ambiental y energético de los edificios, combinando un diseño inteligente con una energía sustentable innovadora, para contribuir significativamente al logro de un desarrollo sustentable.

El concepto de “arquitectura sustentable”, se refiere a la aplicación de prácticas del desarrollo sustentable en la construcción, las cuales pueden tener un gran impacto en la búsqueda por un entorno construido de manera sustentable. Este tipo de construcciones está diseñado y construido con altos estándares ambientales y de este modo minimizar los requerimientos energéticos, reducir el consumo de agua, usar materiales con bajo impacto ambiental, reducir desperdicios, conservar y mejorar el entorno natural y proteger la salud y bienestar de las personas. Es una aproximación a la construcción que promueve el logro de los objetivos de la sustentabilidad pues no se enfoca exclusivamente en cuestiones ambientales. La construcción sustentable abarca tres grandes áreas de la siguiente manera: la sustentabilidad económica al promover un crecimiento económico, la sustentabilidad ambiental al minimizar los impactos ambientales y la sustentabilidad social, pues mantiene la integración social con el crecimiento económico (Saravanan, 2011).

La arquitectura bioclimática es el diseño de edificios tomando en consideración las condiciones climáticas de un lugar en particular y los requerimientos de los ocupantes para lograr comodidad y bienestar, usando recursos naturales (sol, vegetación, lluvia, viento, etc.) y de esta manera reducir los impactos ambientales y el consumo de energía. En este tipo de arquitectura, el equilibrio, la armonía y el ambiente son constantes. Pretende tener un alto nivel de confort térmico, considerando el clima y las

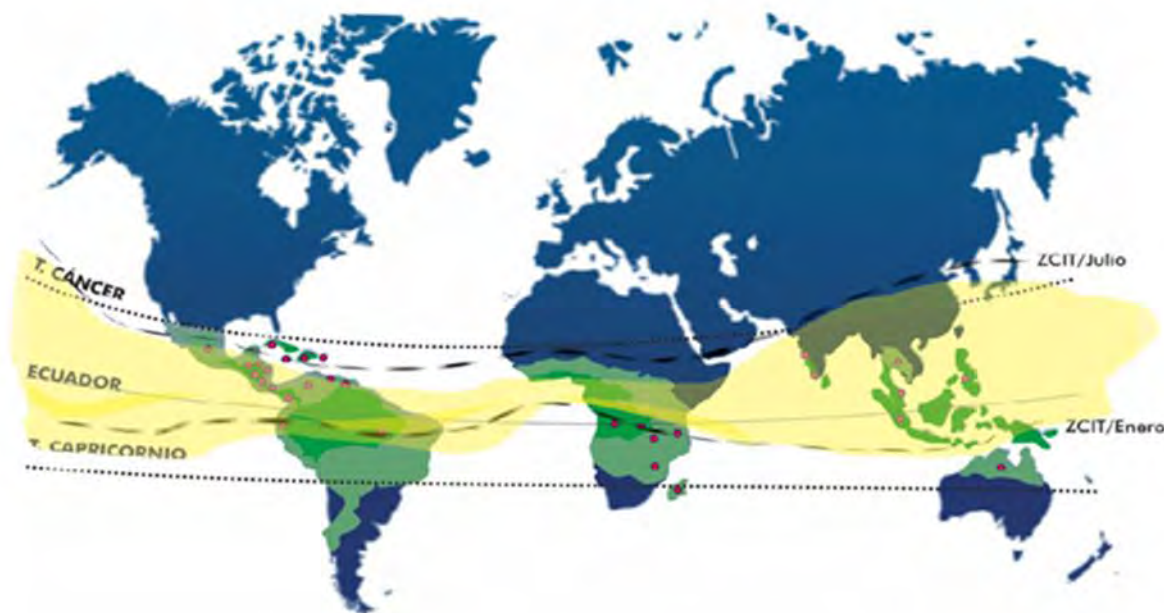
condiciones ambientales que ayudan a lograr el confort higrotérmico interior y exterior, alcanzados con la adaptación del diseño, geometría, orientación y al edificio adaptado a las condiciones climáticas de su entorno. Involucra y juega exclusivamente con las características del entorno local, el diseño y elementos arquitectónicos, sin hacer uso de sistemas mecánicos (Garzón, 2007; Martínez, 2012).

La adecuación al medio físico de la arquitectura y del grado de habitabilidad de los espacios, así como el mejor aprovechamiento de la energía, no está sujeta a fórmulas universales, es un problema de diseño en el que deben tomarse en consideración las circunstancias particulares de cada caso. La alternativa para racionalizar el consumo y lograr los niveles de bienestar requeridos lo constituye, la arquitectura bioambiental, en general y el bioclimatismo en particular (Garzón, 2007). Además, en la época actual, la variedad de materiales de construcción en el mercado y de novedosos métodos constructivos, no se puede esperar que un determinado tipo de arquitectura se imponga como modelo óptimo para todos los edificios de cada región (Urbina Soria y Martínez Fernández, 2005).

En México, la Secretaría de Energía a través de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, publicó reglamentos en el Diario Oficial de la Federación el 25 de abril de 2001 la NOM-008-ENER-2001 y el 9 de agosto de 2011, la NOM-020-ENER-2011. Los cuales tienen como objetivo limitar las ganancias de calor de los edificios para uso habitacional a través de su envolvente, de forma que se racionalice el uso de energía en los sistemas de enfriamiento (Urbina Soria y Martínez Fernández, 2005).

Estos reglamentos son de suma importancia y es relevante hacer el uso de estos. Sin embargo, junto con la influencia del desarrollo tecnológico en el nivel de la calidad de vida del hombre, se fueron dejando atrás una gran cantidad de conocimientos sobre el aprovechamiento energético pasivo y de técnicas constructivas que hacían posible un comportamiento efectivo de las edificaciones. Muchos autores consideran que la legislación sobre el tema es actualmente insuficiente, esto, independientemente de su aplicación u omisión en la práctica.

El deterioro ambiental se hace más notorio en la franja intertropical (Imagen 1), la zona más caliente del planeta donde el aire se eleva y se reúnen los vientos del norte y sur (Guerrero Naranjo, 2011). En México la necesidad de enfriamiento es evidente, más de 66% de la superficie del país presenta condiciones de clima cálido, seco en el norte y húmedo en las costas (Velasco, 2005).



México, Colombia, Costa Dorada, Mozambique, Malasia, Islas del Caribe, Venezuela, Nigeria, Madagascar, Indonesia, Guatemala, Guyanas, África Ecuatorial, India, Indo China, Honduras, Brasil, Congo, Pakistán, Filipinas, Nicaragua, África Occidental, Kenya, Ceylon, Australia, Costa Rica, Sierra Leona, Tanganyika, Burma, Panamá, Liberia, Uganda y Tailandia

Imagen 1.- Zonificación del clima cálido-húmedo  
Fuente: (Guerrero Naranjo, 2011)

Esto explica cómo el bioclimatismo tendrá un sentido distinto en un contexto propio de países industrializados de zonas templadas, que el de países tropicales en vías de desarrollo. Aun cuando existan principios científicos generales. Es por eso que algunos investigadores bioclimáticos hacen énfasis en diferenciar el clima urbano del rural, ya que las condiciones socio-económicas plantean problemáticas diferentes, por lo tanto soluciones diferentes. El clima de la ciudad es diferente al rural, por la diferencia en los materiales utilizados, la contaminación, la densidad de uso del suelo y la población,

entre otras variantes. Debido a esto no se pueden retomar las técnicas constructivas de la vivienda tradicional (aunque si los principios de adaptación climática), pero tampoco climatizando con tecnologías importadas de regiones con climas, culturas y condiciones socio-económicas diferentes (Velasco, 2005)

Estos problemas de estrés térmico, pueden ser detonadores de otros problemas psicológicos, conductuales e incluso fisiológicos. Si además contemplamos que la mayoría de la población se encuentra en esta línea intertropical, se denota la importancia de mejorar las condiciones de confort en estas regiones a través de la adaptación de las ciudades y edificios al clima.

## **II.4 Isla de calor**

El clima urbano se define en términos de comparación con su entorno rural y a partir de las diferencias entre ambos es que podemos caracterizar el comportamiento de la ciudad, aunque cada ciudad conserve las condiciones climáticas características de la región en la que se asienta (Imagen 2). Sin embargo, en una misma ciudad se pueden encontrar gran diversidad de matices a causa de la heterogeneidad en la morfología y estructura de los espacios construidos, que nos lleva a un análisis a escala local que corresponde a pequeños espacios y edificios (Tumini, 2010).

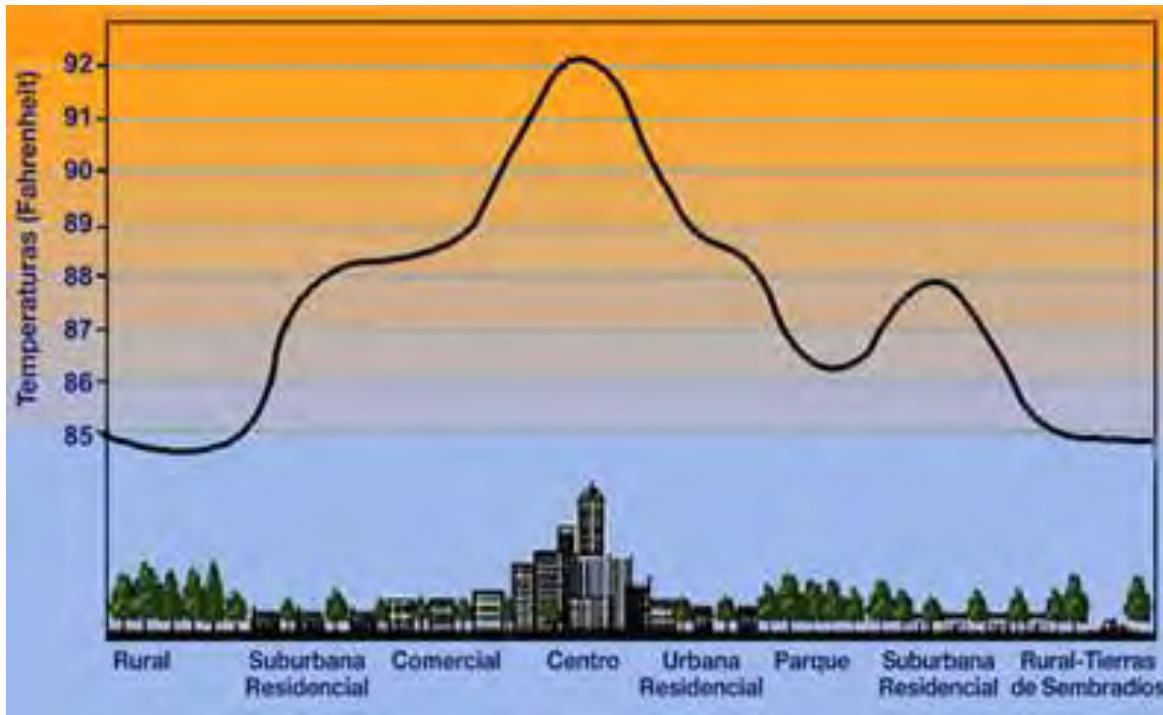


Imagen 2.- Efecto Isla de calor  
Fuente: [www.windows2universe.org](http://www.windows2universe.org)

Existen dos tipos de Isla de calor urbana: la superficial y la atmosférica (Imagen 3). Se diferencian por los elementos que la generan, los métodos para identificarlas y medirlas, los impactos generados y, en algunos casos, las formas para mitigarlas. La isla de calor superficial se genera cuando las superficies de suelos, techos y fachadas registran una temperatura superior a la del aire. La isla de calor atmosférica se identifica con la diferencia de temperatura del aire entre las áreas urbanas y las rurales (Tumini, 2010).



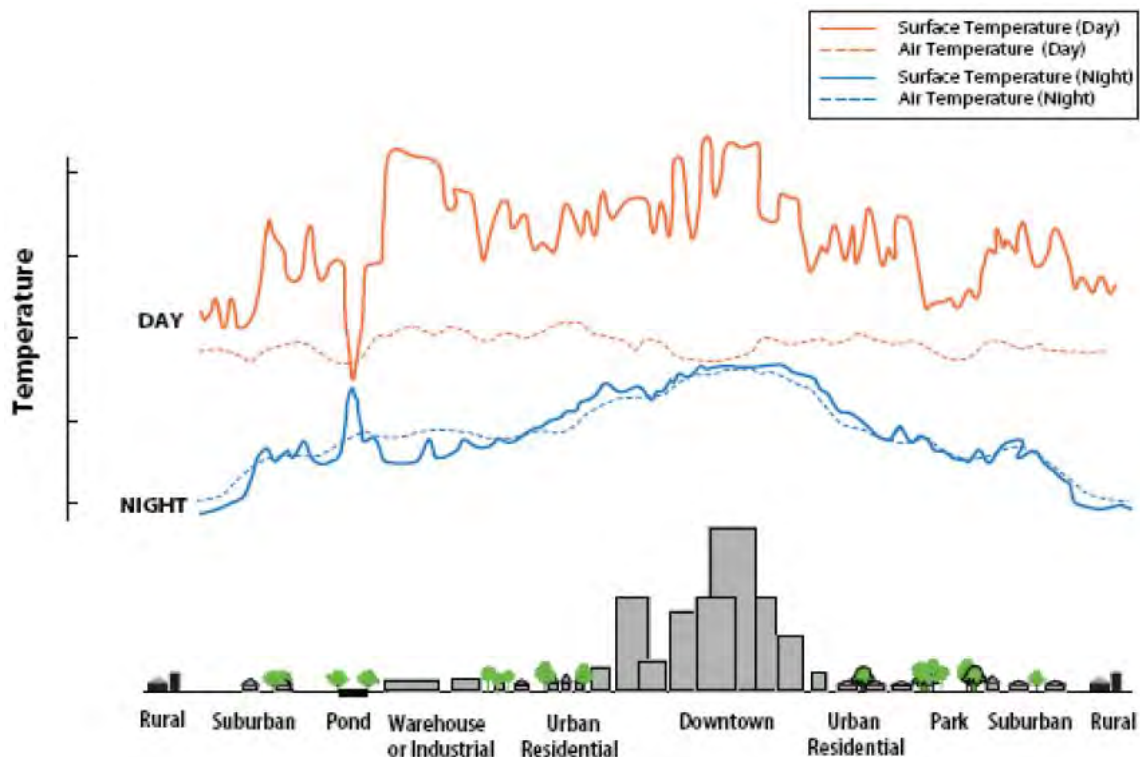


Imagen 3.- Variación de la temperatura superficial y atmosférica  
 Fuente: (Tumini, 2010)

Las causas que generan este fenómeno son complejas y están relacionadas con el balance energético en los espacios urbanos. Además de estos factores, la intensidad de la isla de calor depende del clima de una zona y el clima, la proximidad a los cuerpos de agua, y la topografía (Kidd, 2005). La temperatura en el área urbana puede aumentar debido a las siguientes causas:

- El desplazamiento de los árboles y la vegetación que reduce al mínimo los efectos naturales de enfriamiento de sombreado y la evaporación del agua de suelo y hojas (evapotranspiración).
- Los edificios altos y calles estrechas que pueden calentar el aire atrapado entre ellos y reducir el flujo de aire.
- El calor residual de los vehículos, fábricas y equipos de aire acondicionado que agregan calor a su entorno, agravando aún más el efecto de isla de calor.

- La alta cantidad de radiación que se absorbe y emite debido a las construcciones de concreto de las áreas urbanas.

En las zonas donde la tipología urbana posee un sistema de regulación climática más favorable, la ventilación se produce de manera natural, lo que homogeniza las condiciones térmicas y garantiza el recambio de aire y la evacuación del calor en los interiores. La temperatura en un área urbana puede elevarse donde por lo general predominan las cubiertas planas y las áreas pavimentadas (Tumini, 2010).

La distribución de la temperatura en las áreas urbanas está afectada por el balance de la radiación urbana. La radiación solar incidente en las superficies urbanas es absorbida y transformada en calor sensible (Imagen 4). Techos, fachadas de edificios, calles, plazas, etc. representan una importante masa de acumulación de calor, volviendo a emitirlo al ambiente en forma de radiación de onda larga y con un desfase en el tiempo.

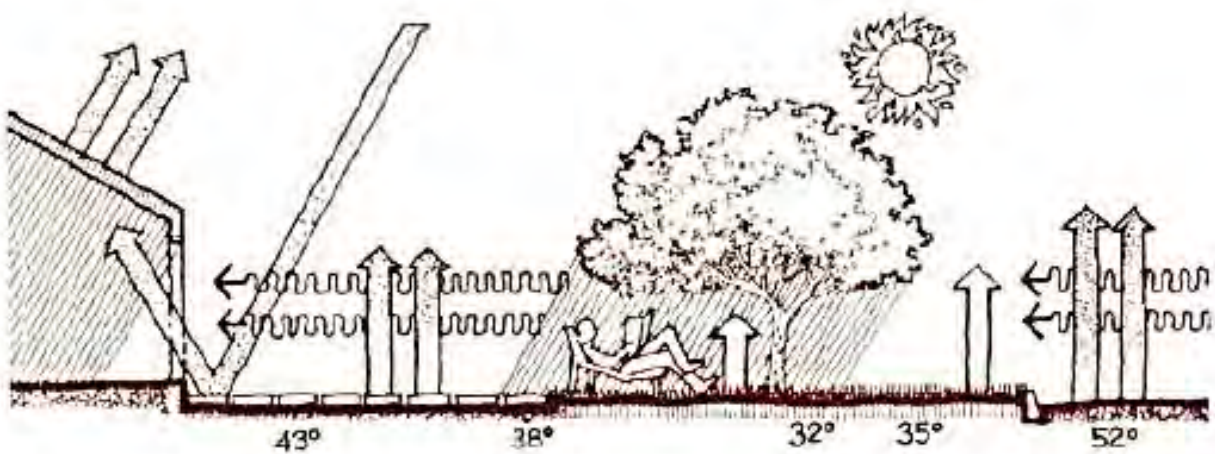


Imagen 4.- Comportamiento de las temperaturas en los alrededores de los edificios  
Fuente: (Merçon, 2008)

La intensidad de las ondas depende, además de la porción de superficies visibles al cielo, de las características de los materiales, como el asfalto, la inercia térmica, etc. (Imagen 5) (Tumini, 2010). El efecto de Isla de calor urbano es causado por la tendencia que tienen el concreto, los caminos y edificios para calentarse a elevadas

temperaturas durante el día, ya que la mayoría de los materiales son absorbentes, acumulando calor y liberándolo por la noche.

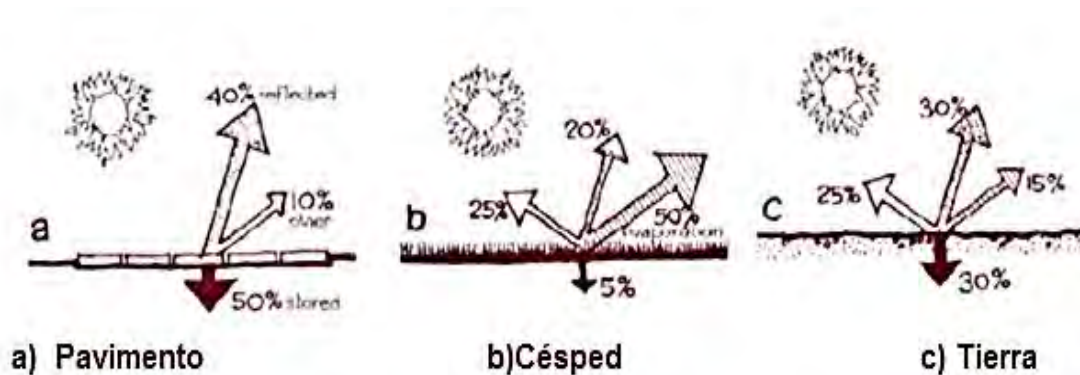


Imagen 5.- Absorción de calor por diferentes materiales  
Fuente: (Merçon, 2008)

La reducción del efecto de isla de calor urbana adquiere una importancia fundamental para las estrategias dirigidas a reducir el consumo energético y mejorar el confort urbano. Las cubiertas verdes combaten el efecto isla de calor por el incremento de vegetación que implican al paisaje urbano. Las plantas refrescan su entorno a través de la evapotranspiración, por lo tanto reducen la temperatura de la ciudad. Mientras más cubiertas verdes en la ciudad y menos asfalto y concreto en las ciudades, las ciudades pueden ser refrescadas (Kidd, 2005).

Por lo tanto una de las primeras consecuencias será buscar el confort en el ambiente interior por medio de los sistemas de refrigeración mecánica, lo cual es una solución en cierta forma negativa por el consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> que provoca su uso. Esta solución, además de ser totalmente contraria a las actuales políticas de reducción de las emisiones, deja pendiente el problema del confort de los espacios exteriores, por lo que el uso de medidas a nivel del diseño urbano es básico para prevenir o mitigar la formación de la isla de calor urbana.

La variedad de los elementos que regulan el fenómeno de la isla de calor urbana son complejos e interaccionan entre ellos de forma no lineal. En muchos casos, medidas

estudiadas en laboratorio o mediante simulación, una vez puestas en marcha en los espacios urbanos, no han dado los resultados esperados y la aplicación de medidas en lugares diferentes no permite obtener los mismos resultados, por eso es necesario hacer un estudio propio del microclima en el lugar en el que se quiere aplicar ciertas medidas, de forma que los datos sean reales.

## **II.5 Confort**

El control del entorno y la creación de condiciones adecuadas a sus necesidades y al desarrollo de sus actividades son cuestiones que el hombre se ha planteado desde sus orígenes. A lo largo del tiempo, los hombres han buscado, en la construcción de sus refugios, satisfacer las necesidades humanas básicas: la protección ante los elementos y la provisión de un espacio dotado de una atmósfera favorable para el recogimiento espiritual (Merçon, 2008).

Los efectos del medio ambiente inciden directamente sobre el hombre a través de los parámetros térmicos, acústicos y lumínicos. Sumado a estos, los factores de confort físico, biológico-fisiológico, sociológico y psicológico (Imagen 6). El cuerpo humano puede absorberlos o percibir sus efectos, esforzándose para llegar a un punto de equilibrio adaptándose a su entorno a punto que solamente requiera un mínimo de energía. Las condiciones bajo las cuales se consigue este objetivo se definen como zona de confort (Merçon, 2008). La palabra confort se refiere a un estado ideal del hombre que supone una situación de bienestar, salud y comodidad en la cual no existe en el ambiente ninguna distracción o molestia que perturbe física o mentalmente a los usuarios.

Este término ha evolucionado a lo largo de la historia, adoptando diferentes significados en distintos períodos. Sin embargo, fue hasta el siglo XX que las llamadas ingenieras domésticas subrayaron la eficiencia y la comodidad como la idea de confort y seguidamente se planteó el confort como algo que podía ser cuantificado, analizado y

estudiado. Hoy en día, es considerado como una invención verbal, un artificio cultural y también, como una experiencia objetiva que se experimenta personalmente y que incluye ideas de comodidad, eficiencia, domesticidad e intimidad. Además de conceptualizado, el término también ha sido clasificado en función de las energías que lo afectan mencionadas anteriormente. Incluso, se han analizado los distintos parámetros que inciden en las sensaciones de bienestar, elaborándose tablas, formulas y también se han marcado pautas de diseño tomando en cuenta los niveles de confort que se deben alcanzar para el confort del usuario (Yovane, 2003).



Imagen 6.- El hombre y la interacción con el medio ambiente  
Fuente: (Merçon, 2008)

La vivienda es el principal instrumento que nos permite satisfacer las exigencias de factor adecuadas. Modifica el entorno natural y nos aproxima a las condiciones óptimas de habitabilidad (Merçon, 2008). La arquitectura se modifica a fin de proporcionar al hombre las condiciones necesarias de confort, pues siempre se ha visto obligada a incorporar soluciones y sistemas flexibles, los cuales facilitan resolver los problemas que conllevan los diferentes climas de cada región. El análisis de los niveles de confort resulta ser muy importante para tener en cuenta los factores y parámetros que

intervienen en la edificación de manera que se logre un bienestar mediante el diseño adecuado. Sobre todo desde la perspectiva de la arquitectura bioclimática, la que busca el equilibrio entre el hombre y su medio.

El autor francés Jean Dollfus, afirma que el principal objetivo de las construcciones ha sido siempre la búsqueda de las condiciones óptimas de confort térmico. En sus análisis, concluye que la tipología constructiva se encuentra definida más por las zonas climáticas que por las fronteras territoriales. La adaptación es un principio esencial en la arquitectura con el objetivo de alcanzar el confort térmico, la cual siempre estuvo limitada por factores climáticos, socio-culturales, económicos, de defensa, religiosos, de disponibilidad de materiales, de recursos técnicos-constructivos, etc.

### **II.5.a Confort térmico**

El confort térmico es una de las variables más importantes a tomar en consideración en el reacondicionamiento bioclimático de viviendas. Se refiere básicamente a las condiciones de bienestar en el individuo, pero desde el punto de vista de su relación de equilibrio con las condiciones de temperatura y humedad de un lugar determinado (Yovane, 2003).

El aire reúne tres de los cuatro parámetros que condicionan la sensación térmica: su temperatura, humedad y movimiento. Sumado a estos tres parámetros, la radiación solar, que juntos forman los elementos principales que afectan la comodidad (Merçon, 2008). El estado del movimiento del aire y la temperatura en las superficies envolventes de las viviendas son variables que influyen sobre la temperatura y la humedad del aire, y así mismo afectan directamente a quienes las habitan (Imagen 7) (Yovane, 2003).






Variable	Unidad	Efecto sobre el cuerpo humano
Temperatura de bulbo seco	°C	 <ul style="list-style-type: none"> <li>Exagerada pérdida de calor por convección cuando está baja</li> <li>Demasiado calor cuando está cercana a la temperatura corporal</li> </ul>
Humedad	°C (bulbo húmedo) % humedad relativa	 <ul style="list-style-type: none"> <li>La pérdida de calor por evaporación aumenta o se inhibe</li> </ul>
Temperatura radiante	°C	 <ul style="list-style-type: none"> <li>Pérdida o ganancia de calor por radiación</li> </ul>
Viento	Dirección y velocidad m/s	 <ul style="list-style-type: none"> <li>Efecto de refrescamiento o acaloramiento dependiendo de la temperatura del aire</li> </ul>
Radiación solar	W/m <sup>2</sup>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>Acaloramiento</li> </ul>

Imagen 7.- Variables ambientales y su efecto en el confort térmico  
Fuente: (Yarke, 2005).

**La temperatura del aire** expresa el grado de calentamiento del aire y es conocida también como bulbo seco (Guerrero Naranjo, 2011). Puede variar dependiendo del lugar donde es leída, si en la sombra o en el sol, y dependiendo de qué tipo de material es el suelo. Constituye uno de los parámetros principales para determinar el grado de confort térmico de un espacio. Distintos especialistas han definido los valores de la temperatura del aire que consideran como aceptables en el interior de los diferentes espacios de la vivienda, aunque en algunos casos estos valores varían según el tipo de actividades que se realizan. También diferentes autores señalan los límites de confort diferentes para cada período estacional (Yovane, 2003; (Merçon, 2008).

**La humedad relativa del aire** es una indicación directa del potencial de evaporación, la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Debido a que ésta afecta en gran medida la sensación térmica, se debe estudiar simultáneamente con la temperatura del

aire. Es uno de los parámetros sobre el que se puede incidir directamente a través de la aplicación de una serie de correcciones en el diseño o con la incorporación de determinados sistemas de acondicionamiento en la arquitectura (Yovane, 2003; Merçon, 2008).

**El movimiento del aire** constituye un parámetro importante para el reacondicionamiento pasivo de viviendas, ya que provoca una sensación de frescor a causa de la pérdida de calor por convección y la evaporación del cuerpo a pesar de no modificar la temperatura. Mientras mayor es su valor, mayor es la cantidad de calor que se disipa antes de transmitirse y menor es la percepción de calor de los ocupantes en el espacio interior. Además, puede ayudar a reducir la humedad y favorecer a la ventilación de los espacios de la vivienda, modificando con su frecuencia y su fuerza, la sensación térmica de las personas. Sin embargo, dependiendo de las velocidades alcanzadas por las corrientes del aire que llegan a la vivienda y su procedencia, estas corrientes pueden ser apreciadas más como un inconveniente que como una ventaja (Yovane, 2003; Merçon, 2008; Guerrero Naranjo, 2011).

**La radiación solar** es uno de los parámetros más importantes a considerar para el análisis de confort térmico. Las sensaciones térmicas provienen de los efectos radiantes y es de suma importancia para la evaluación de edificaciones existentes y para el diseño de futuras construcciones. Parte de la radiación se refleja en las superficies de las nubes y otra parte es absorbida por los componentes atmosféricos. La mayor parte de dicha energía es absorbida, se transforma en calor y eleva la temperatura del aire, del suelo y de los objetos que se encuentran a su alrededor. Aunque el sol no incida de forma directa con los edificios, pueden penetrar significativas cantidades de energías radiantes por las superficies de éstos a su interior formando calor por radiación, el cual afectará positiva o negativamente las condiciones interiores dependiendo del clima en el que se habite (Yovane, 2003; Merçon, 2008).

El ambiente está formado por muchos elementos diferentes que interactúan y producen determinadas sensaciones en el ser humano. La capacidad de adaptación humana le



permite subsistir en muy variadas condiciones de clima y cuando aparecen los límites impuestos por la naturaleza la tecnología puede derivarlos (Tojo, 1998). Como se ha mencionado anteriormente en el tema de confort térmico, la radiación solar, la humedad, el movimiento y temperatura del aire son los cuatro elementos del medio físico que suelen considerarse de forma destacada desde el punto de vista climático. Estos elementos modifican el balance energético entre el cuerpo humano y el entorno que le rodea.

Las personas, los animales y los objetos producen e intercambian constantemente grandes cantidades de calor y humedad con sus alrededores. El intercambio de energía calorífica se realiza de cuatro formas principales: por conducción, convección, evaporación y radiación (Imagen 8). A través de la radiación se estima que el cuerpo humano pierde 40% de su calor, 40% por convección y 20% por la evaporación (Merçon, 2008).

Hombres y mujeres, por imperativos biológicos, deben mantener su temperatura corporal dentro de ciertos límites. Para ello cuentan con un sistema de autorregulación que se pone en marcha cuando las condiciones exteriores son desfavorables. El cuerpo humano se encuentra en mejores condiciones en un ambiente climático en el que el gasto de energía sea mínimo y el esfuerzo de adaptación que realice sea el menor posible.

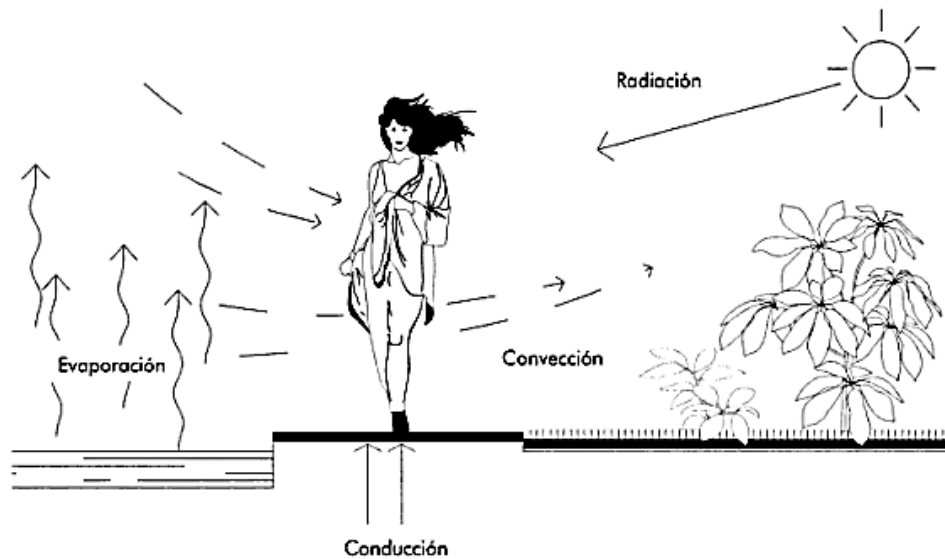


Imagen 8.- Intercambio térmico entre el cuerpo humano y el medio ambiente  
Fuente: (Tojo, 1998)

Hay que tener en cuenta que para definir la zona de confort, la variabilidad de la sensación térmica de los individuos así como el tipo de vestimenta, naturaleza de la actividad que se realiza, sexo, edad y aclimatación (según la localización geográfica, afecta la sensación de confort) (Merçon, 2008).

## II.6 Herramientas de diseño bioclimático

Entre las múltiples herramientas de diseño bioclimático existentes y disponibles, las más empleadas son:

- Tablas de Mahoney

Método diseñado por Carl Mahoney para ayudar en el diseño de viviendas en países tropicales. Se inicia con una tabla que se integra mes a mes con los datos climáticos el lugar de estudio. Posteriormente, a los resultados obtenidos se les aplica un conjunto de reglas para generar otras tablas que proveen recomendaciones arquitecturales, clasificadas en 9 temas: plan masa (disposición de la casa, orientación recomendada),

espacio entre edificios, circulación del aire, dimensiones de las aberturas, posición de las aberturas, protección de las aberturas, muros, techo, y la existencia de espacios exteriores (Leaño, 2010).

- Grafica Bioclimática de Olgyay

Las gráficas bioclimáticas de Olgyay (Imagen 9), también conocidas como cartas bioclimáticas, son sistemas de representación gráfica de las relaciones entre diferentes variables térmicas que influyen en la sensación del confort térmico. Se trata básicamente de diagramas psicométricos que relacionan la temperatura y humedad, sobre los que se establecen las condiciones de confort en función de los índices térmicos. Este diagrama fue realizado y desarrollado en la Universidad de Berkley y permite realizar un estudio potencial que tiene el diseño del exterior de los edificios para suministrar confort (Leaño, 2010).

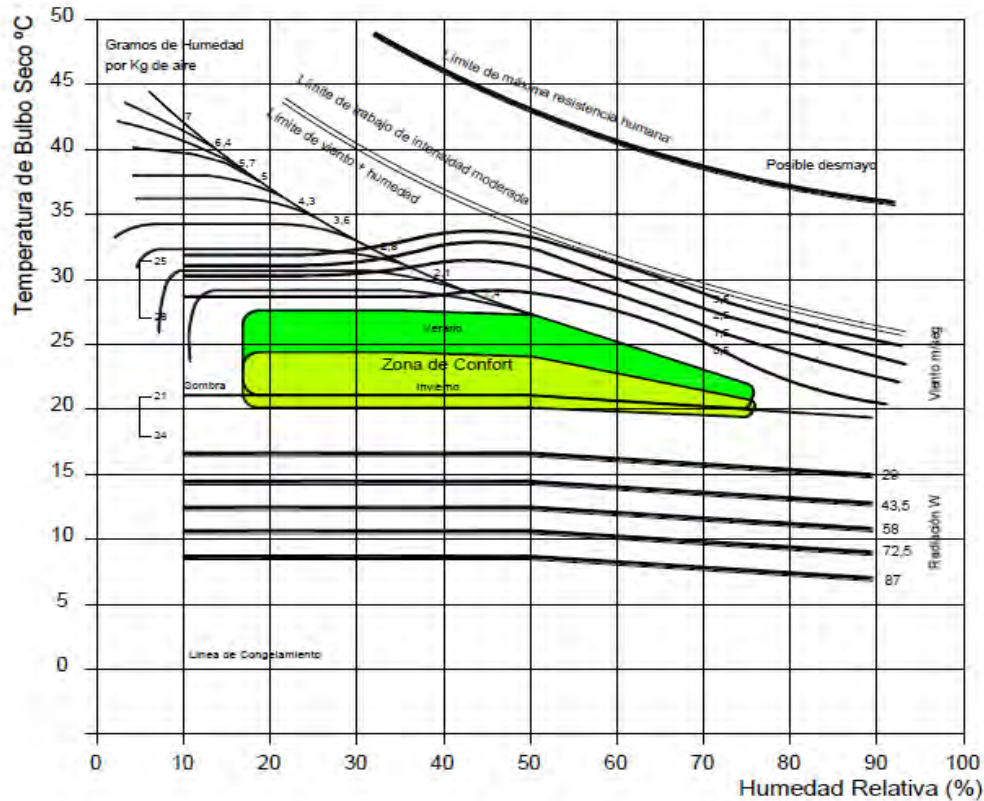


Imagen 9.- Gráfica bioclimática de Olgay  
Fuente: (Leaño, 2010).

En la zona superior, en función de las condiciones exteriores (humedad relativa, temperatura), nos da los valores de la velocidad del aire necesarios para que las condiciones sean similares a las del confort humano. En la zona inferior de la zona de confort, refleja las temperaturas exteriores con las cuales podemos estar dentro de los niveles de confort, si los niveles de radiación solar son los adecuados. Los elementos climáticos de alrededor están representados por curvas, lo cual indica la naturaleza de las medidas correctivas necesarias para recuperar la sensación de confort en cualquier punto situado fuera de la zona (Merçon, 2008; Leaño, 2010).

En situaciones cuya temperatura seca y humedad relativa conocidas se encuentran dentro de los límites de la zona de confort, es innecesario aplicar alguna medida correctora para el pensar proyectual. Para otras situaciones, será necesario aplicar la

introducción de viento, humidificación, radiación solar o protección de la misma con la finalidad de corregir el entorno para satisfacer la comodidad térmica (Merçon, 2008).

- Diagrama Psicométrico de Givoni

Se trata de un diagrama que relaciona múltiples parámetros: temperatura, humedad relativa, humedad absoluta, punto de rocío, entalpía específica o calor total, calor sensible, calor latente y volumen específico del aire (Imagen 10).

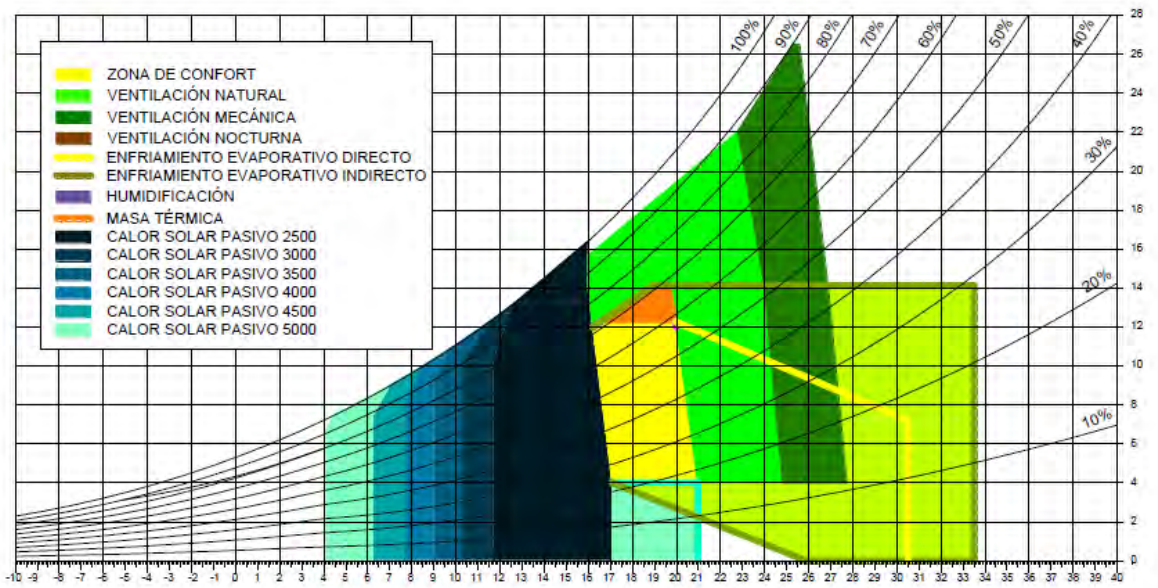


Imagen 10.- Diagrama psicométrico de Givoni.

Fuente: (Leaño, 2010).

En el diagrama se traza una zona de confort térmico y se propone otras zonas donde es posible alcanzar el confort mediante la incorporación y/o aplicación de estrategias de diseño pasivo. Fuera de estas zonas, se vuelve necesario el uso de sistemas termo-mecánicos de acondicionamiento ambiental sea para calefacción como para refrigeración. El diagrama no es constante, en función a la altura sobre el nivel del mar deben realizarse correcciones de manera que pueda aplicarse en un lugar específico (Leaño, 2010).

## II.7 El papel de la cubierta en el confort térmico interior

La cubierta es un elemento de gran importancia debido a que la mayor aportación de energía térmica que recibe el espacio construido resulta principalmente del flujo de energía a través de la cubierta, causado por tres factores: posición respecto al sol, materiales de construcción y la intensidad de la radiación (Velasco, 2005).

Las ganancias de calor por transmisión a través de los muros exteriores y techos de los edificios son causadas por la radiación solar absorbida por las superficies exteriores y por la diferencia de temperaturas entre el aire exterior y el aire interior (Díaz y Barreneche, 2005). Se puede producir de manera simultánea por: radiación, conducción y convección (Imagen 11).

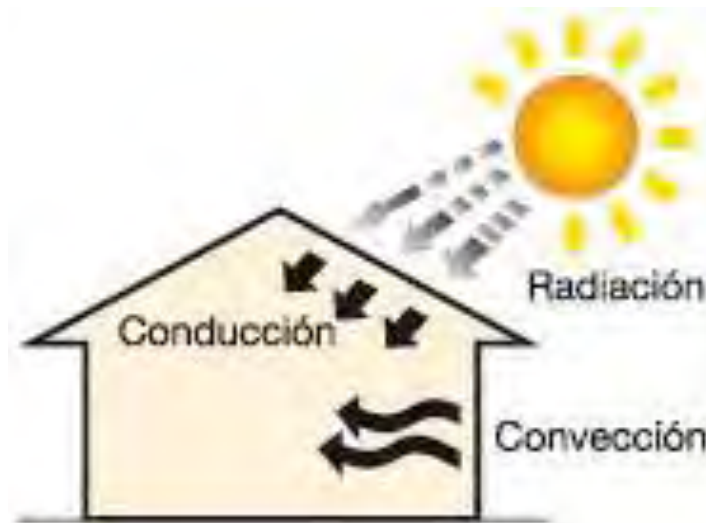


Imagen 11.- Transferencia de calor de un edificio  
Fuente: <http://fq4.wikispaces.com/Laura>.

La energía solar llega a la cubierta a través de las ondas electromagnéticas en forma de radiación, de ésta una parte es absorbida por la superficie exterior y otra es reflejada según el material que compone la capa superficial exterior. La energía absorbida se puede transmitir en forma de energía calorífica a través del material sólido componente de la cubierta, por conducción o por convección, si el edificio cuenta con una cámara de

aire que deja fluir el calor a través de ésta. Cambiando el contenido de calor y dependiendo del aire de la cámara se llega a la otra parte sólida por radiación, continua su flujo por conducción y finalmente se transfiere al aire del espacio interior del edificio por convección y a las superficies de otros por radiación.

En los climas cálidos húmedos, como el de la ciudad de Chetumal (caso de estudio), la cubierta es la parte más expuesta a la radiación solar. Para estas latitudes donde el exceso de radiación solar es la causa principal de incomodidad, el diseño previsto para disminuir ganancias de calor por radiación, juega un papel importante.

Para el control de la radiación, la utilización de elementos físicos para proporcionar sombra resultan ser una buena solución, este método intercepta la radiación solar antes de penetrar la arquitectura. De esta forma, la radiación se refleja y se disipa hacia el aire exterior proporcionando mejores resultados en la comodidad térmica interior. Estos sistemas de protección pueden ser utilizados aislados o en conjunto, pero la utilización de una suma de ellos es más eficaz para la reducción de la radiación solar.

Aunque no se puedan mejorar las condiciones del edificio, en el sentido de enfriar la temperatura dentro de él, si está bien diseñado, puede evitar que la temperatura interior no se haga superior a la exterior. Cuando los efectos de la radiación no son deseables, la forma de evitarlos es bloquear la incidencia de la radiación directa en los edificios, a través de barreras vegetales, la orientación del edificio y sus aberturas, entre otros aspectos. Cuanto más exterior es la barrera a la radiación mejor son los resultados de comodidad térmica sentidas por los habitantes en el interior (Yovane, 2003).

Muchos sistemas de cubierta se han desarrollado en diferentes países con el objetivo de intentar minimizar los flujos energéticos entre el ambiente interior y exterior. Cada uno de estos sistemas debe responder favorablemente a las especificaciones climáticas de su lugar de utilización. Para lograr el confort requerido para climas con altas temperaturas y humedad, es necesario recurrir a sistemas pasivos que disminuyan la

temperatura del aire, deshumidifiquen, promuevan el movimiento de aire y pierdan o eviten la ganancia de calor por radiación (Velasco, 2005).

Estudios realizados en Cuba, cuyo clima es similar al del caso de estudio, se señala que para la aplicación de éstos sistemas es importante considerar la necesidad de que la cantidad de calor acumulada durante el día debe disiparse casi completamente durante la noche, con el objetivo de llegar al día nuevamente con la máxima de su capacidad térmica vacía, dispuesta para absorber calor. Por lo que un material muy aislante, puede resultar perjudicial para el confort, al requerir de mucho tiempo para disipar el calor (Guerrero Naranjo, 2011).

La mayor parte de la literatura bioclimática que refiere a la vegetación como instrumento de climatización, menciona a los árboles como principales elementos de control microclimático. En el ámbito arquitectónico, se mencionan tres tipos de vegetación que han sido empleadas para climatizar, arboles, enredaderas y cubiertas verdes. Algunos investigadores consideran que para las zonas cálido-húmedas, el uso de la vegetación puede ser un sistema pasivo de climatización económico y eficiente, pues se puede aplicar en los edificios para controlar el calentamiento al interior, sin que interrumpa el flujo de ventilación.

El uso de vegetación en el ámbito urbano y arquitectónico acarrea una gran cantidad de beneficios adicionales climáticos, ambientales, psicológicos y socio-económicos. Sin embargo, para que la vegetación sea un recurso viable y económico como control climático y contribuya a la habitabilidad de los espacios exteriores e interiores, se deben tener conocimientos mínimos sobre los cuidados y requerimientos de las plantas, para proporcionarles el medio y los requisitos necesarios para que se desarrollen en un ambiente urbano y alcancen la mayor cantidad de beneficios atribuidos a la vegetación.

No todos los beneficios que supone su uso son alcanzables en las zonas urbanas, especialmente los ambientales, debido a que los suelos de las ciudades están asfaltados o pavimentados, impidiendo su fertilización y la incorporación del agua al



subsuelo; por otro lado, el alejamiento con nuestro medio natural, posiblemente produzca el rechazo a cierta fauna atraída por la vegetación, considerados molestos en las zonas urbanas.

## **CAPITULO III.- DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO**

### **III.1 Características climáticas de la ciudad de Chetumal**

La ciudad de Chetumal, está ubicada en la península de Yucatán a orillas de la Bahía de Chetumal, geográficamente ubicada en la latitud 18° 30' N y la longitud 88° 19' E y se encuentra a una altitud de 10 metros sobre el nivel del mar. Las características climáticas de Chetumal corresponden a las de una región tropical y tiene un clima cálido subhúmedo, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen: Aw. Sin embargo, los parámetros meteorológicos que se encuentran en la clasificación de este clima varían debido a las condiciones locales de vegetación, brisas, orografía y la cercanía al mar.

El clima se caracteriza por sus elevadas temperaturas la mayor parte del año (mayo a septiembre) y las más bajas de diciembre a febrero. Los valores medios anuales de temperatura van desde 24 °C hasta 30 °C. En invierno los frentes fríos que se presentan en la ciudad se caracterizan principalmente por vientos y lluvias que hacen descender la temperatura. La temporada de lluvias se presenta de junio a septiembre con un período de disminución durante julio y agosto. De noviembre a enero se observa menos precipitación pluvial y de febrero hasta abril es muy escasa.

El comportamiento estacional de la humedad relativa está relacionado con la introducción de humedad a la región por fenómenos como las tormentas y los nortes, por lo que el porcentaje de humedad es mayor de septiembre a enero. La ciudad es susceptible a la afectación por huracanes, aunque en menor eventualidad por la situación geográfica que posee en relación al resto del Estado.

Los vientos predominantes son cálidos en la región y su dirección a lo largo del año es del este-sureste, con una rapidez media de 3.1 m s<sup>-1</sup> y máxima de 7.6 m s<sup>-1</sup> (Carrillo,

Palacios Hernández, Ramirez, y Morales Vela), (Modulo de Planeacion Estratégica, 2010)

### III.2 Análisis del entorno

Este proyecto se realizó en el parque temático “Biouniverzoo” localizado en el centro de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, en la avenida Insurgentes con una superficie de 142 700 m<sup>2</sup>.

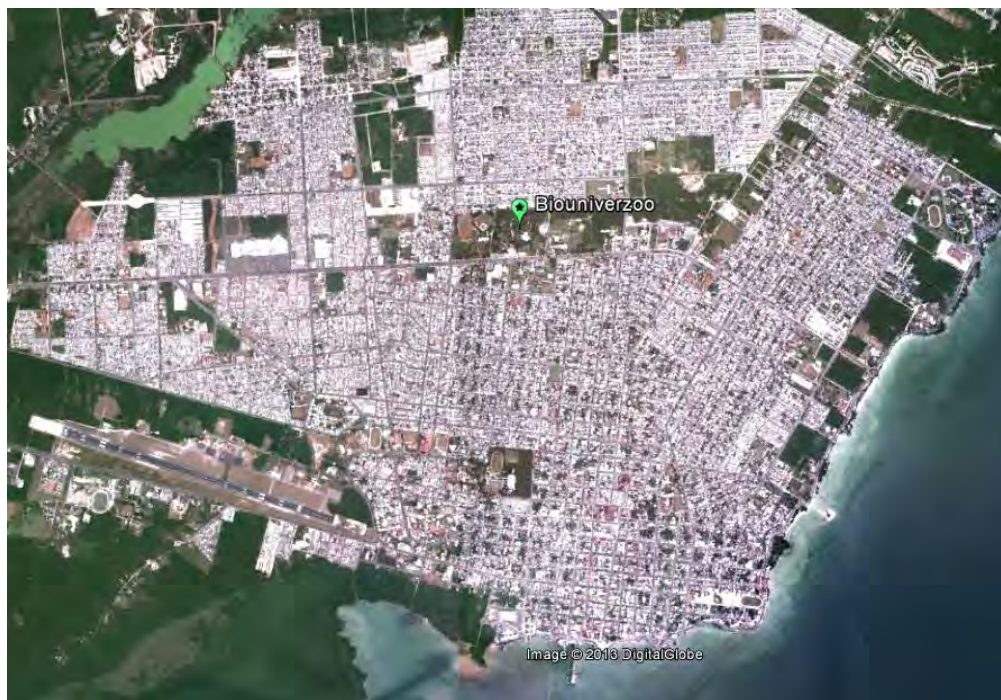


Imagen 12.- Ubicación del parque en la ciudad de Chetumal.  
Fuente: google earth

Como se puede observar en la **Error! Reference source not found.**, el parque está rodeado de abundante vegetación, por lo que no se puede generalizar la ciudad, pues en el sitio de estudio existe un microclima propio. Se puede notar que las cubiertas de las edificaciones no son muy visibles por lo que se deduce que la radiación que llega a las cubiertas es mínima, sin embargo, en las edificaciones que se tomaron en cuenta

para llevar a cabo este estudio se pudo verificar que éstas reciben significativa cantidad de radiación solar.



Imagen 13.- Ubicación del parque  
Fuente: google earth

# **CAPITULO IV. METODOLOGÍA**

## **IV.1 Metodología para la construcción de la cubierta verde**

La construcción de la cubierta verde se realiza basándose en la norma ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007, que establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación en el D.F. publicado en la gaceta oficial del Distrito Federal el 24 de diciembre de 2008. Así como en algunos parámetros para edificaciones existentes publicados en el libro de Gernot Minke, “Techos Verdes: Planificación, ejecución, consejos prácticos”.

Estas especificaciones y parámetros son necesarios para realizar un diseño previo a la construcción, en el cual en base a las características y tipo de la cubierta se realiza la selección de los componentes a instalar, las dimensiones, los materiales necesarios y la cantidad de éstos, asimismo, la selección de la vegetación tomando en cuenta que sea endémica y perenne apta para el sitio de estudio.

### **IV.1.a Diseño**

#### **Selección del área**

Se seleccionaron dos casas de noche para animales, las cuales sirven para resguardarlos al terminar el horario de exhibición, aproximadamente a las 5 de la tarde diariamente. El parque ha sido modificado anteriormente en cuanto a su visión y estructura, beneficiando a los exhibidores que fueron adaptados a las condiciones de su hábitat natural, lo que fue de gran ayuda tanto para la estética del parque como para el logro de uno de sus objetivos para con la fauna, a excepción de las casas de noche las cuales permanecieron intactas en cuanto su estructura. A los alrededores de las

edificaciones no se presenta una significativa circulación de aire y se puede percibir excesiva humedad causando gran incomodidad y bochorno fuera de ellas.



Imagen 14.- Localización de las casas de noche en el parque  
Fuente: Documentos de construcción, Dirección Biouniverzoo

La casa 1 pertenece a la casa de “Jaguares II” y la casa 2 de “Monos” (Imagen 14-15). La casa 2 tiene dimensiones de aproximadamente 5.10 x 4.05 metros y una altura máxima de 3.27 metros, las dimensiones de la casa 1 son de 6.45 x 4.5 metros. Ambas son de concreto y cuentan con ocho ventanas (cuatro de cada lado) de 0.5 metros de lado ubicadas en la parte superior de la edificación a 1.20 metros de altura orientadas de norte a sur. La casa 2 cuenta con dos puertas cada una con 2 metros de altura aproximadamente, y la casa 1 sólo con una con orientación de este a oeste; son puertas de acceso para el personal únicamente y ninguna de éstas permanece abierta. Otra variante entre las edificaciones además de las dimensiones de la estructura, es que la casa 2 cuenta con 4 tragaluces y la casa 1 solo con 2 con 0.80 m de lado, sin embargo una parte del techo de la casa 1 está cubierto con una malla.



Imagen 15.- Ubicación de las casas de noche

### **Información previa requerida**

Conforme a la norma existente para el Distrito Federal, se debe adquirir la siguiente información, previa a la construcción de las cubiertas verdes, la cual se obtiene mediante los planos de la edificación a naturar.

#### **Información arquitectónica y física de la edificación:**

- Altitud y altura de la edificación: El parque se encuentra a 10 msnm y por la inclinación del techo la altura máxima es de 3.27 metros y la mínima de 3.12 metros.
- Dimensiones de la superficie a naturar: el área del techo tomando en cuenta la inclinación es de 25.7 m<sup>2</sup>
- Pendiente de la superficie a naturar: La pendiente es del 2% y según la norma NADF-013-RNAT-2007 y bibliografía citada para la metodología, equivale a 1.15°
- Ubicación de los accesos a la superficie que se va a naturar: el acceso a la superficie a naturar es posible solo con escalera en cualquiera de los puntos de la edificación.

- Ubicación y estado de las tomas de agua de riego más cercanas a la superficie a naturar: la edificación posee toma de agua, mas no se desarrollará un sistema de riego.
- Ubicación y estado de los elementos singulares (tales como tubos, ductos, muertes, etc.) y demás elementos constructivos de la superficie a naturar: no se hará uso de dichos elementos constructivos, y la edificación no cuenta con ello en la superficie a naturar.
- Ubicación y estado de los puntos de desagüe, sumideros y/o bajadas de agua: la edificación cuenta con una leve inclinación, pero no cuenta con puntos de desagüe.
- Porción o porciones de la superficie a naturar protegida(s) del agua de lluvia por elementos constructivos: toda la superficie es susceptible al agua de lluvia, consta de 25.7 m<sup>2</sup>.
- Porción o porciones de la superficie a naturar que reciben sombra de construcciones y/o vegetación aledañas o de los elementos constructivos de la propia edificación durante la mayor parte del día: una mínima porción de forma distribuida es cubierta por vegetación, mínima a la cuarta parte del total de la superficie.

#### **Información estructural:**

Se especifica la carga máxima admisible, dimensiones y altura de la superficie a naturar y sus elementos portantes. Según la norma NADF-013-RNAT-2007, la carga máxima admisible para cubiertas verdes extensivas en edificaciones ya existentes es de 140 kg/m<sup>2</sup>. Con la ayuda de un ingeniero civil se determina que dicha carga no supera el límite propuesto por el peso de materiales en base húmeda (A.C. Eduardo, comunicación personal, mayo 2012).

#### **Información sobre la vegetación:**

La vegetación consiste de tapetes de césped que son plantados en el mismo parque y transplantados a la cubierta, cubriendo el techo completamente. En un futuro también se podrá hacer uso de algunas otras especies que cumplan con las características necesarias para el caso de estudio.

El césped es conocido comúnmente como “césped americano”, el cual lleva como nombre científico *Stenotaphrum secundatum* (INFOJARDIN, 2012). Según su ficha técnica, es una especie perenne de rápido crecimiento y gran resistencia a diversos



factores climáticos, también presenta una óptima adaptación a temperaturas muy elevadas y a cualquier tipo de suelo. El mantenimiento que requiere es mínimo.

### Selección de componentes

Diversos autores entre ellos Minke (2004), consideran que el techo es plano debido a la mínima pendiente la cual proporciona una leve inclinación, por lo tanto los componentes fueron seleccionados en base a esa característica. Los componentes son los siguientes:

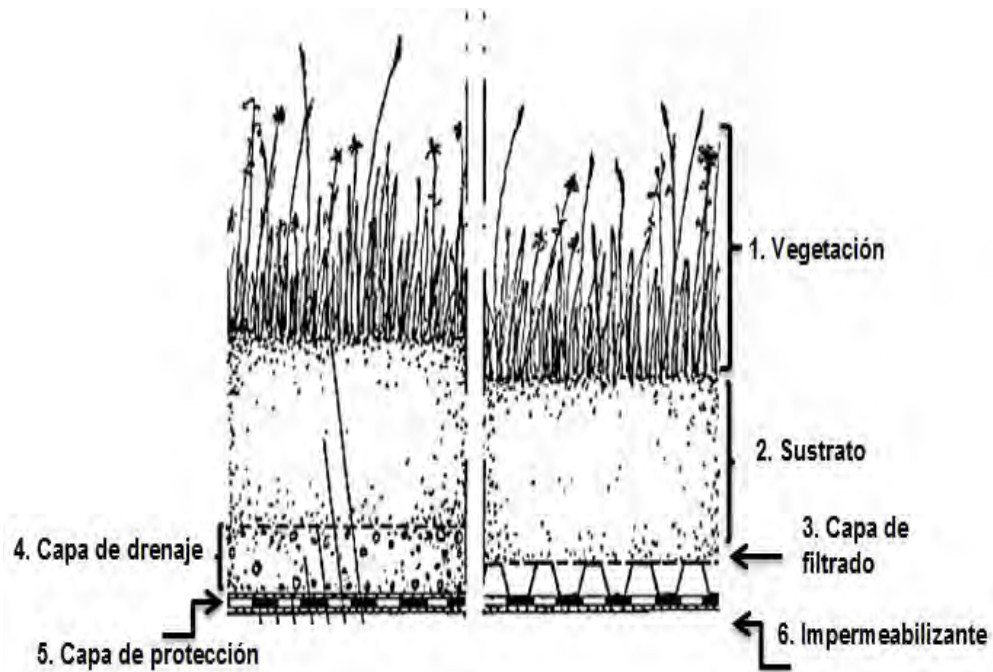


Imagen 16.- Construcción de capas de enjardinados para techos planos  
Fuente: (Minke, 2004)

### IV.1.b Construcción

a) Membrana impermeabilizante

La capa impermeable funciona para llevar a cabo la desviación del agua y como protección del techo contra raíces. El tipo de protección anti-raíz depende del tipo de cubierta que se desee instalar y el tipo de plantas a usar. Según la norma NADF-013-RNAT-2007, se coloca en toda la superficie de la cubierta, aun cuando no se tenga previsto colocar vegetación en la totalidad, incluyendo las áreas de solapamiento, uniones, entregas a los elementos singulares (bases de equipos o instalaciones, salientes, faldones, etc.).

Asimismo, como establece la norma, antes de iniciar con la colocación de la membrana impermeabilizante anti-raíz se deben preparar las juntas de dilatación, la entrega a paramentos, las penetraciones de tuberías y ductos, los desagües, etc. de modo que se garantice la estanquidad de la cubierta y la correcta evacuación del agua.

La capa impermeable consta de una lona a base de PVC, la cual se coloca de modo que abarque todo el techo, inclusive en las áreas donde no se instale la vegetación, así también como la parte interna del pretil, se deja despejado el área donde los tubos de desagüe son instalados. Se ha de lograr la mayor hermeticidad posible. Debido a la vegetación a instalar no es necesario un reforzamiento de esta membrana protectora.

#### b) Capa drenante y desagüe

La capa drenante tiene como propósito, en función con el sustrato, de controlar las propiedades de retención del agua de la cubierta verde. Éste componente es necesario para dirigir el agua excedente hacia los desagües de la cubierta, así como también almacenar una cierta parte de la misma. También sirve de espacio útil para las raíces. Los materiales más aptos son los livianos, porosos y gruesos.

Se utiliza una capa de grava de 4 cm de espesor la cual debe cubrir toda el área del techo. Asimismo, se coloca un tubo de PVC en el lado del techo donde forma la pendiente, de esta manera poder drenar el agua de éste. Debe ser colocado antes de vaciar la grava, de modo que ésta lo cubra.

#### c) Capa filtrante

La capa de drenaje se debe acompañar por una capa filtrante de manera que evite el paso de las partículas finas del sustrato a la capa de drenaje y lo obstruya, al mismo tiempo que el agua pueda penetrar y nutrir a las plantas. Esta capa que consiste de un fieltro grueso se coloca entre la capa de drenaje y de sustrato, sobresaliendo algunos centímetros por encima de la superficie del sustrato o la banda lateral en el borde de la cubierta y en su encuentro con elementos emergentes. Al concluir la colocación de la vegetación se puede recortar a nivel del sustrato.

#### d) Capa de sustrato

La capa de sustrato de estos sistemas tiene como función servir de soporte físico a la capa de vegetación, suministrándole los nutrientes, el agua y el oxígeno necesarios. Además de ser donde se desarrollan las raíces de la planta. Debe ser de suelo ligero, que absorba y retenga el agua de una forma controlada de manera que pueda desarrollar sus funciones correctamente. Puede consistir de una mezcla de suelo nativo y materia orgánica. El espesor es de acuerdo con las necesidades del volumen radicular de las especies seleccionadas y con las condiciones microclimáticas de la zona. Para el tipo de vegetación que se utilizó en este estudio, el sustrato consiste en tierra roja, de la cual se debe colocar un espesor de no más de 7 cm en toda el área del techo.

#### e) Capa de vegetación

La capa de vegetación es la parte más importante de una cubierta verde, y como tal, es la más difícil de perfeccionar. Ya que puede presentar problemas de compatibilidad de tipo de cubierta verde, el uso que se le dará, la temperatura, la humedad, la lluvia, la

exposición solar, los cuales son elementos importantes para las plantaciones de cualquier tipo.

En los sistemas de naturación extensiva, es necesario plantar una variedad de plantas 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. La vegetación debe soportar la alta radiación solar cuando la vegetación este dispuesta horizontalmente y orientada hacia el sol, requerir escaso volumen de suelo, soportar periodos de sequía, soportar altas temperaturas y requerir el mínimo mantenimiento posible.

Para que la capa de vegetación pueda soportar estas condiciones se utilizan agrupaciones vegetales cuyas condiciones se asemejen a las anteriormente descritas y que se encuentren adaptadas a las condiciones físicas y climáticas de la zona. Se hace uso de los tapetes de césped que fueron anteriormente plantados en el parque. Para aplicar esta última capa se colocarán los tapetes de césped sobre el sustrato previamente humedecido. Se deberá cubrir toda la superficie.

## **IV.2 Metodología para las mediciones**

Se obtiene la medición de las temperaturas mínimas y máximas diarias que se presenten en el interior de las edificaciones de tal modo que se pueda realizar una comparación de éstas. Se tomaron las temperaturas de ambas casas durante julio, agosto y septiembre. Para esto se colocó un termómetro ambiental en el interior de cada una de las edificaciones a una altura aproximada de 1.2 metros sobre el suelo, los cuales fueron previamente programados.

Los datos de la temperatura diaria de la ciudad de Chetumal fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y se analizaron las mediciones por medio de gráficas representativas de la comparación y la aplicación del método de neutralidad

para determinar la zona de confort. La radiación solar se midió por medio de un piranómetro junto con un multímetro, con el objetivo principal verificar que las dos casas estuvieran bajo las mismas condiciones de radiación solar.

Los materiales y equipo que se utilizaron para las etapas de construcción y medición son:

#### Equipo de construcción

- Palas
- Pegamento para exteriores
- 1 Tubo de PVC
- Clavos de diversos tamaños
- Madera

#### Equipo de medición

- 2 termómetros ambientales
- 1 piranómetro
- 1 multímetro

#### Vegetación

- 25.7 m<sup>2</sup> césped americano (*Stenotaphrum secundatum*)

#### Sustrato y componentes anteriores

- Lona a base de PVC (40 m<sup>2</sup>)
- Grava (1.55 m<sup>3</sup>)
- Filtro (33 m<sup>2</sup>)
- Tierra roja (4.06 m<sup>3</sup>)

## **CAPITULO V. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

### **V.1 Construir una cubierta verde en una casa de noche en el parque Biouniverzoo de la ciudad Chetumal.**

El diseño de la cubierta verde realizado fue tomando en cuenta la información que se obtuvo previamente conforme a la norma NADF-013-RNAT-2007, la cual sirvió para determinar el tipo de cubierta verde y los componentes que se colocaron, el área que se requirió cubrir y los volúmenes necesarios. La información dimensional de las casas se obtuvo mediante planos que fueron proporcionados por la dirección del parque y de acuerdo a esto se calcularon las áreas y volúmenes.

Considerando la carga que la edificación puede sostener, se determinó que la cubierta verde debía ser extensiva y por lo tanto, los volúmenes tuvieron que ser mínimos. Se determinó que la cubierta cubra toda el área del techo debido a que no se requiere algún acceso público al área y por lo tanto, el césped fue una ventajosa elección al requerir el mínimo mantenimiento y por su facilidad de adaptación y crecimiento. Se instalaron tapetes de césped los cuales requieren un mínimo grosor de sustrato y por lo tanto omiten una carga que otro tipo de vegetación podría requerir.

Antes de la colocación de los componentes fue necesario instalar un pretil para asegurar los materiales a pesar de su leve inclinación. Dicho pretil rodeó el perímetro del techo con maderas gruesas. Posteriormente, se colocó la lona cubriendo toda el área que sirvió como barrera impermeable y de protección para el techo. Luego se procedió a colocar la capa de drenaje a base de grava cubriendo igualmente toda la superficie como se puede observar en la imagen 17.



Imagen 17.- Instalación capa drenante



Imagen 18.- Instalación del filtro

En la imagen 18 se exhibe la aplicación de la capa filtrante que consistió en un fieltro que también cubrió toda la superficie por encima de la capa de grava, se aseguró de cubrir también por encima de la superficie de modo que no se filtre el sustrato por los perímetros del pretil y de los tragaluces (Imagen 18).

Después de haber colocado la capa filtrante, se colocó el sustrato en toda la superficie y seguidamente se trasplantaron los tapetes de césped cubriendo casi toda la cubierta como se muestra en la imagen 19.



Imagen 19.- Instalación del sustrato

En las imágenes 20 y 21 se exhibe el techo que, con el paso de los días el techo quedó totalmente cubierto por el césped.





Imagen 20.- Aplicación de la vegetación



Imagen 21.- Instalación de la cubierta verde finalizada

## **V.2 Comparar el comportamiento térmico en el interior de dos edificaciones con y sin cubierta verde durante julio, agosto y septiembre.**

Antes de realizar la construcción y durante las mediciones de temperatura se realizó la lectura de la radiación solar en el área de estudio, principalmente para medir bajo que radiación solar se encuentran las casas para establecer si es un factor que afecta y de qué manera impacta a las temperaturas dentro de las instalaciones. Se midió diariamente por los tres meses de estudio mediante un multímetro y un piranómetro.

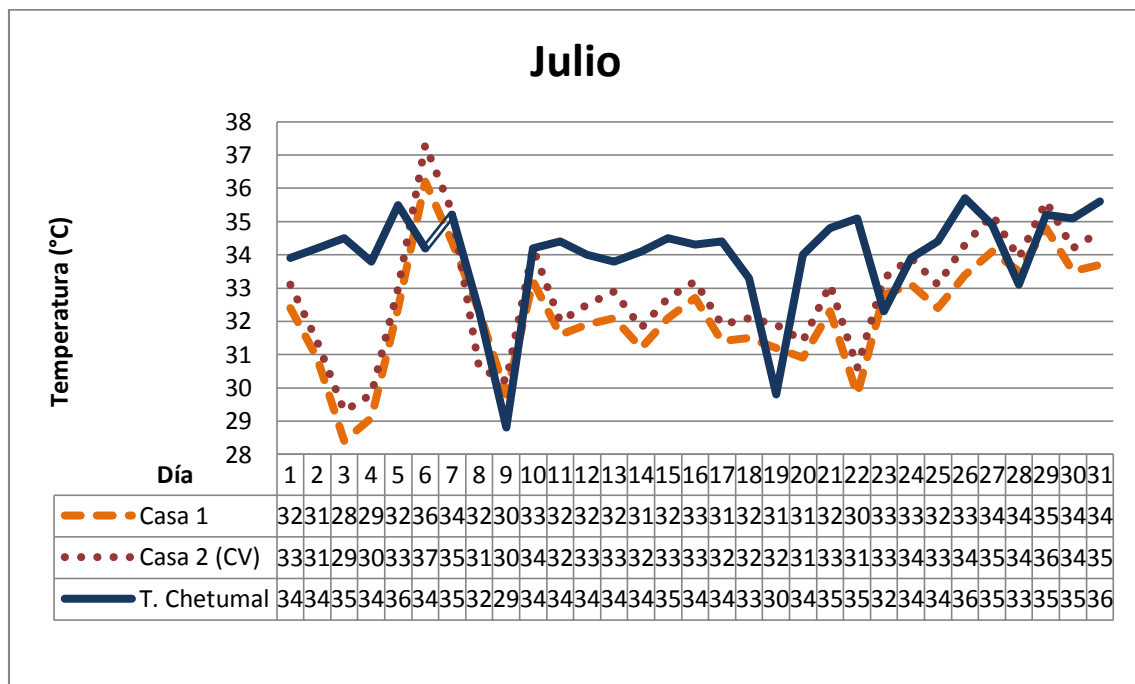
Los datos de temperatura diaria de la ciudad de Chetumal fueron proporcionados por la CONAGUA. Para el efecto de realizar las mediciones, al concluir las se efectuaron los análisis necesarios. Las mediciones de radiación se obtuvieron por medio de la página oficial del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Para poder comparar el comportamiento térmico en el interior de las casas de noche se realizaron mediciones de la temperatura en el interior de cada una y se analizaron junto con las temperaturas registradas para la ciudad de Chetumal en el observatorio meteorológico. La construcción de la cubierta verde en la casa 2 se inició a mediados de agosto. Sin embargo, se analizaron las temperaturas de ambas casas antes, durante y después de la construcción total de la cubierta por lo que éstas se llevaron a cabo desde el inicio de julio.

Para poder realizar los análisis, primero se realizaron seis gráficas, dos por cada mes, tres con las temperaturas máximas y tres con las temperaturas mínimas en el interior de ambas casas de noche así como las temperaturas máximas y mínimas pronosticadas en el observatorio meteorológico de la ciudad de Chetumal, para poder observar el comportamiento de las temperaturas de ambas casas respecto de la temperatura ambiente de la ciudad cada mes. También se realizaron dos gráficas, una con las temperaturas máximas y otra con las temperaturas mínimas de cada cubierta durante

los tres meses. Con la finalidad de analizar el comportamiento térmico mensual en cada una de las casas. Por último, se utilizó el modelo de neutralidad para obtener la zona de confort de la ciudad y así poder ubicar esta zona en la gráfica para determinar si la cubierta ayuda realmente a conseguir el confort térmico necesario dentro de los recintos del parque.

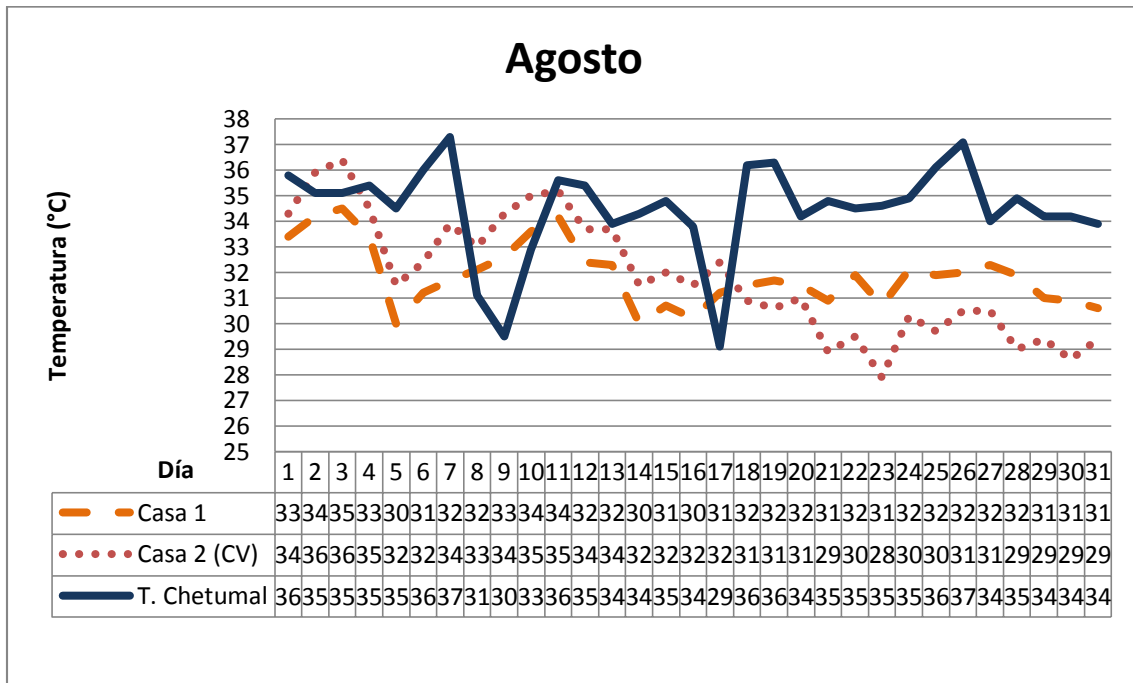
En la gráfica 3 se muestran las temperaturas máximas registradas en julio de ambas casas antes de iniciar la construcción de la cubierta verde y las temperaturas máximas de la ciudad. En ésta se observa que la casa 2, en la cual se construyó la cubierta verde, registra mayores temperaturas que la casa 1, con casi 2 grados de diferencia, a pesar de encontrarse en la misma ubicación y exposición de radiación solar.



Gráfica 3.- Comparación de las temperaturas máximas en julio 2012  
Elaboración propia.

Las temperaturas máximas registradas en el observatorio meteorológico para la ciudad de Chetumal son más elevadas que en las casas de noche la mayoría de los días,

mientras que en las dos casas de noche se observa que la diferencia de temperaturas no tiene un rango muy amplio. La ciudad alcanza una diferencia de 6 grados con la casa 1 y 5 grados con la casa 2.



Gráfica 4.- Comparación de las temperaturas máximas de agosto  
Elaboración propia.

En la gráfica 4 se presentan las temperaturas máximas de agosto en las edificaciones y de la ciudad. La construcción empezó el día 13 de agosto aplicando la primera capa (permeabilización) y el pretil, el día 16 se aplicó la segunda capa (drenaje) y el 18 se aplicaron la tercera y cuarta capa (el filtro y el sustrato). Se puede observar que así como en julio, las temperaturas de la casa 1 siguen siendo menores que de la casa 2 a la cual se le construyó la cubierta verde, con más de 2 grados de diferencia.

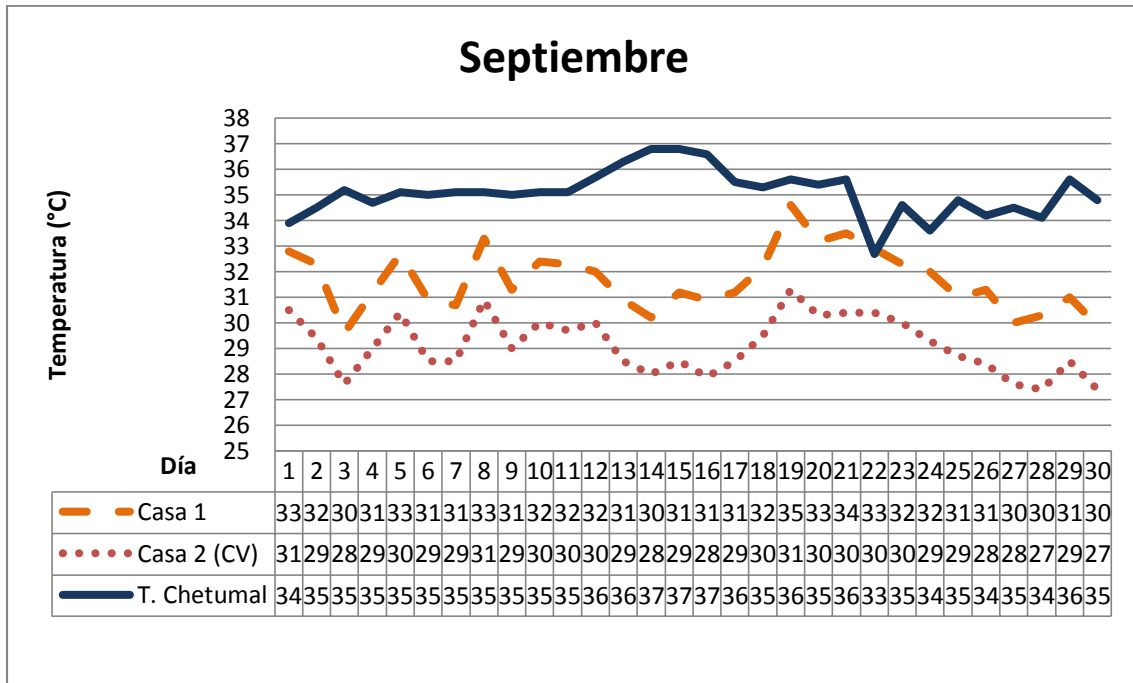
Durante este mismo mes las temperaturas en el interior de las edificaciones presentan una disminución uniforme. Se estima que fue causada porque en este mes se presentó un fenómeno meteorológico en la ciudad que trajo consigo grandes cantidades de lluvia, lo cual modificó las condiciones de humedad y temperatura locales. Sin embargo,

hasta el día en que se aplicó el sustrato se observa que las temperaturas de las casas se alternaron, siendo las de la casa 2 las que disminuyen aún más que las de la casa 1, con al menos 3 grados de diferencia, en algunos días, con tan solo aplicar la capa de sustrato.

De acuerdo a otros estudios realizados con cubiertas verdes, la capa de sustrato sin vegetación puede actuar como aislante térmico cuando este se encuentra húmedo. No obstante, dependerá del tipo de suelo, su densidad, su grosor, los nutrientes y su conductividad térmica, ya que en algunos casos puede resultar más benéfico cuando éste se encuentre seco dependiendo principalmente de las condiciones climáticas del lugar, (Carroll, 2010; Becker y Wang, 2011).

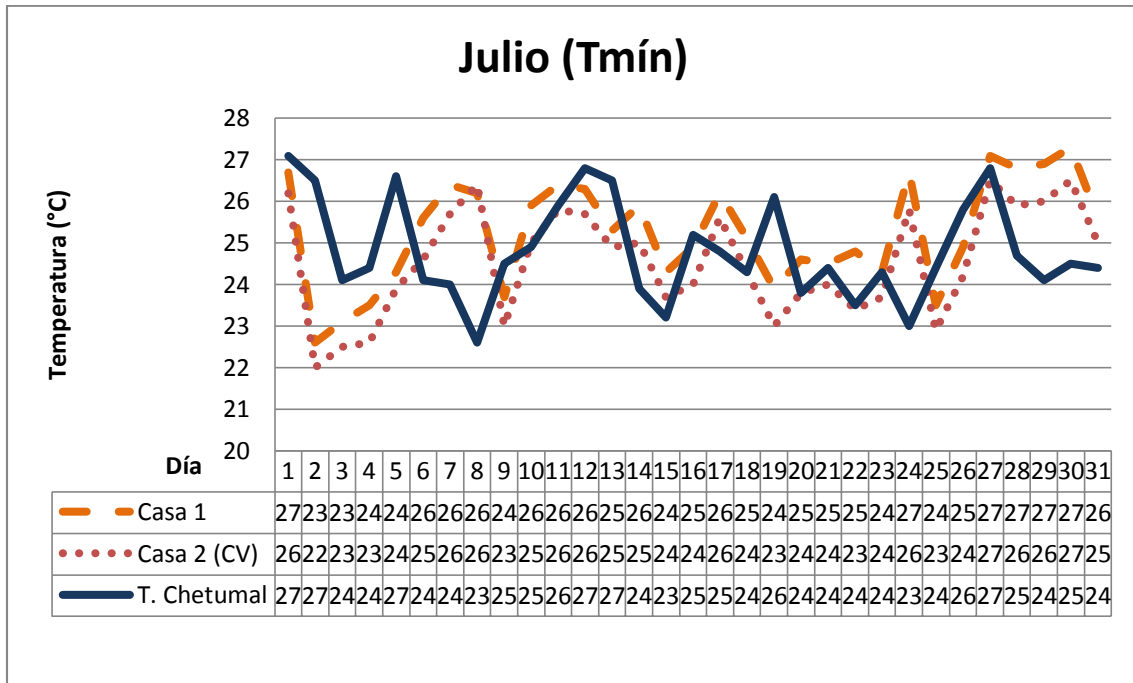
A partir del día 24 se empezó a colocar la última capa, la vegetación. Donde se observa que algunos días la temperatura de la casa 2 desciende hasta 2.9 grados en comparación con la casa 1. Sin embargo, la diferencia de temperaturas algunos días es hasta de 1.2 grados, pudiendo variar muchos factores principalmente la humedad. Las temperaturas máximas de la ciudad alcanzadas en este mes difieren 5.6 grados superando las temperaturas de la casa 1 y 6.7 grados arriba de la casa 2.

La gráfica 5 representa las temperaturas máximas de septiembre, en la cual se distingue claramente cómo la diferencia de temperaturas se mantiene, que en contraste con las temperaturas de agosto, tiene una diferencia mínima de 2 grados y una máxima de 3.3 grados. Las temperaturas máximas de la ciudad se mantuvieron muy por arriba de las temperaturas del parque en todo momento, con 6.6 grados de diferencia con la casa 1 y hasta 8.8 grados con la casa 2.



Gráfica 5.- Comparación de las temperaturas máximas de septiembre  
Elaboración propia.

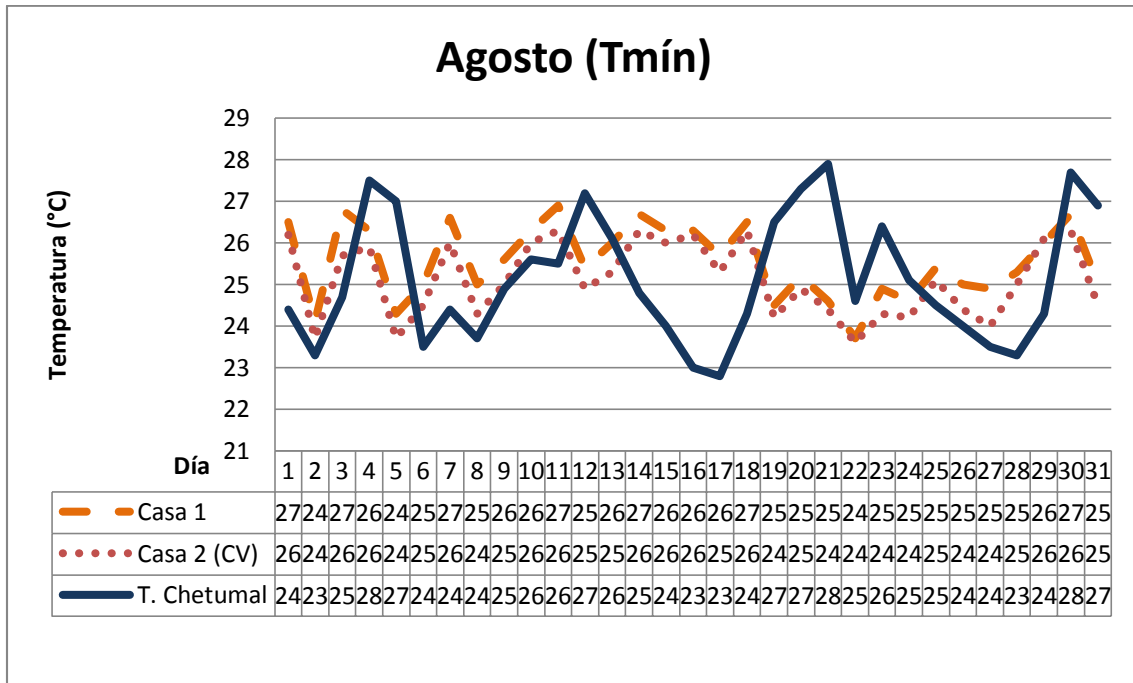
Se puede asumir que factores como la humedad en el interior y fuera de las edificaciones pudo haberse modificado, ya sea por los vientos o que la radiación solar fue diferente. Sin embargo, se verificó que ambas edificaciones se mantuvieron bajo la misma radiación solar, la dirección de los vientos respecto de las edificaciones es la misma puesto que se encuentran una de lado de la otra, sin embargo, las ventanas están situadas en diferentes direcciones, por lo que pudo afectar de diferente manera. Se descarta la posibilidad de que estos factores hayan afectado favorablemente a la casa 2 (cubierta verde), debido a que al principio de las mediciones ésta presentaba las temperaturas mayores y también por la alternación de temperaturas de las casas precisamente después de haber colocado la capa de sustrato y más aún cuando se colocó la vegetación.



Gráfica 6.- Comparación de las temperaturas mínimas de julio  
Elaboración propia.

En la gráfica 6 se hace la comparación de las temperaturas mínimas de ambas edificaciones y de la ciudad de Chetumal, antes de instalar la cubierta verde. En ella se aprecia que las temperaturas más bajas corresponden a la casa 2, con 1.4 grados de diferencia máxima alcanzada con la casa 1. Mientras que las temperaturas mínimas registradas en el observatorio meteorológico para la ciudad de Chetumal fueron superiores la mayoría de los días.

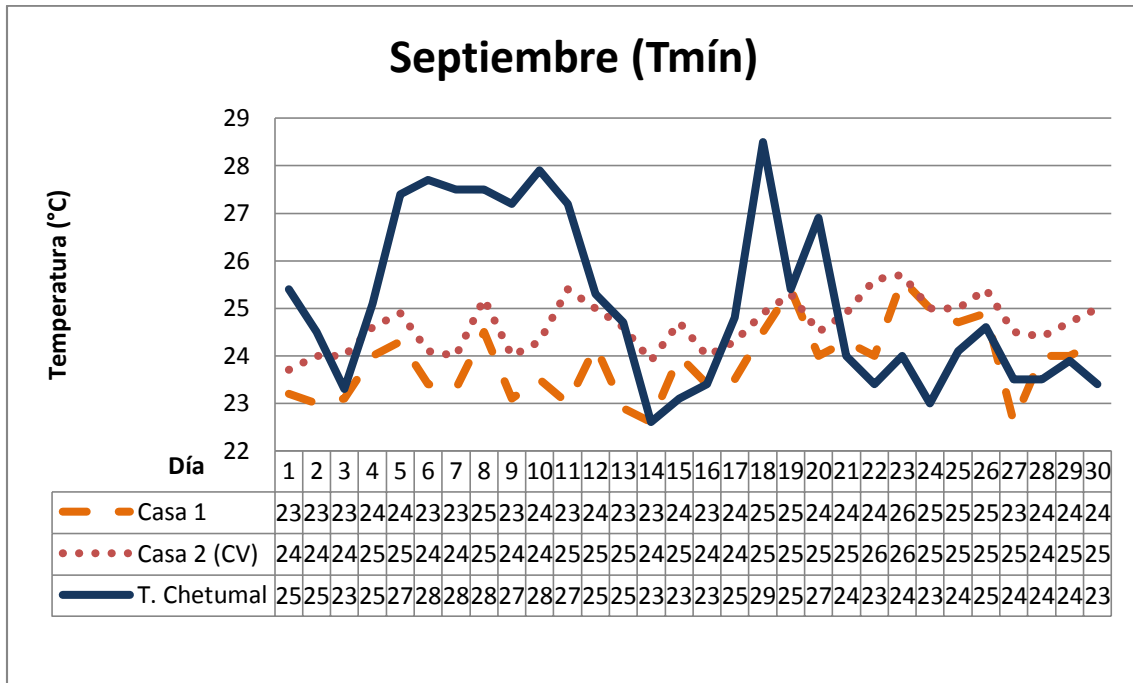




Gráfica 7.- Comparación de las temperaturas mínimas de agosto  
Elaboración propia.

En la gráfica 7 se presentan las temperaturas mínimas de agosto. Donde los primeros días, igual que en julio, la casa 2 mantiene las temperaturas inferiores hasta con 1 grado de diferencia con respecto de la casa 1, a diferencia del mes anterior, en que las temperaturas para la ciudad fueron menores que las de ambas casas la mayoría de los días.

Se observa que al paso de los días ocurre un descenso de temperatura de ambas edificaciones y en las de la ciudad. Como fue anteriormente aclarado, el descenso de las temperaturas tanto de la ciudad como las obtenidas en las edificaciones posiblemente fue ocasionado por el fenómeno meteorológico que se presentó en esas fechas, fue un mes muy lluvioso, produciendo grandes cantidades de humedad y flujos de corrientes de aire frío que impidió el calentamiento de los interiores.



Gráfica 8.- Comparación de las temperaturas mínimas de septiembre  
Elaboración propia.

Las temperaturas mínimas de septiembre se muestran en la tabla 8. En ésta se observa que después de haber colocado la cubierta de césped las temperaturas se alternan, siendo las de la casa 1 las temperaturas mínimas más bajas en comparación con la casa 2, alcanzando una diferencia máxima de 3 grados. Por otro lado las temperaturas mínimas de la ciudad resultaron ser mayores que las de ambas casas. Este comportamiento se debe a que, como se ha mencionado anteriormente, además de optimizar el aislamiento térmico, se reducen las variaciones de temperatura del ciclo día-noche. Las temperaturas de la ciudad tienden a ser mayores que las temperaturas de ambos recintos debido a, como especifica la literatura consultada, se forma un microclima en el parque a causa de la vegetación que lo rodea, la cual es diferente a la de la ciudad.

Este efecto de aislamiento térmico, tanto con las temperaturas mínimas como las máximas son posibles mediante diversos fenómenos. La vegetación es el principal responsable de este aislamiento, un techo denso en vegetación tiene un efecto de

enfriamiento en verano y un efecto de aislación térmica en invierno. Esta eficacia térmica puede ser contribuida por la sombra proporcionada, por el aislamiento que produce el aire entre el follaje y a través de los procesos de refrigeración propios de la especie, como la evaporación y la condensación del agua. Procesos que reducen las oscilaciones de temperatura y se fortalecen aún más por medio de la fotosíntesis y la capacidad de almacenamiento de calor del agua que las plantas extraen del ambiente así como de la protección de la radiación sobre la cubierta. También se ha demostrado que las plantas pueden contribuir aún más al enfriamiento por medio de la transpiración y por incrementar la reflectividad, particularmente en regiones más cálidas y de latitudes bajas donde el ángulo de incidencia solar es más alto y por encima de la biomasa del suelo.

Sin embargo, a pesar de que se disminuyeron las temperaturas de la casa al construir la cubierta verde, no significa que sea suficiente para alcanzar un confort térmico. De acuerdo a la literatura y por sus diversos autores, existen diferentes herramientas de diseño bioclimático, las cuales proveen estrategias arquitecturales de diseño para las viviendas y diversos modelos que determinan las zonas de confort con base en la humedad y temperatura.

Existen modelos de confort simples que sirven para establecer una temperatura mediante la cual la mayoría de las personas se sentirían cómodas, basándose en la temperatura seca del aire para establecer las condiciones ambientales óptimas en un sitio determinado. Esta temperatura de confort se calcula a partir de la temperatura exterior promedio del sitio, ya sea en intervalos mensuales o anuales. Las fórmulas empleadas en los cálculos se derivan de investigaciones estadísticas sobre la relación entre la sensación de confort de las personas y las condiciones ambientales en el exterior y el interior de los edificios (Soluciones Arquitectónicas sustentables, s/f).

Estos modelos consideran indirectamente otros factores que inciden en la sensación de confort de las personas tales como la humedad ambiental, la velocidad del aire, la temperatura radiante, etc.

Debido a que las personas se ven afectadas de diversas maneras por las condiciones ambientales, en lugar de una temperatura de confort única es necesario establecer una zona en la cual las personas expresen satisfacción térmica con el ambiente y para esto se toma la temperatura de confort, también conocida como temperatura neutra, extendiéndola hacia arriba y hacia abajo, estableciendo así la zona de confort.

Diversos autores establecen la zona de confort a partir de rangos de  $\pm 2.0^{\circ}\text{C}$  respecto a la temperatura de confort calculada o de  $\pm 1.75^{\circ}\text{C}$  dependiendo si se emplea la temperatura promedio anual del sitio o mensual, respectivamente. En este trabajo se hizo uso del rango propuesto por S. Szokolay de  $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$  ( Machuca, Molina, y Espinoza, 2012).

El modelo de neutralidad térmica es un modelo de confort simple basado en la fórmula propuesta por Auliciems y Dear:

$$T_n = 17.6 + 0.31 T_m$$
$$Z_c = T_n \pm 2.5^{\circ}\text{C}$$

Dónde:

$T_n$ : Temperatura neutra

$T_m$ : Temperatura media anual o mensual

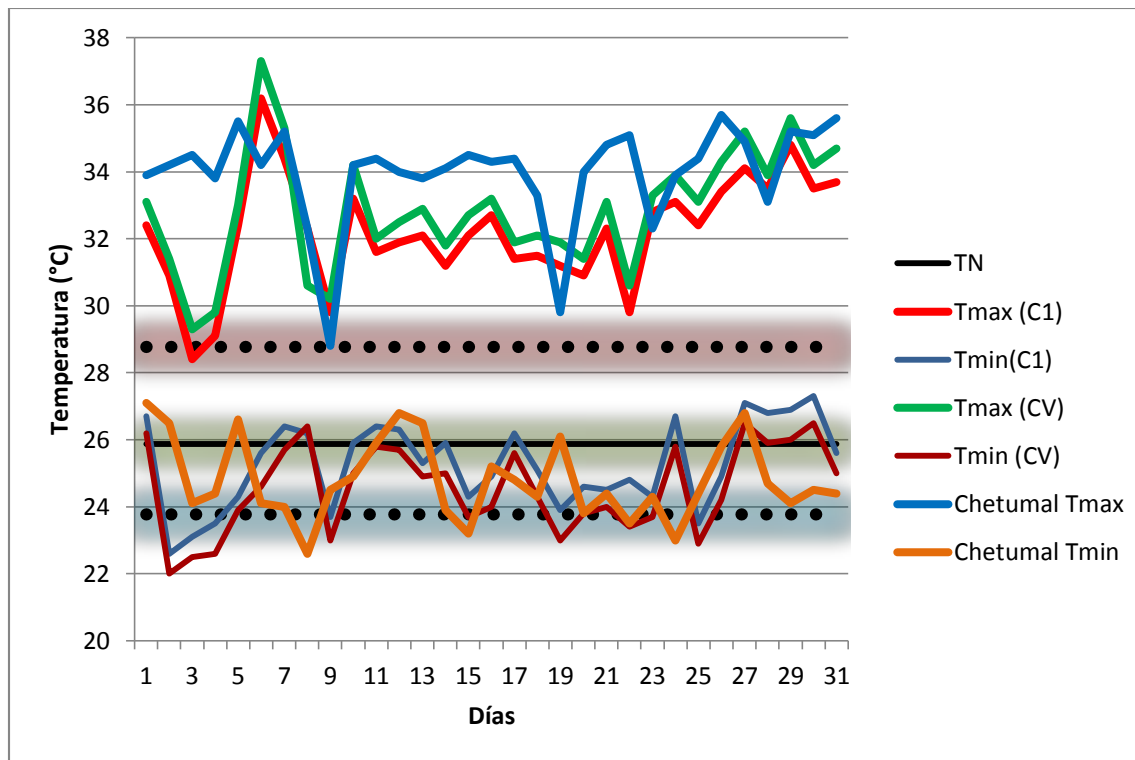
$Z_c$ : Zona de confort

Para el caso de la ciudad de Chetumal, la temperatura promedio anual ( $T_m$ ) es de  $26.7^{\circ}\text{C}$ , por lo tanto:

$$T_n = 17.6 + 0.31 (26.7^{\circ}\text{C})$$
$$Z_c = 25.87^{\circ}\text{C} \pm 2.5^{\circ}\text{C}$$

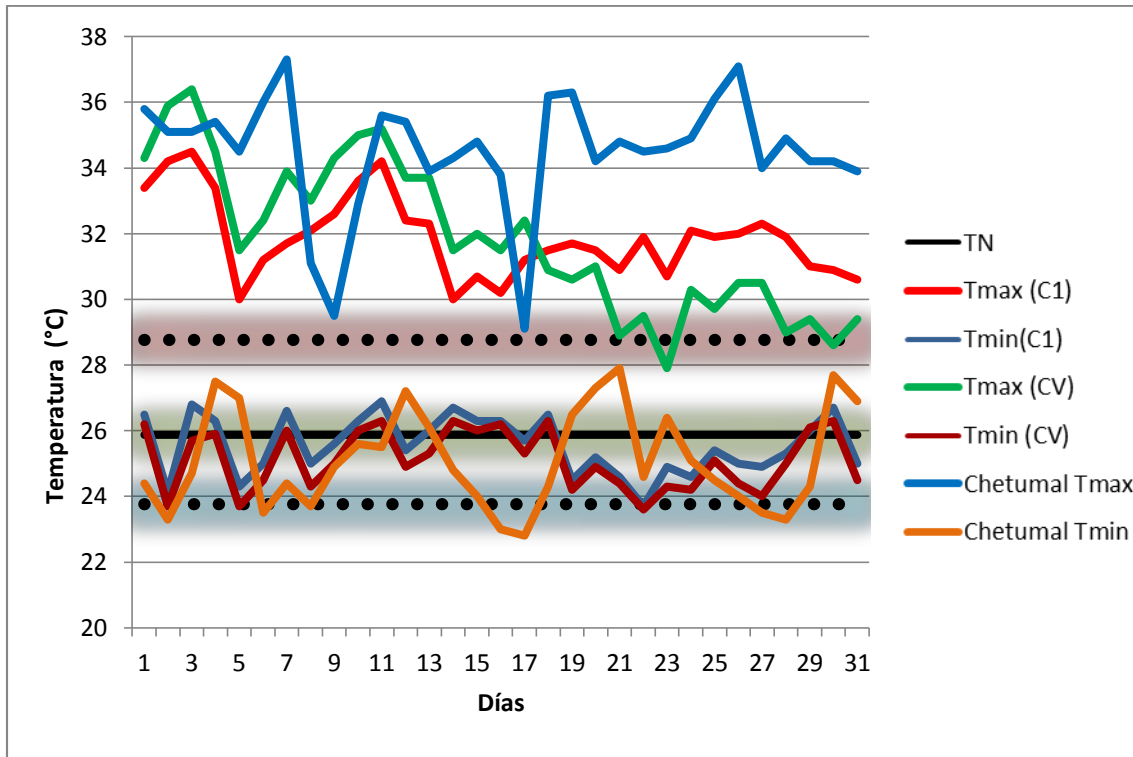
Entonces, la Zona de confort máxima ( $Z_{cmax}$ ) será de  $28.77^{\circ}\text{C}$  y la Zona de confort mínima ( $Z_{cmin}$ ) será de  $23.77^{\circ}\text{C}$ .

En las siguientes gráficas se visualizan las temperaturas máximas y mínimas de ambas casas de noche y de la ciudad de Chetumal de cada uno de los meses de medición. En ellas se indica la temperatura neutra (en negro) y las zonas de confort mínimas (en azul) y máximas (en rosa) óptimas para la ciudad.



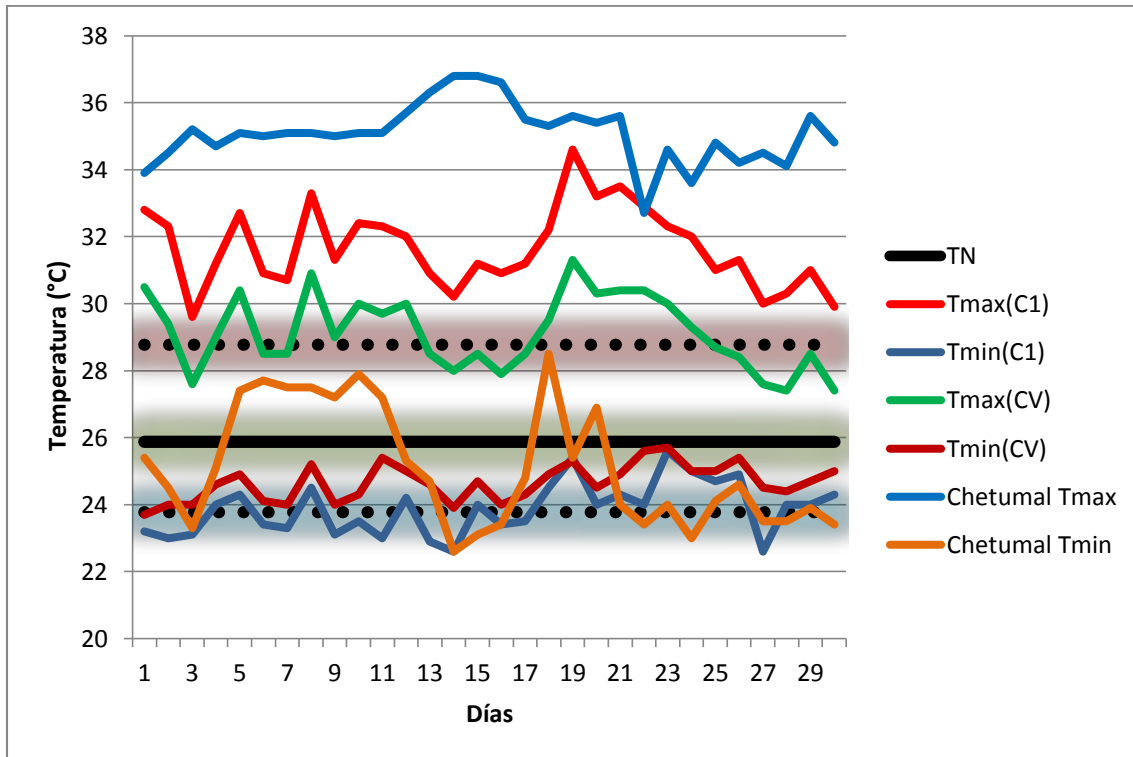
Gráfica 9.- Ubicación de las temperaturas de julio en la zona de confort  
Elaboración propia

Como se puede apreciar en la gráfica 9, antes de iniciar con la construcción todas las temperaturas máximas estuvieron por arriba del confort máximo, incluyendo las de la ciudad.



Gráfica 10.- Ubicación de las temperaturas de agosto en la zona de confort  
Elaboración propia

A mediados de agosto (grafica 10), en el mismo momento en que se aplicó el sustrato a la casa 2, las temperaturas máximas de la misma se empezaron a acercar a la zona de confort máximo y a lo largo del mismo mes y de septiembre (grafica 11), sólo algunas veces se encontró dentro de la zona, sin embargo ambas temperaturas máximas de la casa 1 y de la ciudad se mantuvieron siempre por arriba del confort máximo. Por otro lado, las temperaturas mínimas de ambas casa y de la ciudad se mantuvieron en la zona de confort en los dos primeros meses, pues ya en septiembre se nota que la casa 1 se sale de la zona de confort y la casa 2, la cual cuenta con la cubierta verde, se mantiene en dicha zona.



Gráfica 11.- Ubicación de las temperaturas de septiembre en la zona de confort  
Elaboración propia

Es importante recordar que las temperaturas graficadas corresponden a las temperaturas mínimas y máximas que se registraron durante el día dentro de los recintos y en la ciudad, por lo tanto se advirtió que las temperaturas que son más bajas que las máximas registradas, alcanzan continuamente mediciones dentro del rango establecido como zona de confort, pero también hay que observar que existen varios momentos en el día en que dicho confort no se alcanza. Este resultado se debió a la inexistencia de mecanismos de ventilación o refrigeración que mantuvieran las temperaturas adecuadas.

## **CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

La cubierta verde es un sistema de enfriamiento pasivo que puede ser sencillo al diseñarlo y aplicarlo, sin embargo, la realización de un diseño de cubierta verde es único para cada clima, región, necesidades y edificio en particular. Para diseñar una cubierta verde exitosa es necesario enfrentar tres principales obstáculos las cargas, la impermeabilización y el mantenimiento. El peso total de una cubierta verde es el factor más importante que se debe considerar al diseñar la estructura de soporte y debe ser estimado en relación a la profundidad del sustrato y tipo de vegetación, así como del material empleado como drenaje. En el caso de ser una estructura ya establecida, se deberá estimar la carga máxima que pueda soportar y con base en ello, realizar el diseño de la cubierta considerando también el refuerzo de ser necesario. La impermeabilización dependerá de la pendiente del techo, condiciones climatológicas, la carga de los materiales y el tipo de vegetación a aplicar. El mantenimiento requerido dependerá del tipo de cubierta que sea aplicada, el tipo de vegetación y los requerimientos que demande.

Los resultados obtenidos al colocar la cubierta verde demuestran que se puede adoptar como sistema de enfriamiento pasivo en los diferentes recintos del parque, ya que representan una significativa disminución de la ganancia de calor y por consecuencia contribuyen al alcance de un mayor confort térmico interior. Con base en los resultados obtenidos durante el estudio, se recomienda un estudio posterior que valore los efectos de la cubierta considerando únicamente el sustrato húmedo debido a que durante el análisis de los mismos, se obtuvo un cambio de la temperatura aun sin contar con césped, lo cual implicaría un mantenimiento más simple y menor costo de construcción en relación a los relacionados a una cubierta verde en sí.

El clima en la ciudad de Chetumal es diverso a lo largo del año, existen periodos muy calientes, algunos lluviosos y otros poco frescos, para el cual las viviendas en su mayoría no son aptas. Las viviendas en la ciudad son económicas, sencillas y sin



preparación alguna para una modificación constructiva, a pesar de existir desde mucho tiempo atrás estrategias que mejoran el comportamiento higrotérmico.

Con el presente trabajo se hace evidente que poner en práctica estrategias de enfriamiento pasivo, en este caso una cubierta verde, tiene un importante efecto en el clima interior de una vivienda y que si se complementa con modificaciones sencillas como en su forma, ubicación, orientación, aberturas y colores entre otros elementos, contribuyen a mejorar el confort térmico en el interior de las viviendas.

Se resalta la importancia de ampliar investigaciones para encontrar nuevas y mejores plantas que puedan adaptarse con facilidad a las condiciones que prevalecen en los sitios con clima tropical propio de la ciudad, de modo que se pueda contar con información de apoyo para realizar futuras evaluaciones térmicas. Así también una comparación de la reducción de consumo de energía eléctrica, al reemplazar o complementar un sistema de enfriamiento convencional por un sistema de enfriamiento pasivo como la cubierta verde.

Las barreras más frecuentes para la aceptación de las cubiertas verdes son: el desconocimiento de la estrategia, el alto costo de instalación y la limitada información técnica. En el caso específico del clima de la ciudad de Chetumal, hay que considerar además, la humedad y vulnerabilidad que presenta su locación hacia los fenómenos meteorológicos, como barreras importantes para la implementación de las cubiertas verdes, a fin de que la población las considere como una alternativa para bajar de manera natural la temperatura de sus viviendas.

## BIBLIOGRAFÍA Y TRABAJOS CITADOS

- Acevedo, C. A. (2004). *História de México*. Mexico, DF: Limusa S.A de C.V Noriega Editores.
- Ataxca, J. C. (12 de Abril de 2009). *Noticaribe*. Obtenido de [http://www.noticaribe.com.mx/bitacoras/alerta\\_roja/2009/04/el\\_crecimiento\\_de\\_c hetumal.html](http://www.noticaribe.com.mx/bitacoras/alerta_roja/2009/04/el_crecimiento_de_c hetumal.html)
- Becker, D., y Wang, D. (12 de mayo de 2011). Green roof heat transfer and thermal performance.
- Briz, E. J. (2004). *Naturacion Urbana: Cubiertas ecologicas y mejora medioambiental*. *Capital Verde*. Portal Ciudadano del Gobierno Federal. (30 de Julio de 2007). Obtenido de <http://www.capitalverde.df.gob.mx/azoteas.html>
- Carbajal, E. T. (Noviembre de 2009). Comportamiento de dos tipos de cubiertas vegetales, como dispositivo de climatizacion, para climas sub-humedos. Coquimatrlan, Colima, Mexico.
- Carrillo, L., Palacios Hernández, E., Ramirez, A., y Morales Vela, J. (s.f.). El sistema ecológico de la bahía de Chetumal/Corozal: Costa occidental del Mar Caribe. Chetumal, Quintana Roo, México.
- Carroll, N. (2010). The Thermal and Rainwater Runoff Performance of an Extensive Green Roof System.
- Cuevas Heredia, P., Ochoa de la Torre, J. M., y Fuentes Freixanet, V. (2010). Importancia de la vegetación a nivel urbano. México.
- Díaz, V. S., y Barreneche, R. O. (marzo de 2005). Acondicionamiento térmico de edificios. Buenos Aires, Argentina: nobuko.
- Ensayo: Arquitectura Prehispanica. (2010). Mexico.
- FiberGlass. (s.f.). *FiberGlass Colombia*. Obtenido de [http://www.fiberglasscolombia.com/admin/assetmanager/images/egua\\_cubiertas %20verdes\\_v7.pdf](http://www.fiberglasscolombia.com/admin/assetmanager/images/egua_cubiertas %20verdes_v7.pdf)
- Fuente, J. J. (Agosto de 2011). *The mcgraw-hill company*. Obtenido de <http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448167155.pdf>

- García, I. A. (Marzo de 2011). Tesis para obtener la especialización en evaluación inmobiliaria. *Análisis de rentabilidad entre dos alternativas de proyectos de inversión tipo habitacionales*. Tecamachalco, México, México.
- Garzón, B. (2007). *Arquitectura Bioclimática*. Buenos Aires: Nobuko.
- Guerrero Naranjo, K. (6 de Septiembre de 2011). Master Oficial: "Arquitectura, Energía y Medio Ambiente". *La cubierta plana y su comportamiento térmico en las viviendas del clima cálido-húmedo. Caso de estudio: Cuba*. Barcelona, España.
- Gutiérrez, R. A. (2010). *Techos vivos extensivos: Una práctica sostenible por descubrir e investigar en Colombia*.
- Higuera Simbrón, A., y Rubio Toledo, M. Á. (julio-diciembre de 2011). LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL: SOSTENIBILIDAD, REGLAMENTOS. Toluca, México, México.
- IMAE, SEGI. (2006). *Sistema de Manejo Ambiental en las Dependencias del Gobierno del Estado de Aguascalientes*.
- INFOJARDIN. (junio de 2012). Obtenido de <http://fichas.infojardin.com/cesped/stenotaphrum-secundatum-gramon-laston-gramillon-grama-catala.htm>
- Kidd, J. (2005). Optimum green roof for Brisbane. *Water Sensitive Urban Design*.
- Langston, C. A., y K.C. Ding, G. (2001). Sustainable practices in the built environment. Londres, Inglaterra: ELSEVIER.
- Leaño, C. T. (2010). Tesis: Energías renovables, Arquitectura y urbanismo, La ciudad sostenible. *Determinación de estrategias de diseño bioclimático para la ciudad de Sucre (Bolivia)*. España.
- Llopis, M. T. (Mayo de 2010). Máster de Arquitectura y sostenibilidad. *Aprender sobre las cubiertas verdes urbanas a través del caso Augustenborg*.
- Lockhart, I. (2008). *Cambio Climático. Plan de Acción: Buenos Aires 2030*. Buenos Aires.
- Machuca, L., Molina, J., y Espinoza, R. (Noviembre de 2012). Estudio climático de vilcallamas arriba y análisis de indicadores bioclimáticos de aplicación potencial. XIX Simposio Peruano de Energía Solar (XIX- SPES), Perú.
- Martínez, M. P. (mayo de 2012). Bioclimatic Architecture. Dinamarca.

- Merçon, M. G. (Septiembre de 2008). Tesis: Confort térmico y tipología arquitectónica en clima cálido-húmedo. *Análisis térmico de la cubierta ventilada*. Catalunya, Barcelona, España.
- Minke, G. (2004). *Techos Verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos*. Montevideo, Uruguay: Fin de siglo.
- Modulo de Planeación Estratégica*. (Septiembre de 2010). Obtenido de <http://modulodeplaneacionestrategica.files.wordpress.com/2010/08/chetumal-quintana-roo.pdf>
- Nonell, J. B. (1984). Arquitectura Prehispánica. En *Historia de arquitectura*. Barcelona: Editores Tecnicos Asociados, S.A.
- Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R., Doshi, H., Dunnett, N., y otros. (2007). Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions and Services. *BioScience*.
- Orellana, R., Espadas, C., Conde, C., Gay, C., UNAM, CONACYT, y otros. (2009). Atlas. Escenarios de cambio climático en la Península de Yucatán. *Revista Problemas del Desarrollo*.
- Organización Mundial de la Salud, Organización Panamericana de la Salud, y la División de Salud y Ambiente. (octubre de 1999). Documento de posición OPS sobre políticas de salud en la vivienda. Washington, DC y La Habana, Cuba.
- Peck, S. W. (Marzo de 1999). Greenbacks from green roofs: Forging a new industry in Canada. *Status report on benefits, barriers and opportunities for green roof and vertical garden technology diffusion*. Canada.
- Pérez, A. V. (Junio de 1992). Tesis Doctoral: Urbanismo y Arquitectura Mesoamericana. Mexico.
- Pérez, J. (3 de Febrero de 2011). Quieren azoteas ecológicas en escuelas. *Novedades Q. Roo*.  
*profesorenlinea*. (s.f.). Obtenido de <http://www.profesorenlinea.cl/mediosocial/Vivienda1.htm>
- Ramos, G. L. (14 de Septiembre de 2010). Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/38423531/Techos-Verdes-SR>

- Rugarcía Caballer, C. A., y Valenzuela Castillo, J. F. (2010). Comparativa técnica y comercial para la construcción de viviendas de interés medio en la ciudad de Puebla. Puebla, México.
- Saravanan, V. (Agosto de 2011). A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of MSc Quantity Surveying. *Cost effective and sustainable practices for piling construction in the UAE*. Reino Unido.
- Secretaria de medio ambiente. (24 de Diciembre de 2008). NADF-013-RNAT-2007. Distrito Federal. Obtenido de [http://www.sma.df.gob.mx/conadf/grupos/naturacion/modificaciones/nat\\_diciembre\\_24\\_08.pdf](http://www.sma.df.gob.mx/conadf/grupos/naturacion/modificaciones/nat_diciembre_24_08.pdf)
- Secretaria Distrital de Ambiente. (Noviembre de 2011). Guia de techos verdes en Bogotá. Bogotá, Colombia.
- Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental . (2008). Edificacion sustentable para America del Norte. *Soluciones Arquitectónicas sustentables*. (s.f.). Recuperado el 09 de 2013, de <http://www.sol-arq.com/index.php/modelos-confort/modelos-simples>
- Steven Peck, Monica Kuhn, B.E.S., B. Arch, O.A.A. (Noviembre de 1999). *Canada Mortgage and housing corporation*. Obtenido de <http://www.cmhc-schl.gc.ca/en/inpr/bude/himu/coedar/upload/Design-Guidelines-for-Green-Roofs.pdf>
- Steven W. Peck, C. C. (Marzo de 1999). GREENBACKS FROM GREEN ROOFS: FORGING A NEW INDUSTRY IN CANADA. Canada.
- Suri, S. (12 de Agosto de 2011). AMBIENTE: La Tierra entra en calor más rápido de lo esperado. *Agencia de noticias: Inter Press Service*.
- Tojo, J. F. (1998). La ciudad y el medio natural. Madrid, España: akal.
- Tumini, I. (2010). Estrategias para reduccion del efecto isla de calor en los espacios urbanos. España, Madrid. *tutiempo.net*. (2010-2011). Obtenido de [http://www.tutiempo.net/tiempo/Chetumal\\_Q\\_Roo/MMCM.htm](http://www.tutiempo.net/tiempo/Chetumal_Q_Roo/MMCM.htm)
- Urbina Soria, J., y Martínez Fernández, J. (2005). *Más allá del cambio climático*. Septiembre.

- Velasco, L. F. (Diciembre de 2005). Tesis para obtener el grado de Maestro en Arquitectura. *Desempeño costo-beneficio de dos sistemas pasivos de climatización en cubiertas para climas cálidos-subhúmedo*. Coquimatlán, Colima, México.
- Vélez, E. C. (2010). Un acercamiento a las cubiertas verdes.
- Yarke, E. (noviembre de 2005). Ventilación natural de edificios. Buenos Aires, Argentina: nobuko.
- Yovane, K. S. (2003). Tesis Doctoral: Reacondicionamiento bioclimático de viviendas de segunda residencia en clima mediterráneo. Barcelona, España.