



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Secretaría de Educación Pública

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Veracruz

**EVALUACIÓN DE POTENCIAL DE AHORRO
ENERGÉTICO DE TECHOS VERDES APLICADOS
EN LA ZONA CONURBADA
VERACRUZ – BOCA DEL RÍO**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO EN:

**MAESTRÍA EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y
ENERGÍAS RENOVABLES**

PRESENTA:

ING. BLANCA IRIS ZÁRATE SANTIAGO

DIRECTOR DE TESIS:

DR. IVÁN VALENCIA SALAZAR

CODIRECTOR:

DRA. GENOVEVA DOMÍNGUEZ SÁNCHEZ

H. VERACRUZ, VER.

NOVIEMBRE 2020

Instituto Tecnológico de Veracruz
Subdirección Académica
División de Estudios de Posgrado e Investigación

H. Veracruz, Veracruz, **16/febrero/2021**

OFICIO: ITV/DEPI/No 040/2021

Asunto: Autorización de Impresión de Tesis

C. BLANCA IRIS ZARATE SANTIAGO

Por este conducto se le comunica que su tesis de Maestría en Eficiencia Energética y Energías Renovables titulada:

"EVALUACION DE POTENCIAL DE AHORRO ENERGÉTICO DE TECHOS VERDES APLICADOS EN LA ZONA CONURBADA VERACRUZ-BOCA DEL RÍO"

Fue aprobada en su totalidad en cuanto a formato y calidad del contenido a satisfacción del H. Jurado del examen, por lo que está Usted autorizado a editar la presentación definitiva del trabajo.

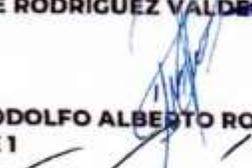
ATENTAMENTE

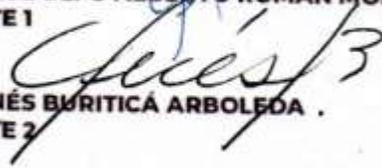
Excellencia en Educación Tecnológica
Activa y con Luz de Futuro Permanentes


OLAYA PIRENE CASTELLANOS ONORIO
JEFE DE LA DIV. EST. POSG. E INVEST


M.C. GENOVEVA DOMÍNGUEZ SÁNCHEZ
PRESIDENTE


M.C. JORGE ARTURO MENDOZA SOSA
SECRETARIO


DR. FELIPE RODRÍGUEZ VALDÉS
VOCAL


M. G. C. RODOLFO ALBERTO ROMÁN MONTANO
SUPLENTE 1

CLARA INÉS BURITICÁ ARBOLEDA
SUPLENTE 2



El presente trabajo de tesis titulado "EVALUACIÓN DE POTENCIAL DE AHORRO ENERGÉTICO DE TECHOS VERDES APLICADOS EN LA ZONA CONURBADA VERACRUZ – BOCA DEL RÍO" presentado por la C. BLANCA IRIS ZARATE SANTIAGO, ha sido aprobado por su comité tutorial como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES

DIRECTOR

IIE. IVAN VALENZUELA SALAZAR

CO-DIRECTOR

MC. GENOVEVA DOMINGUEZ SANCHEZ

REVISOR

MC. JORGE ARTURO MENDOZA SOSA

REVISOR

MGC. RODOLFO ALBERTO ROMÁN MONTANO

REVISOR

DRA. CLARA INÉS BURITICA ARBOLEDA



Calz. Miguel Ángel de Quevedo 2779, Col. Formando Hogar
C.P. 91897, Veracruz, Ver.

Tel. (229) 934 1500

tecnm.mx | veracruz.tecnm.mx



RESUMEN

Este trabajo realiza el análisis energético, económico y ambiental de dos modelos constructivos de techo: convencional y verde, para la zona conurbada Veracruz – Boca del Río. Para obtener datos de temperatura y humedad relativa se construyen prototipos de ambos modelos dentro de las instalaciones del Tecnológico Nacional de México, Campus Veracruz. Los datos obtenidos se integran en el programa de simulación de sistemas transitorios TRNSYS 16, bajo condiciones de uso de equipos de acondicionamiento térmico en ambos modelos constructivos. Con los resultados de este modelado, se determinan los consumos y ahorros energéticos en viviendas de tipo medio y residencial; posteriormente se comparan costos y ahorros económicos y ambientales; comprobando que la implementación de los techos verdes impacta significativamente en el ahorro de energía, en el ahorro económico de usuarios e indirectamente en los costos de producción energética y, por lo tanto disminuyen las emisiones contaminantes.

El primer capítulo presenta una introducción al tema; aquí se establecen el planteamiento y formulación del problema, objetivos, justificación, alcances y limitaciones de la investigación. En el segundo capítulo se aborda la revisión de antecedentes, su evolución histórica, y conceptos teóricos fundamentales. El capítulo tres se dedica a la descripción de la metodología empleada; se incluye la descripción de variables y el diseño técnico. En el capítulo cuatro se muestran el análisis y los resultados obtenidos, desde la caracterización de viviendas, diseño de prototipos y modelado en TRNSYS 16 hasta la obtención de resultados. Posteriormente, se establecen las conclusiones y, finalmente, se incluyen anexos relativos a la sectorización y tipos de vivienda considerados en el presente trabajo.

ABSTRACT

This work performs the energy, economic and environmental analysis of two roof construction models: conventional and green, for the Veracruz - Boca del Río metropolitan area. To get temperature and relative humidity data, prototypes of both models were built within the facilities of the National Technological Institute of Mexico, Campus Veracruz. The data obtained are integrated into the transient systems simulation program, TRNSYS 16, under conditions of use of thermal conditioning equipment in both constructive models. With the results of this modelling, energy consumption and savings in medium and residential type housings are determined; then, economic and environmental costs and savings are compared; proving that the implementation of green roofs significantly impact energy savings, economic savings for users and indirectly on energy production costs and, therefore, reduces polluting emissions.

The first chapter presents the introduction to the subject; here are established the statement and formulation of the problem, objectives, justification, scope and limitations of the research. The second chapter tackles the background review, its historical evolution, and fundamental theoretical concepts. The third chapter is dedicated to the description of the methodology used; the description of variables and the technical design are included. Chapter fourth shows the analysis and results obtained, from the characterization of houses, prototype design and modeling in TRNSYS 16 to obtaining results. Later, the conclusions are established and, finally, annexes related to the sectorial boundaries division and types of housing considered in this work are included.

AGRADECIMIENTOS

Al Tecnológico Nacional de México por permitirme crecer profesionalmente a través de esta maestría.

Al Dr. Iván Valencia Salazar por su paciencia, asesoría y por impulsarme a tomar nuevos retos.

A mis revisores: Dra. Genoveva Domínguez Sánchez, M.G.C. Rodolfo Alberto Román Montano y el M.C Jorge Arturo Mendoza Sosa por sus valiosas aportaciones y sugerencias.

Al cuerpo académico de maestría por motivarme a ser mejor.

A mis compañeros de generación por animarme y apoyarme durante todas las actividades de mi proyecto y momentos difíciles.

A mis hermanas, por todo su apoyo y cariño

A mi esposo por todo su amor y comprensión.

DEDICATORIAS

A mis padres, con todo mi corazón por todo y por siempre.

A Raúl, mi compañero de vida,

A Sonia, Cruz y Leonel con cariño.

A mis queridos sobrinos Carlos, Omar y Oscar.

A mi yo del futuro...por si me olvido de algo

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIAS	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
CAPÍTULO 1 : INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del Problema	1
1.2. Formulación del Problema.	2
1.3. Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.1 Objetivos Específicos	2
1.5. Justificación de la Investigación.	3
1.6.1. Alcances	4
1.6.2. Limitaciones	4
CAPÍTULO 2 : FUNDAMENTO TEÓRICO	5
2.1 Revisión de Antecedentes	5
2.2.1 Evolución Histórica de los Techos Verdes	8
2.2.2. Techos Verdes.	10
2.2.3. Edificios y envolvente.	17
2.3.4 Confort térmico.	20
CAPÍTULO 3 : METODOLOGÍA	25
3.1. Tipo de Investigación	25
3.1.1. Nivel de Investigación:	25
3.1.2. Diseño de Investigación:	26
3.2. Hipótesis y Especificación de Variables	27
3.3. Operacionalización de Variables	27

3.4. Diseño Técnico	28
CAPÍTULO 4 : ANÁLISIS Y RESULTADOS	31
4.1 Caracterización	31
4.1.1. Conurbación Veracruz- Boca del Río.	31
4.1.2. Tipos de Vivienda.	33
4.2 Prototipos	40
4.2.1 Diseño de los prototipos de los techos verdes	41
4.2.2 Tipos de techos verdes.	42
4.2.3. Medidor de temperatura y humedad	44
4.3 Simulación	45
4.3.1 Modelo de simulación	46
CONCLUSIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	68
ANEXO A	73
ANEXO B	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Componentes de una cubierta naturada o techo verde.....	16
Figura 2.2 Componentes de un edificio	17
Figura 3.1 Diagrama de la metodología para la evaluación de techos verdes.....	30
Figura 4.1 Ubicación de la Zona Conurbada, proyectada gráficamente fuera del Estado Fuente: INEGI.....	32
Figura 4.2 Fotografía de prototipo construido dentro del TECNM- Campus Veracruz.....	40
Figura 4.3 Fases de construcción de prototipos.....	41
Figura 4.4 Pasto de San Agustín (<i>Stenotaphrum Secundatum</i>).....	43
Figura 4.5 Diagrama esquemático de medidor de humedad y temperatura	44
Figura 4.6 Temperaturas en prototipo de techo verde	45
Figura 4.7 Comparativo anual de temperaturas exteriores en una vivienda con techo y sin techo verde.....	47
Figura 4.8 Comparativo de temperaturas al exterior de una vivienda y su diferencial de temperatura (junio)	48
Figura 4.9 Comparativo anual de temperaturas interiores en una vivienda con techo y sin techo verde.....	49
Figura 4.10 Comparativo de temperaturas interiores con techo y sin techo verde sin EEA (junio)	50
Figura 4.11 Diferencial de temperaturas interiores, sin EAA (junio).....	50
Figura 4.12 Evolución anual de temperaturas exteriores con techo verde y sin techo verde con EAA	51
Figura 4.13 Comparativo de temperaturas exteriores con techo verde y sin techo verde con uso de EAA (junio).....	52
Figura 4.14 Evolución anual de las temperaturas interiores de una vivienda con EAA (junio)	53
Figura 4.15 Comparativo de temperaturas interiores con techo y sin techo verde con uso de EAA (junio).....	54

Figura 4.16 Diferencial térmico interior de vivienda media con EAA, con techo y sin techo verde (junio)55

Figura 4.17 Demanda energética por enfriamiento para zonas con EAA en vivienda media y residencial con techos y sin techos verdes (junio)56

Figura 4.18 Comparativo de demanda energética global por enfriamiento y diferenciales energéticos en vivienda media y residencial (junio).....57

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1</i> Parámetros por tipo de naturación.....	11
<i>Tabla 2.2</i> Condiciones para el confort térmico	21
<i>Tabla 2.3</i> Valores recomendados para locales con ventilación artificial	23
<i>Tabla 3.1</i> Operacionalización de Variables Independientes y Dependientes.....	28
<i>Tabla 4.1</i> Zonificación de la Estructura Urbana Veracruz-Boca del Río	33
<i>Tabla 4.2</i> Clasificación de la Vivienda por Precio Promedio	34
<i>Tabla 4.3</i> Distribución espacial de la vivienda por nivel socioeconómico en la Zona conurbada.....	37
<i>Tabla 4.4</i> Número de Viviendas y Equipamiento a nivel Nacional	38
<i>Tabla 4.5</i> Demanda de energía y ahorro energético por enfriamiento para cada modelo energético	59
<i>Tabla 4.6</i> Demanda de energía por enfriamiento para la zona conurbada Veracruz – Boca del Río.....	60
<i>Tabla 4.7</i> Ahorro energético por enfriamiento para la zona conurbada Veracruz-Boca del Río	61
<i>Tabla 4.8</i> Comparativo de Emisiones de CO ₂ (2019) para las viviendas con EAA de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río	62
<i>Tabla 4.9</i> Ahorros de Emisiones de CO ₂ (2019) para la zona conurbada Veracruz-Boca del Río.....	63
<i>Tabla 4.10</i> Comparativo de costos por demanda energética para la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río.....	64
<i>Tabla 4.11</i> Comparativo del ahorro por demanda energética para la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río.....	65

CAPÍTULO 1 : INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se enmarca la definición del problema, los motivos y la necesidad de evaluar los beneficios de un techo verde en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río. Se inicia con el planteamiento y la formulación del problema, para continuar con los objetivos generales y específicos, justificación de la investigación y por último los alcances y limitaciones de la investigación realizada.

1.1 Planteamiento del Problema

A nivel mundial, los efectos del cambio climático se encuentran vinculados con el crecimiento demográfico, en particular con la edificación de la vivienda y la demanda energética de sus habitantes. Un análisis realizado por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE, 2016) demuestra que la probabilidad de que una vivienda cuente con Equipos de Aire Acondicionado (EAA) es mayor en clima cálido, aumenta en verano, y depende en gran medida de los ingresos en los hogares, así como de la tarifa eléctrica. Hasta el 2015, el estimado de EAA por hogar a nivel nacional era de 1.55 Equipos (INEGI, 2015).

En el Estado de Veracruz predominan los climas cálidos a lo largo de todo el año. La zona conurbada Veracruz-Boca del Río es de las de mayor densidad demográfica, con 752,171 habitantes, distribuidos en 227,117 viviendas (INEGI, 2015); matemáticamente, el cálculo de EAA, es de 128,264; cifra que va en aumento y representa un alto costo económico y energético (con su respectiva contribución a las emisiones GEI) para las familias de la zona conurbada

Veracruz-Boca del Río, y para la economía de todo el país; ya que durante la época más cálida es cuando se otorgan subsidios por parte de CFE.

Uno de los aspectos que impactan en el elevado consumo por uso de EAA son las características constructivas de las viviendas, principalmente en lo que se refiere al techo de las mismas.

1.2. Formulación del Problema.

¿La instalación de techos verdes en las viviendas de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río reduce el consumo energético, impactando económica y ambientalmente a sus habitantes?

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar los beneficios de un techo verde en las viviendas de la zona conurbada Veracruz - Boca del Río desde el punto de vista energético, económico y ambiental.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Caracterizar las viviendas de la zona conurbada Veracruz- Boca del Río
- Diseñar un techo verde adecuado
- Evaluar los beneficios energéticos, económicos y ambientales.

1.5. Justificación de la Investigación.

Esta investigación es conveniente debido a que se analizan los beneficios que aporta un techo verde desde el punto de vista energético, económico y ambiental a los habitantes de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río para ayudar a resolver la problemática de la isla de calor, emisiones de CO₂ y altos consumos energéticos vinculados al confort térmico y uso de equipos de aire acondicionado.

La emisión de GEI está vinculada al calentamiento global. En zonas de alta densidad poblacional y constructiva como la zona conurbada Veracruz-Boca del Río, los efectos de la “isla de calor” y la actividad antropogénica generan altos consumos energéticos que se elevan en verano con el uso de EAA. Sumado a lo anterior, las condiciones climáticas son cada vez más extremas y condicionan de manera importante la economía de los habitantes de la zona por facturación eléctrica, así como los riesgos a la salud.

Optimizar el confort térmico y disminuir el consumo de energía eléctrica beneficia económicamente a los ciudadanos. A nivel nacional, reducciones en el consumo eléctrico de usuarios, representan menores aportaciones gubernamentales a la facturación eléctrica residencial; así también, menores emisiones de CO₂, y la correspondiente contribución a la conservación del planeta. Estos son motivos suficientes para la realización del presente proyecto, que puede servir de base para futuras investigaciones y desarrollo de proyectos académicos o particulares.

1.6. Alcances y Limitaciones de la Investigación.

1.6.1. Alcances

El tiempo comprometido para llevar a término el presente proyecto es de dos años, de agosto 2018 a agosto 2020; tiempo suficiente para experimentar con techos verdes a escala (prototipos) con vegetación y sustratos dentro del Tecnológico Nacional de México, campus Veracruz (TECNM- Campus Veracruz); en ellos se pueden observar las variaciones de parámetros que influyen en la ganancia térmica,

1.6.2. Limitaciones

Parámetros como el clima y la irradiación solar no son susceptibles de ser controlados, por lo que se obtienen a través de fuentes especializadas. El financiamiento del proyecto se realiza con recursos propios, por lo que se limita a la construcción de cuatro techos verdes a escala, empleando para el análisis energético simulación mediante software. Las mediciones de muestreo de las variables de temperatura y humedad son tomadas con equipo diseñado y construido para este proyecto.

CAPÍTULO 2 : FUNDAMENTO TEÓRICO

En esta sección se aborda la revisión de antecedentes y el marco teórico, integrado por la evolución histórica de los techos verdes, su definición y beneficios; así como su clasificación; consideraciones constructivas y normatividad. También se definen algunos conceptos relacionados energéticamente con los techos verdes, tales como la envolvente de un edificio y el confort térmico.

2.1 Revisión de Antecedentes

Se ha investigado en diversos artículos internacionales sobre las alternativas de solución para disminuir la ganancia térmica de los edificios debidas al incremento de temperatura por calentamiento global y el efecto de isla de calor, así como su influencia en los consumos energéticos; también se ha analizado información de documentos y estadísticas oficiales del gobierno Mexicano para conocer la situación actual del Estado y de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río por los efectos del cambio climático y el grado de desarrollo que ha tenido la tecnología de las azoteas verdes en nuestro país.

El artículo “A History and Definition of Green Roof Technology with Recommendations for Future Research” realizado por Magill, Midden, Groninger y Ferrell, describe el uso de azoteas verdes a través de la historia de la humanidad como forma para regular la temperatura de los ambientes y los beneficios económicos si se aprovechan para la agricultura local.

Nastaran Shishegar (“Green roofs: enhancing energy and environmental performance of buildings”) propone las ventajas que se obtienen del uso de los techos verdes y la contribución de estos a la resolución de varios problemas ambientales a nivel de edificios y urbano.

Tarrida Llopis en “Aprender sobre las cubiertas verdes urbanas a través del caso Augustenborg” ejemplifica con el caso de la ciudad de Augustenborg, Suecia un modelo de sustentabilidad urbana con azoteas verdes como técnica de regeneración ecológica y ambiental.

Castleton, et al hacen una revisión general de los beneficios potenciales de energía en “Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit”, indicando que los techos verdes pueden reducir significativamente el uso de energía en edificios con bajos valores de aislamiento, tanto en verano como en frío invernal y la posibilidad de evaluarlos a través de programas de simulación y modelado.

Hien et al en 2002 publican “Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment” resultado de las mediciones de campo realizadas en Singapur tras investigar los impactos térmicos azoteas verdes de tipo intensivo. A partir de los datos obtenidos, se confirma que las azoteas verdes benefician térmicamente tanto a los edificios como a los entornos que los rodean, y podrían mitigar de manera efectiva el efecto de isla de calor urbano. Las mediciones consistieron en la lectura de humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar y temperatura de superficies interiores y exteriores a diferentes alturas; así como de las mediciones de temperatura bajo la zona de sombra para diferentes variedades de plantas, concluyendo que la disminución de las temperaturas de la superficie fue causada principalmente por la protección térmica de las plantas, por lo que es deseable tener vegetación con alta densidad y elevado índice de área foliar (LAI), considerando siempre la parte estructural del edificio.

En el artículo “Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate” desarrollado por Hien et al, en 2005, se dan los resultados de las variaciones de temperatura obtenidas en edificios de Singapur, tras explorar los impactos térmicos directos e indirectos en cuatro zonas de techo verde en clima tropical; experimentando con cuatro sistemas de vegetación en la azotea; toman mediciones antes y después de la instalación de los mismos y observan que la transferencia de calor a través del techo desnudo fue mucho mayor (78%) que a través del techo verde, con diferencias de temperatura debido a las variaciones en la densidad de follajes de las plantas, tipos de sustratos y clima.

“Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments” por M. Santamouris (2012) da un amplio panorama del estado del arte de los techos verdes que se han realizado para luchar contra el efecto de isla de calor urbano.

La tesis de Damián Elizarraras Ambrocio (2011) “Azoteas Verdes Horizontales: Termohigrometría en edificaciones de Bioclimas semifríos” hace un análisis comparativo entre las medidas de temperatura y humedad relativa entre dos auditorios dentro de la Universidad Autónoma de Chapingo, cuya diferencia se basa en la instalación de una azotea verde en una de ellas.

Elba Teresa Haro Carbajal en su Tesis sobre el “Comportamiento de dos tipos de Cubiertas Vegetales como Dispositivo de Climatización, para Climas Cálido Sub-húmedos”, hace la comparación del comportamiento térmico al interior mediante la implementación de dos azoteas verdes que emplean diferente vegetación (gaudenia y hierba de la raya).

2.2. Marco Teórico

En este apartado se presenta la evolución histórica de los techos verdes y se definen y describen conceptos como techos verdes, envolvente y balances energéticos de un edificio, confort térmico y la normatividad relacionada con dichos conceptos.

2.2.1 Evolución Histórica de los Techos Verdes

La historia del uso de las plantas como cubierta o techo se remonta a miles de años en la historia de la humanidad. Vestigios arqueológicos del paleolítico y neolítico encontradas en cuevas, plantean la posibilidad de que dentro de la evolución humana, el hombre de Neandertal y el hombre de Cromagnon, además de vivir en cavernas, también utilizaban refugios temporales desmontables armados con ramas y pieles de animales e incluso fosas que luego protegían con ramas y hojas. Estas últimas, precursoras de las primeras construcciones completamente realizadas por el hombre; las viviendas excavadas debieron estar cubiertas con techo vegetal, dando lugar a lo que se conoce como “arquitectura subterránea”. Este tipo de hábitat se ha encontrado en China, Francia, España, Portugal, Túnez y Turquía. (Simancas, 2003).

Posteriormente la vivienda “enterrada” evoluciona a “semienterrada”. Se han encontrado en Württemberg (Alemania) 38 casas de forma elípticas ligeramente hundidas con entramado de madera que se cree tenían cubierta vegetal. En Gales, Irlanda, Corea, se han encontrado “túmulos” (montón de piedra y tierra levantado sobre una o varias tumbas), cuyas fechas datan del 3300 A.C al 935 D.C. En la arquitectura Italiana era habitual construir mausoleos cilíndricos y plantar jardines con árboles y esculturas como remate de cubierta tales como los Mausoleos de Augusto y Adriano. (Chiarella, 2013)

Los Jardines Colgantes de Babilonia quizá sean de las construcciones con vegetación más conocidas a lo largo de la historia; construidas por Nabucodonosor para consolar a su esposa Amytis, quien extrañaba los paisajes de su tierra; sin embargo, el jardín de techo más antiguo registrado parece ser de los zigurats de la antigua Mesopotamia (600 A.C). Los zigurats eran grandes torres piramidales escalonadas de piedra, con plantaciones de árboles y arbustos en terrazas planas.

Alemania es conocida como el lugar con mayor capacidad de sistemas de techos verdes instalados actualmente. En la década de 1880, Alemania experimentó una rápida industrialización y urbanización. Se utilizó alquitrán altamente inflamable para cubrir viviendas de bajo costo. El riesgo por incendio se hizo menor mediante el uso de sustrato de arena y grava. Con el tiempo, se produjo la colonización de semillas y se formaron prados. Cincuenta de estos techos permanecieron intactos e impermeables hasta el año de 1980. (Magill, Midden, Groninger, & Terrel, 2011)

Durante la gran Depresión y la segunda guerra mundial, la construcción de techos verdes disminuyeron; sin embargo Gran Bretaña capitalizó esta tecnología, al utilizar los techos verdes como camuflaje para cubrir sus hangares. (Magill et al., 2011)

A principios de la década de 1960, se investigaron y desarrollaron tecnologías de techos verdes en terrazas en muchos países, a saber, Suiza, Francia y Alemania. El desarrollo de los mercados de techos verdes en Alemania se ha expandido muy rápido desde la década de los 80's, con un crecimiento anual promedio de entre el 15 y el 20 por ciento. En 1989, se instalaron 1 millón de metros cuadrados de techos verdes en Alemania. Para 1996, este número había aumentado a 10 millones de metros cuadrados.

Después de Alemania, los países con tradiciones de techos verdes incluyen Suecia, Francia, Finlandia, Islandia, Dinamarca, Noruega, Groenlandia, Vinland y las Islas Feroe.

Por su parte, Estados Unidos construye en Nueva York el primer techo verde en el Rockefeller Center en 1931. Aunque el desarrollo e investigación de techos verdes en el Continente Americano se considera incipiente, en México se ha impulsado el desarrollo de azoteas verdes desde el 2007; ejemplo de ello son: el Hospital General Dr. Enrique Cabrera con 2490 m² (2012) y la construcción de 5,295 m² de techos verdes entre escuelas preparatorias en 2015.

2.2.2. Techos Verdes.

Los techos verdes pueden recibir diferentes nombres: Techos vivos, techos con vegetación, azoteas verdes, techo ajardinado, tejados verdes, tejados ecológicos, cubiertas naturadas, cubiertas vegetales; en cualquier caso, se refiere a la colocación parcial o total de algún tipo de vegetación sobre la superficie superior exterior que se encuentra encima de las paredes de una habitación o edificio. Un techo verde definido es; un tejado plano o inclinado que soporta vegetación (Dvorak, 2010), en un techo o cubierta diseñada para proporcionar ecologización urbana para edificios, personas o el medio ambiente (Dvorak, 2010).

Dentro de los beneficios que aportan los techos verdes se encuentran:

1. Reducción de la esorrentía por acción de la evapotranspiración de las plantas y la retención de líquido en el medio de cultivo, reduciendo el riesgo de inundaciones.
2. Mitigan el efecto de isla de calor urbana causado por el crecimiento de las ciudades y el aumento de materiales que absorben el calor como el asfalto y el concreto.

3. Proporcionan aislamiento térmico a la superficie que se encuentra debajo de ellos, es decir, la cubierta desnuda de la vivienda, retardando el envejecimiento de la misma.
4. Procura la diversidad biológica y mejora ecosistemas al crear hábitats de vida silvestre en las superficies de los edificios o viviendas.
5. Mejoran el aislamiento acústico y el paisaje urbano.
6. Disminuye las variaciones de humedad en el aire y las variaciones de temperatura del periodo matutino-nocturno.
7. Aumentan la humedad relativa y disminuyen la temperatura del ambiente circundante.
8. Producen Oxígeno y absorben Dióxido de Carbono.
9. Retardan la propagación del fuego en caso de incendio.
10. Disminuyen el estrés humano e influyen positivamente en el estado de ánimo de las personas al mejorar el confort térmico y dar mayor estética a la vista de la vivienda/edificio.

Existen tres tipos básicos de cubiertas verdes de acuerdo al tipo de vegetación que contienen: Extensiva, Semi-intensiva o Intensiva. Aunque existen algunas diferencias entre los diferentes autores en cuanto a la altura de la plantas y grueso del sustrato, esta clasificación se establece de acuerdo a las características indicadas en la Tabla 2.1 de acuerdo a la Norma Ambiental para el Distrito Federal (Ahora Ciudad de México) NADF-013-RNAT-2007

Tabla 2.1 *Parámetros por tipo de naturación*

Tipo de naturación	Extensivo	Semi-intensivo	Intensivo
Altura de crecimiento de plantas	5 - 50 cm	5 - 100 cm	5 - 400 cm
Diámetro de copa	No aplica	No aplica	300 cm máximo
Substrato	10 - 15 cm	15 - 30 cm	> 40 cm
Carga adicional	110 - 140 kg/m ²	250 kg/m ²	> 250 kg/m ²
Cobertura vegetal	Crasuláceas	Crasuláceas, pastos y arbustos	Crasuláceas, pastos, arbustos y árboles

Fuente: Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2002

De acuerdo a su accesibilidad, las cubiertas naturadas se clasifican en:

- **Inaccesibles.** Son aquellas en las que no se transita, pueden ser cubiertas planas o inclinada y solo sirven como atractivo de la edificación. Son de bajo mantenimiento
- **Accesibles.** Son de alto tráfico, generalmente se usan como zonas de esparcimiento en edificios de departamentos u oficinas, el peso de la vegetación debe considerarse en el diseño estructural de la construcción. Los costos de instalación y mantenimiento son elevados.

Un análisis realizado por Dvorak sobre las directrices para la construcción de techos verdes de la Sociedad Alemana de Investigación, Desarrollo y Construcción de Paisajes (FLL, por sus siglas en alemán) y las normas americanas, infiere la información previa que se necesita conocer y las consideraciones que se deben realizar sistemáticamente para poder construir una cubierta verde.

- a) *Diseño del Sistema.* Deben considerarse temas integrales e interdependientes, como la compatibilidad de materiales, la aplicación de materiales, el factor viento, resistencia al fuego, aplicación de telas de filtro (Dvorak, 2010), pendientes (Dvorak, 2010).
- b) *Estructurales.* Considera las cargas vivas y muertas de la construcción, cargas de viento y cargas de nieve y hielo; interdependencia y diferenciación de las capas de trabajo (Dvorak). Se debe considerar el peso de los materiales utilizados en techos verdes, como el material de drenaje, medios de crecimiento, capas de protección y diferentes formas de vegetación.
- c) *Impermeabilización/ Barrera de Raíz.* La protección de las cubiertas del techo contra la penetración de agua y la penetración de las raíces es otra consideración crítica para los

techos verdes (Dvorak, 2010). Son importantes los Estándares de membrana, sus aplicaciones y pruebas.

- d) *Drenaje*. Se deben considerar: selección de materiales y manejo de aguas superficiales y subterráneas. El drenaje de la superficie se refiere al agua que puede fluir a lo largo de la superficie de un techo verde si el sustrato se satura y la tasa de lluvia excede la capacidad de drenaje del sustrato. Consideraciones que deben detallarse son la construcción, métodos de prueba de permeabilidad de los materiales de drenado, entre otros. (Dvorak, 2010)
- e) *Medios de crecimiento*. Dado que el éxito o falla de un techo verde depende de las plantas, se deben hacer consideraciones como rendimiento de los medios de cultivo y su drenaje, humedad, nutrientes, contenido orgánico y estabilidad estructural a lo largo del tiempo; así también, se deben tener en cuenta información sobre la profundidad del medio de crecimiento y granulometría. (Dvorak, 2010), retención de agua, permeabilidad, escurrimiento, almacenamiento y necesidades de riego adicionales.
- f) *Vegetación*. Para la selección de la vegetación se deben considerar el tipo de cubierta que se desea (intensiva, semi-intensiva, o extensiva), factores ambientales, intención del diseño, estética, clima, microclima, características de la planta y cualidades de los medios. También se debe considerar la profundidad de los medios de crecimiento de acuerdo al tipo de vegetación. Para la instalación de la cubierta, se debe considerar el tipo de suelo, si la vegetación requiere de pre cultivo, plantación directa en el techo a través de tapones, esquejes y semillas; requisitos de agua y tasas de siembra. (Dvorak, 2010).

- g) *Mantenimiento*. Mantener un techo verde tiene tanto que ver con el monitoreo de las propiedades del sustrato como con la regulación de elementos superficiales. Se debe tener en cuenta las opciones para el riego y los requisitos para mantener el agua durante la sequía o el riego temporal. (Dvorak, 2010)

La Norma Ambiental para el Distrito Federal **NADF-013-RNAT-2007** indica que la información estructural previa que se debe tener para garantizar la correcta instalación de una cubierta verde es:

- Carga máxima admisible, dimensiones y altura de la superficie a naturalar y sus elementos portantes.
- Ubicación y estado de los elementos estructurales de la planta inferior inmediata a la cubierta (para el caso de cubiertas naturadas).

(Gaceta oficial del distrito federal, 2002, p.16)

También marca que se debe tener información arquitectónica y física del edificio o construcción donde para la instalación de la cubierta vegetal:

- Altitud y altura de la edificación.
- Dimensiones de la superficie a naturalar.
- Pendiente de la superficie a naturalar.
- Ubicación de los accesos a la superficie que se va a naturalar.
- Ubicación y estado de las instalaciones que discurren por la superficie a naturalar.
- Ubicación y estado de las juntas estructurales (para el caso de cubiertas naturadas).
- Ubicación y estado de las tomas de agua de riego más cercanas a la superficie a naturalar.

- Ubicación y estado de los elementos singulares (tales como tubos, ductos, muertes, etc.) y demás elementos constructivos de la superficie a naturar.
- Ubicación y estado de los puntos de desagüe, sumideros y/o bajadas de agua.
- Porción o porciones de la superficie a naturar protegida(s) del agua de lluvia por elementos constructivos.
- 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.

Orientación de la superficie a naturar en relación al asoleamiento y vientos dominantes.

(Gaceta oficial del distrito federal, 2002, p.16)

La Norma **NADF-013-RNAT-2007**, señala que también se deben conocer:

- Vegetación adaptada a las condiciones físicas y climáticas de la zona.
- Vegetación endémica de la zona.

(Gaceta oficial del distrito federal, 2002, p.16)

La cubierta verde, como se muestra en la Figura 2.1, puede estar compuesta por las siguientes capas: vegetación, sustrato o medio de cultivo, capa o membrana filtrante, capa drenante, capa impermeabilizante anti-raíz, membrana de protección (geo textil), aislamiento térmico y soporte estructural. No todas las capas son necesarias, se agregan de acuerdo a capacidad de estructura.

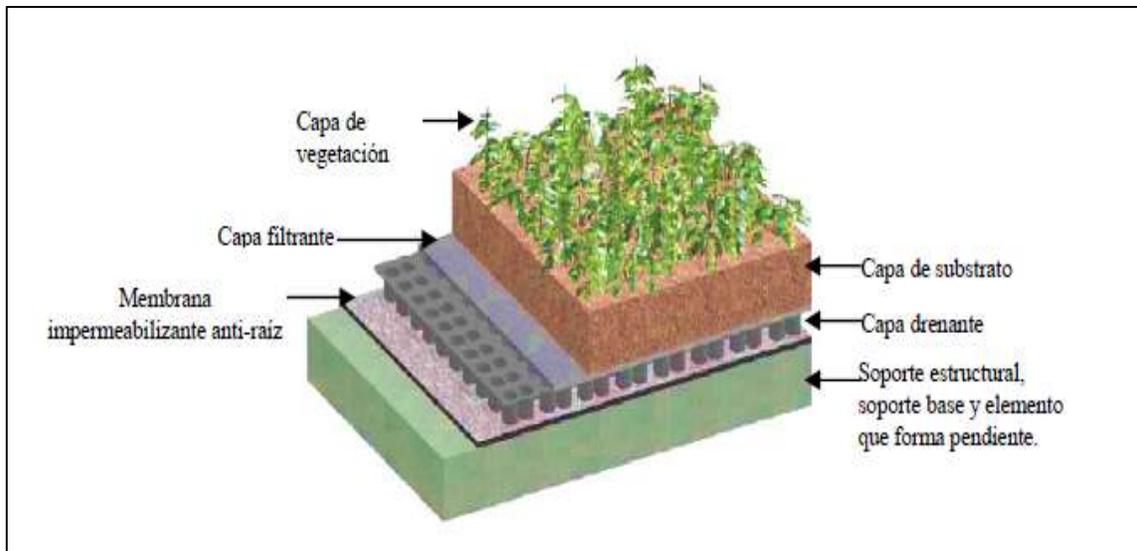


Figura 2.1 Componentes de una cubierta naturalada o techo verde
 FUENTE: Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2002

A continuación se definen cada una de estas capas:

- *Capa de Vegetación.* Son la vegetación o plantas que cubre el sustrato y es la característica principal de las cubiertas verde.
- *Capa de Sustrato.* Es el medio de cultivo y crecimiento de la vegetación. Debe permitir el desarrollo de las raíces, debe ser estable y ser capaz de retener agua. El espesor de esta capa depende de la vegetación que se utilice para la azotea verde.
- *Capa de Filtración:* Permite el paso del agua que llega a esta capa, y retiene el sustrato. Esta capa es fundamental e imprescindible en las cubiertas vegetales.
- *Capa drenante:* El agua filtrada del sustrato llega a esta capa, y es conducida para su evacuación a distintos puntos dispuestos para ello. Esta capa es fundamental y característica en las cubiertas ajardinadas.
- *Membrana Impermeabilizante anti-raíz.* Membrana que suele estar formada por materiales de caucho sintético o polietileno de baja densidad. Impide que el agua filtre

hacia el interior de la construcción, al tiempo que protege a la estructura de la vivienda o edificio de la penetración de raíces.

- *SopORTE estructural.* Sirve para mantener el sustrato y la vegetación en su sitio. Da solidez a la estructura de la construcción.

2.2.3. Edificios y envolvente.

Durante el ciclo de vida de un edificio, los componentes que lo integran tienen un impacto en materia energética, humana, biodiversidad, uso de agua y liberación de químicos peligrosos. La Figura 2.2 muestra los componentes de una edificación, estos son: 1) cimientos, 2) la superestructura, 3) la envolvente exterior, 4) las divisiones interiores, 5) los sistemas mecánicos y 6) los muebles. (Mihelcic, 2011)

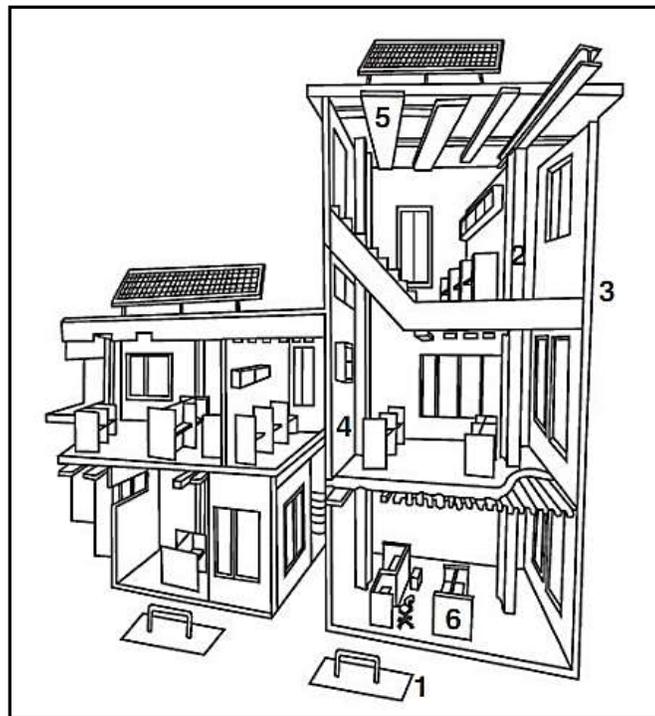


Figura 2.2 Componentes de un edificio
FUENTE: Ingeniería Ambiental, Mihelcic, 2011

De acuerdo con la NOM-020-2011, “La *envolvente de un edificio* para uso habitacional se refiere al techo, paredes, vanos, puertas, piso y superficies inferiores, que conforman el espacio interior de un edificio para uso habitacional”. (p.4). La envolvente de un edificio tiene gran influencia en la cantidad de energía necesaria para mantener el confort térmico al interior del edificio o vivienda. Mejorando las características térmicas de los componentes del edificio, se puede reducir la cantidad de calor que entra al edificio, y por ende, el consumo energético para el refrescamiento de las habitaciones y el confort térmico.

El *Balance de Calor de un Edificio* se puede describir como:

$$\frac{\Delta Q}{dt} = Q_d - Q_s$$

Donde $\frac{\Delta Q}{dt}$ representa la velocidad de cambio de la energía calorífica del edificio, esto es, el cambio en la energía interna más la energía externa por unidad de tiempo. En algunas ocasiones, este valor conceptualiza como cero, para edificaciones que mantienen una temperatura constante, sin variaciones en el cambio de energía. Q_d , representa el calor dentro del edificio y Q_s las pérdidas de calor del edificio; vinculada a las pérdidas a través de la envolvente del edificio y las infiltraciones provenientes del exterior que ingresan a través de cualquier orificio o grieta.

La *pérdida de calor a través del revestimiento* de la construcción (Q_{sr}) (en Joules/°C-día) se determina por:

$$Q_{sr} = \frac{1}{R} \times A \times t$$

El valor R es una medida de *resistencia al flujo del calor*. El R inverso (1/R) se define como la cantidad de calor (en kcal) conducido en una hora a través de 1 m² de sección de material, cuando la diferencia de temperatura entre el aire interior y el exterior es de 1 °C.

La Norma Mexicana **NMX-C-460-ONNCCE-2009** establece las especificaciones de resistencia térmica total (Valor “R”) que aplican a las envolventes de las viviendas para mejorar las condiciones de habitabilidad y para disminuir la demanda de energía utilizada para acondicionar térmicamente su interior, de acuerdo a la zona térmica del estado en que se ubique.

La Norma Oficial Mexicana **NOM-018-ENER-2011**, establece las características y métodos de prueba que deben cumplir los productos, componentes y elementos termoaislantes, para techos, plafones y muros de las edificaciones.

La pérdida de calor asociada con la infiltración es la cantidad de energía requerida para calentar el aire perdido de la habitación cada día a través de grietas y orificios en la cobertura de la construcción. Para un volumen particular de habitación o edificio, esto puede determinarse como:

$$Q_{Si} = V \times T_i \times Q_A$$

Q_{Si} es la pérdida de calor por infiltración, V es el volumen de la habitación, T_i es la tasa de infiltración de aire; esto es, la cantidad del volumen de aire que ingresa a la habitación por hora y Q_A es el calor requerido para elevar la temperatura del aire 1 °C.

Para determinar la carga total de calor del edificio se suman la pérdida de calor a través del revestimiento del edificio y la pérdida de calor por infiltración. La *demanda total de energía* (D) para complementar la pérdida de calor se obtiene mediante:

$$D = Q_T \times G_d$$

Representando Q_T la pérdida de calor total y G_d los grados-días para calentamiento para un período; esto es un índice que refleja la demanda de energía necesaria para el calentamiento de una construcción.

Para compensar la pérdida de calor, el calor demandado, se obtiene del calor proveniente del sol. A esta entrada de calor se le denomina *Ganancia Solar pasiva*. Las paredes térmicas toman ventaja de la energía solar pasiva y la conducción térmica para transferir calor de áreas más calientes a más frías. En lugares con clima cálido esto es indeseable.

2.3.4 Confort térmico.

La *confortabilidad* puede ser definida como el conjunto de condiciones en las que los mecanismos de autorregulación son mínimos o como la zona delimitada por umbrales térmicos en la que el mayor número de personas manifiesten sentirse bien. (Fernández, 1994)

Diversas metodologías desarrolladas, evalúan las condiciones del confort térmico considerando temperatura y humedad relativa al interior de la construcción como los principales factores que influyen en el confort térmico.

Según la norma ISO 7730 el *confort térmico* “es una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”. Para conseguir una sensación de bienestar hay que tener en cuenta la humedad del aire, su temperatura, velocidad, la actividad, vestimenta etc. Las condiciones de confort dependen también de las condiciones reinantes en el exterior.

La Tabla 2.2 muestra las condiciones para el confort térmico que se deben reunir de acuerdo con la UNE-EN ISO 7730, para satisfacer térmicamente al menos al 80 % de los ocupantes de un espacio.

Tabla 2.2 *Condiciones para el confort térmico*

CONDICIONES	INVERNALES	VERANIEGAS
Temperatura Operativa	20 – 24 ° C	23 – 26 ° C
Velocidad del aire	< 0.15 m/s	< 0.25 m/s
Humedad Relativa	50 %	50 %
Resistencia térmica del vestido	1 clo	0.5 clo

Fuente: Asociación Española de Normalización, 2006

Por lo general, una persona se siente más cómoda cuando el aire del interior de una edificación se mantiene dentro de ciertos rangos de humedad relativa y de temperatura. Sin embargo, por transferencia de masa y calor entre el interior del edificio y los alrededores, así como por efectos internos como cocinar, lavar ropa en la casa, etc, la temperatura y la humedad relativa alcanzan niveles indeseables; para lograr los niveles de confort deseables es necesario alterar el estado del aire. En climas cálidos esto se logra mediante el uso de equipos de aire acondicionado (EAA), que incrementan el consumo eléctrico de los usuarios; especialmente en la época de verano. En este sentido, los elementos constructivos de una vivienda, particularmente los que conforman la envolvente, juegan un papel importante en la regulación térmica por la forma en que los materiales empleados absorben, acumulan o transmiten energía. Los niveles de confort térmico, por tanto, permiten determinar la eficiencia de la envolvente de un edificio y del mismo modo, evaluar la eficiencia energética del edificio y su equipamiento interior.

“En México aproximadamente 65.3% del total del parque habitacional ha sido construido a través de procesos de autoproducción, tanto en zonas urbanas como en el área rural.” (Zatarain, 2018) Por lo que la mayoría de los diseños de las edificaciones son inadecuados para los climas cálidos.

Para mitigar la demanda al sistema eléctrico nacional por acondicionamiento térmico del sector residencial, y con la finalidad de regular las características de la envolvente en los edificios de todo el país, la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de Energía (CONUEE) ha emitido la Norma Oficial Mexicana (NOM´s) sobre este tema:

NOM-020-ENER-2011. Eficiencia energética en edificaciones, Envolvente de edificios para uso habitacional.

El objetivo de esta norma es reducir las ganancias de calor en edificios a través de la envolvente (muros, techos, superficies inferiores, ventanas y puertas) del edificio, y así, disminuir la cantidad de energía necesaria en los sistemas de enfriamiento.

La justificante de esta norma se basa en el ahorro energético mediante la disminución de la capacidad de los equipos de enfriamiento a través de la mejora en el diseño térmico de edificios residenciales, que repercute en la demanda del sistema eléctrico.

Acondicionar térmicamente una edificación, requiere aislamiento térmico para tener un buen rendimiento de los EAA. Tener un adecuado control de la renovación del aire mantiene la cantidad de oxígeno necesario para la respiración al interior de la vivienda; evita la concentración de olores y/o gases tóxicos que perjudiquen a los usuarios del inmueble y garantiza el correcto funcionamiento del equipamiento doméstico que emplea oxígeno durante su operación.

La **NOM-001-STPS-2008**, recomienda tomar en consideración los valores mostrados en la Tabla 2.3 para la humedad relativa, la temperatura y la velocidad del aire, en locales que usen ventilación artificial (Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo):

Tabla 2.3 Valores recomendados para locales con ventilación artificial

CONDICIONES	ÉPOCAS FRÍAS	ÉPOCAS CALUROSAS
Humedad Relativa	20 % a 60 %	
Temperatura del aire	22°C ± 2°C	24°C ± 1.5 °C
Velocidad media del aire	< 0.15 m/s	< 0.25 m/s
Renovación del aire	> 5 veces / hora	

Fuente: Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2008

Es importante recalcar, que a pesar de ser recomendaciones para locales de trabajo, también pueden ser aplicados al sector de la vivienda. Para el acondicionamiento en términos de confort se considera la calidad del aire interior y otros aspectos de salud y seguridad.

La Norma Mexicana **NMX-C-7730-ONNCCE-2018** presenta métodos para el pronóstico de la sensación térmica general y del grado de incomodidad (insatisfacción térmica) de las personas expuestas a ambientes térmicos moderados. Facilita la determinación analítica y la interpretación del confort térmico mediante el cálculo de los índices VME (Voto Medio Estimado) y PEI (Porcentaje Estimado de Insatisfechos) y de los criterios de confort térmico local, indicando las condiciones ambientales que se consideran aceptables para el confort térmico general, así como aquellas que dan lugar a incomodidad local, adopción idéntica (IDT) **ISO 7730:2005, Ergonomics of the thermal environment.**

El VME es un índice que refleja el valor medio de los votos emitidos por un grupo numeroso de personas respecto de una escala de sensación térmica de 7 niveles; (frío, fresco, ligeramente fresco, neutro, ligeramente caluroso, caluroso y muy caluroso) basado en el equilibrio térmico del cuerpo humano.

El PEI, predice cuantitativamente la cantidad de personas insatisfechas con las condiciones térmicas del espacio ocupado, y es calculado en base al VME.

Es importante mencionar que esta normativa no se aplica en inmuebles residenciales u hospitalarios sino en espacios de oficinas; sin embargo es un referente para los espacios residenciales.

CAPÍTULO 3 : METODOLOGÍA

En este capítulo se describe el tipo de investigación utilizada, se define el nivel de investigación con que se abordan los techos verdes y se expone el diseño de investigación; se enuncia la hipótesis y especifican las variables que intervienen y su operacionalización; así como la descripción del diseño técnico para los techos verdes. Al final del capítulo se muestra el diagrama de la metodología para la evaluación de techos verdes.

3.1. Tipo de Investigación

Esta investigación es de tipo cuantitativa, ya que estructura y recopila datos estadísticos, y se realizan mediciones para la obtención de valores de temperatura y humedad para un modelado con herramientas informáticas; además de hacer uso de hojas de cálculo matemático para obtener resultados. Cuantifica las dimensiones del problema y evalúa la alternativa de aplicar techos Verdes en aspectos energéticos, económicos y ambientales mediante resultados del modelo, proyectados a una población mayor, como lo es la zona conurbada Veracruz- Boca del Río.

3.1.1. Nivel de Investigación:

Aplicativa: La investigación realizada es de nivel aplicativo, pues plantea la valoración energética de los techos verdes como alternativa de solución para moderar el consumo eléctrico y las emisiones de GEI.

3.1.2. Diseño de Investigación:

Es Analítico: Su finalidad es evaluar el impacto energético por la instalación de los techos verdes a través de la ganancia de calor y el consumo eléctrico

Es Longitudinal: La lectura de las variables que afectan la ganancia de calor son registrados a lo largo de un período.

Es Experimental: Evalúan el efecto de la instalación de los techos verdes (prototipo) en la ganancia de calor y disminución de costos por consumo eléctrico y emisiones de GEI.

El presente proyecto, evalúa el impacto energético de las azoteas verdes en la zona conurbada Veracruz- Boca del Río mediante la comparación de las variables que intervienen en la ganancia térmica de la construcción de las viviendas. Se requieren pruebas experimentales de medición de temperaturas para hacer un análisis comparativo entre el uso un techo convencional y un techo verde a lo largo del año, y en particular en verano.

Para obtener y establecer las características típicas de construcción zonificadas de la muestra, niveles de irradiación solar y estimaciones de ganancia térmica por sector, son indispensables herramientas estadísticas, documentales y de cálculo. Se hace uso de documentación estadística oficial y análisis de viviendas típicas por sectores habitacionales.

Documental y experimentalmente se determina la vegetación óptima y los elementos constructivos adecuados para el tipo de clima de la región y acordes estructuralmente con las construcciones de las casas, para lo cual se realizan pruebas de variables en diferentes escenarios.

Mediante modelado con herramientas de programación tales como TRNSYS 16 y aplicando hojas de cálculo de Excel, así como con reglamentaciones vigentes, se realiza la evaluación comparativa entre los presupuestos energéticos de las viviendas de la zona Veracruz-Boca del Río.

3.2. Hipótesis y Especificación de Variables

Hipótesis. La instalación de techos verdes reduce el consumo energético, el impacto económico y ambiental, beneficiando a los habitantes de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río.

Variable independiente: Instalación de techo verde

Variable dependiente: Consumo Energético; Impacto Económico; Impacto Ambiental

3.3. Operacionalización de Variables

En la Tabla 3.1, mostrada en la siguiente página, se definen las variables, sus dimensiones, indicadores e índices para su operacionalización.

Tabla 3.1 Operacionalización de Variables Independientes y Dependientes

Variables	Variable Independiente	Variable Dependiente		
		<i>Instalación de Techo Verde</i>	<i>“Consumo Energético; Impacto Económico; Impacto Ambiental”</i>	
Definición Conceptual	<i>Techo Verde: Diseño constructivo con vegetación en la cubierta de las edificaciones.</i>	<i>Consumo Energético. Se refiere al gasto de energía (eléctrica) al interior de las viviendas o edificios</i> <i>Impacto Económico. Se refiere al efecto económico que causa la aplicación de un techo verde.</i> <i>Impacto Ambiental. Es la modificación del medio ambiente por el ser humano o de la misma naturaleza. Se relaciona con las emisiones de CO₂</i>		
Definición Operacional	Tipo de vegetación	Consumo energía eléctrica	Factura eléctrica	Emisiones de CO ₂
Indicador	Pasto San Agustín	kWh	\$	tCO ₂
Índices	NA	NA	NA	NA

3.4. Diseño Técnico

El método a emplear es el experimental comparativo. Se evalúa el efecto de la instalación de techos verdes versus convencionales en la ganancia de calor y se efectúa un análisis comparativo del impacto que causa en el consumo eléctrico, los costos por consumo eléctrico y emisiones de GEI.

Para los techos verdes se consideran un solo tipo de vegetación: pasto. El pasto seleccionado es el pasto de San Agustín (*stentaphrum secundatum*), por su densidad y poco mantenimiento, pues no tiene crecimiento elevado. En ambos casos, se comparan las mediciones de temperatura contra las lecturas obtenidas en un techo desnudo, para realizar la evaluación energética, económica y ambiental. Por el tipo de vegetación (5 a 50 cm de altura) el diseño del techo verde es de tipo extensivo con substrato de 10 a 15 cm de espesor. Los techos a escala se colocan sobre una losa de concreto de cuadrada de 1 m x 1 m x 0.1 m, soportada por una estructura cúbica a base de perfil estructural cuadrado, cubierto con material constructivo ligero.

Las mediciones de temperatura y humedad en los techos a escala se realizan con medidores previamente diseñados y contruidos para este propósito (datos primarios).

En este diseño, se realiza un muestreo por conglomerados, dividiendo la población en sectores por tipo de vivienda y eligiendo una vivienda típica para los sectores más significativos; que para este estudio resultan las viviendas con mayor número de recámaras por la cantidad de EAA de que disponen; la sectorización se realiza en función de la clasificación de viviendas del Código de Edificación de Viviendas y del Plan Municipal de Desarrollo del H. Ayuntamiento de Veracruz 2018-2021

Para la evaluación de los parámetros energéticos, se emplea el software TRNSYS y hojas de cálculo de Excel.

La Figura 3.1, sintetiza la metodología de esta investigación. Inicialmente se establece el enfoque y propósito de la investigación, para posteriormente hacer una revisión documental en la que se integran marco teórico, justificación, criterios metodológicos

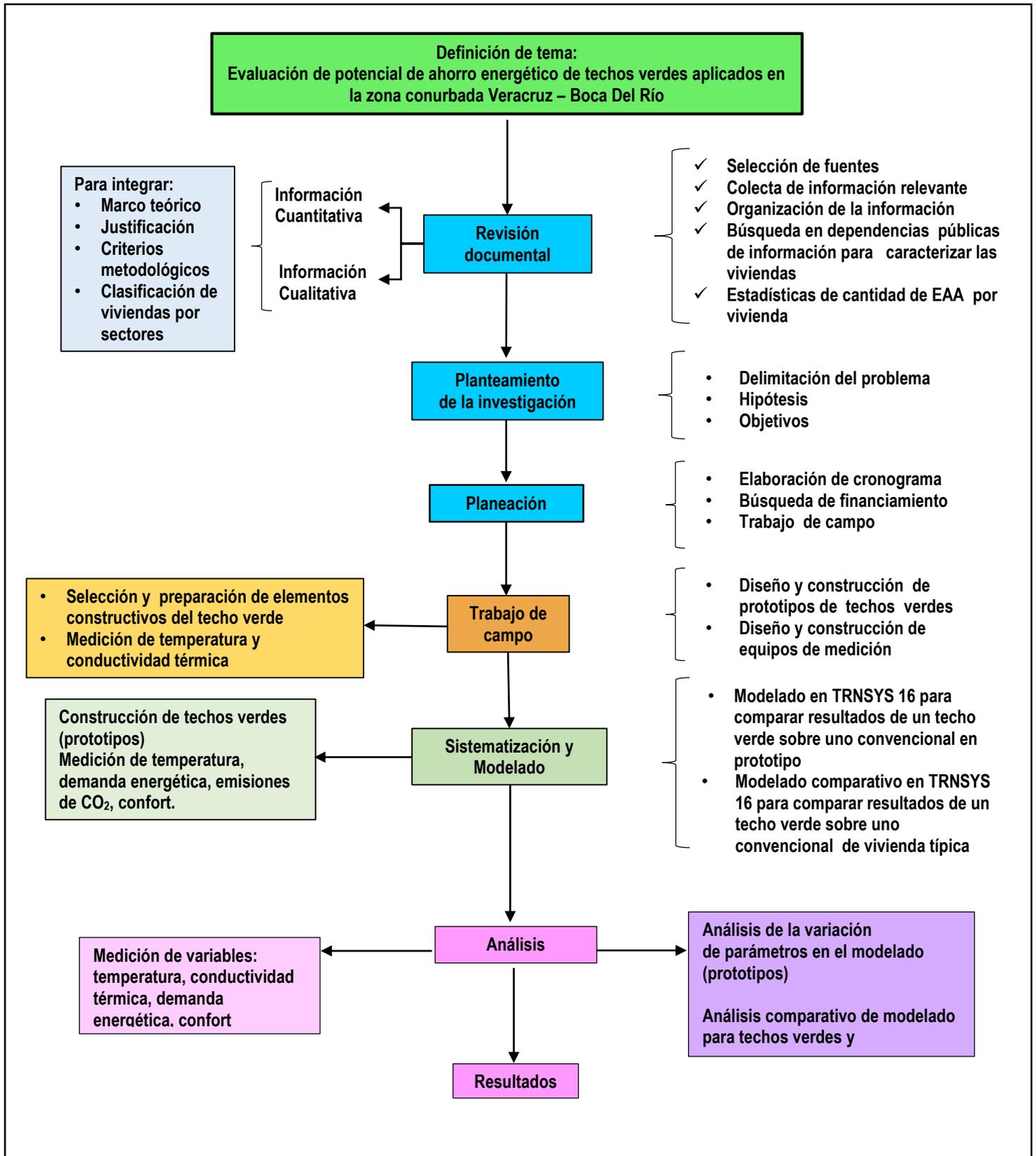


Figura 3.1 Diagrama de la metodología para la evaluación de techos verdes

CAPÍTULO 4 : ANÁLISIS Y RESULTADOS

Este capítulo corresponde al análisis y presentación de resultados. De acuerdo con las características y zonificación de la conurbación Veracruz-Boca del Río, se determinan los modelos arquitectónicos de vivienda típicos presentes en la conurbación. De los prototipos de techos verdes se obtiene la información para el modelado y mediante un análisis comparativo entre techos verdes y convencionales, se evalúan consumos energéticos, económicos y ambientales.

4.1 Caracterización

Con la caracterización se delimita el radio de acción de la presente investigación. Nos permite definir características de vivienda de acuerdo a la zonificación de la conurbación, y aunque no se cuenten con estudios previos de número de viviendas con climatización artificial o del número de EAA por vivienda, nos permite hacer un análisis para la determinación del tipo de viviendas que se deben analizar.

4.1.1. Conurbación Veracruz- Boca del Río.

La zona conurbada Veracruz-Boca del Río, se encuentra ubicada entre los paralelos 19° 03' y 19° 16' de latitud norte, los meridianos 96° 06' y 96° 21' de longitud oeste. Esta región tiene altitudes que van desde 0 a 200 m; siendo el municipio de Boca del Río, el que registra las altitudes más bajas (0-10 m). Ambos municipios ocupan el 0.39 % de la superficie del Estado. El clima prevaleciente en esta zona es de tipo cálido subhúmedo o semi húmedo con lluvias en

verano. El rango de temperatura anual se encuentra es de 24 a 26° C, con rango de precipitaciones anuales entre 1500 y 2000 mm. La Figura 4.1 muestra la ubicación de la zona en el estado.

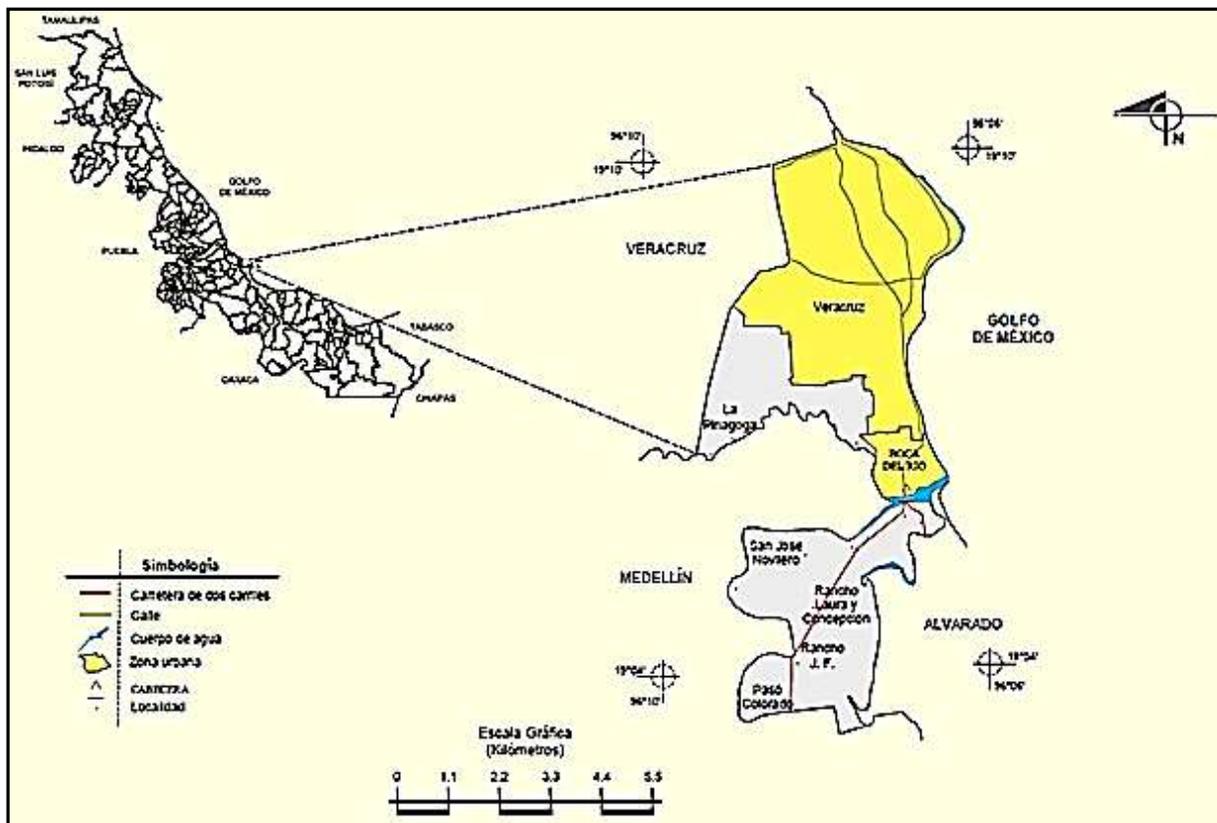


Figura 4.1 Ubicación de la Zona Conurbada, proyectada gráficamente fuera del Estado Fuente: INEGI *Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos, 2009*

Ambos municipios están divididos en fraccionamientos, unidades habitacionales y colonias populares, correspondiéndole a Boca del Río 86 de éstos y a Veracruz, 223.

La Estructura urbana de Veracruz-Boca del Río está zonificada en 15 sectores, de acuerdo al Programa de Ordenamiento Urbano de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río-Medellín-

Alvarado, Ver. Dichos sectores se encuentran mapeados en el Anexo A, y están ubicados en relación a la mancha urbana, tal como se indica en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Zonificación de la Estructura Urbana Veracruz-Boca del Río

SECTOR URBANO	UBICACIÓN RESPECTO A LA MANCHA URBANA	PARTICIPACIÓN RELATIVA EN LA MANCHA URBANA	
		ha	DENSIDAD (VIV/ha)
A	Noroeste	2,158.55	30
B	Noreste	1,044.61	18
C	Centro	1,416.59	29
D	Este	1,007.09	16
E	Sureste	997.25	23
F	Noroeste	1,626.96	1
G	Oeste	1,052.07	1
H	Suroeste	1,339.60	2
K	Centro	695.03	13
M	Oeste	947.67	5
O	Sur	892.20	1
P	Sur	585.85	1
Q	Sur	301.74	1
N-P	Oeste	1,490.89	
S	Localidades Naturales	1,460.54	7
TOTAL DE SECTORES		17,016.64	

Fuente: Gaceta Oficial Órgano Del Gobierno Del Estado De Veracruz De Ignacio De La Llave (2008)

4.1.2. Tipos de Vivienda.

El código de edificación de vivienda (2017) establece que las principales características que diferencian a las viviendas son: precio final en el mercado, forma de producción, y superficie construida o número de cuartos, ubicación y servicios, entre otros. La tabla 4.2 muestra la una adaptación de la clasificación por precio establecida en el código, e incluye sus definiciones para cada tipo de vivienda.

Tabla 4.2 Clasificación de la Vivienda por Precio Promedio

PROMEDIOS	Superficie construida promedio (en m ²)	Costo promedio	Unidad de medida de actualización (UMA)	Numero de cuartos y cajones de estacionamiento
ECONÓMICA	40		hasta 118	1 baño, cocina, área de usos múltiples
POPULAR	50		de 118 a 200	1 baño, cocina, estancia-comedor. De 1 a 2 recámaras, 1 cajon de estacionamiento
TRADICIONAL	71		de 200.1 a 350	1 y 1/2 baños, cocina, estancia-comedor. De 2 a 3 recámaras, 1 cajón de estacionamiento
MEDIA	102		de 350.1 a 750	2 baños, cocina, sala, comedor. De 2 a 3 recámaras. Cuarto de servicio, 1 a 2 cajones de estacionamiento
RESIDENCIAL	156		de 750.1 a 1,500	De 3 a 4 baños, cocina, sala, comedor. De 3 a 4 recámaras. Cuarto de servicio, sala familiar, 2 a 3 cajones de estacionamiento
RESIDENCIAL PLUS	más de 188		mayor de 1,500	De 3 a 5 baños, cocina, sala, comedor. De 3 a más recámaras. De 1 a 2 cuartos de servicio. Sala familiar. Más de 3 cajones de estacionamiento. Gimnasio. Salón de juegos, Jardín.

Fuente: Código De Edificación De Vivienda 2017 (adaptado)

Dentro de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río, se encuentran distribuidos dentro de su ordenamiento territorial, los siguientes tipos de vivienda (PMD 2018-2021):

1) Vivienda residencial.

Tiene como característica principal la amplia superficie de los terrenos, áreas libres ajardinadas, coeficiente de ocupación de suelo (cos) de rango bajo, grandes superficies construidas con materiales de buena calidad, instalaciones especiales como albercas y canchas.

En esta clasificación también se encuentran las viviendas residenciales constituidos por terrenos fraccionados con mayor dimensión que los de interés social, edificados con materiales de buena calidad y acabados, con accesos restringidos y vigilancia, y con servicios como albercas, salones de eventos, gimnasios, áreas verdes y parques, pero de uso comunitario por clúster.

Entre este tipo de vivienda, se consideran las construcciones de los fraccionamientos Reforma, Costa de Oro, Jardines de Mocambo, Virginia, Nuevo Veracruz, Cubika, Cristal Lagoon, entre otros.

2) Vivienda nivel medio.

Tienen dimensiones menores que la vivienda residencial, pero se construye con materiales de buena calidad y se manifiesta como totalmente terminada. Ejemplos de este tipo de vivienda se encuentran en fraccionamientos Reforma, Moderno, Floresta y Centro Urbano, Costa Verde, Petrolera, entre otros.

3) Vivienda popular.

En este tipo de vivienda se emplean materiales permanentes, pero de calidad baja. Ocupa la mayor parte del lote a pesar de que sus dimensiones pueden ser reducidas; sin embargo, en localidades rurales o semi rurales, pueden abarcar terrenos grandes. Este tipo de vivienda es la predominante en ambos municipios.

4) Vivienda marginal.

Esta vivienda se caracteriza por estar construida con materiales no duraderos o incluso de desecho, sus áreas son reducidas y se conforman con uno o dos cuartos, se distribuyen

en lotes ubicados en la periferia de las áreas urbanas de Veracruz y Boca del Río. También se encuentran distribuidos en asentamientos o colonias populares; son de propiedad irregular. Este tipo de vivienda, se pueden encontrar en colonias como: Lombardo Toledano, Prolongación Lomas de San Ángel, Luis Gómez Cepeda, Las Caballerizas, La Pochota, Emiliano Zapata, Predios 1, 2, 3 y 4, Las Amapolas y Las Amapolas II, entre otras

5) Vivienda de interés social.

Se caracteriza por estar conformada por núcleos diferenciados y proyectados como desarrollos habitacionales planeados e inducidos en la periferia del centro de población. Contiene todos los servicios urbanos y se presenta en cuatro modalidades: vivienda unifamiliar de una planta, vivienda unifamiliar de dos plantas, vivienda dúplex y vivienda multifamiliar, principalmente en edificios de cuatro plantas. Es común encontrar estas viviendas en Unidades urbanas tales como :Hortalizas, Buenavista, Infonavit Chivería, Las Brisas, Infonavit El Coyol, la Unidad Habitacional SETSE, Geovillas del Puerto, Geovillas del sol, Geovillas del palmar, Geovillas Los Pinos, Río Medio 1, 2, 3 y 4, Lomas de Río Medio, Torrentes, Herradura, Laguna Real, entre otros.

En la Tabla 4.3 se muestra la Distribución espacial de la vivienda por nivel socioeconómico en la zona conurbada, indicando la superficie y el porcentaje de participación de uso habitacional y urbanizaciones sectorizadas para cada municipio, de acuerdo a la zonificación por sector urbano de la Gaceta Oficial del Estado de Veracruz.

Tabla 4.3 Distribución espacial de la vivienda por nivel socioeconómico en la Zona conurbada

TIPO DE VIVIENDA	SUPERFICIE. (Ha)	% DE PARTICIPACIÓN DE USO HABITACIONAL	UBICACIÓN PREDOMINANTE
Residencial	130.786	3.88%	<p>En el Municipio de Veracruz Sector B Fracc. Reforma</p> <p>En el Municipio de Boca del Río: Sector D, Fracc. Costa de Oro, Fracc. Virginia y Jardines de Mocambo. Sector E: Fracc. El Estero</p>
Nivel Medio	255.6118	7.58%	<p>En el Municipio de Veracruz Sector B: Fracc. Reforma, Fracc. Moderno, Centro Urbano</p> <p>En el Municipio de Boca del Río: Sector D: Fracc. Costa Verde, Fracc. Virginia, y Unidad Habitacional Petrolera, La Tampiquera Diseminada a lo largo de la franja costera de la zona conurbada. Aislada en la zona conurbada</p>
Popular	1,827.07	54.18%	Predominante en la Zona Conurbada
De Interés Social	522.1556	15.48%	<p>En el Municipio de Veracruz: Sector A: Fracc. Hortalizas, Buenavista, INFONAVIT. Chivería, Las Brisas, INFONAVIT El Coyal. Sector C: Unidad habitacional SETSE, Fracc. La Floresta. Sector K: Geovillas Del Puerto, Residencial Laguna Real.</p> <p>En el Municipio de Boca del Río: Sector E: INFONAVIT Casas TAMSA, INFONAVIT Las Vegas, Fracc. Tampiquera, INFONAVIT El Morro.</p>
Marginal	636.7581	18.88%	<p>En el Municipio de Veracruz: Sector A: Col. Lombardo Toledano, Col. Prolongación Lomas de San Ángel, Col. Luis Gómez Zepeda. Sector K: Col. Las caballerizas, Col. La Pochota, Col. Emiliano Zapata, Predios 1, 3 y 4. Sector H: Col. Las Amapolas y las Amapolas II, Así como en las del municipio: Delfino Victoria y aparece en las siguientes localidades de Veracruz: Delfino Victoria, Vargas, Renacimiento.</p> <p>En el municipio de Boca del Río: Sector E: Col. Plan de Ayala, Miguel Alemán, Las Colonias, y con una fuerte presencia diseminada en las colonias populares. En las localidades del Municipio de Boca del Río: San José Novillero y Paso Colorado.</p>

Fuente: Gaceta Oficial, Órgano Del Gobierno del Estado De Veracruz de Ignacio De La Llave, (Tomo CLXXVIII, Núm. Ext 267 y Tomo CXCVI, Núm. Ext 010 ,2018) (Adaptado).

No existen estudios previos de la cantidad real de equipos de aire acondicionado actualizados. Del año 2015, se tiene por datos por vivienda generalizados, que no distinguen la cantidad de climas por tipo de vivienda ni a nivel nacional, ni a nivel municipal. Por tanto, se consideran los datos nacionales de la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 *Número de Viviendas y Equipamiento a nivel Nacional*

	Unidad	2012	2013	2014	2015	2016
Hogares	Miles de hogares	30,503	31,102	31,700	32,298	N. A.
Viviendas	Miles	30,467	31,078	31,688	32,298	N. A.
Consumo privado de los hogares	Millones de pesos	10,237,973	10,819,251	11,509,611	12,162,871	113.188,441
Consumo de electricidad del sector residencial	Ktep	4,537	4,565	4,696	4,866	5,070
Número de equipos de aire acondicionado por hogar	Equipos	1.51	1.52	1.53	1.55	N. A.
Número de ventiladores por hogar	Equipos	1.70	1.70	1.71	1.72	N. A.
Número de TV por hogar	Equipos	1.65	1.66	1.68	1.70	N. A.
Número de refrigeradores por hogar	Equipos	1.01	1.01	1.01	1.01	N. A.

Fuente: Encuesta Nacional de Hogares (INEGI)

En el Estado de Veracruz, el 11.8 % de las Viviendas tienen aire acondicionado, generalmente éstas se concentran en zonas urbanas de alta densidad poblacional; es decir, la distribución no es uniforme para todo el estado. De la misma manera, el número de equipos de aires acondicionados por hogar a nivel nacional, es variable en cada municipio o estado. En la zona conurbada Veracruz- Boca del Río existen un total de 227,117 viviendas (INEGI, 2015); tomando en consideración la información contenida en las Tablas 4.1, 4.2 y 4.3, así como los datos contenidos en

el sector cuatro del ANEXO B; del total de estas viviendas, se estima que 4,360 son de tipo Residencial, 12,780 pertenecen al tipo medio y 121,805 son de tipo popular; no se están considerando la cantidad las viviendas de interés social ni de tipo marginal. En el presente estudio, se ha considerado que las viviendas de tipo Residencial tienen en promedio cuatro equipos de aire acondicionado (EEA) y las de tipo medio 2 equipos por vivienda. En el caso de las viviendas de tipo popular, se considera que un 25 % de ellas tienen en promedio 2 EEA y un 20%, cuentan solamente con un equipo. Por lo tanto, se puede estimar la cantidad de EAA:

EAA Residencial:	$4,360 \times 4 =$	17,440 equipos
EAA Medio:	$12,780 \times 2 =$	25,560 equipos
EAA Popular :	$(25\%) 121,805 \times 2 =$	60,903 equipos
	$(20\%) 121,805 \times 1 =$	24,361 equipos
<hr/>		
TOTAL DE EAA:		128,264 equipos

Por consiguiente, la cantidad de EAA que se estiman existen en las viviendas consideradas en el análisis en la zona conurbada Veracruz – Boca del Río es de 128,264 equipos.

Dadas las características de los diferentes tipos de vivienda, se ha seleccionado para el presente estudio, modelos arquitectónicos típicos presentes en la conurbación; estos, reúnen las características de área y distribución de las viviendas residencial y de nivel medio. En el Anexo B se encuentran estos modelos básicos de los tipos de viviendas.

4.2 Prototipos

Con la finalidad de evaluar el impacto energético de los techos verdes en las viviendas de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río, se construyen techos verdes a escala (prototipos) con la finalidad de obtener mediciones de las principales características térmicas (temperatura y humedad); y con esta información, poder realizar una simulación en diferentes escenarios considerando las viviendas tipo indicadas en el apartado anterior. En la Figura 4.2. se muestra uno de los techos verdes a escala construidos dentro del TECNM- Campus Veracruz.



Figura 4.2 Fotografía de prototipo construido dentro del TECNM- Campus Veracruz
Fuente: Propia

Los prototipos que se construyeron fueron el techo convencional y el techo verde con pasto como cubierta vegetal. Algunas fases del proceso constructivo se ilustran en la Figura 4.3



Figura 4.3 Fases de construcción de prototipos

4.2.1 Diseño de los prototipos de los techos verdes

Se consideran dos escenarios posibles para el desarrollo de este proyecto. El primero es un diseño de techo convencional, como referencia para la comparación de valores en la evaluación del desempeño de las cubiertas verdes; el segundo escenario es un diseño de cubierta verde, del tipo extensivo con vegetación de tipo pasto San Agustín.

Se ha elegido el tipo de cubierta extensiva para la escala naturalada, por ser la que menor carga adicional representa estructuralmente a las condiciones de una vivienda ($110-140 \text{ kg/m}^2$). En el diseño se han considerado los siguientes elementos para conformar:

- a) **La Estructura.** Tanto el prototipo de techo convencional como el de techos verdes, están soportados cada uno por una estructura de perfil cuadrado están dimensionados para 1m x 1m x 1 m.
- b) **Losa.** Las medidas de la losa que soporta la cubierta vegetal, tiene medidas de 1m x 1m x 0.20 m
- c) **Cubierta Vegetal:** Al ser un diseño de tipo extensivo, el crecimiento de las plantas no debe superar los 50 cm de altura. Se selecciona para este diseño, el pasto de san Agustín (*stentaphrum secundatum*), por su densidad y poco mantenimiento, pues no tiene crecimiento elevado y tolerante a la salinidad marina.
- d) **Sustrato.** Dado que las plantas de la cubierta no tienen requerimientos especiales, se considera una capa de composta vegetal.
- e) **Capas filtrante, drenante y Barrera anti-raíz.** Se consideran materiales económicos como hules de grosor moderado o plásticos ligeros.

4.2.2 Tipos de techos verdes.

El tipo de naturación elegida es la extensiva, por ser los que menos carga estructural añaden al diseño de una vivienda. También son los que generalmente tienen menor costo y menor mantenimiento. Para este proyecto la vegetación por el pasto de San Agustín. A continuación se tiene la descripción de las características de esta planta.

Pasto de San Agustín (Stenotaphrum Secundatum)

Es una planta perenne estolonífera, sin rizomas, con tallos procumbentes de 5-30 cm.

Las hojas son anchamente lineares, aplicadas de jóvenes, obtusas. Las flores se reúnen

en inflorescencias de tipo espiga, 3-10 cm, compuestas de racimos unilaterales muy cortos, de 5 a 10 mm y que portan 1 a 3 espiguillas que aparecen hundidas en concavidades del raquis, que aparece engrosado y esponjoso. Estas espiguillas, de 4-5, son anchamente ovadas, de color verde pálido; la gluma inferior es pequeña y la superior tan larga o muchos más corta que la espiguilla. La flor inferior es masculina o estéril tan larga como la espiguilla y su lema y pálea más o menos coriáceas; la flor superior es hermafrodita. Crece en zonas costeras arenosas, terrenos ruderales, desde el nivel del mar a los 300 m de altitud. (Menéndez-Valderrey, 2016).

El pasto San Agustín presenta una resistencia moderada al tráfico de personas, y tolerante a la salinidad, en Veracruz, es de fácil localización en los Viveros de la conurbación. La Figura 4.4. muestra la *Stenotaphrum Secundatum*.



Figura 4.4 Pasto de San Agustín (*Stenotaphrum Secundatum*)

4.2.3. Medidor de temperatura y humedad

El equipo que se desarrolla para las mediciones de temperatura y humedad en los techos a escala, está basado en ARDUINO UNO. En la Figura 4.5, se muestra un diagrama esquemático primario de este medidor.

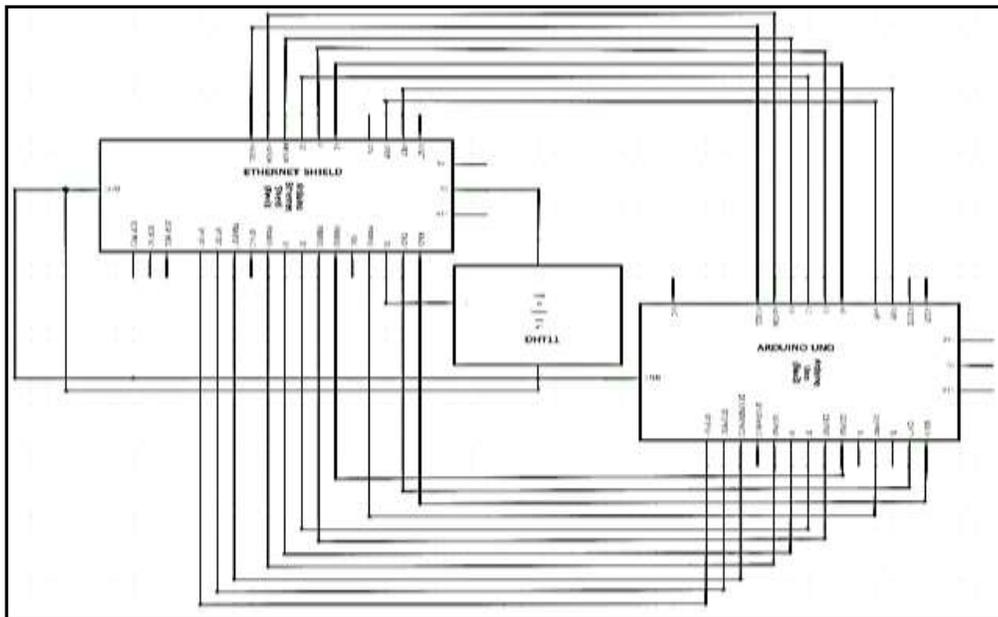


Figura 4.5 Diagrama esquemático de medidor de humedad y temperatura

Resultado de la medición de estas variables, se obtiene la gráfica de evolución de la temperaturas en diferentes puntos del prototipo con techo verde, así como la diferencial entre la temperatura interior y exterior del mismo; tal como se muestra en la Figura 4.6.

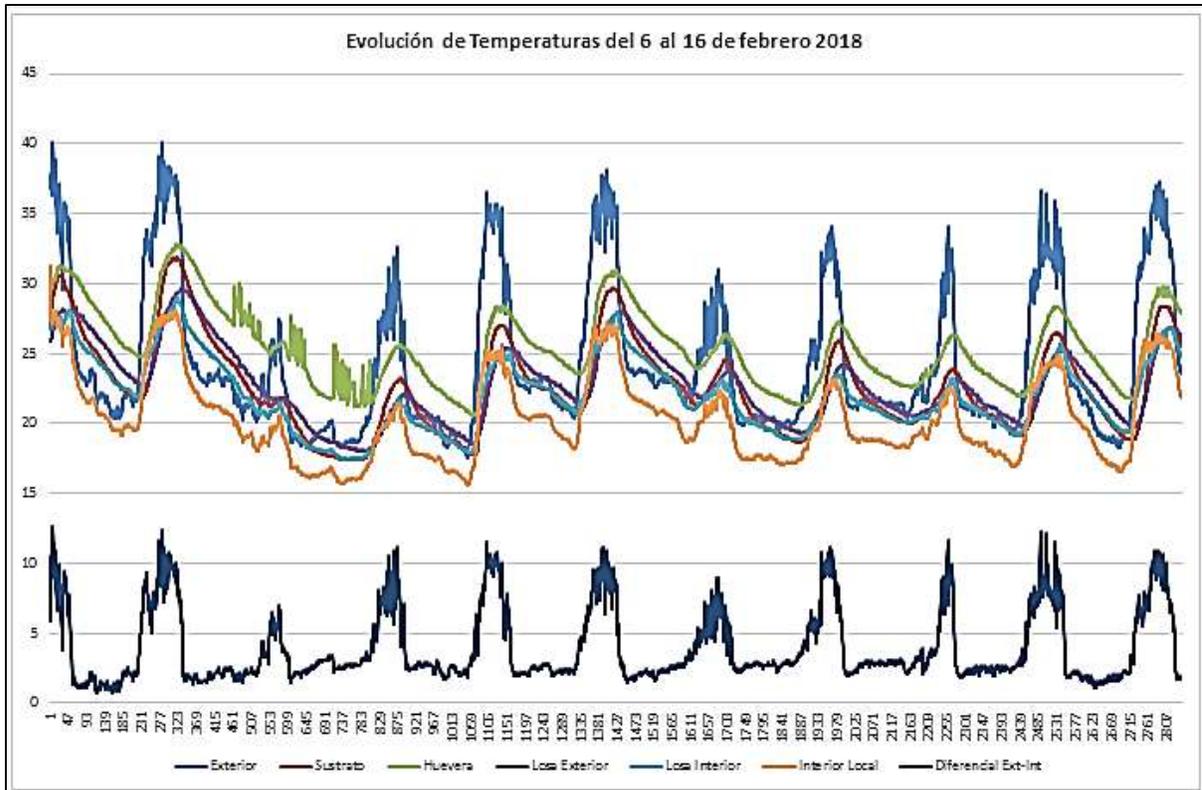


Figura 4.6 *Temperaturas en prototipo de techo verde*

Con la información obtenida, se procede a la realización del modelado y simulación de los escenarios en el programa de simulación TRNSYS 16.

4.3 Simulación

El modelado y simulación se realiza empleando el programa de simulación de sistemas transitorios TRNSYS 16, que permite el modelado de proyectos relacionados con temas energéticos y térmicos e integrado por varias interfaces que permiten la creación del proyecto a partir de los componentes propios del sistema a modelar, el ingreso del datos y establecimiento de variables del diseño, cálculo, impresión y ejecución de gráficos de resultados.

4.3.1 Modelo de simulación

Para comparar el comportamiento de un techo verde frente a un techo convencional, se utiliza el programa TRNSYS 16. En este programa, a través de su interfaz Simulation Studio se definen las características constructivas y se describen cada una de las zonas del proyecto (dimensiones, paredes, techos, infiltraciones, enfriamiento, ganancias, horarios, entre otros). Permite obtener variables de respuestas tales como temperatura, humedad, radiación solar absorbida, Energía por enfriamiento o calefacción, etc. en función de los parámetros climáticos de la zona bajo estudio y las características físicas del proyecto.

En el primer modelo desarrollado en este software, se pueden obtener resultados que permiten comparar las bondades de un techo verde sobre el techo convencional, para una construcción de viviendas básicas de tipo Medio con medidas de 104 m² y Residencial, cuyas medidas son de 169 m²; ambos con altura de 2.5 m bajo la consideración de que es una construcción cerrada, sin infiltraciones y con un sistema de enfriamiento de 2778 kWh; bajo condiciones iniciales de 22°C de temperatura y 50% de humedad. Se consideran dos escenarios, con uso, y sin el uso de aire acondicionado tanto para techo verde como para techo convencional.

a) Sin uso de Aire Acondicionado

Como se observa en la gráfica mostrada en la Figura 4.7, la simulación nos muestra valores horarios mensuales a lo largo de un año. En esta gráfica se observan las diferencias de temperatura en el exterior de los techos convencional y verde de una zona sin uso de EAA en una vivienda de tipo medio.

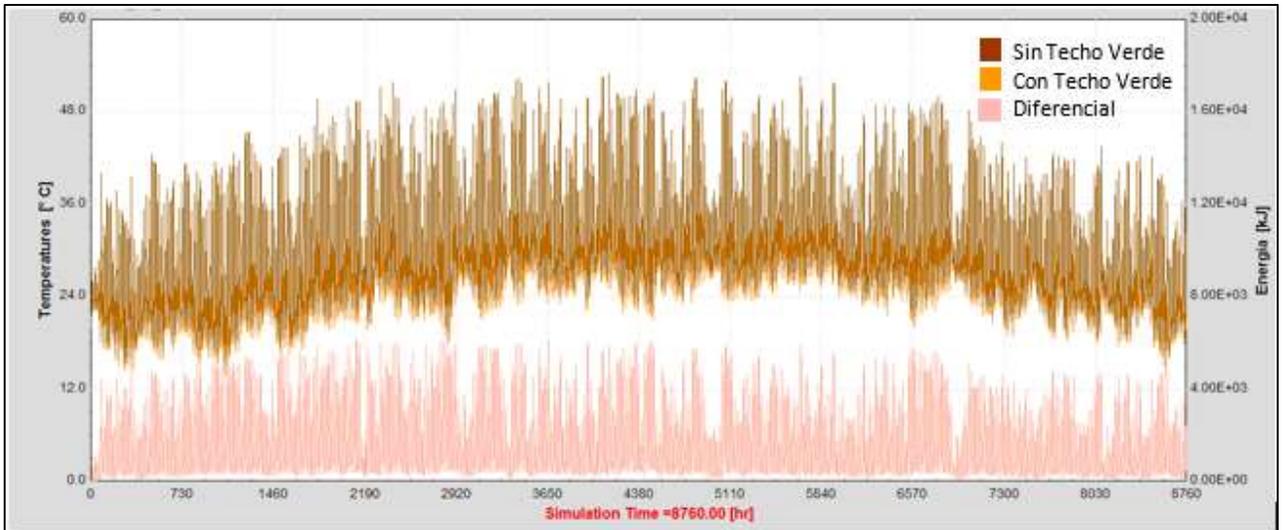


Figura 4.7 Comparativo anual de temperaturas exteriores en una vivienda con techo y sin techo verde

Como puede observarse en la gráfica anterior, la temperatura exterior en un techo convencional es mayor a la que puede tener uno verde; esto se debe en parte, a que los techos verdes disminuyen la temperatura del ambiente circundante al absorber la irradiación solar a través del follaje.

Cuando no se tiene un techo verde, las temperaturas externas pueden ser superiores a 50 °C. Estas temperaturas externas inciden directamente en la temperatura al interior de una vivienda, y cuando no se tiene algún tipo de acondicionamiento térmico, esto repercute en la salud de sus ocupantes.

Se ha ampliado una parte del período de verano (junio), tal como se muestra en Figura 4.8; mostrando, las temperaturas exteriores para una zona sin acondicionamiento térmico de la vivienda.

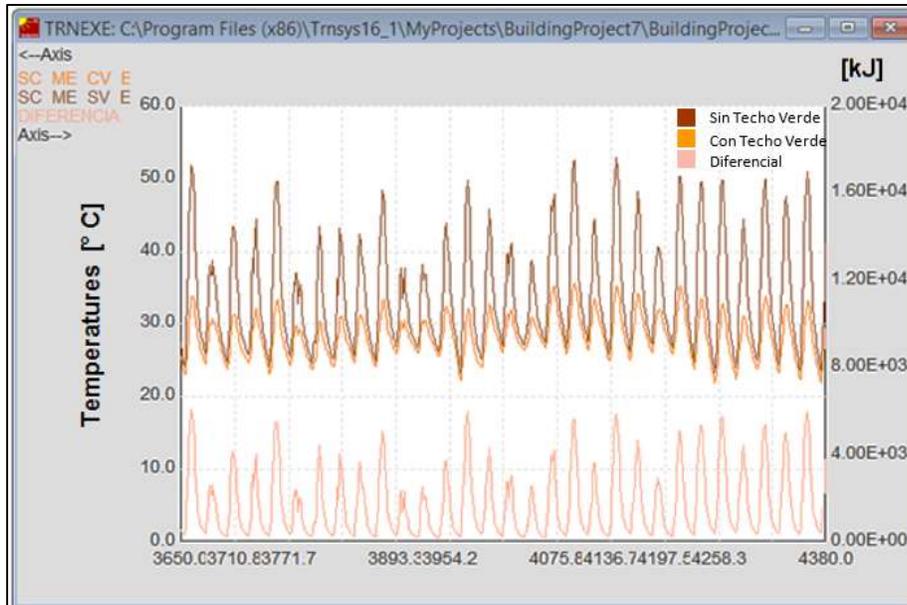


Figura 4.8 Comparativo de temperaturas al exterior de una vivienda y su diferencial de temperatura (junio)

Como se observa en la gráfica, se tiene una diferencial de temperaturas exteriores, cuyo máximo valor alcanza los 18.2 °C, cuando la temperatura en el exterior del techo convencional se encuentra en 52 °C y la del techo verde en 33.8; sin embargo, la temperatura exterior máxima que se tiene durante el período de junio puede llegar a los 53°C en el techo convencional y a 36°C en el techo verde. Estas temperaturas exteriores, se ven reflejadas, como se dijo anteriormente en la temperatura al interior de la vivienda, mismas que se analizan a continuación.

En la gráfica de la Figura 4.9, se observan las fluctuaciones de temperatura durante un año al interior de una zona sin acondicionamiento térmico con uso y sin uso de un techo verde. Se puede observar, que aun sin EAA, los techos verdes mantienen temperaturas muy inferiores a las de los techos convencionales.

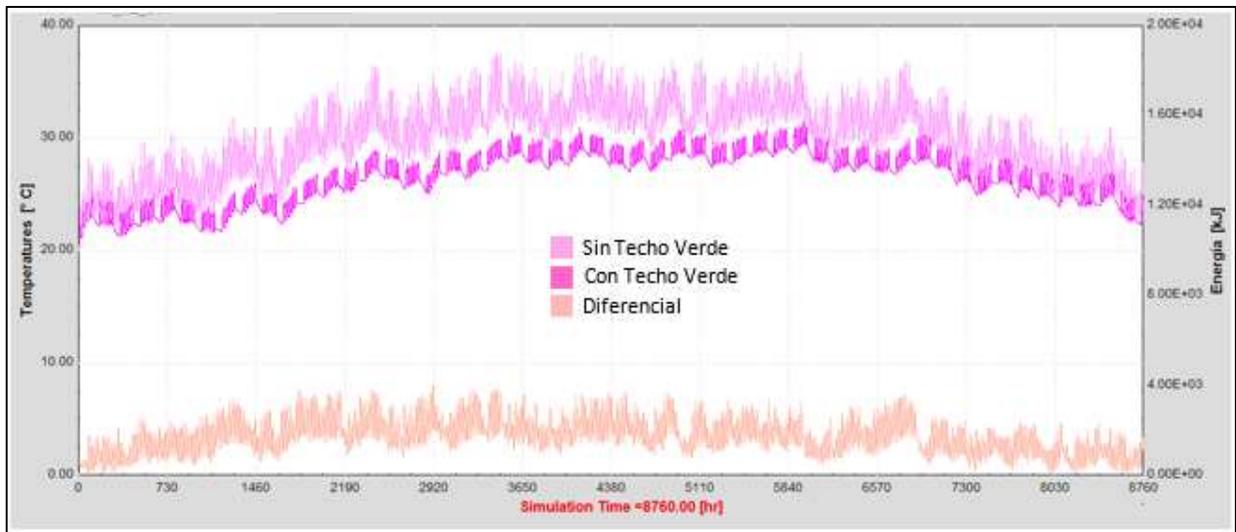


Figura 4.9 Comparativo anual de temperaturas interiores en una vivienda con techo y sin techo verde

Se puede apreciar en el gráfico, que el interior de la vivienda con techo verde puede mantenerse dentro del rango de temperaturas de confort térmico durante una gran parte del año, por lo que el uso de EAA es innecesario; de modo que el uso de techos verdes en viviendas que no cuentan con acondicionamiento térmico tiene beneficios significativos.

Como se dijo anteriormente, la temperatura interior es inferior comparada con la temperatura externa en ambos casos sin EAA, sin embargo, existen horas en las que las temperaturas alcanzadas por el techo convencional pueden alcanzar los 37.5°C a lo largo del año, en tanto que para el techo verde, la máxima alcanzada en junio es de 31°C. Los efectos de la temperatura interna de la construcción pueden observarse en la gráfica ampliada de la Figura 4.10

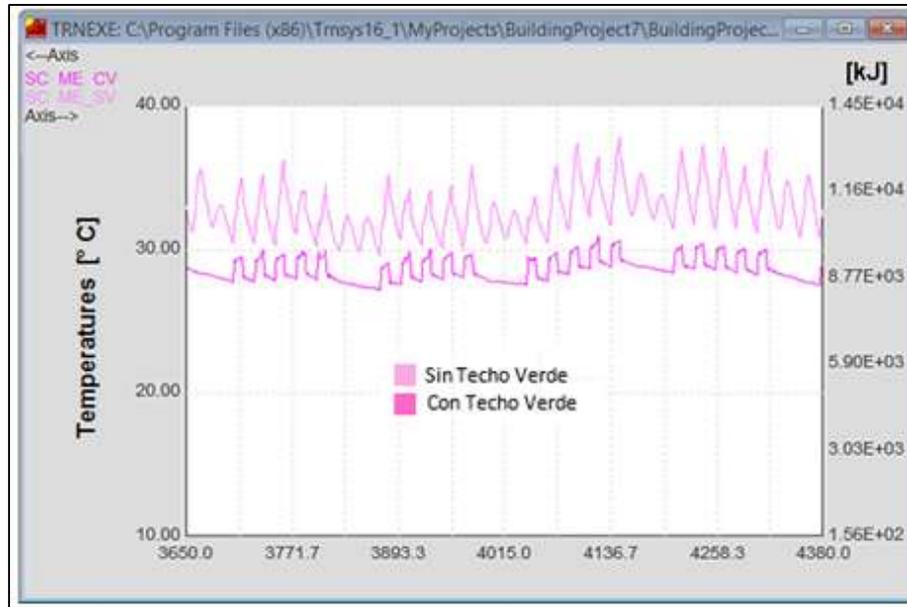


Figura 4.10 Comparativo de temperaturas interiores con techo y sin techo verde sin EEA (junio)

La diferencial de temperaturas, se puede apreciar con mayor claridad, en la gráfica de la Figura

4.11. Puede observarse, que la diferencial térmica nunca llega a cero.

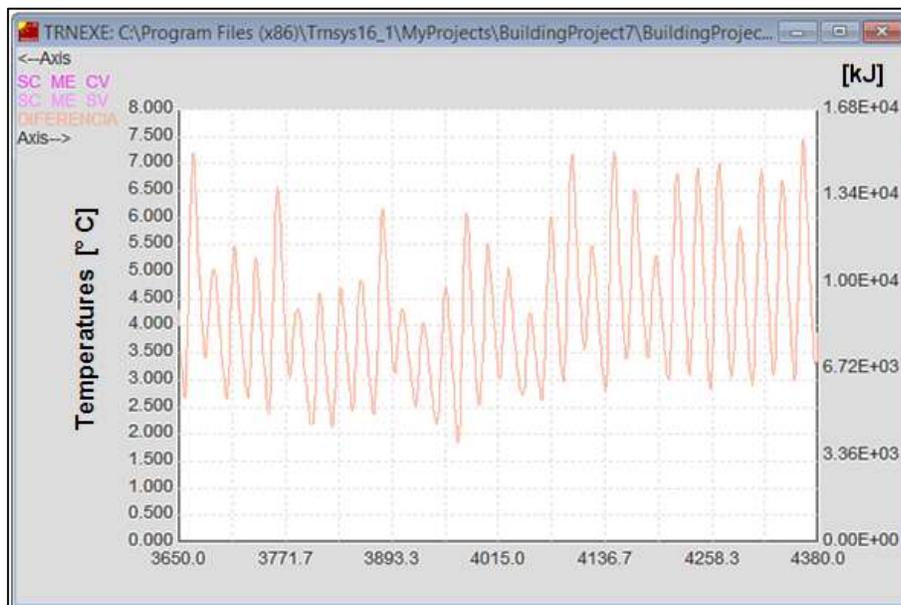


Figura 4.11 Diferencial de temperaturas interiores, sin EEA (junio)

Durante los períodos más cálidos del año la diferencia de temperatura al interior en una vivienda media sin techo verde con respecto a una que sí tiene, puede llegar a 8.06 ° C (sin EAA). Esta diferencial nos representa un mayor grado de necesidad de enfriamiento para alcanzar el confort térmico. Para los datos presentados en la gráfica, se tiene una diferencial máxima de 7.4 °C, durante el mes de junio. Por el tipo de clima cálido en la conurbación, vivir bajo estas condiciones representaría serios problemas de salud. La solución sería el uso de equipos de acondicionamiento térmico, en particular aires acondicionados, pero esto supondría un mayor gasto energético y económico.

b) Con uso de Aire Acondicionado.

No existe variación en la temperatura externa de la edificación con el uso del aire acondicionado. En la gráfica mostrada en la Figura 12, observamos la evolución anual de las temperaturas externas con techo y sin techo verde, para una zona del modelo de vivienda media que tiene en su interior EAA.

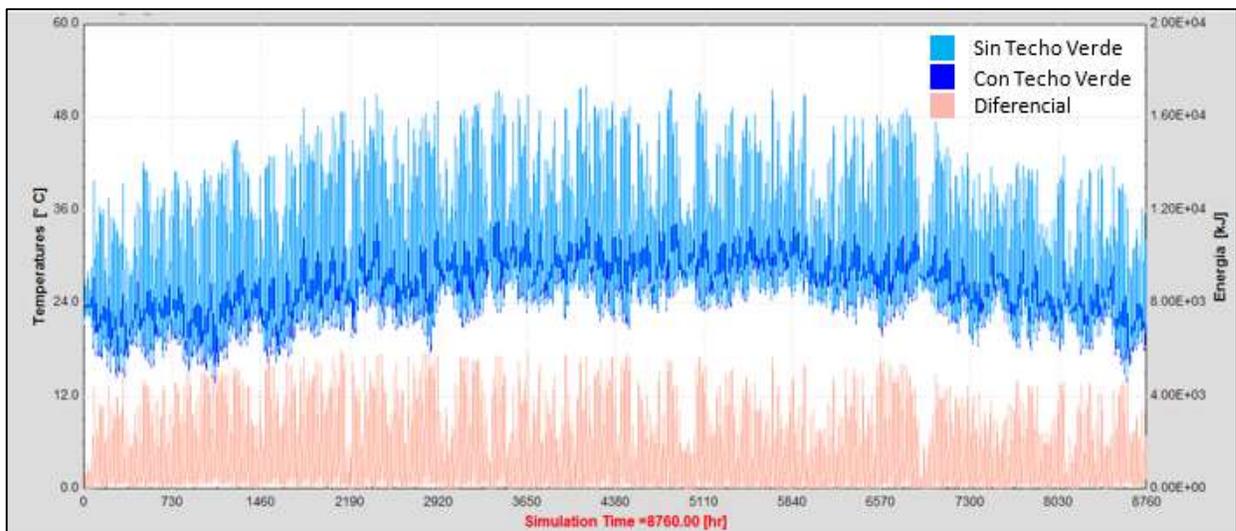


Figura 4.12 Evolución anual de temperaturas exteriores con techo verde y sin techo verde con EAA

A lo largo del año se puede observar que las temperaturas exteriores para los techos convencionales pueden alcanzar los 53°C y para los techos verdes, hasta 35°C. Mientras se manifiestan estas temperaturas en el exterior, para alcanzar el confort térmico en el interior de la vivienda, se requiere enfriar el ambiente. En este análisis se ha considerado un aire acondicionado de 2778 kWh, y una temperatura inicial de 22 °C.

En la gráfica de la Figura 4.13 se observan los resultados de las temperaturas exteriores de una vivienda de tipo medio durante el mes de junio.

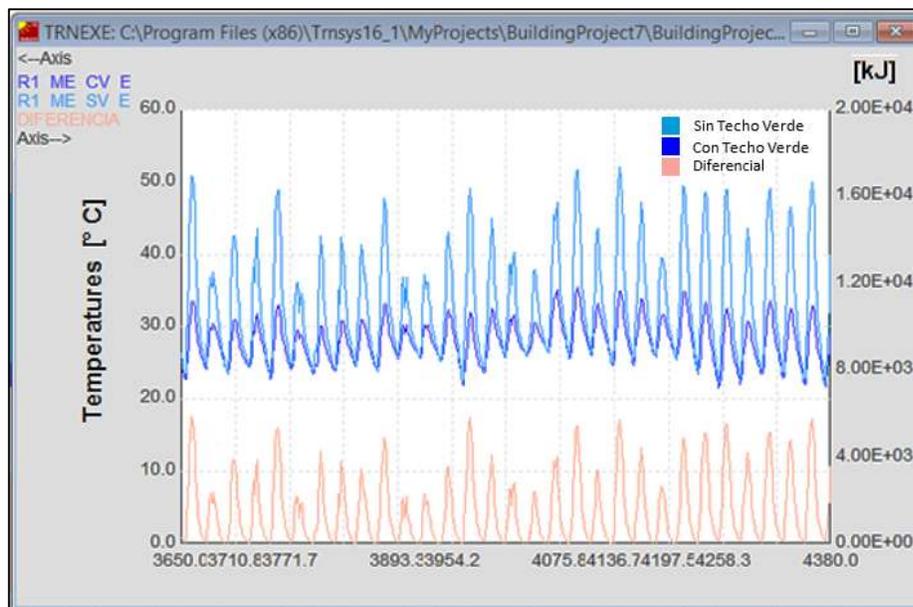


Figura 4.13 Comparativo de temperaturas exteriores con techo verde y sin techo verde con uso de EAA (junio)

Como se aprecia en la Figura 4.13 y en la Figura 4.8, las temperaturas exteriores no son afectadas por el enfriamiento interno con EAA.

En la Figura 4.14, se muestra el comparativo de la evolución anual de las temperaturas al interior de una vivienda de tipo medio cuyo interior tiene acondicionamiento térmico.

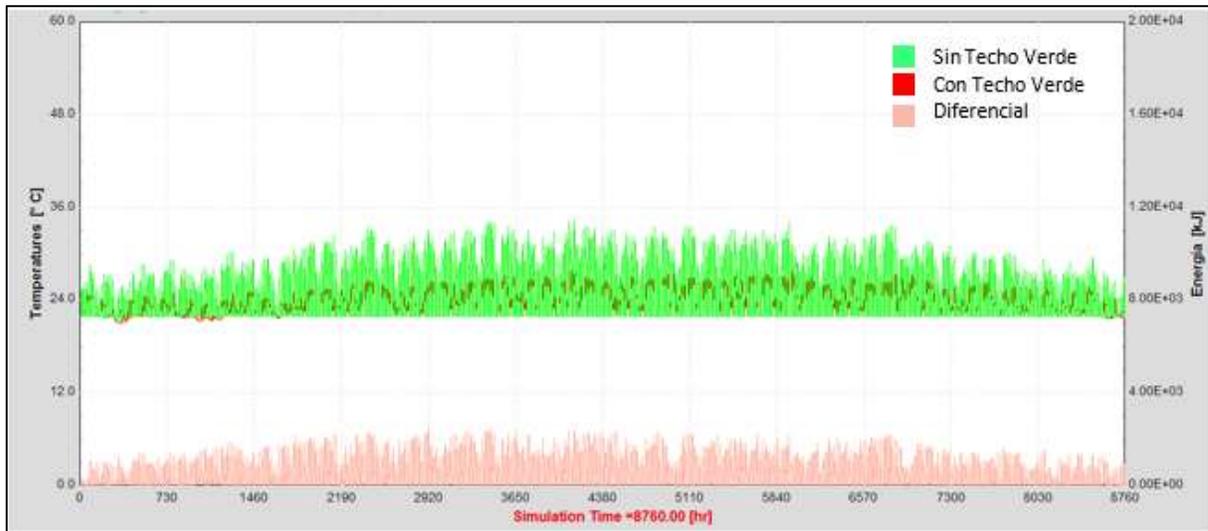


Figura 4.14 Evolución anual de las temperaturas interiores de una vivienda con EAA (junio)

La temperatura de los techos verdes se mantiene estable por un mayor tiempo, comparada con la temperatura de las viviendas sin techo verde; durante el verano, se observan períodos de alta temperatura al interior de la vivienda sin techo verde, llegando a alcanzar un máximo de 34.5°C durante el mes de junio, lo que incrementa la necesidad de uso de EAA para confort térmico, en tanto que para los techos verdes, el requerimiento es menor.

En el gráfico de la Figura 4.15 se muestran las temperaturas al interior de una vivienda media, para el mes de junio.



Figura 4.15 Comparativo de temperaturas interiores con techo y sin techo verde con uso de EAA (junio)

Del gráfico, se aprecia que para el mes de junio, la temperatura máxima al interior de la vivienda con techo verde llega a ser de 27.9°C; en tanto que, sin techo verde, la temperatura máxima alcanza los 34.5° C y la mayor parte del período se mantiene con temperaturas por arriba de los 28.5°C, por lo que los requerimientos por enfriamiento se elevan.

Analizando temperaturas, se observa que se tiene un diferencial de temperatura interior máximo de 7.2°C entre ambos tipos de techos, tal como se muestra en la Figura 4.16

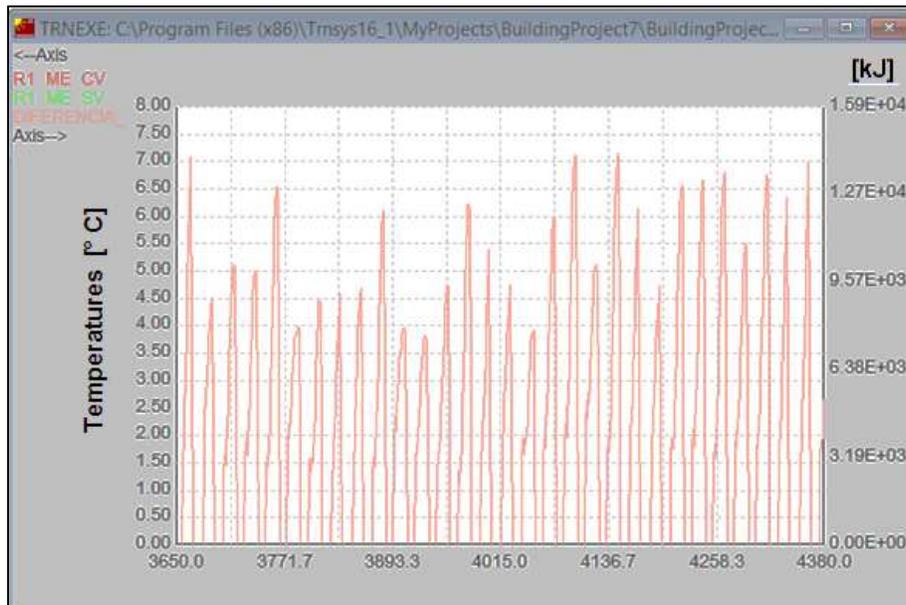


Figura 4.16 Diferencial térmico interior de vivienda media con EAA, con techo y sin techo verde (junio)

La temperatura de control para el enfriamiento de este diseño fue fijada a 22 ° C. En la Figura 4.17, se observa la demanda energética para el enfriamiento de ambos tipos de techos, en una zona de una vivienda de tipo medio y en una de tipo residencial. La zona bajo análisis es una recámara de la vivienda.

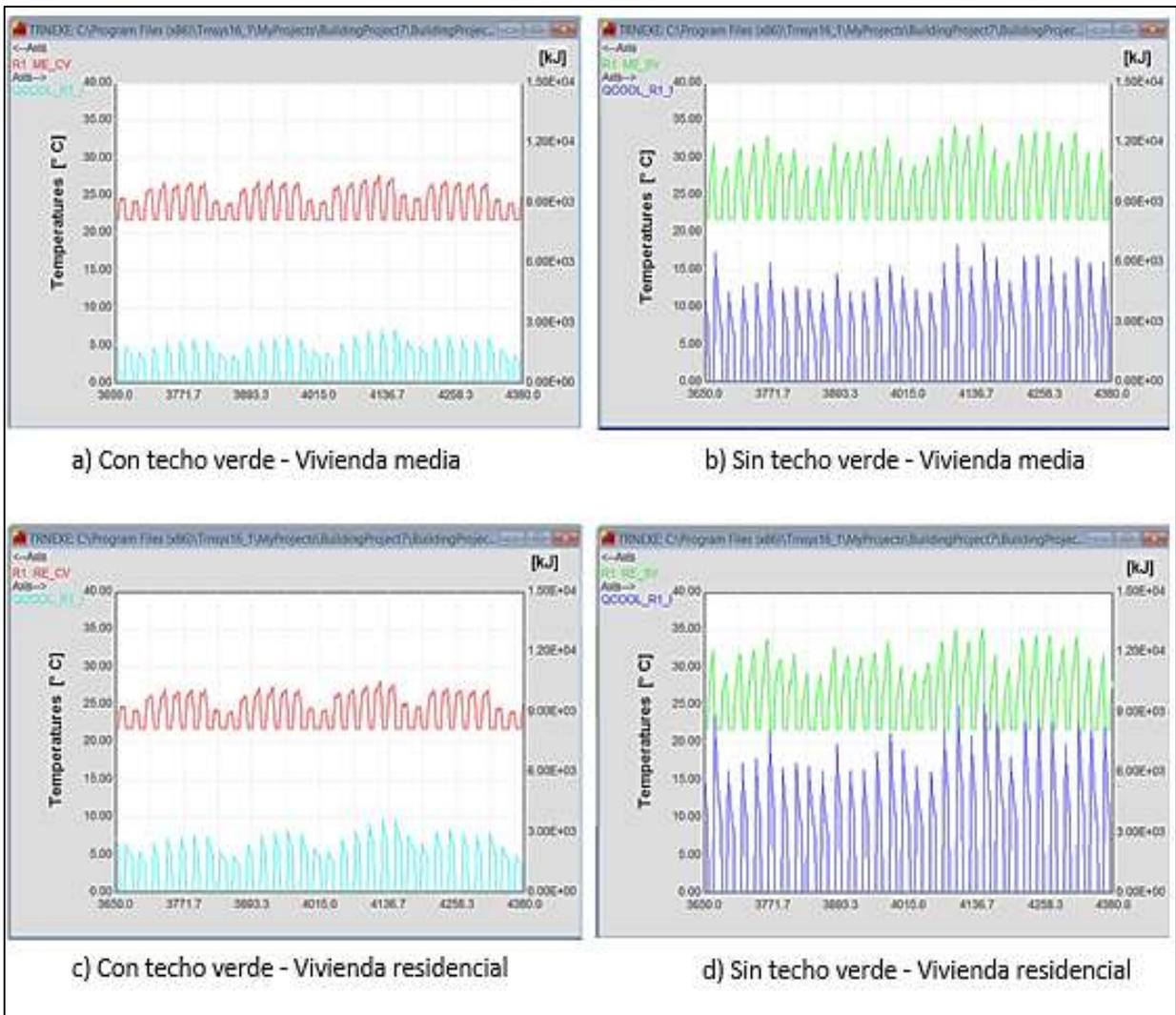


Figura 4.17 Demanda energética por enfriamiento para zonas con EAA en vivienda media y residencial con techos y sin techos verdes (junio)

Con los techos verdes, las curvas de temperatura al interior de las zonas bajo análisis en ambos tipos de vivienda tienen comportamientos similares al compararlas con los modelos sin techos verdes. Se puede observar que la cantidad de energía para mantener el confort térmico en el interior de las construcciones con techo verde es significativamente menor, y en algunos períodos llega a ser nula, por lo que las emisiones de CO₂, también se ven reducidas con respecto al mismo modelo sin techos verdes.

Sin techos verdes existe variación de temperatura al interior entre los diferentes tipos de vivienda de 1 a 2° C en junio; esta variación incrementa la demanda energética para mantener el confort térmico de manera significativa entre diferentes tipos de vivienda; en ambos casos las emisiones de CO₂ son mayores comparados con su correspondiente modelo con techo verde.

A continuación, en la Figura 4.18 se observan las demandas globales por enfriamiento de los modelados para viviendas de tipo medio y residencial (Ver Anexo B).

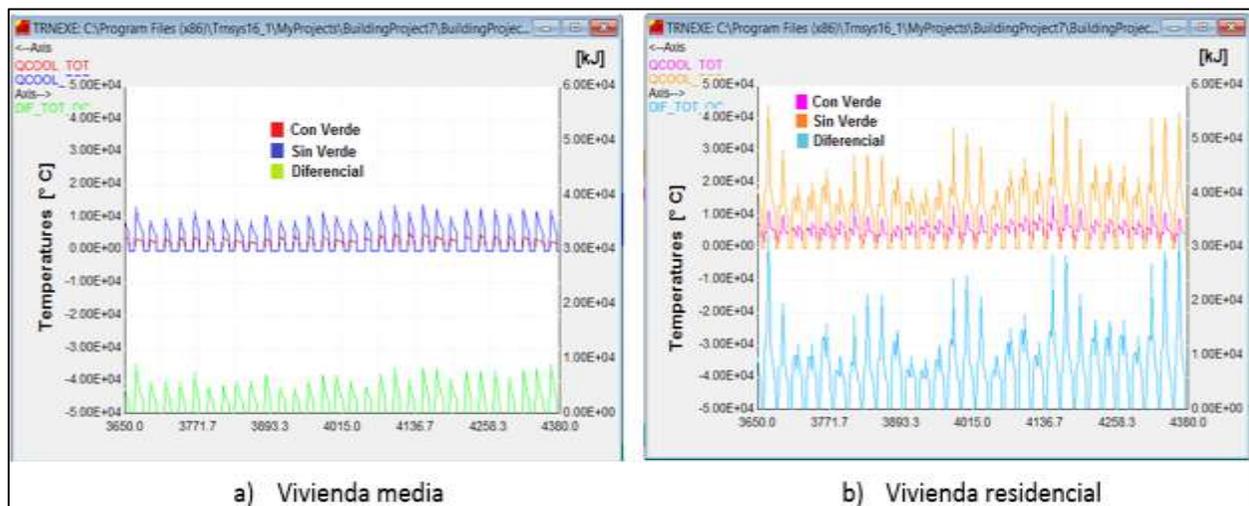


Figura 4.18 Comparativo de demanda energética global por enfriamiento y diferenciales energéticos en vivienda media y residencial (junio)

La vivienda de tipo medio cuenta con dos recámaras climatizadas; en tanto que la vivienda de tipo residencial tiene EAA en tres recamaras y en la sala comedor; por lo que la demanda energética entre ambos tipos de vivienda es diferente.

Como puede observarse, el consumo energético por demanda de enfriamiento en la vivienda media es menor que en la vivienda residencial.

Con los techos verdes, el comportamiento de la demanda energética para el confort térmico tiene mayor estabilidad y es mucho menor que en los modelos sin techo verde.

La diferencial en la demanda energética muestra la variación por consumo energético entre ambos tipos de vivienda. A mayor cantidad de EAA, la diferencial es mayor; esto quiere decir que hay mayores emisiones de CO₂.

Para obtener resultados energéticos del modelado para cada uno de los tipos de vivienda propuestos; con techos y sin techos verdes se analizan datos de la energía requerida para confort térmico a lo largo de un año para obtener el consumo acumulado anual en términos eléctricos.

La demanda máxima diaria de energía alcanzada se obtiene evaluando un año de los consumos energéticos por día para cada modelo de vivienda y corresponde al valor máximo alcanzado durante ese período de tiempo.

El consumo de energía anual, es el consumo acumulado por cada hora a lo largo del año, es decir, la sumatoria de consumo de 8760 horas

La demanda promedio horaria es la energía por consumo anual distribuida uniformemente en cada una de las horas del año.

Los resultados energéticos definidos anteriormente, se muestran en la Tabla 4.5, incluyendo datos energéticos para un modelo de vivienda popular.

Tabla 4.5 *Demanda de energía y ahorro energético por enfriamiento para cada modelo energético*

VIVIENDA MEDIA			
Demanda	Energía sin Techo verde	Energía con Techo verde	Ahorro Energético
	kWh	kWh	kWh
Demanda máxima diaria	1.57	0.65	0.92
Consumo anual	2,629.13	1,038.68	1,590.45
Demanda promedio horaria	0.30	0.12	0.18
VIVIENDA RESIDENCIAL			
Demanda	Energía sin Techo verde	Energía con Techo verde	Ahorro Energético
	kWh	kWh	kWh
Demanda máxima diaria	5.13	1.79	3.35
Consumo anual	9,312.21	3,201.18	6,111.03
Demanda promedio horaria	1.06	0.37	0.70
VIVIENDA POPULAR 1 RECAMARA			
Demanda	Sin Techo Verde	Con Techo Verde	Ahorro Energético
	kWh	kWh	kWh
Demanda máxima diaria	0.78	0.32	0.46
Consumo anual	1,284.76	504.15	780.62
Demanda promedio horaria	0.15	0.06	0.09

En el caso del modelo de vivienda popular, se han considerado dos categorías para este tipo de vivienda; la primera considera una recámara climatizada y la segunda categoría, dos recámaras con EAA. Cabe mencionar que en ambos casos, las dimensiones de las recámaras tienen idénticas medidas que las recámaras de la vivienda de tipo medio, por lo que en la tabla sólo se incluye información para la vivienda popular de una recámara con el fin de visualizar los beneficios energéticos por uso de techos verdes; sin embargo, posteriormente se incluyen los datos de ambas categorías (para una y dos recámaras) en la evaluación energética, económica y ambiental de la conurbación.

Analizando la tabla anterior, se observa que el ahorro energético por demanda de enfriamiento anual y horaria con techos verdes para las viviendas de tipo popular y medio es de 61% y para el tipo residencial es del 66%.

Considerando la cantidad casas con EAA para cada tipo de modelo habitacional propuesto (4360 viviendas de tipo medio, 12,780 de tipo residencial y 121,805 de tipo popular), se obtienen las demandas energéticas globales por enfriamiento para la zona conurbada Veracruz-Boca del Río, así como la demanda máxima de energía diaria para cada tipo de vivienda tanto para techos verdes y sin techos verdes. El consumo diario promedio se obtiene en función del consumo anual distribuido a lo largo de los 365 días del año. Los valores correspondientes a estas definiciones energéticas se observan en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6 Demanda de energía por enfriamiento para la zona conurbada Veracruz – Boca del Río

Demanda	Energía sin Techo verde				Energía con Techo verde			
	VIVIENDA MEDIA	VIVIENDA RESIDENCIAL	VIVIENDA POPULAR	TOTAL	VIVIENDA MEDIA	VIVIENDA RESIDENCIAL	VIVIENDA POPULAR	TOTAL
	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Demanda máxima diaria	6.84	65.58	66.78	139.20	2.83	22.82	27.50	53.15
Consumo anual	11,463	119,010	111,358	241,831	4,529	40,911	43,910	89,350
Consumo diario promedio	31.41	326.05	305.09	662.55	12.41	112.09	120.30	244.79

Como se observa, el consumo diario promedio para las viviendas con EAA con techos verdes es de 244.79 MWh, cantidad que representa el 37% del consumo diario promedio de misma cantidad viviendas con EAA sin techos verdes.

El comparativo de los beneficios energéticos para las viviendas con EAA de la zona conurbada Veracruz – Boca del Río de acuerdo con los tipos de modelos habitacionales propuestos, se muestra en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7 Ahorro energético por enfriamiento para la zona conurbada Veracruz-Boca del Río

Demanda	AHORRO ENERGÉTICO				% DE AHORRO ENERGÉTICO			
	VIVIENDA MEDIA	VIVIENDA RESIDENCIAL	VIVIENDA POPULAR	TOTAL	VIVIENDA MEDIA	VIVIENDA RESIDENCIAL	VIVIENDA POPULAR	TOTAL
	MWh	MWh	MWh	MWh	%	%	%	%
Demanda máxima diaria	4.02	42.76	39.28	86.05	58.71	65.20	58.82	61.82
Consumo anual	6,934	78,099	67,447	152,481	60.49	65.62	60.57	63.05
Consumo diario promedio	19.00	213.97	184.79	417.76	60.49	65.62	60.57	63.05

Como se aprecia, en la tabla se registran los ahorros globales por tipo de vivienda y por la totalidad de las viviendas con EAA. El ahorro del consumo de energía anual por 152,481 MWh, representa un ahorro del 63.05 % de la energía que se consume por enfriamiento en las viviendas al no usar techos verdes; este indicador puede traducirse como el potencial que se tiene para mejorar la eficiencia no solo en términos energéticos, sino también ambientales, económicos e incluso sociales.

Los ahorros por consumo energético anual equivalen a la energía producida por 13,111 toneladas de petróleo (aproximadamente 89, 704 barriles de petróleo); o la producida por 14.08 millones de metros cúbicos de gas natural; hidrocarburos empleados en el proceso de generación eléctrica y cuya combustión emite CO₂ a la atmósfera. Al ahorrar energía a lo largo del año, se evita indirectamente, la combustión de estos hidrocarburos y por tanto, las emisiones de CO₂.

Se puede obtener la cantidad de emisiones de CO₂ máxima a la atmósfera, multiplicando el factor de emisión del sistema eléctrico nacional por las demandas energéticas por tipo de vivienda, para cada uno de los modelos constructivos de techos.

El factor de emisiones del sistema eléctrico nacional varía cada año; la edificación de viviendas, y la demanda de energía también tienen incrementos continuos. Esto supone para factores de emisión con valores superiores al factor del 2015 (0.454 toneladas de CO₂ / MWh), mayores emisiones de CO₂ por demanda de energía en viviendas con cubiertas convencionales y por consiguiente, ahorros ambientales al usar techos verdes. Si la demanda energética en la conurbación fuera constante durante un período de varios años, las emisiones de CO₂ podrían variar, dependiendo del factor de emisiones nacional; por ejemplo, bajo la misma demanda energética del 2015 en el año 2019 (0.505 tCO₂e / MWh), se tendrían emisiones por 70.30 tCO₂ durante el día más caluroso en la conurbación; pero aplicando la tecnología de techos verdes, las emisiones disminuirían a 26.84 tCO₂, es decir, se dejarían de expulsar 43.46 tCO₂ al ambiente en el día de mayor consumo.

En la Tabla 4.8, se muestra el comparativo de las emisiones estimado para el año 2019, considerando una demanda energética similar a la del 2015.

Tabla 4.8 Comparativo de Emisiones de CO₂ (2019) para las viviendas con EAA de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río

Demanda	Emisiones de CO ₂ con Techo verde				Emisiones de CO ₂ con Techo verde			
	VIVIENDA MEDIA	VIVIENDA RESIDENCIAL	VIVIENDA POPULAR	TOTAL	VIVIENDA MEDIA	VIVIENDA RESIDENCIAL	VIVIENDA POPULAR	TOTAL
	t CO ₂	t CO ₂	t CO ₂	t CO ₂	t CO ₂	t CO ₂	t CO ₂	t CO ₂
Emisiones de CO ₂ máximas diarias	3.46	33.12	33.72	70.30	1.43	11.53	13.89	26.84
Emisiones de CO ₂ anuales	5,789	60,100	56,236	122,124	2,287	20,660	22,175	45,122
Emisiones de CO ₂ promedio diarias	15.86	164.66	154.07	334.59	6.27	56.60	60.75	123.62

Como se observa, el uso de techos verdes disminuye significativamente las emisiones de CO₂.

De acuerdo lo considerado anteriormente, los ahorros globales y los porcentajes de ahorro en emisiones (2019) pueden observarse en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9 Ahorros de Emisiones de CO₂ (2019) para la zona conurbada Veracruz-Boca del Río

Demanda	AHORRO DE EMISIONES				% DE AHORRO DE EMISIONES			
	VIVIENDA MEDIA	VIVIENDA RESIDENCIAL	VIVIENDA POPULAR	TOTAL	VIVIENDA MEDIA	VIVIENDA RESIDENCIAL	VIVIENDA POPULAR	TOTAL
	t CO ₂	t CO ₂	t CO ₂	t CO ₂	%	%	%	%
Emisiones de CO ₂ máximas diarias	2.03	21.59	19.83	43.46	58.71	65.20	58.82	61.82
Emisiones de CO ₂ anuales	3,502	39,440	34,061	77,003	60	65.62	60.57	63.05
Emisiones de CO ₂ promedio diarias	9.59	108.05	93.32	210.97	60.49	65.62	60.57	63.05

De los valores de la tabla se puede notar que los ahorros de emisiones correspondientes a cada modelo vivienda considerado son significativos; el total de ahorros en emisiones anuales es del 63.05 %. Esto no solo significa que se mejora la calidad del ambiente, sino también la calidad de vida de los habitantes de la zona conurbada.

Por otro lado, la demanda de energía tiene un costo; con la finalidad de evaluar el impacto global del costo de la energía para la zona conurbada Veracruz – Boca del Río, se consideran usuarios cuyo consumo excede los 150 kWh fuera de verano y 300kWh dentro de verano. Considerando costos del 2019, para las demandas energéticas del 2015, basadas en consumos para el acondicionamiento térmico, se puede establecer referencias que nos muestren indicadores de ahorro.

La Tabla 4.10 muestra el comparativo de costos para la zona conurbada Veracruz - Boca del Río, bajo un costo promedio de \$1.922 por kW/h para consumos mayores de 100 kWh

Tabla 4.10 Comparativo de costos por demanda energética para la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río.

COSTOS	Sin Techo verde				Con Techo verde			
	VIVIENDA MEDIA	VIVIENDA RESIDENCIAL	VIVIENDA POPULAR	TOTAL	VIVIENDA MEDIA	VIVIENDA RESIDENCIAL	VIVIENDA POPULAR	TOTAL
	PESOS	PESOS	PESOS	PESOS	PESOS	PESOS	PESOS	PESOS
Costo del día de máxima demanda	\$13,155	\$126,046	\$128,348	\$267,549	\$5,431	\$43,865	\$52,859	\$102,155
Costo anual	\$22,031,865	\$228,737,323	\$214,029,360	\$464,798,548	\$8,704,046	\$78,631,197	\$84,395,586	\$171,730,829
Costo diario promedio	\$60,361	\$626,678	\$586	\$687,625	\$23,847	\$215,428	\$231,221	\$470,495

Como puede observarse en la tabla, se presentan diferentes conceptos de costos. El costo del día de máxima demanda se refiere al costo de la energía en el día en el que los usuarios tienen el mayor consumo a lo largo del año; esto es en el día más caluroso, cuando el consumo de energía se incrementa por el uso de EAA. Los ahorros en un solo día pueden alcanzar los \$267,549.00 (doscientos sesenta y siete mil quinientos cuarenta y nueve pesos 00/100 M.N).

El costo anual es la suma de los costos por consumos diarios de energía de los usuarios que habitan en casas con EAA en la zona Veracruz-Boca del Río (comprendidos en un año) y cuyos consumos exceden los límites de energía antes citados.

En la Tabla 4.11 se pueden apreciar los ahorros económicos para la zona conurbada Veracruz-Boca del río.

Tabla 4.11 *Comparativo del ahorro por demanda energética para la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río*

AHORRO	AHORRO ECONÓMICO				% AHORRO ECONÓMICO			
	VIVIENDA MEDIA	VIVIENDA RESIDENCIAL	VIVIENDA POPULAR	TOTAL	VIVIENDA MEDIA	VIVIENDA RESIDENCIAL	VIVIENDA POPULAR	TOTAL
	PESOS	PESOS	PESOS	PESOS	%	%	%	%
Ahorro del día de máxima demanda de energía	\$7,723	\$82,182	\$75,489	\$165,394	58.71	65.20	58.82	61.82
Ahorro del consumo de energía anual	\$13,327,819	\$150,106,125	\$129,633,774	\$293,067,719	60.49	65.62	60.57	63.05
Ahorro del consumo diario promedio	\$36,515	\$411,250	-\$230,634	\$217,130	60.49	65.62	-39,331.78	31.58

Con la tecnología de techos verdes, el ahorro anual por \$ 293,067,719.00 (doscientos noventa y tres millones sesenta y siete mil setecientos diecinueve pesos 00/100 M.N) no solo representa lo que los usuarios dejan de pagar por concepto de consumo en acondicionamiento térmico; este ahorro, representa un incremento en el margen de seguridad energética del país, pues el ahorro en el consumo por uso de EAA, puede ser reorientado a áreas de electrificación más críticas o productivas. En términos de intensidad energética, al disminuir costos por consumo energético, se mejora la eficiencia energética del país.

Si esta energía para el refrescamiento se deja de consumir, estos ahorros también se verán reflejados de forma indirecta en los requerimientos de hidrocarburos utilizados en la producción eléctrica; y por consiguiente, en las emisiones de CO₂ al medio ambiente, mejorando la calidad de vida de los habitantes de la zona conurbada. El ahorro por \$ 293,067,719.00 puede ser utilizado por los usuarios en otros gastos del hogar, de ocio, etc., fomentando la circulación económica y contribuyendo a la estabilidad financiera de la conurbación Veracruz – Boca del Río.

CONCLUSIONES

El objetivo fundamental de esta tesis, es evaluar los beneficios la tecnología de naturación en las viviendas de la zona conurbada Veracruz - Boca del Río desde el punto de vista energético, económico y ambiental; aportando en el análisis, con un modelo con vegetación económica y resistente como lo es el pasto San Agustín, una alternativa para reducir los costos en la facturación de las viviendas con alto consumo por aire acondicionado, así como los costos de producción de la energía eléctrica y el uso de hidrocarburos que dañan el medio ambiente.

Del análisis de simulación en TRNSYS 16, aplicado al modelo a escala, de 1 m³ con perfil estructural cuadrado, cubierta con material estructural ligero (tablacreto), considerando naturación de tipo extensiva, con substrato de 15 cm de espesor, soportada por una losa de 0.1 m x 1 m x 1 m bajo condiciones de humedad del 50 %, la demanda de energía promedio por hora se ve reducida en un 50 % y la acumulada en un año en un 51% al aplicar el techo verde. Escalando estos resultados a la cantidad de viviendas con EAA de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río, se observan ahorros en el consumo anual de energía de un 63 %, cantidad que impacta significativamente en las emisiones de CO₂ a la atmósfera debido a ahorros indirectos en la generación eléctrica y combustión de hidrocarburos.

Al verse reducido el consumo energético por confort térmico, los costos por demanda de energía para los usuarios también se ven reducidos significativamente. Estos ahorros energéticos representan un incremento en el margen de seguridad energética del país, pues el ahorro en el consumo por uso de EAA, puede ser reorientado a áreas de electrificación más críticas o productivas. En términos de Intensidad energética, al disminuir costos por consumo energético, se mejora la eficiencia energética del país.

La tecnología de techos verdes, aporta muchos otros beneficios además de los expuestos, pues en una conurbación como la nuestra, con clima extremo, el uso de techos verdes puede reducir el riesgo de inundaciones; y su aplicación masiva, aporta al mejoramiento urbano y ecológico, así como a la reducción de estrés en las personas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación española de normalización y certificación (2006) UNE-EN-ISO 7730:2006 *Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local*. Madrid: AENOR.
2. Calderón de Rzedowski, G. 2001. Portulacaceae, In: Rzedowski, G. C. de, J. Rzedowski y colaboradores. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2ª. ed., Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro (Michoacán). 1406 pp.
3. Castleton H.F, Stovin V., Beck S.B.M, y Davison J.B.(2010) .Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Journal Elsevier* 42 (2010) 1582–1591.
4. Centro Nacional de Prevención de Desastres (2016) Resumen Ejecutivo del Impacto Socioeconómico de los Desastres en México durante 2016 (SEGOG/CENAPRED). Recuperado de <https://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/368-RESUMENEJECUTIVOIMPACTO2016.PDF>
5. Chiarella, P., Ilari, M.J. Diseño y Construcción de Techos Verdes - Módulo 1: Historia de las cubiertas naturadas. Secretaría de Posgrado- FADU, Ciudad Universitaria UNL, Santa Fé, México, 2013 Consultado en agosto de 2018 en: https://issuu.com/techosverdes/docs/posgrado._clase_i
6. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2017). Costos y Beneficios de la Norma Oficial Mexicana para Envolvente de Edificaciones Residenciales (NOM-020- ENER) (CONUEE, 2017). Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/234755/Impacto_NOM-020-junio-2017-FINAL.pdf
7. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.(2018) Cuaderno No. 1 “Análisis de la evolución del consumo eléctrico del sector residencial entre 1982 y 2017 e impactos de ahorro de energía por políticas públicas” (CONUEE, 2018). Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/193005/cuadernilloNo5_1.pdf

8. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía .Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares ENCEVI 2018 (CONUEE/SENER, 2018) Recuperado de http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/proyectos/enchogares/especiales/encevi/2018/doc/encevi2018_presentacion_resultados.pdf
9. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2016). Estudio de Caracterización del Uso del Aire Acondicionado en Vivienda de Interés Social (SENER/CONUE, 2016). Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/182038/Estudio_de_Caracterizaci_n_del_uso_de_Aire_Acondicionado.pdf
10. Comisión Reguladora de Energía. Factor de Emisión del Sector Eléctrico Nacional (CRE, 2017). Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/304573/Factor_de_Emisi_n_del_Sec_tor_El_ctrico_Nacional_1.pdf
11. Dvorak B (2011) Green roof vegetation for North American ecoregions: A literature review. *Journal of Green Building*, 96(4):197-213 DOI: 10.1016/j.landurbplan.2010.04.009
12. Dvorak B (2011) Comparative Analysis of Green Roof Guidelines and Standards In Europe and North America. *Journal of Green Building*, 6(2):170-191 DOI: 10.3992/jgb.6.2.170
13. Elizarraras A.D (2011) Azoteas Verdes Horizontales: Termohigrometría en edificaciones de Bioclimas semifríos (Tesis de Maestría en Ciencias en Arquitectura) ESIA Tecamachalco. Registro A090700
14. Fernández, F. (1994), Clima y confortabilidad humana. Aspectos metodológicos, *Serie Geográfica, Vol. 4*; pp. 109-125, Consultado en agosto del 2018 en: <https://www.divulgameteo.es/fotos/meteoroteca/Clima-Confortabilidad.pdf>
15. Haro C. E.T. (2009) Comportamiento de dos tipos de Cubiertas Vegetales como Dispositivo de Climatización, para Climas Cálido Sub-húmedos (Tesis de Maestría en Arquitectura), Recuperado de [:http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/HARO_CARBAJAL_ELBA_TERESA.pdf](http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/HARO_CARBAJAL_ELBA_TERESA.pdf)

16. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2017) *Anuario Estadístico y Geográfico de Veracruz de Ignacio de la Llave 2017*. México: INEGI, c2017)
17. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2009) *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*, Boca del Río, Veracruz de Ignacio de la Llave, México: INEGI, 2009)
18. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2016) *Encuesta Intercensal 2015* . México (INEGI, 2016) Recuperado de:
<http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/especiales/intercensal/>
19. López, S.M y López V.C y Marín M. J. (2010), *Un acercamiento a las Cubiertas Verdes* Ofigraf Impresores S.A.S
20. Magill D.J, Midden K, Groninger J, Ferrel M. A (2011) History and Definition of Green Roof Technology with Recommendations for Future Research. *Research Papers* Paper 91. Recuperado de http://opensiuc.lib.siu.edu/gs_rp/91
21. Menéndez-Valderrey, J. L. 2016. *Stenotaphrum secundatum* (Walt.) Kuntze. Astunauta.com. Consultado en agosto de 2018 en:
<http://www.asturnatura.com/especie/stenotaphrum-secundatum.html>
22. Mihelcic, J.R. y Zimmerman, J. (2011), *Ingeniería ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
23. Minke, G. (2004) *Techos Verdes Planificación, ejecución, consejos prácticos*. Kassel, Alemania: Editorial Fin de Siglo.
24. Nyuk Hien Wong, Yu Chena, Chui Leng Ong y Angelia Sia (2003) Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment *Journal Elsevier* 38 (2003) 261 – 270
25. Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) (2014). *Cambio Climático 2014, Informe de Síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (Equipo principal de Redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds). IPCC, Ginebra, Suiza, pags 157

26. Santamouris, M. (2012) Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Journal Elsevier* 103 (2014) 682–703
27. Secretaría de Energía (2017). Prospectiva del Sector Eléctrico 2017-2031 (SENER, 2017)
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62949/Prospectiva del Sector Elctrico_2017-2031.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62949/Prospectiva_del_Sector_Elctrico_2017-2031.pdf)
28. Secretaría de Energía. NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones.- Envoltente de edificios para uso habitacional. Recuperado de :
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187244/Resoluci n NOM-020-ENER-2011.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187244/Resoluci_n_NOM-020-ENER-2011.pdf)
29. Secretaría de Medio Ambiente. Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007 . Recuperado de: <https://www.ccmexico.com.mx/es/juridico/99-gaceta-oficial-del-distrito-federal/1155-proy-nadf-013-rnat-2017-especificaciones-tecnicas-para-la-instalacion-de-sistemas-de-naturacion-en-la-cdmx>
30. Simancas Yovane, K. Reacondicionamiento bioclimático de viviendas de segunda residencia en clima mediterráneo. Tesis doctoral, UPC, Departament de Construccions Arquitectòniques I, 2003. ISBN 8468858218 Consultado en:
en: <http://hdl.handle.net/2117/93425>
31. Tarrida L,(2010) Aprender sobre las cubiertas verdes urbanas a través del caso Augustenborg (Tesina de Máster de Arquitectura y sostenibilidad: herramientas de diseño y técnicas de control medioambiental) Recuperado de la página:
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13548/Tarrida,%20Mar%C3%A7al_Tesina.pdf
32. Wong Nyuk Hien, Tan Puay Yok, Chen Yu (2007) Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate *Journal Elsevier* 42 (2007) 25–54
33. Zatarain, K. "Tres climas, tres proyectos: Vivienda de autoproducción asistida en México por CC Arquitectos" 29 ene 2018. ArchDaily México. Accedido el 23 Nov 2019. Recuperado de: <https://www.archdaily.mx/mx/887864/tres-climas-tres->

34. ZIMMERMAN, C.A. Growth characteristics of weedness in *Portulaca oleracea* L. *Ecology* (1976) 57: 964-974.
35. ZIMMERMAN, C.A. A comparison of breeding systems and seeds physiologies in three species of *Portulaca* L. *Ecology* (1977) 58: 860-868.

ANEXO A

División Geográfica por sectores (Zonificación) de la Conurbación

Veracruz-Boca del Río-Medellín-Alvarado, Ver.



ESTADO LIBRE Y SOBERANO DE VERACRUZ

InVivienda

EMBOLOGIA

CONSEJO DE ARQUITECTOS

CONSEJO DE INGENIEROS

CONSEJO DE PLANEACION URBANA

CONSEJO DE PSICOLOGOS

CONSEJO DE TRABAJO SOCIAL

CONSEJO DE ECONOMIA

CONSEJO DE DERECHO

CONSEJO DE CIENCIAS POLITICAS Y SOCIALES

CONSEJO DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA SALUD

CONSEJO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CONSEJO DE CIENCIAS AMBIENTALES

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA TIERRA

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA VIDA

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA ENERGIA

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA INFORMACION

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA COMUNICACION

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA CULTURA

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA HISTORIA

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA LINGUAGICA

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA FILOSOFIA

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA EDUCACION

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA PEDAGOGIA

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA PSICOLOGIA

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA SOCIOLOGIA

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA ANTROPOLOGIA

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA ETNOLOGIA

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA LINGUAGICA

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA FILOSOFIA

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA EDUCACION

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA PEDAGOGIA

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA PSICOLOGIA

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA SOCIOLOGIA

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA ANTROPOLOGIA

CONSEJO DE CIENCIAS DE LA ETNOLOGIA

USOS, DESTINOS Y RESERVAS

RESERVA DE TIERRAS COMUNALES

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO SOCIAL

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO FEDERAL

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO ESTADAL

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO PARTICULAR

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO PRIVADO

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO PUBLICO

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO SOCIAL

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO FEDERAL

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO ESTADAL

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO PARTICULAR

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO PRIVADO

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO PUBLICO

USOS, DESTINOS Y RESERVAS

RESERVA DE TIERRAS COMUNALES

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO SOCIAL

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO FEDERAL

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO ESTADAL

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO PARTICULAR

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO PRIVADO

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO PUBLICO

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO SOCIAL

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO FEDERAL

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO ESTADAL

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO PARTICULAR

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO PRIVADO

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO PUBLICO

USOS, DESTINOS Y RESERVAS

RESERVA DE TIERRAS COMUNALES

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO SOCIAL

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO FEDERAL

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO ESTADAL

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO PARTICULAR

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO PRIVADO

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO PUBLICO

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO SOCIAL

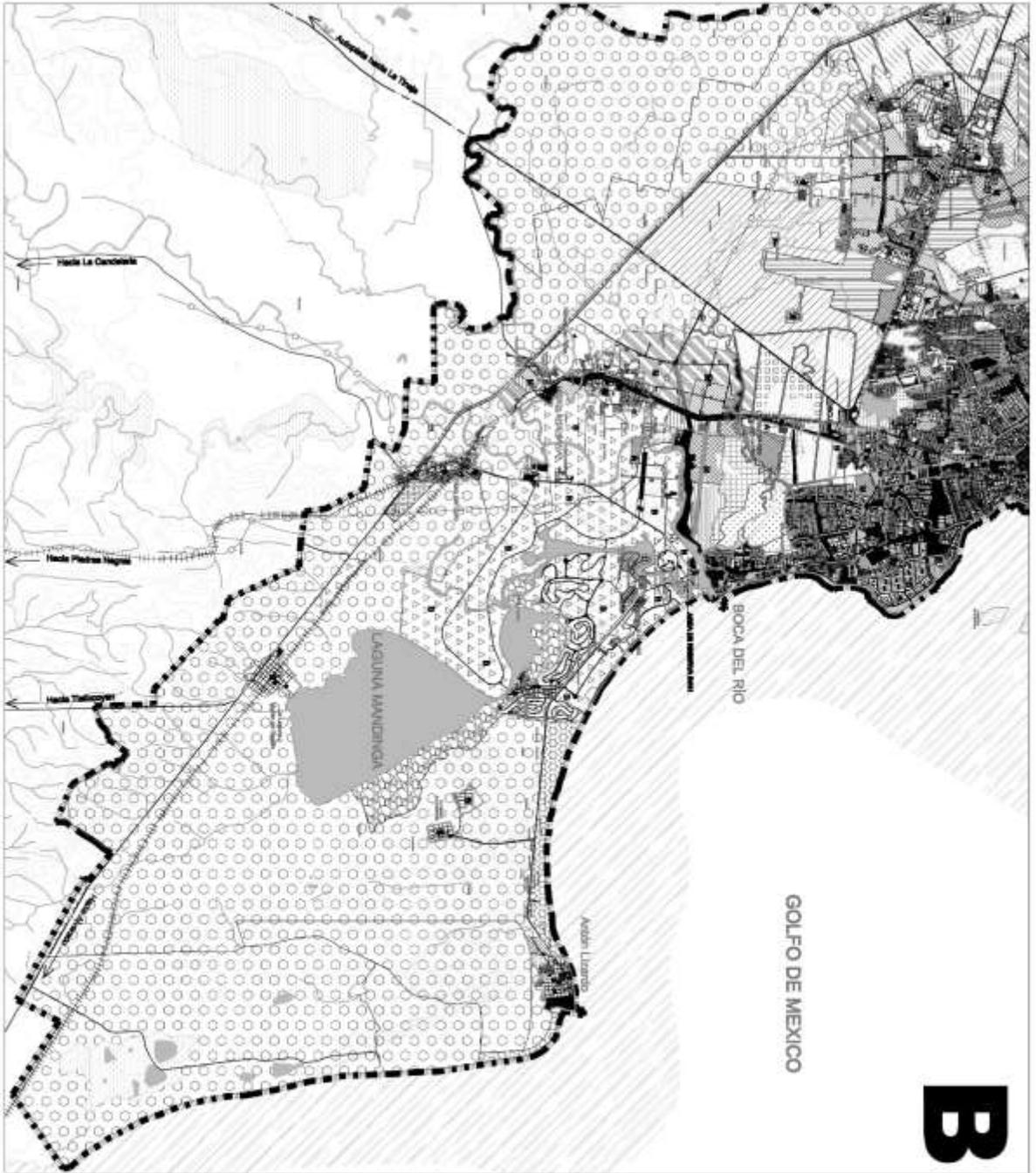
RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO FEDERAL

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO ESTADAL

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO PARTICULAR

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO PRIVADO

RESERVA DE TIERRAS DE DOMINIO PUBLICO



VERACRUZ

ESTADO DE VERACRUZ

COORDENADAS UTM

PROYECTO: PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE BOCA DEL RÍO

ESCALA: 1:50,000

FECHA: 2011

USOS, DESTINOS Y RESERVAS

USO	RESERVA	DESTINO
Urbano	Reserva de Desarrollo Urbano	Reserva de Desarrollo Urbano
Industrial	Reserva de Desarrollo Industrial	Reserva de Desarrollo Industrial
Comercial	Reserva de Desarrollo Comercial	Reserva de Desarrollo Comercial
Agropecuaria	Reserva de Desarrollo Agropecuario	Reserva de Desarrollo Agropecuario
Forestal	Reserva de Desarrollo Forestal	Reserva de Desarrollo Forestal
Protección Ambiental	Reserva de Desarrollo Ambiental	Reserva de Desarrollo Ambiental
Protección del Patrimonio Cultural	Reserva de Desarrollo Cultural	Reserva de Desarrollo Cultural
Protección del Patrimonio Natural	Reserva de Desarrollo Natural	Reserva de Desarrollo Natural
Protección del Patrimonio Histórico	Reserva de Desarrollo Histórico	Reserva de Desarrollo Histórico

SIMBOLOGÍA

USO	RESERVA	DESTINO
Urbano	Reserva de Desarrollo Urbano	Reserva de Desarrollo Urbano
Industrial	Reserva de Desarrollo Industrial	Reserva de Desarrollo Industrial
Comercial	Reserva de Desarrollo Comercial	Reserva de Desarrollo Comercial
Agropecuaria	Reserva de Desarrollo Agropecuario	Reserva de Desarrollo Agropecuario
Forestal	Reserva de Desarrollo Forestal	Reserva de Desarrollo Forestal
Protección Ambiental	Reserva de Desarrollo Ambiental	Reserva de Desarrollo Ambiental
Protección del Patrimonio Cultural	Reserva de Desarrollo Cultural	Reserva de Desarrollo Cultural
Protección del Patrimonio Natural	Reserva de Desarrollo Natural	Reserva de Desarrollo Natural
Protección del Patrimonio Histórico	Reserva de Desarrollo Histórico	Reserva de Desarrollo Histórico

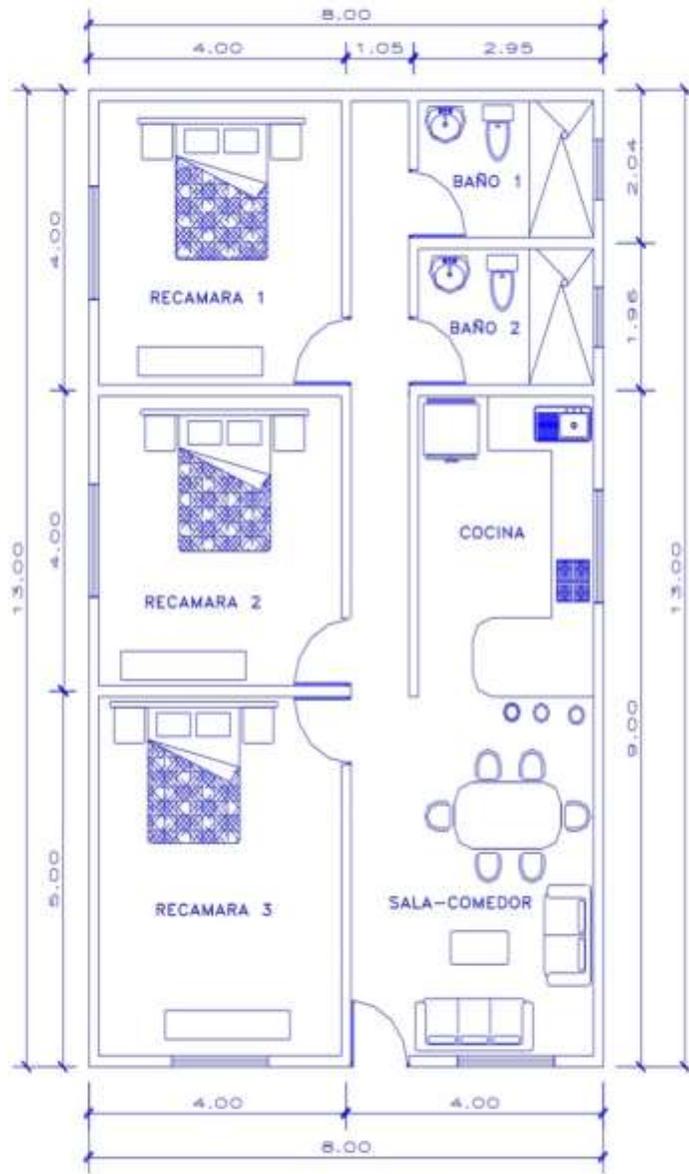
VERACRUZ

InVivenda

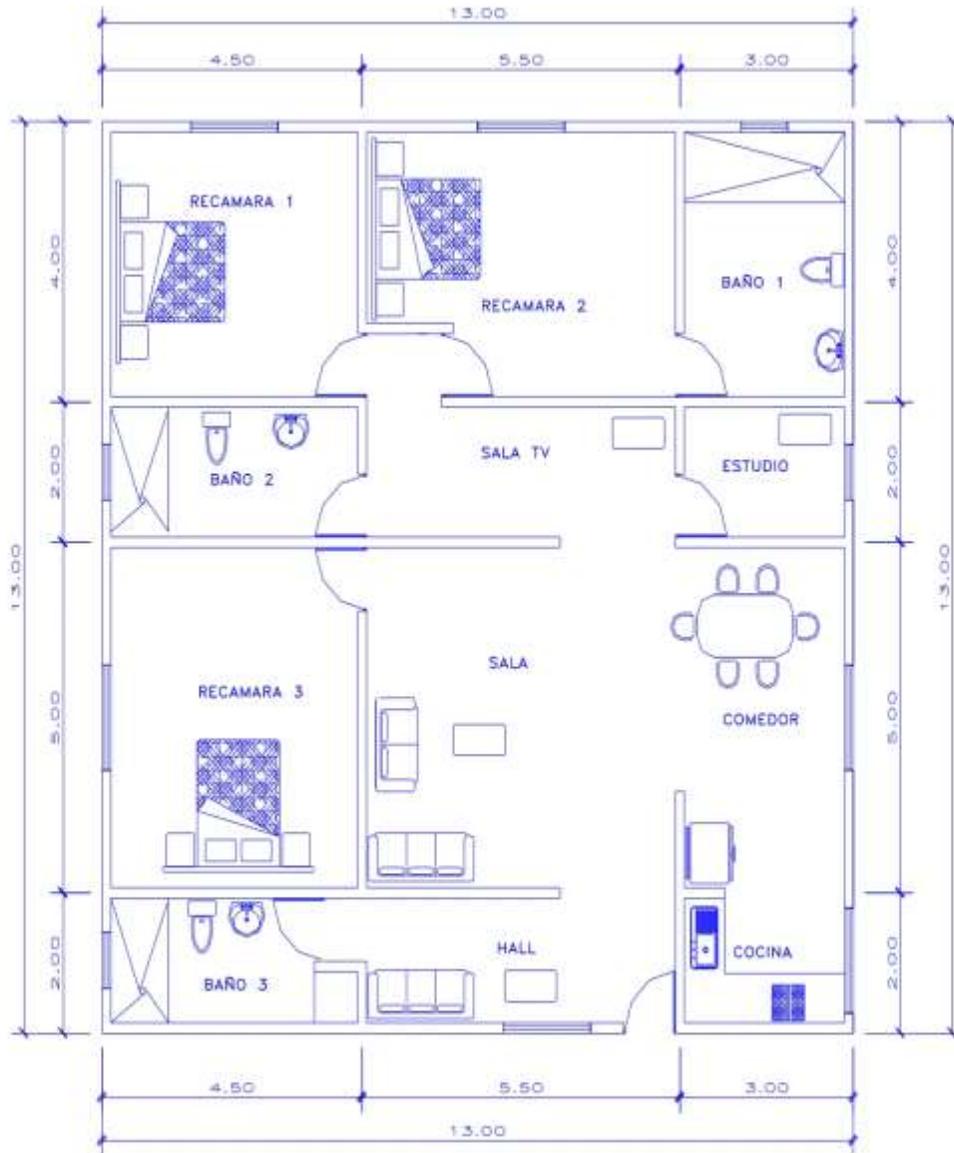
ANEXO B

Modelos arquitectónicos de Viviendas tipo

(Nivel Medio y Residencial)



Modelo de Vivienda Nivel Medio



Modelo de Vivienda Residencial

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS Y NO PLAGIO

En la Ciudad de Veracruz, Veracruz a los 24 días del mes NOVIEMBRE de 2020. El que suscribe Ing. Blanca Iris Zárate Santiago por mi propio derecho y en calidad de autor de la tesis titulada:

EVALUACIÓN DE POTENCIAL DE AHORRO ENERGÉTICO DE TECHOS VERDES APLICADOS EN LA ZONA CONURBADA VERACRUZ – BOCA DEL RÍO

(en lo sucesivo la "TESIS") manifiesto que cedo a título gratuito la totalidad de los derechos patrimoniales de autor que sobre ella me corresponden, a favor del Tecnológico Nacional de México (en lo sucesivo el "TecNM"). Lo anterior en términos de los antecedentes y consideraciones siguientes:

- I. Que la presente cesión de derechos de la "TESIS" se transfiere en virtud de lo estipulado en lo establecido en los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México, sin reservarme acción legal de ningún tipo.
- II. Manifiesto bajo protesta de decir verdad, que la "TESIS" es original, inédita y propia, no existiendo impedimento de ninguna naturaleza para la cesión de derechos que se está haciendo, respondiendo además por cualquier acción de reivindicación, plagio u otra clase de reclamación que al respecto pudiera sobrevenir.
- III. Que la titularidad de derechos de autor de la "TESIS" en términos del artículo 27 de la Ley Federal del Derecho de Autor (reproducción, en todas sus modalidades, transformación o adaptación, comunicación pública, distribución y en general cualquier tipo de explotación que de la "TESIS" se pueda realizar por cualquier medio conocido o por conocer, son propiedad única y exclusiva del "TecNM", adquiriendo el derecho de reproducción en todas sus modalidades, el derecho de transformación o adaptación, comunicación pública, distribución y en general cualquier tipo de uso que de la "TESIS" se pueda realizar por cualquier medio conocido o por conocer. La cesión de derechos se realiza con carácter permanente e irrevocable.
- IV. El TecNM podrá exhibir la "TESIS" a través de cualquier medio, en cualquier parte del mundo, incluso ser modificada, comprendida, traducida y de cualquier forma explotada en su totalidad o parcialidad.
- V. Que no he otorgado, ni otorgaré por ningún motivo, consentimiento alguno para la utilización de la "TESIS" por cualquier medio y su materialización en productos o servicios de cualquier naturaleza, a favor de ninguna persona física o moral, distinta a el "TecNM".
- VI. Estoy enterado del contenido y alcance legal de la presente cesión de derechos, firmando al final del presente documento para su certificación.

Señalo como correo electrónico para recibir futuras notificaciones: M18020026@veracruz.tecnm.mx



Ing. Blanca Iris Zárate Santiago