

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA



SISTEMA MODULAR EN AZOTEAS VERDES PARA EL ESTABLECIMIENTO DE ESPECIES VEGETALES COMESTIBLES EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Tesis que para optar por el grado de:
Maestro en Arquitectura
presenta:

Arq. Psj. Norma Lilia Martínez Gómez

Director de Tesis:

M. en Arq. Alma Rosa Ortega Mendoza
Facultad de Arquitectura, UNAM

Sinodales:

Dr. Diego Morales Ramírez- Posgrado de Arquitectura, UNAM
M. en Arq. Francisco Reyna Gómez- Posgrado de Arquitectura, UNAM
M.C. María del Carmen Meza Aguilar- Facultad de Arquitectura, UAP, UNAM
M. en Arq. Jorge Rangel Dávalos- Posgrado de Arquitectura, UNAM

México D.F. Marzo 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

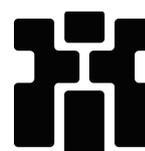
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA



**SISTEMA MODULAR EN AZOTEAS VERDES PARA EL
ESTABLECIMIENTO DE ESPECIES VEGETALES
COMESTIBLES EN LA CIUDAD DE MÉXICO**

Arq. Psj. Norma Lilia Martínez Gómez



INDICE

Introducción

Justificación del Tema

Objetivos

Hipótesis

Capítulo I.

Antecedentes

9

1.1 Situación Actual Azoteas Verdes en la ciudad de México

10

1.1.1 Instituciones de gobierno y educativas

10

Terraza Antiguo Palacio del Ayuntamiento (sede principal del gobierno del Distrito Federal)

10

Jardín Botánico UNAM

12

Edificio Infonavit (Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda de los Trabajadores)

14

1.1.2 Empresas e instituciones privadas

16

Torre HSBC

16

Jardín Botánico CICEANA (Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América A.C)

18

1.2 Azoteas Verdes en el Mundo

20

1.2.1 Estudios de casos en otros países con especies vegetales comestibles y contenedores

20

Restaurante Uncommon Ground (Chicago, Estados Unidos)

20

Edificio habitacional nivel residencial SYNTHe (Los Angeles, California, Estados Unidos)

22

Capítulo II.

Agricultura Urbana	23
2.1 Concepto de Rooftop Gardening o Agricultura Urbana	23
2.2 Antecedentes Agricultura urbana en el mundo y México	23
2.3 Seguridad Alimentaria	27
2.4 Agricultura urbana en la ciudad de México	29
2.5 Relación Azoteas Verdes y Agricultura Urbana	32

Capítulo III.

Sistema Constructivo Modular o Indirecto	34
3.1 Clasificación Azoteas Verdes	34
3.2 Sistema Constructivo Tradicional en Azoteas Verdes	36
3.2.1 Componentes Sistema Tradicional	36
3.2.2 Ventajas y Desventajas utilización Sistema Tradicional	37
3.3 Sistema Constructivo Modular o Indirecto	38
3.3.1 Componentes Sistema Modular	40
3.3.2 Ventajas y Desventajas utilización Sistema Modular	42
3.4 Sistema Modular versus Sistema Tradicional	44
3.4.1 Componentes de Reemplazo entre ambos Sistemas	44
3.4.2 Comparativa Sistema modular versus Sistema Tradicional	45
3.4.3 Instalación Sistema modular	46
3.4.4 Fichas Técnicas Productos: Sistemas modulares o contenedores	47
Descripción	
Información comercial	
Imágenes	
Sección y componentes	

Capítulo IV.

Especies Vegetales Comestibles 53

4.1 Plantas Ornamentales o Comestibles	53
4.2 Alimentación en la época prehispánica	57
4.3 Plantas Comestibles en la cultura mexicana	58
4.3.1 Flores	58
4.3.2 Condimentos	59
4.3.3 Raíces	59
4.3.4 Verduras	60
4.4 Una cultura prehispánica agrícola y hortícola	61
4.4.1 Los Quelites	61
4.5 La importancia del Maíz	65
4.6 Alimentación en la época de la Conquista	67
4.7 Alimentación Actual	68

Capítulo V.

Sustratos en las Azoteas Verdes 69

5.1 Importancia del Sustrato en las Azoteas Verdes	69
5.2 Características Sustratos en Azoteas Verdes	70
5.3 Cualidades sustratos en contenedores	77
5.4 Elección de un sustrato para contenedores y especies vegetales comestibles en Azoteas Verdes	83

Capítulo VI.

Modelo de Estudio Matemático	86
6.1 Descripción del Modelo	86
6.2 Criterios de Selección de Variables: Materiales Vivos e Inertes Sistema modular para Azoteas Verdes	87
6.2.1 Variables para la Selección de Módulos de Plantación o Contenedores	87
6.2.2 Variables para la Selección de Especies Vegetales Comestibles	88
6.2.3 Variables para la Selección de Sustratos o Medios de Crecimiento	89
6.3 Indicadores o Parámetros	91
6.4 Variables Internas y Externas para Cálculo Desempeño Térmico Azotea Verde Sistema Modular	92

Capítulo VII.

Caso de Estudio: Azotea Vivienda Xochimilco, Cd. de Méx.	93
7.1 Ubicación Caso de Estudio	93
7.1.1 Clima del Sitio y Características	96
7.1.2. Levantamiento Arquitectónico del Sitio y Zonificación Área de Simulación Cálculo Térmico	101
7.2 Evaluación Térmica	105
7.2.1. Rango de Confort de Temperaturas mediante la Ecuación de Aluciemms	105
7.2.2. Día de Diseño (Junio y Diciembre)	106

Capítulo VIII.

Metodología	107
8.1 Componentes Sistema modular azotea vivienda ciudad de México	107
8.1.1 Ejemplos sistemas modulares	107
8.1.2. Composición sustratos	107
8.1.3. Selección Especies Vegetales comestibles	107
8.2 Evaluación Desempeño Térmico	108
8.3 Ventajas Térmicas Composición Sustratos	108

Capítulo IX.

Desempeño Térmico Sistema Modular Azoteas Verdes	109
9.1 Conductividad Térmica Materiales Vivienda	109
9.2 Cálculo Térmico	111
9.2.1. Sistema modular o indirecto en la Azotea en Junio	111
9.2.2. Azotea sin Naturación en Junio	112
9.2.3. Comparativa Azotea sin Naturación y con Sistema modular (Junio)	113
9.2.4. Sistema modular o indirecto en la Azotea en Diciembre	114
9.2.5. Azotea sin Naturación en Diciembre	115
9.2.6. Comparativa Azotea sin Naturación y con Sistema modular (Diciembre)	116
9.2.7. Sistema modular o indirecto: Mezcla de sustrato 1 (Junio)	117
9.2.8. Sistema modular o indirecto: Mezcla de sustrato 2 (Junio)	118
9.2.9. Comparación de fluctuación de temperaturas entre distintos tipos de sustratos	119

Capítulo X.

Propuesta	120
10.1 Paleta Vegetal propuesta: Especies comestibles mexicanas con potencial de uso en Azoteas Verdes	120
10.2 Propuestas de Mezclas de Sustratos para Especies Vegetales Comestibles en Sistemas modulares	125
10.3 Diseño de prototipo de Sistema modular en Azoteas de la ciudad de México	127

Conclusiones	130
---------------------	-----

Bibliografía	134
---------------------	-----

Glosario	138
-----------------	-----

Anexos	141
---------------	-----

Anexo A. Programa MathCad	141
----------------------------------	-----

Anexo B. Tablas de Evaluación Térmica por horas	143
--	-----

Introducción

Cuando pensamos en tener una “Ciudad Verde”, una de las imágenes que frecuentemente tenemos es la de una ciudad con miles de edificaciones y viviendas tapizados en las azoteas y los muros de vegetación. Es una imagen que pensamos posible porque trae consigo esa añoranza de recuperar un pedacito de la naturaleza y hacerlo presente en los lugares que habitamos; en otros casos representa un futuro que queremos alcanzar para mejorar la calidad de vida y el bienestar ambiental con el que contamos en la actualidad.

El propósito de “reverdecer las ciudades” no es nuevo; en el pasado hay muchos ejemplos de diversas culturas que recurrentemente utilizaban vegetación en las azoteas. Los jardines colgantes de Babilonia y los postulados de “cubierta jardín” de Le Corbusier son algunos ejemplos de los más conocidos; pero no son los únicos. El concepto de azotea verde ha evolucionado con el tiempo y hoy en día el límite de sus posibilidades existe sólo dentro de la creatividad de los que se atreven a hacer nuevas propuestas y experimentar.



Imagen 1 Una ciudad de México “Verde”

En la ciudad de México la demanda de crear Azoteas Verdes sigue creciendo; en parte por los esfuerzos del gobierno del Distrito Federal para crear incentivos para su realización y en parte porque las instituciones educativas y la iniciativa privada han realizado las mismas, estableciendo ejemplos pioneros y exitosos de lo que se puede lograr con el tiempo al establecer una azotea verde en las edificaciones.

El camino recorrido es bueno, pero aún falta mucho por hacer si queremos que las azoteas verdes puedan generar un beneficio ecológico o social palpable. De la inquietud de proponer nuevas alternativas para su realización surgió este trabajo; tratando de dar un panorama de lo que se está haciendo con la utilización de los Sistemas indirectos o modulares en las Azoteas Verdes; el potencial que existe en México al seleccionar Especies Vegetales Comestibles en las mismas y recuperar así la tradición agrícola de huertos familiares urbanos en la ciudad y con ello asegurar en el futuro la seguridad alimentaria, ante la amenaza cada vez más frecuente de una crisis de este tipo en nuestro país. Finalmente se pretenden evaluar los beneficios térmicos que pueden proporcionar los Sistemas indirectos o modulares para la naturación en las azoteas; y determinar en sí las ventajas o desventajas de su utilización y si se logra de una mejor forma reducir las ganancias térmicas externas que tienen las viviendas en la ciudad de México.

El objetivo General que se plantea es el de Proponer un Sistema modular para su uso en azoteas verdes de la ciudad de México para la identificación de su comportamiento térmico y la colocación de especies vegetales comestibles.

Para lograrlo, se analizarán las ventajas de diseño de los sistemas modulares en cuanto a la colocación de vegetación y comportamiento térmico; se identificarán los beneficios del uso de especies vegetales comestibles en la ciudad de México, prestando especial atención a sus características térmicas y paisajísticas y se mejorarán los aspectos funcionales del uso de mezclas de sustratos.

La hipótesis planteada entonces se define en el siguiente enunciado:

“Mediante el aprovechamiento de los elementos de diseño de los módulos de plantación indirectos (sistemas modulares) para su instalación en las azoteas verdes de la Ciudad de México se puede mejorar el desempeño térmico al interior de viviendas y optimizar el uso de mezclas de sustratos para el establecimiento de especies vegetales comestibles.”

Para ello, el siguiente trabajo está dividido en diez capítulos:

Capítulo 1. Se describe la situación actual de las Azoteas Verdes en la ciudad de México y ejemplos de las Azoteas Verdes en el Mundo donde se han utilizado especies vegetales comestibles o contenedores.

Capítulo 2. Se presenta uno de los conceptos principales que sustentan esta investigación, la definición de la Agricultura Urbana o “producción de alimentos en las ciudades”. En este capítulo se explica como a través de la historia, muchas civilizaciones han desarrollado diversas maneras para cultivar sus alimentos con el objetivo final del sustento de sus ciudades. Se comenta la importancia de garantizar la seguridad alimentaria en el futuro; el potencial de desarrollo de la Agricultura urbana en la ciudad de México y su relación con las Azoteas verdes.

Capítulo 3. Comprende las principales características que hacen la diferencia entre un Sistema Constructivo Modular o Indirecto y un Sistema Tradicional. Se describen los componentes; ventajas y desventajas de ambos sistemas constructivos. Finalmente se hace una comparativa entre los dos sistemas y se proporcionan fichas técnicas de los productos nacionales e internacionales que pueden ser adquiridos en la ciudad de México.

Capítulo 4. Se muestra la importancia de las Especies Vegetales Comestibles en los alimentos que caracterizan la cultura mexicana; porqué somos una cultura prehispánica agrícola y hortícola y la trascendencia de que en la actualidad sigamos conservando una alimentación basada en nuestro pasado. En este capítulo se hace hincapié en el aspecto de que la utilización de Especies Vegetales Comestibles en las Azoteas Verdes es posible siempre y cuando sean parte de la cultura de la que somos parte.

Capítulo 5. Se presenta el papel que juegan los sustratos en las Azoteas Verdes; los principales aspectos de los sustratos que se vuelven primordiales con el tiempo como el Peso, el Espesor, la Retención, la Permeabilidad del agua y la Pérdida de nutrientes; el funcionamiento de los componentes orgánicos e inorgánicos en las mezclas de suelo para contenedores; y que aspectos se deben observar para una elección adecuada de mezclas de sustrato para especies comestibles en contenedores.

Capítulo 6. Se explica el Modelo de Estudio utilizado; se especifican los Criterios de Selección de las variables (materiales vivos e inertes) para el Diseño de una Azotea Verde con un Sistema modular; así como los Parámetros e Indicadores más importantes a considerar; y las variables externas e internas que se evalúan para el Cálculo Térmico.

Capítulo 7. Se ubica el Caso de Estudio en una azotea de una vivienda en Xochimilco en la ciudad de México. Se especifica el Clima del Sitio y las características principales de la vivienda para la realización de la Evaluación Térmica. Se define el rango de confort de Temperaturas y la selección de los meses de Diseño a evaluar.

Capítulo 8. Se define la metodología utilizada para la definición de los componentes de un sistema modular; la Evaluación del Desempeño Térmico y las Ventajas Térmicas en la Composición de Sustratos.

Capítulo 9. Se desarrolla el Desempeño Térmico de un Sistema Modular o indirecto, presentando las diferencias en una azotea con naturación y sin naturación; así como dos mezclas de sustratos principales y sus ventajas de utilización para mejorar el desempeño térmico de una vivienda en la ciudad de México para los dos meses de diseño seleccionados.

Capítulo 10. Se presentan los resultados y conclusiones de la simulación de la instalación de un Sistema modular en una vivienda en Xochimilco en la ciudad de México para el establecimiento de un diseño prototipo.

Capítulo I

Antecedentes

La creación y transformación de espacios en Azoteas Verdes plantea una reflexión sobre el contexto y condición actual en que se encuentran estos espacios a nivel internacional y en la ciudad de México.



Imagen 2 Azotea Verde en la ciudad de México

El papel que juegan estos espacios en nuestra sociedad actual permitirá establecer cuáles son las condiciones que han permanecido a través del tiempo, cómo han evolucionado en su diseño, sus usos y necesidades y porqué es importante crear nuevas opciones para su utilización en el futuro próximo.

En el caso de las Azoteas Verdes en la ciudad de México, se realizaron visitas a los sitios para cada uno de los ejemplos que se presentan a continuación.

Los estudios de casos en la ciudad de México son diferentes entre sí; y se incluyen entre otros, casos de acceso público y privado, edificios de gobierno, empresas privadas, escuelas, y jardines botánicos. En las visitas realizadas se consideró primordial observar si el sistema de naturación es directo o indirecto (a base de contenedores); si se empieza a vislumbrar el uso de especies vegetales comestibles en la ciudad de México; y que ha ocurrido en los casos donde el sistema de naturación ha sido a base del establecimiento de especies suculentas.

En el caso de los ejemplos de Azoteas Verdes en el Mundo también se buscaron espacios donde se utilizaran contenedores o se ejemplificaran casos exitosos de Agricultura urbana. A pesar de existir a nivel internacional una fuerte corriente hacia el establecimiento de especies vegetales comestibles en las Azoteas Verdes, son pocos los casos en donde se combinan ambos aspectos; es decir, la utilización de contenedores y el cultivo de especies vegetales comestibles. Sin embargo, los dos ejemplos seleccionados son interesantes por que presentan escenarios reales en donde se empieza a dar prioridad a la producción de productos orgánicos, la educación en temas de Agricultura urbana, la reutilización de desechos orgánicos y la disminución del peso del sustrato en las Azoteas Verdes.

1.1. Situación Actual Azoteas Verdes en la Ciudad de México

1.1.1. Instituciones de gobierno y educativas

Terraza Antiguo Palacio del Ayuntamiento (sede principal del gobierno del Distrito Federal)

Con una inversión de seis millones de pesos, es una terraza o deck que ofrece una magnífica vista del Zócalo capitalino. Abarca 935 metros cuadrados, y de éstos 475 metros cuadrados son de área verde y vegetación. Consta de un módulo de servicios de 26.5 metros cuadrados, con un diseño moderno y vanguardista, que incluye sanitarios para hombres y mujeres, cocineta con barra de servicio y una tarja. Se destaca por que permite el acceso libre a una azotea de un edificio público. El acceso principal es a través de una escalinata roja que desemboca a una entrada amplia y abierta. El recorrido peatonal por el espacio es amplio y perimetral para cumplir con el objetivo de funcionar como mirador.



Foto 1 Vista Mirador deck y área verde con vegetación.

Las especies utilizadas en el área verde, son principalmente arbustivas, las cuales fueron colocadas en forma escalonada en contenedores. Se eligieron la Lantana, Jazmín Árabe, Aralia, y Eleagnus; también hay una zona de pasto que fue colocado en contenedores modulares y la reja al fondo que limita el espacio está cubierta de Bugambilia. El mirador y el jardín se crearon sobre un bastidor metálico que no afecta el

sistema de impermeabilización, ni el de escurrimiento de aguas pluviales. El riego en la zona de pasto es a base de aspersores automatizados, y en los contenedores y la reja el sistema es por goteo.



Foto 2 Vista Bastidor metálico con contenedores

La azotea verde se inauguró en el mes de julio de 2010, y es por esto, que el estado actual en que se encuentra es bueno. Algunas de las ventajas de la utilización de la vegetación en forma escalonada y en contenedores es el aprovechamiento del espacio limitado con que se cuenta para la utilización de especies arbustivas. Algunas de estas especies como el jazmín y la lantana son especies colgantes, que lucen y se desarrollan mejor si se les permite aprovechar las características de porte que poseen y en este caso se les permite “colgar”.

Otra ventaja de los contenedores, es la posibilidad de control que se puede tener de las especies utilizadas; el jazmín por ejemplo es una especie que necesita de constante vigilancia puesto que su crecimiento suele ser muy rápido y puede superar las expectativas deseadas y por consiguiente requiere de podas frecuentes lo que repercute en su posible reubicación o reposición para conservar un mejor aspecto estético. Las especies que se escogieron se caracterizan por ser atractivas por su floración o follaje, requieren de exposición al sol en especial por la mañana, necesitan riegos constantes pero no abundantes y necesitan podas de limpieza y control de crecimiento para su mantenimiento.

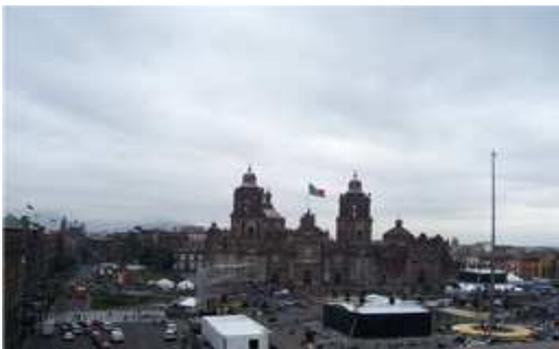


Foto 3 Vista del Zócalo capitalino desde azotea

En cuanto a la utilización del deck de madera, desde hace algunos años, se han venido posicionando como una opción de exterior en diversos proyectos, por sus características prácticas, funcionales y estéticas en espacios expuestos a las inclemencias del tiempo, como el sol y la lluvia.

Son preferidos a otros materiales como la piedra, ya que ésta última suele absorber calor y reflejar la luz solar. Además son una solución efectiva para permitir que el agua pase por las ranuras sin concentrarse en su superficie.

Generan ambientes de confort y elegancia que se imponen en las nuevas tendencias de diseño y otra de las ventajas es la facilidad de su instalación ya que no necesitan que las superficies en que se vayan a colocar estén perfectamente niveladas y se pueden instalar sobre estructuras.



Foto 4 Módulo de servicios

Sin embargo; la madera con el tiempo puede perder su belleza, sobretodo por los excesos de agua en combinación con la presencia del sol. Si el mismo no se seca y el sol calienta las superficies húmedas se van generando manchas que con el paso del tiempo no son estéticas.

También la limpieza es mejor con limpiadores especiales para madera, lo que implica un alto costo con el tiempo si se quieren conservar la tonalidad y el color que los caracteriza.

El objetivo principal para la utilización del espacio es como mirador y también como sede de eventos que organiza el gobierno del distrito federal.

Jardín Botánico UNAM

Es una de las primeras azoteas que se llevó a cabo en la ciudad de México. Es un buen ejemplo de lo que ha sucedido a través del tiempo en la realización de azoteas verdes durante un período de diez años.

La azotea verde del jardín botánico inició su construcción en julio de 1999 a cargo del biólogo Jerónimo Reyes Santiago. Este prototipo de cubierta vegetal empleó el Sistema Tradicional y por lo tanto en la misma se han perfeccionado las técnicas de construcción, los materiales, aspectos de revisión estructural e identificación de las mejores especies vegetales; con el objetivo de disminuir el costo y hacerlo más factible para viviendas.



Foto 5 Vegetación original



Foto 6 Altura vegetación a 10 años

Actualmente se puede observar que la vegetación ha cambiado en su altura en comparación con la configuración original; ya que al ser un espacio de experimentación, se ha procurado tener prácticamente un riego y mantenimiento mínimos.

En los 250 m² de azotea verde, el sistema tradicional utilizado consiste en la colocación de un primario a base de agua, impermeabilizante a base de polvo de llanta reciclada mezclado con un solvente a base de agua de 3 mm de espesor, una malla de poliéster para proteger la impermeabilización por la fricción en el paso de partículas, malla de propileno negra como capa antirraíz, una capa de 2 cm de tepojal de 1 cm de granulometría, geotextil y sustrato orgánico degradado de 5 cm de espesor, mezclado con tepojal, nutrientes y polímeros para retener el agua.

A lo largo de 10 años, se puede decir que la

vegetación con mayor desarrollo es la *Sedum dendroideum* (siempreviva) y la *Opuntia steptacantha* (nopal). El establecimiento de estas dos especies que en la actualidad alcanzan en promedio, un metro de altura, han permitido que se genere un dosel alto que proporciona sombra a la edificación donde se encuentra instalada la naturación.

Esto ha permitido entonces que disminuya la ganancia de radiación solar al interior y por consiguiente que en la época calurosa de la ciudad de México, el ambiente al interior de la edificación sea confortable y adecuado para los usuarios. Otro aspecto interesante, es el sustrato utilizado. El espesor del sustrato que se ha establecido con el tiempo y que se ha tratado de conservar es de 7 cm; sin embargo se sigue observando un continuo deslave del suelo que no beneficia a las plantas que se establecen en la azotea, ya que al momento de carecer de sustrato, también la azotea se va quedando sin vegetación.



Foto 7 Nuevas opciones de naturación en pendientes

Es por esta razón que se pueden observar zonas desprovistas de cualquier especie vegetal, lo que ocasiona un aspecto desagradable y la disminución del aislamiento térmico al interior. Se está experimentando también en las zonas de la azotea con pendiente para el establecimiento de vegetación, y es por esta razón principalmente que se ha comprobado que son necesarias otras opciones en cuanto a sistemas constructivos que permitan mejorar aspectos de contención del sustrato, establecimiento de diversas especies vegetales y el poder realizar cambios en la organización inicial del diseño con el tiempo sin que esto implique la

destrucción total de la naturación y por consiguiente de nuevo el empleo de recursos monetarios para su permanencia.

Edificio Infonavit (Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda de los Trabajadores)

Con una inversión de ocho millones de pesos, es la azotea verde más grande de América Latina ubicada en el edificio sede del Instituto Nacional de la Vivienda de los Trabajadores y abarca 5265 metros cuadrados. La azotea se compone de una pista de jogging de 378 metros lineales, áreas de descanso, sanitarios con regaderas y vestidores, un espacio para practicar yoga y huerto de hortalizas. Cuenta con un sistema de captación de agua pluvial para riego, utilización de lombricomposta en la mezcla de sustrato para la vegetación y la iluminación es a base de luminarias solares. Todos estos elementos se implementaron para seguir una política de ahorro de energía, agua y manejo de residuos sólidos; lo que permitió al Instituto obtener la certificación como Edificio Sustentable con grado de Excelencia por parte de la Secretaría del Medio Ambiente del gobierno del distrito federal.



Foto 8 Pista de jogging de 378 metros lineales



Foto 9 Espacios de relajación y ejercicio

Este espacio que comenzó como un pequeño huerto de hortalizas, se ha convertido en un lugar para que los trabajadores se puedan ejercitar y relajar, porque uno de los objetivos principales es promover el uso de la bicicleta entre los empleados. Es una naturación de tipo semi-intensivo que consiste en un polímero de tecnología suiza que se termo fusiona con calor, se pega contra la losa y sella por completo para evitar filtraciones de agua. Posteriormente se colocaron diversos geotextiles y geodrenes para colocar una capa de sustrato de 20 cm hecho con tezontle y composta; que permite que el mismo sea ligero pero de suficiente espesor para el crecimiento de la vegetación.



Foto 10 Franjas de vegetación con temáticas de ecosistemas de México y Sanitarios con vestidores

Las especies utilizadas en el huerto de hortalizas son cultivos de fresas, betabeles, jitomates, orégano, lechuga, rábano, cebollines, acelgas, coliflor, papas, chile habanero, aguacate, perejil, apio y hojas de limón. Las plantas se organizaron con una línea temática representando tres ecosistemas de México: el de bosque alto, zona desértica y el trópico. En el ecosistema de trópico se encuentran cultivos de naranjas, limones, mangos y papaya, la mayoría de ellos árboles de porte medio que se encuentran en macetas de barro. En el ecosistema de bosque alto hay una zona de plantas aromáticas donde destacan la lavanda, manzanilla y menta. En la zona desértica predominan las biznagas, agaves, siempre viva y cola de borrego.



Foto 11 Zona desértica y áreas de descanso

La vegetación suma una variedad de entre 75 a 80 especies diferentes. Las plantas fueron traídas de invernaderos de la Universidad Autónoma de Chapingo y de las Unidades de Manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA), de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat).

El agua pluvial es almacenada en un cárcamo para el riego de las plantas que puede ser ya sea por goteo o por aspersión, según los requerimientos de cada especie.

Para la generación de lombricomposta se utilizan los residuos orgánicos de la cafetería. Algunas de las ventajas de esta azotea verde que fue inaugurada en junio de 2011 son principalmente la eficiencia de recursos, el reaprovechamiento, el reuso y el autoconsumo. Las zonas de descanso cuentan con protecciones solares hechas a base de encapsulados de bambú. El objetivo principal es un menor consumo de energía eléctrica y aire acondicionado al interior del edificio en conjunto con la idea de contar con un espacio de relajación y acercamiento a la naturaleza para los trabajadores de esta institución.

1.1.2. Empresas e instituciones privadas

Torre HSBC

Es uno de los techos más reconocidos en América Latina con 136 metros de altura, que está en frente del Ángel de la Independencia. La construcción es la primera en la región latinoamericana en recibir la certificación Leed-Gold, otorgada por el Consejo Internacional de Edificación Verde. El décimo nivel de la zona de estacionamientos tiene un jardín de 540 metros cuadrados.



Foto 12 Jardín con formaciones de setos de especies suculentas

El acceso es privado y se realiza subiendo en elevador y bajando unas escalinatas que desembocan en el nivel de la zona de estacionamiento. La entrada es amplia y abierta y desde la misma se puede observar que solo una parte de la azotea fue destinada para el jardín. El recorrido peatonal se realiza por medio de andadores de triturado de piedra gris que se complementan con bancas de madera.

Es una naturación tipo semi-intensivo conformada por especies suculentas como el *Sedum praealtum*, *Sedum moranense*, *Sedum griseum*, *Aloe vera* y *Aptenia cordifolia*. Con las mismas se delimitaron formaciones de setos concéntricos, rodeados de especies rastreras creando macizos y bordes de vegetación que limitan los andadores. El jardín se creó a un desnivel de aproximadamente 0.40 m del nivel de losa. Las especies que se seleccionaron permiten que el riego sea cubierto solo con el agua pluvial. La torre HSBC además cuenta con un sistema de captación de agua pluvial que desemboca en un tanque de tormentas que predepura las aguas de la lluvia para su aprovechamiento posterior en servicios del banco como por ejemplo los sanitarios.



Foto 13 Bancas de madera sobre andadores de piedra

Las especies utilizadas en el jardín, son principalmente consideradas cubresuelos, o semi-arbustivas, ya que no sobrepasan los 50 cm de altura; se caracterizan por ser especies de bajo mantenimiento, ya que no requieren podas, ni aportaciones constantes de fertilizantes y necesitan poco riego, ya que soportan períodos de sequía gracias a que tienen hojas carnosas que les permiten almacenar agua por mucho tiempo.

Sin embargo, el exceso de humedad también les resulta fatal, por lo que las lluvias intensas no son recomendables para su establecimiento. Otra característica que ha resultado benéfica para su utilización en azoteas verdes es que se les considera de tipo invasivo, es decir, que tienen la capacidad de echar raíces, sólo con entrar en contacto con la tierra. También la variedad de color en su follaje y floración, las hace bastante atractivas.



Foto 14 Vista del Ángel de la Independencia desde la azotea

En cuanto a la utilización de triturado de piedra gris en los andadores, es una buena opción para la infiltración del agua y a su vez retener la humedad; y en el aspecto estético es una alternativa agradable; las bancas de madera seleccionadas son adecuadas para su utilización en espacios expuestos a las inclemencias del tiempo, como el sol y la lluvia.

Sin embargo a pesar de que el diseño del jardín está pensado para su recorrido, y en menor grado para receso; la selección de estos elementos deja de lado aspectos de confort para personas que trabajan en oficinas.

No resulta apropiado complementar un espacio con bancas si no se destinan elementos que proporcionen algunas áreas de sombra y el utilizar triturado de piedra en andadores para su recorrido es propio de espacios más informales, en donde la vestimenta y calzado impuesto por las condiciones laborales hace cómodo su recorrido, por lo que la utilización de triturado de piedra en jardines de oficina generalmente es un complemento de diseño, para acentuar texturas en áreas que no exigen un recorrido o paso frecuente por parte de los usuarios.

El objetivo del jardín de la torre HSBC es crear un punto de encuentro y reunión para actividades de convivencia, receso y observación de vistas de la ciudad.

Jardín Botánico CICEANA

(Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América A.C)

El Jardín Botánico de CICEANA, se encuentra en la azotea de un edificio de 2 pisos ubicado en los Viveros de Coyoacán y cuenta con una extensión aproximada de 903 metros cuadrados. El acceso se realiza a través de una escalera recta de concreto que desemboca al área destinada para aula educativa la cual se complementa con una pérgola de madera y vegetación colgante.



Foto 15 Invernadero de conservación y propagación de especies suculentas

En noviembre del 2002 la azotea verde del CICEANA recibió la certificación de jardín botánico por parte de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (SEMARNAT).

Dentro de su espacio se desarrollan tecnologías alternativas, como la agricultura urbana y la producción en invernaderos.

Consta de áreas para un huerto organopónico, lombricompostero, almacenes e invernadero de conservación y propagación de especies suculentas.



Foto 16 Especies características del Pedregal

Las especies utilizadas en el jardín, son características del ecosistema del Pedregal de San Ángel de la Ciudad de México y se agrupan en recuadros de vegetación limitados por una serie de andadores de triturado de piedra gris.

Los recuadros de vegetación perimetrales están destinados principalmente a camas de suculentas para obtener esquejes; y en fechas recientes se han destinado para acolchados de monocultivos (manzanilla, lechugas, hierbabuena, cebollín, oregano, romero).

Los recuadros centrales se agrupan de la siguiente forma: el primero con paloloco y furcraea, el segundo con agaves y el tercero con opuntias y cactus.

La altura de la vegetación va desde los 15 cm hasta 1.50 metros; el tamaño de algunos agaves empieza a ser una preocupación por el peso y esto repercutirá necesariamente en un análisis estructural o en su transplante.

En cuanto a los monocultivos, requieren de riegos continuos y protección contra el viento, así como acolchado para su establecimiento. El riego es a base de aspersores y con manguera.



Foto 17 Huerto organopónico



Foto 18 Especies comestibles en contenedores de llantas

1.2. Azoteas Verdes en el Mundo

1.2.1. Estudio de casos en otros países con especies vegetales comestibles y contenedores

Restaurante Uncommon Ground

Chicago, Estados Unidos

Es uno de los primeros restaurantes orgánicos ubicado en la calle 1401 W. Devon en Chicago, que a partir del 2007 destina una azotea verde en su inmueble para el cultivo de especies comestibles en contenedores, con una extensión de 2500 pies cuadrados.

El proyecto consiste en una terraza o deck realizado de plásticos y madera reciclada en donde se ubicaron 28 contenedores de 73.66 cm x 34.29 cm x 27.94 cm colocados en armazones metálicos con ruedas a una altura de 0.30 m a partir del nivel del deck, que en total representan un peso de sustrato orgánico de aproximadamente 6 toneladas.



Imagen 3 Terraza-deck con contenedores de madera de cedro

Las especies que se eligieron en los contenedores y que van cambiando por rotación de cultivos son: pimientos, berenjena, lechuga, rábanos, betabel, hinojo, mostaza y espinaca. Entre las hierbas y condimentos se encuentran: romero, tomillo, cebollino, ajo, salvia, perejil, menta, lavanda, y albahaca. Por último para proporcionar colorido a la azotea se incluyeron algunas especies con flores como: caléndula, girasol, zinnias y pensamientos.

El sustrato y semillas utilizadas son totalmente orgánicos. El sustrato consiste en una mezcla de humus, peatmoss, perlita, guano como abono natural, y dolomita para regular el pH.



Imagen 4 Educación en temas de agricultura urbana

Los contenedores están hechos de madera de cedro y armazones de acero con ruedas lo que les permite flexibilidad en su uso, por sus características de movilidad y resistencia a las inclemencias del tiempo. El riego es por goteo y consiste en un sistema automático conectado a todos los contenedores que mantiene las condiciones adecuadas de humedad que requieren las especies cultivadas.

El objetivo principal en la utilización del espacio es para la producción de productos orgánicos que requiere el restaurante, y para la educación de niños y adultos en temas de agricultura urbana y el cultivo de especies comestibles orgánicas; para concientizar y destacar la importancia de saber y conocer los alimentos que comemos, así como la importancia de conocer la comunidad en la que vivimos.



Imagen 5 Contenedores hechos de madera de cedro y armazones de acero con ruedas

Edificio habitacional nivel residencial SYNTHe

Los Angeles, California, Estados Unidos

La azotea es un prototipo de jardín para el cultivo de especies comestibles diseñado en el año 2009 por el arquitecto Alexis Rocha. La propuesta está encaminada a la creación de ciclos productivos en donde los alimentos se cultiven, se consuman y posteriormente los desechos orgánicos sean reutilizados en la elaboración de composta.



Imagen 6 Paneles de metal galvanizado, diseño vanguardista

Las especies que se eligieron son: pimientos, col, calabazas, salvia y lavanda, así como algunos árboles frutales. El jardín se realizó en colaboración con Los Angeles Community Garden Council y lo que lo caracteriza es que está construido en sitio a base de paneles de metal galvanizado, que forman terrazas contenidas o mejor dicho suelo contenido en terrazas.

El resultado es un diseño novedoso y orgánico que se integra y complementa el edificio habitacional.

Algo interesante de este diseño es que para lograr resolver uno de los problemas frecuentes en azoteas verdes que es disminuir el peso del sustrato y la vegetación, para que el mismo no constituyera un problema estructural y a la vez tener un uso eficiente del agua y otros recursos; se utilizaron distintas densidades en los sustratos seleccionados de acuerdo a su ubicación en las distintas terrazas. Actualmente el riego se realiza con manguera. El objetivo para la utilización de este espacio, es que las especies cultivadas sean para el consumo de los habitantes del edificio y también para el restaurante Blue Velvet que es de acceso público y se encuentra en el primer piso.



Imagen 7 Suelo contenido en terrazas



Imagen 8 Especies comestibles en terrazas contenidas

Capítulo II

Agricultura Urbana

2.1. Rooftop Gardening o Agricultura Urbana

Uno de los grandes retos a los que nos enfrentamos en el futuro, es ¿cómo seguir con un crecimiento urbano acelerado y a la vez garantizar a los habitantes de las ciudades, alimento, vivienda y trabajo? Una de las propuestas que se ha planteado es la agricultura urbana o en otras palabras, la producción de alimento en las ciudades. El término **“agricultura urbana”** no es nuevo, lo que es reciente es la concepción de la agricultura urbana en un aspecto social; la importancia de tomar en cuenta la interrelación hombre-cultivo-animales- medio ambiente; las facilidades de la infraestructura urbanística y el manejo sostenible que permita el reciclaje de desechos; junto con los beneficios de mejorar el ambiente de las ciudades y proporcionar la producción local de alimentos de las mismas.



Imagen 9 Producción de alimentos en las ciudades

2.2. Antecedentes Agricultura Urbana en el Mundo y México

A través de la historia muchas civilizaciones desarrollaron complejas pero eficientes maneras de cultivar y transportar su alimento para el sustento de sus ciudades. La antigua ciudad inca, Machu Picchu en Perú que según se considera, fue habitada desde finales del siglo XV a mediados del XVI; es conocida porque se construyeron abundantes complejos agrícolas formados por terrazas de cultivo que rodeaban la ciudad. Machu Picchu dependía de estos complejos para su alimentación, pues los campos del sector agrario de la ciudad habían resultado insuficientes para abastecer a la población.

En el México antiguo, los indígenas no encontraron en su ambiente sino unos cuantos animales domesticables. Únicamente dispusieron de algunas especies de mamíferos, pero carecían de los que pudieran suministrarles carne en abundancia y tampoco tuvieron animales que fueran aprovechables para la carga. En cambio, dispusieron de una rica vegetación en la cual había un buen número de cereales, algunas plantas con proteínas- como el cacao, el cacahuete y el frijol- muchas verduras y una multitud de plantas a las que encontraron otros usos.



Imagen 10 Chinampas en la ciudad azteca de Tenochtitlán

Con estos recursos, las culturas del México antiguo fueron fundamentalmente agrícolas y sus conocimientos sobre la vegetación fueron tan extensos, y el número y la variedad de las plantas sometidas al cultivo fue tan grande, que difícilmente se encuentran ejemplos similares en otras culturas. Entre los procedimientos agrícolas utilizados en el México antiguo, podemos citar como los más representativos: **las chinampas y el calmil**.

En México las chinampas de la antigua ciudad azteca, Tenochtitlán son un gran ejemplo de cultivo y sistemas de irrigación. Las chinampas consisten en un entramado flotante de 30 x 2.5- 3 metros, sobre el cual se colocaba tierra vegetal y se cultivaban principalmente hortalizas y flores. La chinampa es un sembradío artificial sobre el agua. Su nombre viene de *chimanitl* (cerca de varas) y *pan* (encima de). Este sistema se utilizó en el Valle de México, cuyos suelos de aluvión no son muy favorables para la agricultura.

El florecimiento de la civilización en esta región del México Antiguo debe considerarse como un resultado admirable del esfuerzo humano en el Valle de México, ya que al ser una cuenca natural cerrada, en el fondo de la misma se formó un sistema lacustre, con aguas dulces en unos depósitos y salitrosas en otras. Las aguas dulces formaban los lagos de Chalco, Xochimilco, Zumpango y Jaltocan; quedando reducidas las aguas saladas a la parte más baja, en la parte oriental del lago de Texcoco. Así en tiempos de sequía, el agua dulce corría hacia el lago salado, debido a la mayor altura de su nivel y la constancia de su abastecimiento. Pero, en época de lluvias, debido a su carácter torrencial y sus grandes crecientes, el agua salitrosa invadía la región de las aguas dulces. Por lo tanto, el cultivo de chinampa y el regadío de las tierras bajas tuvo que asegurarse mediante la construcción de obras de control de las aguas saladas. La función de esta zona tuvo que ser doble ya que era necesario mantener un nivel relativamente constante de los lagos dulces para que las chinampas nunca quedaran en seco ni se inundaran.

En el valle de México, la ejecución de las obras de contención de las aguas saladas permitió iniciar la conquista gradual de la parte oriental de los lagos, mediante la desecación, el lavado de los suelos, el riego con agua dulce- llevada frecuentemente por acueductos- y la construcción de chinampas, las cuales servían de sostenes de los acueductos y de terrenos de cultivo.

Los acueductos, los diques y las calzadas construidos por los habitantes de Chalco, Xochimilco y Texcoco, permitieron extender enormemente la superficie de cultivo. Ya que con este sistema, contenían las inundaciones, creaban compartimentos de aguas tranquilas, lavaban el suelo salitroso, regaban las tierras y mantenían relativamente estable el nivel de las aguas.



Imagen 11 Acueductos, diques y calzadas en el valle de México

A través de varias generaciones, gradualmente se formaron empalizadas que se construían superponiendo capas de piedra y limos del fondo del lago, así como vegetación acuática. La empalizada llegaba hasta 30-60 centímetros por encima del nivel del agua y por eso se les llamó “jardines flotantes”. Los jardines flotantes en sí eran franjas de tierra rodeadas de agua o penínsulas separadas por canales. En la empalizada se sembraban ahuejotes (*Salix bomplandiana*), los cuales al crecer y desarrollarse afirmaban la empalizada, y hacían además la función de rompevientos, sombra y leña. Antes de cada siembra, se extendía sobre la superficie, suelo nuevo, que era construido por cieno del fondo de los canales. Al cabo de cinco o seis años, la chinampa se asentaba sobre el fondo de la ciénaga; sus fundamentos de materia vegetal se habían descompuesto y formaban una base porosa y permeable. El abono usual era simplemente el lodo, que aunque escaseaba, se hacía con plantas acuáticas. Este sistema creaba una superficie húmeda y fértil apropiada para el cultivo. Cada año se repetía el procedimiento de sacar el lodo y esparcirlo en la superficie.

Esta técnica se fue perfeccionando hasta crear los “chapines” o pequeños bloques rectangulares de tierra. Estos bloques se formaban en las orillas de las plataformas o penínsulas y el objetivo era esparcir el lodo fértil sobre semillas. Después de varios días, el lodo se endurecía pero podía ser cortado en pequeños bloques. Una vez formados los bloques de tierra, el chinampero hacía un pequeño hoyo con sus dedos en cada chapín para depositar una semilla y cubrirla con abono. Los chapines eran regados en época de sequía y cubiertos con juncos en el invierno para la protección del frío.

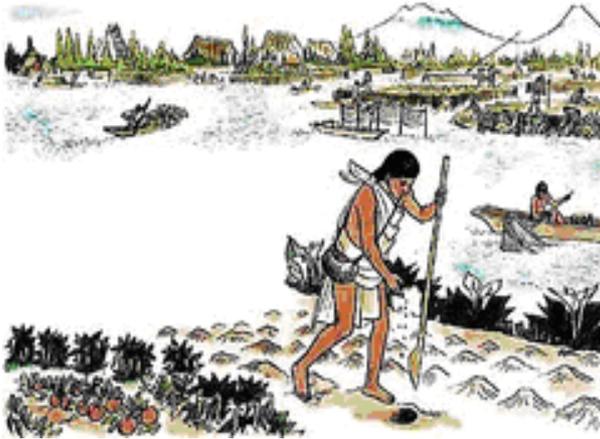


Imagen 12 Excavación por coa para transplante de chapines

Estos bloques era transplantados a la chinampa que se nivelaba y se excavaba utilizando una coa. Finalmente eran cubiertos con una capa delgada de tierra y lodo fértil del suelo pantanoso. Estos bloques son ideales porque contienen todo lo que necesitan las semillas para germinar. Se cultivaron así frijol, amaranto y chile. Algunas flores como los girasoles y las dalias también se cultivaron con este método.

El cultivo en chinampas es el método agrícola más productivo que jamás se haya creado conocido por la humanidad y posiblemente la mayor contribución mesoamericana en la historia de la tecnología. En 1325 Tenochtitlán era una ciudad de 200,000 habitantes ubicada en el valle de México y rodeada por una serie de lagos interconectados entre sí. El mercado de Tlatelolco según Bernal Díaz del Castillo tenía el doble de tamaño que el de Sevilla y era frecuentado por 60,000 vendedores y compradores. Los productos que eran ofrecidos en el mercado, se sembraban en los eficientes jardines acuáticos creados por los aztecas en los lagos que rodeaban la ciudad. Estos jardines flotantes producían tres sembradíos al año y en ellos crecían por lo menos la mitad o tres cuartos del alimento consumido por los 200,000 habitantes de Tenochtitlan.¹ Los cultivos eran fácilmente transportados a través de los canales al mercado de Tlatelolco. Todo este sistema fue sustituido por los españoles quienes establecieron el sistema tradicional de monocultivos que seguimos practicando hoy en día en nuestro país; en donde se da el cultivo de la tierra, mediante un solo tipo de sembradío o plantación, lo que produce un empobrecimiento y agotamiento del suelo con el tiempo. El **calmil** en sí, eran amplios huertos familiares que rodeaban las casas de los Olmecas y que eran abonados con los desechos orgánicos de animales y plantas como hojas y tallos secos. El calmil en su forma más simple son también pequeñas macetas con hierbas aromáticas, flores y maíz que son cultivados sin aparente orden.

¹ Bernal I.(1973) *Historia mínima de México*. México: El Colegio de México

2.3. Seguridad Alimentaria

La agricultura urbana en el mundo y el concepto de agricultura urbana está vinculado estrechamente al de “Seguridad alimentaria”.

Seguridad alimentaria significa que la comida esté disponible en cualquier momento, que todas las personas tengan medios de acceso a esta, que sea nutricionalmente adecuada en términos de *calidad, cantidad y variedad* y que es aceptada en su contexto cultural. Solo cuando esas condiciones tienen lugar, una población puede considerarse “segura alimentariamente”.

En cuanto a la calidad y el acceso; en los países desarrollados, esto no constituye un problema ya que tienen la disponibilidad en exceso, lo que se hace evidente en los índices de obesidad infantil en estos países y el desperdicio en concursos donde se tira el alimento o se consume el mismo de manera excesiva; pero la agricultura urbana, se practica en países como Holanda, Canadá, Estados Unidos, o Reino Unido ² generalmente por el aspecto de la calidad. Algunos científicos pertenecientes a la Union of Concerned Scientists, revistas médicas de prestigio como Lancet, la Asociación Médica Británica, Instituciones como la Agencia de Protección Ambiental en Estados Unidos (EPA) y la US Food and Drug Administration (FDA) ³; atribuyen el surgimiento de enfermedades degenerativas (cáncer, diabetes, esclerosis y otras) al incremento de residuos peligrosos contenidos en los productos de la agricultura industrializada como pesticidas, hormonas, promotores de crecimiento, y antibióticos. Es por esta razón que países como Canadá o Estados Unidos han optado por producir alimentos usando los espacios de la ciudad para de alguna manera garantizar, al menos en parte, el requisito de calidad en la alimentación.



Imagen 13 Seguridad Alimentaria y calidad de los alimentos

La seguridad alimentaria se ha convertido en una preocupación creciente de las poblaciones urbanas. Los centros urbanos se han expandido enormemente, en población y tamaño. En el siglo XX el crecimiento urbano ha llegado a niveles sin precedentes en la mayor parte del mundo. En tres décadas recientes, la población urbana en países desarrollados se duplicó de 448 millones en 1950 a 875 millones en 1990. En el mismo periodo la población urbana en países en vías de desarrollo casi se sextuplicó al pasar de 280 millones a 1600 millones.

² Estadísticas Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) Página web: www.fao.org

³ Batalion Nathan. (2009) *50 Harmful effects of genetically modified foods*. Estados Unidos.

En 1990, 33% de la población urbana del mundo estaba viviendo en ciudades de 1 millón o más habitantes. Tener conglomerados urbanos cercanos a los 30 millones de personas agotará servicios ya agobiados en países con recursos limitados y desigualdad de ganancias extremas.⁴



Imagen 14 Agricultura Urbana para que las ciudades sean mas sustentables

Debido al grave deterioro ambiental y social existente a escala mundial, organizaciones tales como la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD), así como gobiernos de muchos países como Brazil, China, Rusia, Canadá y México han adoptado directrices generales con el objetivo de lograr un desarrollo sustentable.

Entre esas líneas de acción las referentes a la agricultura y a las ciudades son de importancia debido al papel que han tenido estas en la degradación ambiental a través de la contaminación de acuíferos, su contribución a la producción de gases de invernadero, pérdida de la biodiversidad, efectos nocivos sobre la salud humana y el impacto ecológico (o huella ecológica) que las grandes urbes ejercen sobre el medio ambiente mundial.

Respecto a las ciudades, la conferencia Habitat II, llevada a cabo, en Estambul, Turquía, en 1996 reconoce que “la agricultura urbana es un medio para que las grandes urbes sean más sustentables”. En este sentido, si una ciudad fuese capaz de producir parte de sus alimentos, reduciría su huella ecológica.

La agricultura urbana es impulsada por la FAO por ser un elemento para el suministro de alimentos en respuesta al crecimiento de las ciudades en los países en desarrollo y la rápida expansión de sus barrios pobres y sobrepoblados. Además de que se puede contribuir a la seguridad alimentaria por la cantidad y diversidad de alimentos frescos, nutritivos y económicos que se pueden producir durante todo el año.

⁴ Estadísticas United Nations, Population Information Network Página web: <http://www.un.org/popin/>

2.4. Agricultura Urbana en la Ciudad de México

En México hay una amplia tradición agrícola en los huertos familiares urbanos y rurales donde se encuentran plantas ornamentales, frutales, hortalizas, condimentos, y medicinales.

Los sistemas productivos ciudadanos en el distrito federal son producto de la evolución de la agricultura en el valle de México desde tiempos prehispánicos. La agricultura urbana también es practicada por la pobreza y falta de oportunidades. Otra razón es la tradición familiar.

Una característica sobresaliente de los productores urbanos de la ciudad de México es que han podido adaptar sus sistemas de producción a condiciones diversas de disponibilidad de espacio. Uno de los sistemas que predomina es el de las chinampas, utilizadas para producir verduras y flores en la ciudad de México. Las chinampas evolucionaron, después de la llegada de los españoles, de un sistema de producción de cultivos, a un complejo que conjunta los huertos familiares y producción de traspatio. Más recientemente, la tecnología de invernaderos ha sido adaptada a las chinampas abandonadas para alojar cultivos comerciales a lo largo de todo el año.

En el Distrito Federal la actividad agrícola se lleva a cabo principalmente en las delegaciones de Milpa Alta, Xochimilco, Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Tláhuac y Magdalena Contreras.



Imagen 15 Sistemas productivos en la ciudad de México

Algunos esfuerzos que se están realizando, por parte del gobierno del Distrito Federal desde el 2007, a través de la Secretaría de Desarrollo Rural y Equidad para las comunidades, es la implementación de un Programa de Agricultura Sustentable a Pequeña escala en la ciudad de México que inició con una aportación de cinco millones de pesos para aprobar 20 proyectos en grupos organizados y bajo un convenio con la Universidad Autónoma de Chapingo para dar capacitación, asesoría y asistencia técnica. Este programa está enfocado en el mejoramiento de traspacios familiares y el fomento a la producción.

⁵ GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL. 10 de Febrero de 2010. Acuerdo del Comité Técnico interno de la Secretaría de Desarrollo rural y equidad para las comunidades por el que se expiden los Programas de la Secretaría de Desarrollo Rural y Equidad par alas comunidades

Los objetivos de este Programa de agricultura urbana que se plantearon en el distrito federal son:

- Rescatar y hacer productivos lugares mal utilizados o abandonados
- Fomentar la producción intensiva para obtener la máxima producción de alimentos frescos y sanos
- Fomentar la producción agrícola orgánica, para garantizar la calidad de los alimentos y conservación del medio ambiente
- Desarrollar actividades ocupacionales para grupos de mujeres, niños y jóvenes, personas de la tercera edad y personas con capacidades diferentes
- Coadyuvar a la implementación de la Ciudad Verde en la ciudad de México



Imagen 16 Rescate lugares abandonados para cultivos

En el 2009 se aprobaron 346 proyectos ubicados: cinco en Álvaro Obregón, 18 en Cuajimalpa de Morelos, 17 en la Magdalena Contreras, 154 en Milpa Alta, 66 en Tláhuac, 56 en Tlalpan y 30 en Xochimilco. Un esfuerzo notable es el plan piloto “Ecobarrio” de la unidad habitacional Lomas de Plateros, una de las más grandes de la Ciudad de México, con más de 30,000 residentes; quienes en conjunto con la Secretaría de Desarrollo Rural y Equidad para las comunidades, la Comisión para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos del D.F. e integrantes de Organi-K retomaron el concepto de “Círculo Verde”, de esta organización, en febrero de 2009.

Se trata de un proyecto en donde el principal objetivo es cerrar el ciclo de los desechos orgánicos para que, en vez de que se vayan a los rellenos sanitarios, sean separados del resto de los residuos y así crear composta para la elaboración de huertos urbanos que conjuntamente crean un círculo de sustentabilidad. El apoyo económico se los dio la Secretaría de Desarrollo Rural y Equidad para las comunidades, y la capacitación fue proporcionada por Organi-K. En un inicio el proyecto está enfocado a la separación de residuos orgánicos, el composteo y la elaboración de huertos urbanos, pero tiene contemplado, generar soluciones de sustentabilidad para la unidad habitacional para consumo sustentable del agua y la energía.

En el 2010 el gobierno del Distrito Federal firma el convenio de Desarrollo Rural Sustentable con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) en el que se contempla una inversión de 105 millones de pesos para el impulso de proyectos productivos de agricultores, ganaderos y pequeños industriales ciudadanos. Esta inversión tiene el propósito de impulsar proyectos productivos a pequeña escala, estimular a productores de agricultura urbana, y en general garantizar la equidad entre comunidades urbanas y rurales. Lo que plantea el gobierno es resolver por este medio las necesidades económicas provocadas por la crisis mundial y en nuestro país; y aprovechar cualquier espacio por pequeño que este sea para cultivar. Se están dando entre otras cosas, apoyos y asesoría para la instalación de cultivos en traspatios y azoteas.

Entre los casos de éxito en la ciudad es de destacar en la delegación Azcapotzalco un grupo de trabajo que instaló un invernadero para cultivos hidropónicos. Se registraron con el nombre "Grupo de Trabajo instalación de un invernadero para cultivos hidropónicos Santo Tomás". El grupo aunque está formado por familiares tienen un representante, un secretario y un tesorero, puesto que es un requisito de los proyectos que se presentan. En este caso presentaron su proyecto y se les apoyó con 80 mil pesos y ahora cultivan y comercializan lechugas. De este tipo de proyectos están funcionando 80 en distintas delegaciones y se espera tener 50 más. Las personas que aún no califican o están en tiempo de selección son asesoradas y capacitadas de forma gratuita por la Secretaría.



Imagen 17 Apoyo a proyectos productivos a pequeña escala

Otras formas de Agricultura urbana incluyen microempresas que transforman los productos primarios derivados con valor agregado para el consumo en la ciudad, como el amaranto. Adicionalmente, los proyectos del Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América, A. C (CICEANA) y de la Organización no gubernamental Centro de Investigación y Capacitación Rural (CEDICAR) incluyen la producción de verduras y plantas culinarias en los espacios vacíos, traspatios y azoteas verdes.

2.5. Relación Azoteas Verdes y Agricultura Urbana

La agricultura urbana representa un reto en las ciudades porque siempre ha existido una contradicción entre lo rural y lo urbano, entre la ciudad y el campo; falsamente se entiende por rural, el atraso, la postergación y pobreza; y por urbano, se entiende todo lo contrario, representa la modernidad, la alta tecnología y el acceso a la información. Tal vez por esto, estas diferencias no han permitido desarrollar el concepto de Agricultura Urbana en beneficio de las zonas urbanas y peri-urbanas planteando la posibilidad de realizar agricultura en pequeña escala pero de manera más accesible para las personas que viven en las ciudades.



Imagen 18 Agricultura urbana en las Azoteas de la ciudad

Una ventaja más de la Agricultura urbana, es que se pueden evitar los costos ambientales de transportar, refrigerar y empaquetar el alimento que consumimos en las ciudades. También el hecho de que muchos productos que consumimos en la actualidad están modificados genéticamente y generan contaminación en el agua y los suelos donde son producidos, por la gran cantidad de fertilizantes y pesticidas utilizados para su cultivo. Todos estos factores han generado conciencia en temas involucrados en la producción de alimentos principalmente en la conservación de la energía, la ecología, la salud y los recursos naturales. Lograr la producción de alimento en las ciudades proporciona además la gran oportunidad de recuperar el conocimiento cultural de la horticultura y la agricultura que se ha ido perdiendo a través del tiempo para los que ahora nacen en la ciudad de México o los que han dejado sus lugares de origen y por lo tanto no tienen un contacto directo con este tipo de actividades.

El reto no es imposible, entre los casos más conocidos y premiados a nivel mundial por su aporte alimentaria son los de Cuba y Argentina. En el caso cubano, actualmente la Habana y otras ciudades como Cienfuegos tienen una variedad de producción que se concentra en tres formas. Las unidades organopónicas, los patios familiares y los huertos institucionales. Los organopónicos son terrenos baldíos grandes que han sido habilitados para la producción, se les ha puesto infraestructura de riego y camas para materia orgánica (composta). Ahí se producen todo tipo de hortalizas destinadas para el consumo local y del turismo.

Han sido desarrollados también sistemas para control de plagas pensando en el entorno urbano de la producción y sus condiciones agro ecológicas particulares de una ciudad. Respecto a los huertos familiares se producen desde hortalizas, plantas medicinales y condimenticias. Parte de esta cosecha se vende o intercambia y otra parte se consume. Los huertos institucionales tienen condiciones similares a los familiares pero tienen mayor disponibilidad de espacio por encontrarse en escuelas o centros educativos. Precisamente ahí es donde está su finalidad. Educar y transmitir la tecnología para que la gente cultive en sus propios patios y logre cierto grado de autosuficiencia en las precarias condiciones de la economía cubana.

En el caso de Argentina, la crisis que estalló en diciembre de 2001 trajo un empobrecimiento repentino de grandes sectores de la población. Quienes probablemente resintieron más la crisis fueron los habitantes de los barrios pobres de las grandes ciudades como Buenos Aires. Ante este panorama la organización popular con apoyo del gobierno pero sobre todo de organismos internacionales y de ONG, establecieron como estrategia emergente el establecimiento de comedores populares que en un principio daban solamente de comer. Posteriormente este programa se integró al de agricultura urbana y se concretó en la producción de hortalizas, plantas condimenticias y medicinales.



Imagen 19 Potencial de espacios pequeños para cultivo

Desde el punto de vista de la agricultura urbana podemos considerar el enorme potencial del espacio en las azoteas para el desarrollo de cultivos porque podemos pensar en la posibilidad de rescatar y hacer productivo cualquier espacio urbano, por pequeño que éste sea.

Las posibilidades de lograrlo en ciudades como la de México también es inmenso. Tan sólo basta dar a conocer el beneficio que se puede alcanzar a nivel económico y social y podrá ser una realidad en el futuro.

Capítulo III

Sistema Constructivo Modular o Indirecto

3.1. Clasificación Azoteas Verdes

Entonces, ¿cómo se relaciona la agricultura urbana y el rooftop gardening?

El término rooftop Gardens y green roofs generalmente es utilizado indistintamente.

En ambos casos la azotea es modificada para el establecimiento de vegetación.

Una azotea verde o roof garden se clasifica en:



Imagen 24 Azotea verde Extensiva



Imagen 25 Azotea Verde intensiva

1. **Extensiva:** conocida también como “Green roof”; que necesita cuidados menores, es ligera, la vegetación se compone por pastos o plantas que necesitan sustratos vegetales de entre ocho y quince centímetros, ya que las raíces crecen de manera horizontal y las características de las plantas hacen que la necesidad de riego, fertilización y mantenimiento sean mínimas. Su peso máximo completamente saturado de agua, no supera los 180 kg/m². Es la menos costosa.

2. **Intensiva:** conocida también como Roof garden, rooftop gardening; que puede albergar una amplia gama de árboles, plantas y flores con posibilidades de diseño casi ilimitadas. El mantenimiento es el mismo que un jardín tradicional, requiere riego y fertilización. La capa de sustrato vegetal es de treinta y cinco centímetros hasta más de un metro. El proyecto arquitectónico la mayor parte de las veces debe contemplar la carga estructural. El peso puede variar entre los 200 y los 1,200 kg/m².

Generalmente en las primeras no se contempla un recorrido, en las segundas es necesario un acceso definido a las mismas.

La norma del Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007, establece tres clasificaciones:

1. **Cubierta con naturación extensiva:** Cubierta de una edificación con acabado vegetal de tratamiento extensivo creado por medio de añadir capas de medio de crecimiento y vegetación sobre un sistema de cubierta tradicional con requerimientos de mantenimiento muy bajos o casi nulos cuya capa de sustrato no debe ser mayor de 18 cm y en la cual el peso de la capa de sustrato y vegetación (en estado saturado) es de entre 110 y 140 kg/m².
2. **Cubierta con naturación intensiva:** Cubierta de una edificación con acabado vegetal de tratamiento intensivo creado por medio de añadir capas de medio de crecimiento y vegetación sobre un sistema de cubierta tradicional con requerimientos de mantenimiento normales o frecuentes cuya capa de sustrato es de 20 cm como mínimo y en la cual el peso de la capa de sustrato y vegetación (en estado saturado) es superior a los 250 kg/m².
3. **Cubierta con naturación semi-intensiva:** Cubierta de una edificación con acabado vegetal de tratamiento semi-intensivo creado por medio de añadir capas de medio de crecimiento y vegetación sobre un sistema de cubierta tradicional con requerimientos de mantenimiento normales cuya capa de sustrato es de 15 cm como mínimo y en la cual el peso de la capa de sustrato y vegetación (en estado saturado) generalmente es de entre 150 y 250 kg/m².

3.2. Sistema Constructivo Tradicional en Azoteas Verdes

3.2.1. Componentes Sistema Tradicional

En cuanto a los sistemas constructivos en las azoteas verdes, estos pueden ser:

- El sistema tradicional o directo
- El sistema modular o indirecto

Las azoteas verdes han sido populares en Europa desde hace mucho tiempo y el interés ha ido creciendo en los últimos años en Estados Unidos. La mayor parte de las mismas se realizaron con el sistema tradicional, con los inconvenientes de su complejidad y los altos costos en su instalación. Actualmente este tipo de sistema tiene que vencer el reto de muchas certificaciones que generalmente solicitan control en el manejo y reutilización de agua pluvial y un menor gasto de energía; lo que ha obligado al desarrollo de sistemas modulares que resuelvan éstas y otras necesidades.

Los componentes o capas del sistema tradicional son:

El sistema tradicional o directo son en sí capas superpuestas, una encima de la otra que consisten en primer lugar de un impermeabilizante que evita el deterioro de la azotea; y posteriormente en una serie de capas drenantes, retenedoras y filtrantes (barrera antiraíces, dren y geotextil) que permiten mantener la adecuada cantidad de agua en el sustrato para que se pueda dar el crecimiento adecuado de la vegetación. La selección del dren varía dependiendo del material que pueda ser obtenido en cada país, y se le da prioridad a materiales ligeros que tengan poco peso.

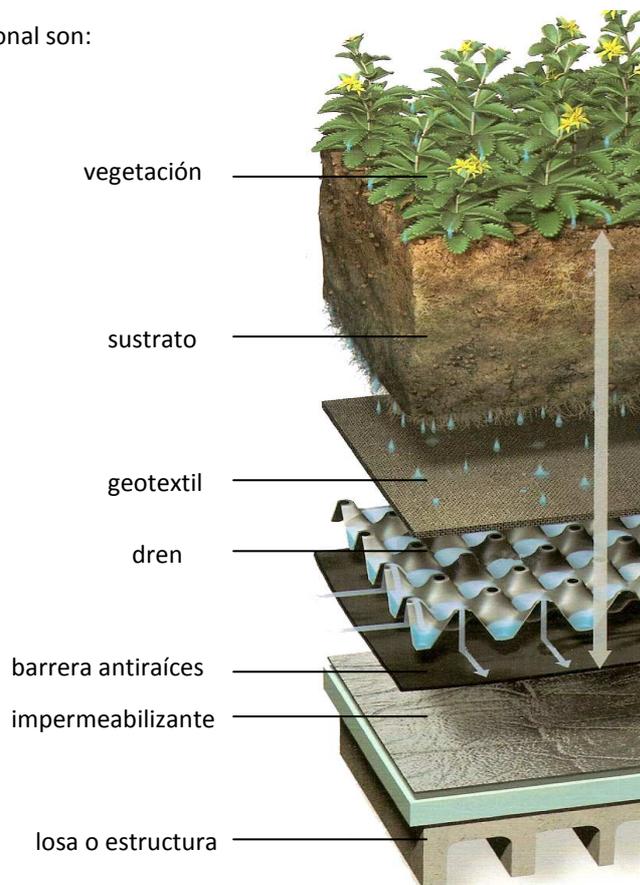


Imagen 26 Sistema Tradicional Azoteas Verdes

3.2.2. Ventajas y desventajas utilización Sistema Tradicional

Ventajas

- sistema que se viene perfeccionando desde los años 60's, tanto en materiales como en técnicas de instalación
- si se realiza una adecuada instalación conservan su diseño original permanentemente
- han resultado muy efectivos en el establecimiento de especies con pocos requerimientos hídricos o que necesitan capas delgadas de sustratos como los pastos y especies suculentas
- sigue teniendo gran aceptación porque otras opciones de naturación no son tan conocidas todavía y por lo tanto no se cuestiona la posibilidad de reemplazo de este sistema

Desventajas

- su alto costo e instalación ya que en la mayoría de los casos se requiere la ayuda de un especialista para su correcta colocación
- generalmente se tiene que volver a impermeabilizar la azotea
- la libertad en el diseño es limitado por que no se puede seleccionar una amplia gama de material vegetal
- es muy difícil modificar la organización de diseño, una vez que ya se ha establecido la vegetación, cualquier cambio o modificación, implica la destrucción de un área que puede afectar todo el conjunto
- el mantenimiento o reparación de la azotea es difícil y costosa, si se detecta una grieta en la misma o es necesario alguna labor de mantenimiento, se tienen que remover áreas de plantación que generalmente terminan en la necesidad de volver a instalar el sistema en su totalidad.

3.3. Sistema Constructivo Modular o Indirecto

El sistema modular o indirecto también es conocido como “container gardening” o “container system” que trata desde la simple colocación de macetones o contenedores con algún medio o sustrato que permita el crecimiento de especies vegetales; hasta ejemplos que consisten en sistemas hidropónicos ligeros en recipientes llenos de agua con nutrientes, mechas absorbentes; sustratos inertes para las raíces de las plantas como fibra de coco, peat moss, perlita, vermiculita, y composta; y finalmente el no tan conocido sistema modular o “módulos previamente sembrados” generalmente en recipientes plásticos cuyo diseño y colocación ha crecido en la industria de las azoteas verdes en los últimos años.

Los primeros ejemplos de jardines en contenedores eran “jardines colgantes”. Los contenedores no se “colgaban” sino que eran plantas que colgaban en los límites de terrazas o plataformas donde eran plantados.

El ejemplo más conocido es el de los jardines colgantes de Babilonia; se dice que para la creación de estos jardines se utilizaron contenedores de barro que se llenaron de tierra. En China, India, Egipto, Grecia y Roma también hay ejemplos; existen diversos grabados egipcios donde aparecen árboles enanos en maceta como ofrendas. En China, los llamados Pen Jin o plantas en maceta eran de gran tamaño y podían llegar a medir hasta un metro de altura. En la antigua Roma, los mausoleos de Augusto y Adriano son monumentos funerarios enormes que en sí son construcciones cilíndricas ajardinadas.⁶



Imagen 27 De izq a der. Árboles en maceta en grabados egipcios. Mausoleos de Augusto y Adriano. Pen Jin en China

⁶ Morales Raquel. (2008) *La Enciclopedia del Bonsai*. Editorial LIBSA. España

Desde el punto de vista de la agricultura urbana podemos considerar el enorme potencial del espacio en las azoteas para el desarrollo de cultivos porque podemos pensar en la posibilidad de rescatar y hacer productivo cualquier espacio urbano, por pequeño que éste sea. El sistema modular o indirecto es el que mejor se adapta a los requerimientos de cultivo por las ventajas en la utilización de contenedores. Algunas ventajas de la utilización de contenedores son por ejemplo, que el sustrato utilizado puede ser controlado, y puede ser enriquecido con composta producida de los desperdicios orgánicos del mismo jardín o inclusive desperdicios orgánicos producidos en el sitio donde se establece la azotea verde. Otra ventaja es la enorme cantidad de elementos y materiales que pueden ser utilizados como contenedores de plantas: plástico, madera, metal o materiales reciclados. Otro aspecto importante es su cualidad de ser desplazados o removidos de su sitio original; lo que facilita las labores de mantenimiento de la azotea.



Imagen 28 Materiales y elementos utilizados como contenedores: Plástico, madera, metal y reciclados

3.3.1. Componentes Sistema modular

Un sistema modular consiste en “módulos” previamente sembrados, realizados con plásticos reciclados que pueden ser fácilmente colocados en las azoteas o cualquier otra estructura que se requiera que cumpla con los requisitos estructurales de soporte de carga.

La base conceptual de este tipo de sistema “es la versatilidad de estar compuesto por elementos fáciles de conectar entre sí, lo que permite variedad de alternativas de organización, por esa ventaja de ser agregables”

Es un sistema “desmontable y adaptable”. La adaptación quiere decir que su estructura permite cambios y el concepto de cambio implica:

1. Conformabilidad: cambio de la forma
2. Movilidad: cambio de lugar o posición



Imagen 29 Un sistema modular tiene versatilidad en las alternativas de organización. Desmontable y Adaptable

Los sistemas modulares también cumplen aspectos como emplazamiento en poco tiempo, y además, los materiales con que están fabricados los “módulos”, responden a la búsqueda de modulación, es decir, que sean resistentes, pero ligeros, y que puedan ser reutilizados e inclusive ser reciclados.

Un “módulo” en el sentido arquitectónico o como elemento constructivo sirve de base para la construcción de la forma y la función. La modulación es entendida como la seriación de elementos geométricos simples capaces de componer nuevos cuerpos, de múltiples formas, escalas y materialidades.

Modular en la arquitectura, se refiere al diseño de sistemas compuestos por elementos separados que pueden conectarse preservando relaciones proporcionales y dimensionales. La belleza de modular en la arquitectura se basa en la posibilidad de reemplazar o agregar cualquier componente sin afectar al resto del sistema. La aplicación de conceptos de modularidad sin pérdida de creatividad es alentada en el diseño por la consecuente economía de tiempo y el desarrollo de criterios para el agrupamiento de unidades funcionales a diferentes escalas y tamaños.

La modulación es un “patrón que regula las formas”; es el ordenamiento de las dimensiones o espacios en base a una medida o patrón, unidad básica o modelo. La modulación son variaciones de un elemento básico, que produce sensaciones visuales en base a una unidad que se repite conservando las mismas características, como son: la forma, color, textura, etc.⁷

Se dice entonces que algo es “modular” si está construido de manera tal que se facilite su ensamblaje, acomodamiento flexible y que se pueda realizar la reparación de sus componentes.

Los componentes del sistema modular son:

El sistema modular o indirecto es desmontable, puesto que consiste en módulos o elementos separados, realizados generalmente con plásticos reciclados que se pueden agregar o reemplazar y contienen sustrato para la vegetación.

*Es recomendable colocar el sistema modular sobre la estructura con una capa de impermeabilizante.

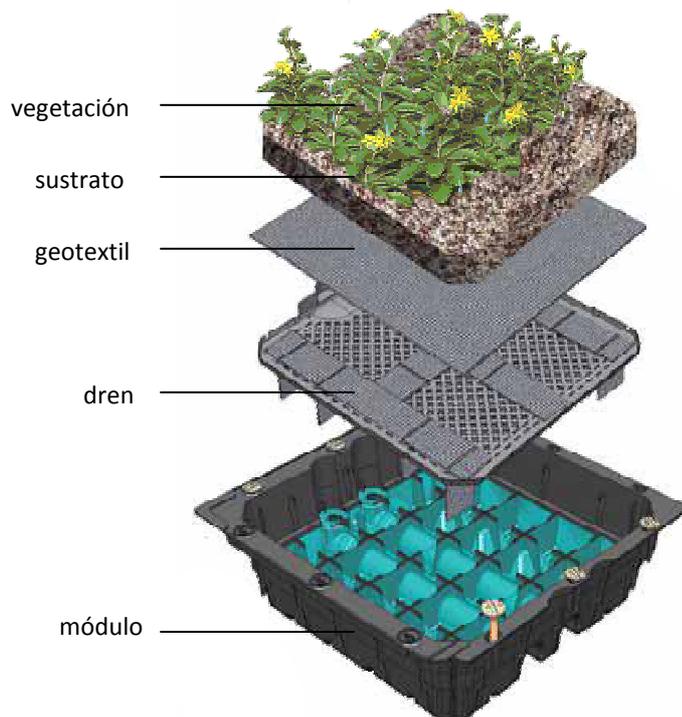


Imagen 30 Sistema Modular Azoteas Verdes

⁷ Martínez A.A. (2005) *La modulación implícita de la arquitectura*. Congreso Nacional Historia de la Construcción, Cadiz. España

losa o estructura: es generalmente la capa de soporte estructural, de concreto reforzado, madera, láminas y cubiertas prefabricadas. Se debe tener una pendiente mínima del 2%. En caso de ser inclinada, se deben implementar las protecciones adecuadas contra deslizamientos.

impermeabilizante: es la capa que impide la penetración de líquido a la capa de soporte, puede ser asfáltico o de láminas flexibles.

geotextil: fieltro de poliéster que permite el paso del agua pero no del sustrato, para evitar que los drenajes se tapen.

módulos: son contenedores que se ensamblan cuyos diversos diseños permiten el desalojo de agua pluvial, y la colocación de sustratos, gravas, y vegetación.⁸

3.3.2. Ventajas y desventajas utilización Sistema Modular

Ventajas

- Facilitan las operaciones de mantenimiento y sustitución de material vegetal.
El hecho de que sean módulos, permite sustituirlos de manera individual y resolver los problemas de mantenimiento puesto que se puede llegar a reemplazar el modulo y no tratar la colocación de los mismos en conjunto. Los métodos tradicionales de plantación de azoteas verdes, con el tiempo comienzan a tener superficies de tierra expuestas que son propensas a la erosión del viento, la erosión del agua y la invasión de malezas; lo que ocasiona que se absorba más calor y se disminuyan los beneficios de una azotea verde.
- Flexibilidad y libertad en la organización del diseño. Se pueden hacer reacomodos de los módulos hasta obtener la composición deseada, lo que permite la creación de espacios singulares con un elevado componente de diseño, lo que asegura una solución personalizada
- Se pueden realizar modificaciones a través del tiempo y pueden ser utilizados como sistemas autónomos o en combinación con sistemas tradicionales. No existen como en los sistemas tradicionales, límites en cuanto a superficies máximas a utilizar.

⁸ Gernol, Minke. *Techos Verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos*. Editorial Fin de Siglo. Uruguay

- Su condición de presiembra permite elegir qué vegetación se va a desarrollar en los mismos y en que estado se encontrará, puede ser planta en etapa de germinación o totalmente desarrollada. Los sistemas tradicionales pueden requerir tres o más años de establecimiento o de cuidados intensivos de la vegetación durante ese período de tiempo. Esto repercute en el costo de mantenimiento por año.
- Mayor cantidad de opciones en la selección del material vegetal; desde pastos, especies comestibles, herbáceas, árboles de porte medio, etc.
- Permite la colocación de superficies pavimentadas
- Mayor rapidez en su instalación por la estandarización en su diseño

Desventajas

- No se conocen todavía de manera experimental si hay inconvenientes que no se hayan contemplado para el mantenimiento de los módulos y su costo económico
- Los costos que se manejan en el mercado nacional e internacional son muy similares por m² en el sistema modular y en el sistema tradicional. Todavía no hay diferencias considerables para optar por uno o el otro
- Aunque las propuestas de diseño siguen creciendo, no se documentan aún las ventajas de un diseño u otro en términos de funcionalidad y costo económico
- Quienes defienden el sistema tradicional, consideran que un módulo o contenedor no puede ser en su conjunto una azotea verde; puesto que es un sistema indirecto que no tiene contacto con la superficie y por lo tanto rompe el esquema de plantación directa que ha sido la base del concepto original de naturación

3.4. Sistema Modular versus Sistema Tradicional

3.4.1. Componentes de Reemplazo entre ambos Sistemas

En los siguientes diagramas se pueden observar los componentes de reemplazo de un Sistema Tradicional versus un Sistema modular. El último diagrama indica con el recuadro en rojo como en un solo elemento se reúnen y compilan varias capas de un sistema Tradicional.

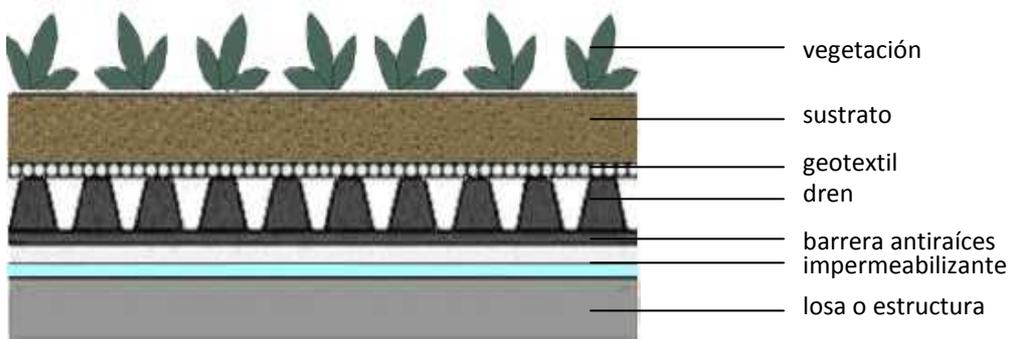


Imagen 31 Componentes Sistema Tradicional

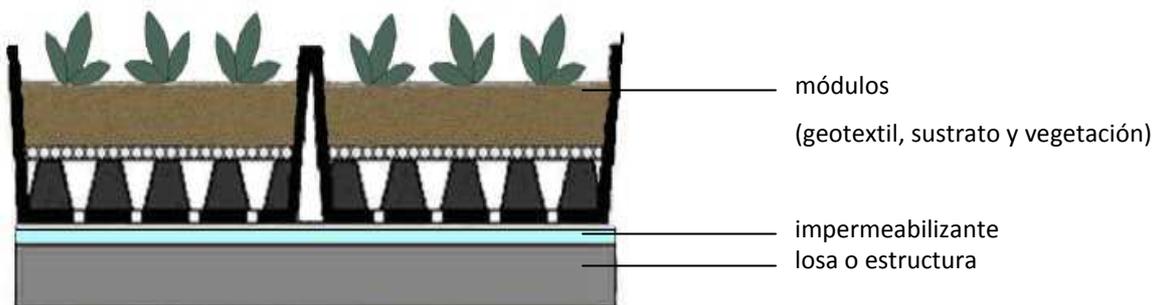


Imagen 32 Componentes Sistema modular

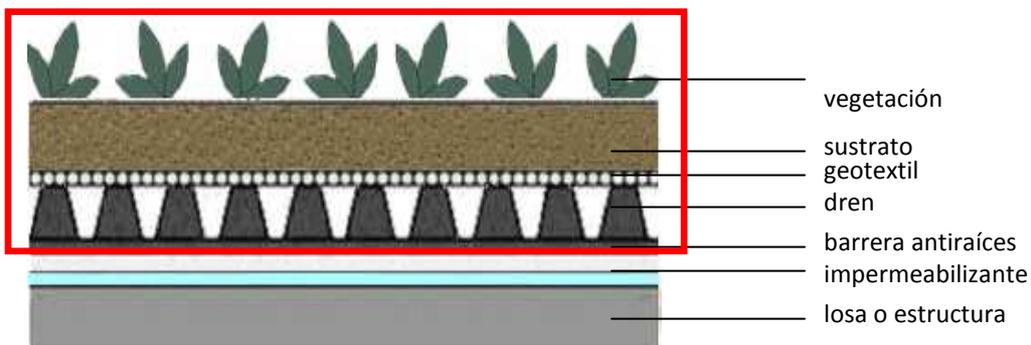


Imagen 33 Componentes de reemplazo en módulos

3.4.2. Comparativa Sistema modular versus Sistema Tradicional

Si hacemos una comparación entre un Sistema modular y un Sistema Tradicional en la naturación de azoteas, podemos observar que lo único en común entre ambos sistemas es el Alto costo económico inicial. El mismo es producto de que en el mercado nacional e internacional, se puede decir que el costo por m2 es muy similar; sin embargo, no se considera que a largo plazo, se den diferencias en el costo total si se analiza que el mantenimiento con un Sistema modular es más eficiente.

También se puede observar que a pesar de que el Sistema modular tiene muchas ventajas; el aspecto de aceptación en el mercado, todavía no es una realidad, y la mayoría de los proyectos realizados a la fecha siguen siendo en su mayoría por medio de una instalación con el Sistema Tradicional.

Por último, otro aspecto importante a observar es que aunque existe una ventaja considerable en experimentación con diversas especies vegetales en el Sistema Tradicional; es precisamente esta ventaja la que ha evidenciado la necesidad de crear nuevas propuestas que con el Sistema modular se han podido desarrollar con éxito en los últimos años.

Tabla 1. Comparación Sistema modular versus Sistema Tradicional

	Sistema Tradicional	Sistema Modular
Rapidez de instalación		✓
Mantenimiento difícil y costoso	✓	
Libertad de diseño		✓
Condición de presiembra		✓
Modificaciones a través del tiempo		✓
Mayor tiempo en fase de experimentación	✓	
Alto Costo económico inicial	✓	✓
Alta aceptación en el mercado de naturación de azoteas	✓	
Tendencia de crecimiento en propuestas novedosas		✓

Elaboración propia con datos comparativos información comercial Sistemas Naturación

3.4.3. Instalación Sistema modular

En el siguiente esquema se resume en cuatro pasos generales la forma de instalación de un Sistema modular antes y durante la obra. Se puede observar que los pasos son muy rápidos y sencillos y por lo tanto se reduce el costo especializado de su instalación. La condición de presiembra que permite la elección de vegetación en etapa de germinación o totalmente desarrollada ayuda a la versatilidad de diseño que este sistema proporciona. Los resultados son interesantes por la facilidad de modificación de los elementos del Sistema Modular a través del tiempo.



paso 1 módulo según especificaciones fabricante

paso 2 módulo con sustrato

paso 3 vegetación totalmente desarrollada

paso 4 los módulos son colocados en la azotea



Imagen 34 Pasos Instalación Sistema Modular

3.4.4. Fichas Técnicas Productos. Sistemas modulares o contenedores

Green Roof Blocks

Descripción

Los módulos de Green Roof Blocks son de aluminio anodizado, presembrados, de 10.16 cm de altura. Sus accesorios principales son agarraderas para su fácil transporte y bases de colocación de hule para evitar su deslizamiento a través del tiempo. La garantía de vida de los módulos es de 65 años.

Información Comercial

Nombre Empresa	Green Roof Blocks
Página web	www.greenroofblocks.com
Material	Aluminio anodizado
Dimensiones	60.96 cm x 60.96 cm x 10.16 cm
Peso	145 kg/m ²
Módulos por m²	3 módulos
Costo por m²	

Imágenes



Imagen 31 Módulos Green Roof Blocks en azotea



Imagen 32 Módulos de aluminio anodizado

Sección y Componentes

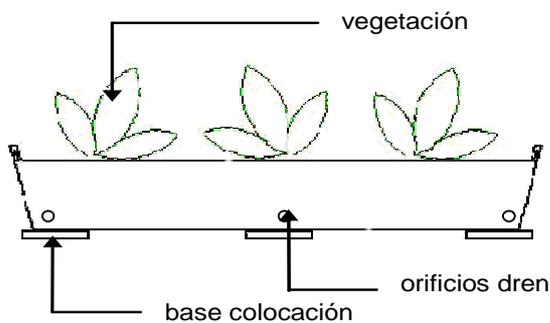


Imagen 33 Agarraderas y bases de colocación de hule

Descripción

Los módulos de GreenTech son de polietileno reciclado, presembrados, de 21.5 cm de altura. Sus accesorios principales son canales para dren y ventilación, pestañas plegables para aumentar o disminuir la capa de sustrato y bases de colocación para evitar su deslizamiento a través del tiempo. Los orificios de dren se encuentran en la parte inferior y tiene receptáculos de almacenamiento de agua pluvial.

Información Comercial

Nombre Empresa	GreenTech
Página web	www.greentechitm.com
Material	Polietileno reciclado
Dimensiones	116.8 cm x 116.8 cm x 21.5 cm
Peso	54 kg/m ²
Módulos por m ²	1 módulo
Costo por m ²	75 dólares USA (\$927 MXN) No incluye envío

Imágenes

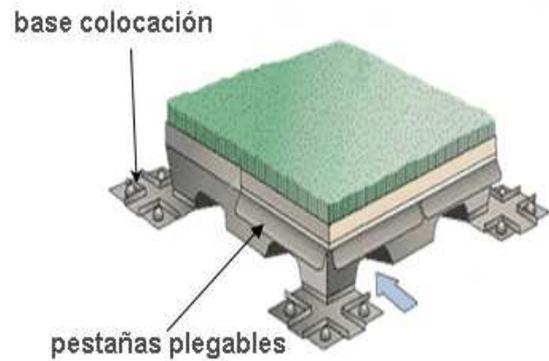
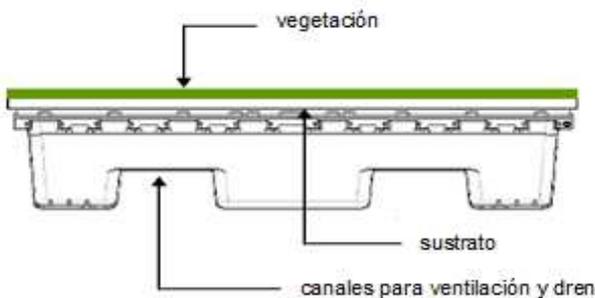


Imagen 34 Módulos de polietileno reciclado



Imagen 35 Módulos GreenTech en azotea

Sección y Componentes



Green Innovations

Descripción

Los módulos de Green Innovations son de polietileno reciclado, de 50 a 90 cm de altura. Sus accesorios principales son canales para dren y ventilación, así como conos de almacenaje de agua pluvial.

Información Comercial

Nombre Empresa	Green Innovations
Página web	www.greeninnovations.ca
Material	Polietileno reciclado
Dimensiones	58 cm x 58 cm x 50 cm
	58 cm x 58 cm x 90 cm
Peso	56 kg/m ² (no incluye sustrato y veg.)
Módulos por m ²	3 módulos
Costo por m ²	\$ 260 MXN

Imágenes



Imagen 36 Módulos Green Innovations en azotea



Imagen 37 Módulos de polietileno reciclado

Sección y Componentes

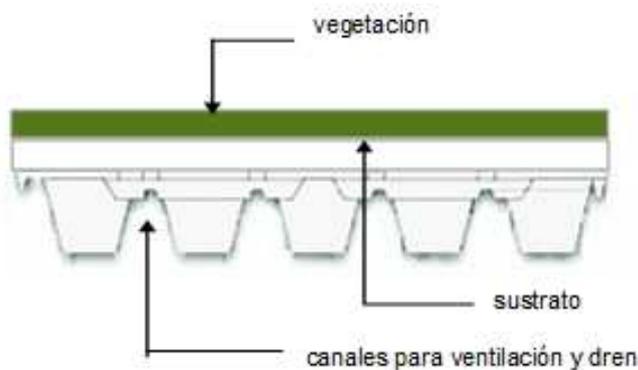


Imagen 38 Conos de almacenaje de agua pluvial

Live Roof

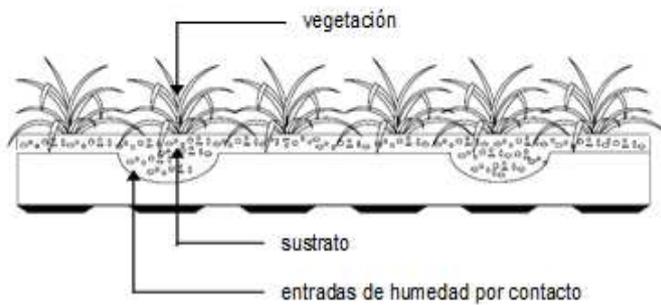
Descripción

Los módulos de LiveRoof son de polipropileno reciclado, presemebrados, de 7.7 cm de altura. Sus accesorios principales son entradas de humedad por contacto, que permiten que las plantas sean más sanas porque se comparten agua, nutrientes y organismos benéficos; insertos elevadores de sustrato que se retiran para un efecto de pradera sin líneas reticuladas; y ranuras de drenaje localizadas en la parte inferior del contenedor

Información Comercial

Nombre Empresa	Live Roof
Página web	www.liveroof.com
Material	Polipropileno reciclado
Dimensiones	30 cm x 60 cm x 7.7 cm
Peso	146 kg/m ²
Módulos por m ²	5 módulos
Costo por m ²	\$ 1,300 MXN

Sección y Componentes



Imágenes



Imagen 39 Módulos Live Roof en azotea

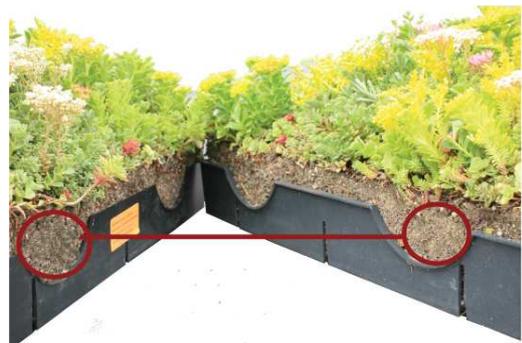


Imagen 40 Entradas de humedad por contacto



Imagen 41 Elevadores de sustrato en blanco

Efecto Verde

Descripción

Los módulos de Efecto Verde son de plástico reciclado, de 35 cm de altura. Su diseño consiste en dos contenedores sobrepuestos uno encima del otro. En el contenedor inferior se almacena agua y el contenedor superior contiene una capa de geotextil, el sustrato y la vegetación seleccionada.

Información Comercial

Nombre Empresa	Efecto Verde
Página web	www.efectoverde.org
Material	Plástico reciclado
Dimensiones	32 cm x 52 cm x 35 cm
Peso	125 kg/m ²
Módulos por m ²	6 módulos
Costo por m ²	\$ 1,100 MXN

Sección y Componentes

Imágenes



Imagen 42 Módulos Efecto Verde en azotea



Imagen 43 Módulos de plástico reciclado



Imagen 44 Contenedor inferior vacío

Techos Vivos

Descripción

Los módulos de Techos Vivos son de polipropileno reciclado, presembrados, de 17 cm de altura. Sus accesorios principales son los conos de almacenaje de agua pluvial y orificios de desagüe en la parte inferior. Su forma hexagonal les permite versatilidad en su acomodo en diversos espacios.

Información Comercial

Nombre Empresa	Techos Vivos S.C
Página web	www.techosvivos.com
Material	Polipropileno reciclado
Dimensiones	48 cm x 48 cm x 17 cm
Peso	74 kg/m ²
Módulos por m ²	4 módulos
Costo por m ²	

Imágenes

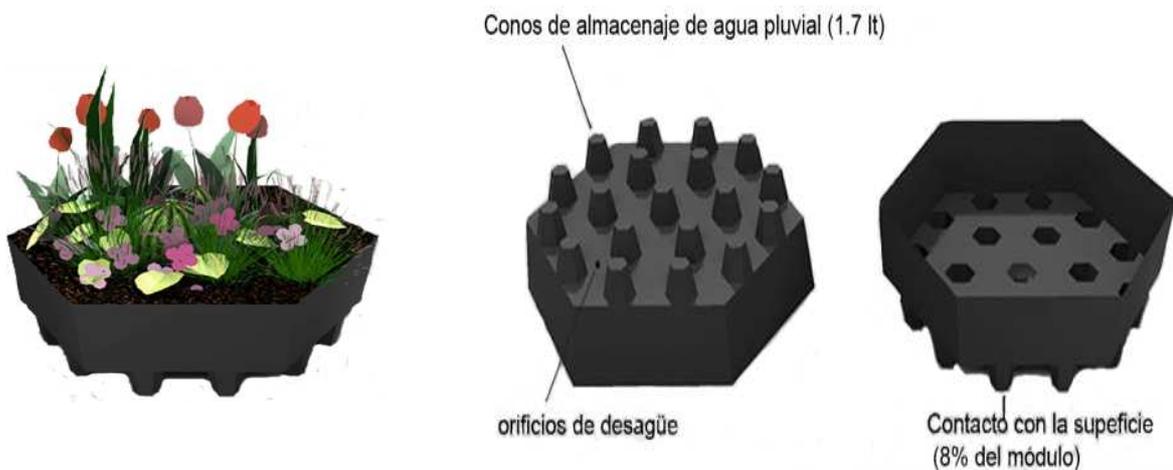


Imagen 45 Módulos hexagonales de polipropileno



Imagen 46 Módulos Techos Vivos en azotea

Sección y Componentes



Capítulo IV

Especies Vegetales Comestibles

4.1. Plantas Ornamentales o Comestibles

Al observar por un instante a nuestro alrededor nos percatamos de la existencia de una gran diversidad de plantas, parte de ellas satisfacen las necesidades básicas del hombre, en alimento, salud, materias primas, y construcción. Para obtenerlas el hombre empleó la agricultura que descubrió y perfeccionó con el tiempo. Las plantas fueron, primero, fuente de alimentos gracias a la colecta que se hacía de ellas con ese propósito; después con el tiempo, el hombre aprendió a cultivar aquellas plantas que le fueron atractivas, para embellecer su entorno, prueba de ello es que en culturas antiguas aparecen representadas algunas plantas, ya sea talladas en piedra, madera o cerámica, murales o elementos arquitectónicos.

En el México prehispánico, la cultura alimentaria formaba parte inseparable de su visión del universo. Ello se refleja de manera notoria, en las comidas de tipo ceremonial y en las ofrendas que brindaban tanto a los dioses en sus días festivos, como a las consideradas plantas- deidades. En el caso de los mayas, la planta sagrada, que se estima como ser supremo, era el maíz, pues formó- según la leyenda del Popol-Vuh-, el cuerpo de los dioses y de los seres humanos

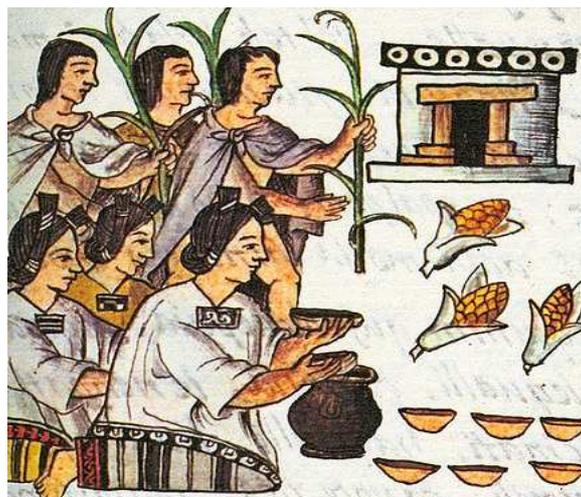


Imagen 47 Cultura alimentaria en la visión del universo

A él le rendían diferentes cultos en el momento de la siembra, de la recolecta del elote y de la mazorca madura, e incluso en su conjunto, en la milpa. La flor para ciertas culturas prehispánicas, representaba la creación, vida, muerte, dioses, poesía, amistad y guerra.⁹

Esta concepción de la naturaleza, integrada al lenguaje y a la vida cotidiana, es lo que propicia que las sociedades milenarias mexicanas comenzaran un proceso de domesticación de decenas y decenas de plantas silvestres y a la postre la agricultura de muchas de ellas.

⁹ Museo de las Culturas Populares. (1982) *El maíz, fundamento de la cultura popular*. SEP. México.

El hombre para adquirir aquellas plantas que cubrieran sus necesidades físicas, espirituales y estéticas, aprendió a cultivarlas cuando se convirtió en sedentario, iniciando así el intercambio de semillas, bulbos y esquejes a los lugares donde emigraba. Los antecedentes más evidentes se encuentran en el siglo V, cuando los romanos al invadir nuevos territorios llevaban consigo plantas comestibles; tiempo después en los siglos XI y XII, que corresponde a la edad media, el intercambio de plantas al igual que el conocimiento era dominado por la iglesia, por lo que eran preferidas las plantas comestibles y medicinales. Es hasta las cruzadas, cuando los árabes introducen a Europa, nuevas plantas que influyen en el diseño de los jardines, lo que se manifiesta principalmente en España.

Las plantas ornamentales, se producen a gran escala, a partir del siglo XX, convirtiéndose en una importante industria apoyada por la ciencia y la tecnología que perfeccionan las técnicas de producción.

El término Horticultura deriva del latín *Hortus*, que significa jardín o huerto.

La Horticultura se engloba en tres disciplinas distintas:

1. Olericultura u Holericultura, que es la parte de la Horticultura destinada al estudio, manejo y producción de hortalizas.
2. Fruticultura, que es la parte de la Horticultura cuyos objetivos se centran en el estudio, manejo y producción de los árboles frutales.
3. Floricultura u Ornamenticultura, que dirige sus objetivos hacia el estudio, manejo y producción de flores y plantas ornamentales.



Imagen 48 Holericultura: Manejo y producción de hortalizas



Imagen 49 Ornamenticultura: Manejo y producción de flores

El grupo de plantas conocidas como “comestibles”, son aquellas cultivadas o explotadas por el género humano para su alimentación o nutrición. En realidad, es apenas una fracción de lo que son las partes comestibles de una planta lo que utiliza el hombre para su alimentación, y esto está determinado no solo por qué partes son comestibles, sino por el uso y las costumbres que vienen de la época de las cavernas. Además, el hombre no ha desarrollado resistencia a muchos ácidos o venenos que pueden portar las plantas, a diferencia de otros animales que en el transcurso de su co-evolución con las plantas, sí han logrado ponerse a la par de éstas para aprovechar sus recursos.

Se puede decir que más del 95% de las plantas que se utilizan para la alimentación son Angiospermas, y esto se da principalmente por la presencia de un fruto en su mayoría carnoso, que tiene buen sabor, y que es precisamente la estrategia que tienen estas plantas para diseminar las semillas. Hay muchas semillas que sólo germinan si antes pasaron por el tracto digestivo de algún animal, como las aves. Se pueden diferenciar de las plantas comestibles las partes que nos van a servir de elementos culinarios: las hojas, raíces, tallos y frutos. También se puede hablar de plantas comestibles primarias y complementarias, según si son muy utilizadas, o según su estacionalidad: en general, las plantas que son aprovechables en una estación del año (particularmente aquí encontramos a la mayoría de las que se extrae el fruto) son catalogadas dentro de las complementarias. Otras plantas sirven para la industria alimentaria, como elementos a utilizar se tienen en cuenta extractos de dichas plantas y también se pueden distinguir aquellas que se pueden cultivar en un huerto casero.

Las plantas comestibles esenciales o primarias suelen ser herbáceas, anuales pero que producen órganos que poseen sustancias de reserva. Lo más utilizado de estas plantas es la semilla. Dentro de éstas, son característicos dos grupos de angiospermas: leguminosas y gramíneas.

El primero de los dos grupos de plantas comestibles para nutrición, las leguminosas, se caracterizan por su fruto tipo legumbre, y como la planta posee una gran capacidad de captación de nitrógeno, por organismos simbiotes que viven en las raíces, producen semillas con grandes cantidades de elementos proteicos, compuestos estructurales de las células y del ADN. La familia de las gramíneas, comprende un grupo muy variado de plantas, que incluye los pastos, el trigo, y el maíz.

Estas plantas comestibles producen una semilla rica en carbohidratos, aceites y proteínas, y esto proporciona calorías al organismo consumidor. El alimento típico que se realiza con estas plantas es el pan, este puede ser de trigo, maíz, centeno, cebada, arroz. Es destacable, por ejemplo, el uso del arroz en China como alimento básico de la población. Los tallos y los tubérculos subterráneos, son importantes porque son ricos en almidón y son elementos básicos en la dieta de zonas tropicales que después se han extendido al resto del mundo como la yuca, papa, camote, etc. El único fruto en esta categoría es el plátano. Las plantas comestibles complementarias para la nutrición comprenden un número considerable de especies utilizadas como alimento estacional. Incluyen las verduras y hortalizas que contribuyen sustancialmente a la alimentación.

Se pueden considerar como “ornamentales” las plantas que se cultivan y comercializan por su aspecto decorativo o por motivos estéticos; aspectos como el desarrollo económico de la sociedad, el incremento de áreas verdes y jardines, y el uso de plantas para exterior e interior, ha provocado que las plantas ornamentales tengan un mercado y que su producción y comercialización resulten económicamente rentables. El ser humano ha seleccionado las plantas ornamentales a partir de características visualmente atractivas.

La diversidad de climas en nuestro país, permite el desarrollo de la producción de gran variedad de plantas de ornato. Una amplia variedad de familias, géneros y especies originadas de la flora mexicana, han aportado valores estéticos al ser humano de todos los continentes: bromeliáceas, cactáceas, compuestas, crasuláceas, euphorbiáceas, orquídeas y de los géneros *Ageratum*, *Bouvardia*, *Dahlia* (dalia), *Cosmos* (mirasol), *Euphorbia* (nochebuena), *Tagetes* (cempasúchitl).

Para obtener plantas de gran belleza, se han modificado aspectos funcionales y estéticos del entorno donde se establecen, ya que la mayoría de las veces, no se toman en cuenta, los requerimientos que tienen en su medio ecológico natural. En cuanto a su utilización como elementos de diseño y construcción en los espacios abiertos, éste tipo de plantas son empleadas como herramienta de diseño, por sus características de color, textura, formas biológicas, y fenología.

Los árboles y arbustos se utilizan como barreras rompevientos o físicas, los cubresuelos en taludes, y las herbáceas en bordes de lagos y cuerpos de agua. Muchas hortalizas también son plantas ornamentales. Las plantas ornamentales comestibles tienen follaje, texturas y colores muy atractivos. Además áreas muy pequeñas y jardines en maceta pueden ser utilizados para producir hortalizas para su consumo.¹⁰



Imagen 50 Ornamentales: Texturas y colores atractivos

México por ser lugar de origen de algunos cultivos agrícolas, como el maíz y el frijol, se ha caracterizado por tener una política agrícola que favorece el mejoramiento de cultivos de importancia en la alimentación y cultura de los mexicanos, descuidando el aspecto de las ornamentales.

¹⁰ Rzedowski, J (1995) *Aspectos de las plantas ornamentales de México*. Rev. Chapingo. Serie Horticultura. Vol I (5-7)

4.2. Alimentación en la Época Prehispánica

Al referirnos a la alimentación no debemos hacerlo solo en el sentido funcional; sino como un acto vinculado a la cultura de la que somos parte. La alimentación mexicana está basada en el intercambio de nuestro pasado indígena y el encuentro con las tradiciones europeas, pero a pesar del tiempo, aún mantiene un fuerte predominio prehispánico. Las culturas del México antiguo desarrollaron un vasto conocimiento basado en la observación de la naturaleza.



Imagen 51 Alimentación prehispánica a base de maíz, chile, frijol y calabaza

En algún momento, fechado por los arqueólogos en unos cuatro o cinco mil años antes de nuestra era, comenzó la domesticación del maíz, a partir de su ancestro silvestre el “teocinte”, cuyo fruto era minúsculo. También se domesticaron otros vegetales como el **amaranto, el chile, el frijol y la calabaza**. La utilización desde tan remota época de la combinación del maíz, el frijol y la calabaza, como parte de la dieta esencial, ha sido fundamental para el desarrollo saludable de las poblaciones indígenas hasta nuestros tiempos. Algunos estudios concuerdan en que la ingesta conjunta del maíz, el frijol y la calabaza es incluso más beneficiosa nutricionalmente que su incorporación por separado. Sus nutrientes se complementan muy bien. También en el caso de los **jitomates**, estos pueden comerse tanto crudos como cocidos y unidos a la variedad de **chiles** picantes que también pueden ingerirse tanto frescos como secos o molidos, crudos o cocidos, se logró desde entonces sazonar toda clase de aves silvestres, carnes de caza y pescados.¹¹ Las evidencias arqueológicas ponen en evidencia que cada una de las civilizaciones prehispánicas que florecieron en México manifestó características culturales propias. Dada la variedad de suelos y climas en que se desarrollaron, es seguro que sus pautas alimentarias estuvieron adaptadas a los recursos naturales propios de cada región.

¹¹ Solís, F. (1998) *La cultura del maíz*. Serie La Cocina mexicana a través de los Siglos. Editorial Clío. México

4.3. Plantas Comestibles en la Cultura Mexicana

4.3.1. Flores.

La presencia de las flores como alimento, nos acerca a una cultura alimentaria, que no solamente se caracteriza por su aspecto nutritivo, sino también por su aspecto estético. Podemos mencionar por ejemplo, la **flor de calabaza** (Cucurbita Pepo L.) o la flor roja de Tzompantli o **colorín** (Erythrina americana Mill), que fritos o hervidos son muy apreciadas como complemento alimentario.



Imagen 52 Flor de Calabaza



Imagen 53 Flor de Colorín

Las flores usadas en los platillos salados eran: la flor de izcote o **yuca**; la flor de maguey llamada **gualungo**; la flor de la biznaga que al fructificar es llamada **borrachita**; **flor del nopal**, nopalxochitl o pocha; la flor del tule o **espadaña**, **flor del frijol**; el cacaوخochitl o **flor del cacao** usada en la bebida llamada pozonqui o espuma de cacao y la **orejuela** o ucinacztli.

También se utilizaron en las bebidas: la flor de **jamaica** y la **vainilla** o tlixochitl (flor negra), llamada así por el color que adquiere el fruto o vaina cuando se seca, pero es sólo su vaina la parte útil en bebidas, postres y repostería.

La **flor de calabaza** pertenece al género Cucurbita, y son plantas rastreras, cuyo crecimiento se da sobre la superficie del suelo; es anual, “solo se dan en temporada de lluvia porque requieren de humedad”. Su cultivo es típico de zonas con climas templados y fríos. Pueden llegar a medir hasta 10 m de longitud.

4.3.2. Condimentos.

Entre los condimentos podemos mencionar, las hojas de **epazote** (*Chenopodium ambrosioides* L.) que se usan desde tiempos inmemoriales en el México prehispánico para dar sabor a los frijoles, o a los guisos de pescado. El **achiote** (*Bixa Orellana* L.) es condimento y al mismo tiempo, colorante, sus tonalidades van del rojo intenso hasta gamas de marrones.

El **epazote** se cultiva fácilmente. Crece en cualquier lugar, pero prefiere pleno sol y suelos arenosos.

4.3.3. Raíces.

Entre las raíces tenemos a la **jícama** (*Pachyrrizus erosus* L.) que es una hierba trepadora, y su raíz se consume cruda o cocida; sus vainas tiernas, también son comestibles.

Para el cultivo de la **jícama** son mejores los suelos francos-arenosos, es un cultivo que requiere poca atención. Tiene la capacidad de actuar como abono verde y mejorar o mantener la fertilidad de los suelos mediante la simbiosis que realiza con bacterias fijadoras de nitrógeno. Requiere sol y agua de manera moderada, por lo que su cultivo se da, sobretodo, en zonas cálidas.



Imagen 54 Condimentos como el Achiote

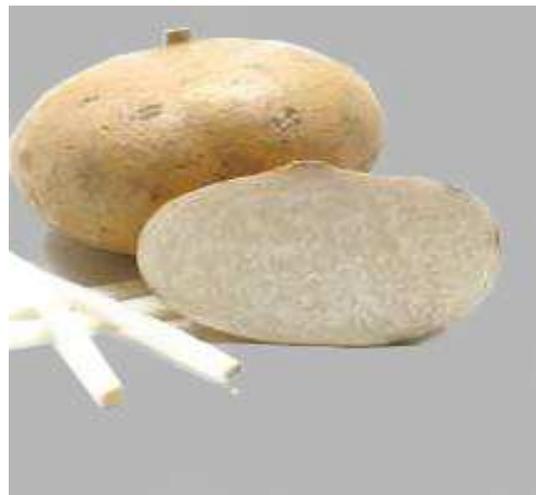


Imagen 55 Raíces como la jícama

4.3.4. Verduras.

El **tomate verde** (*Physalis ixocarpa* Brot) es un fruto que se prepara como salsa o verdura. Este tomate tiene las mismas posibilidades culinarias que el tomate rojo.

El **aguacate** (*Persea americana* Mill) es un árbol de hasta 20 metros de altura, domesticado por los antiguos mexicanos desde hace 7,000 años. Su preparación es variada, desde guacamole, sopas, ensaladas y helados.

El **chayote** (*Sechium edule* Sw) era una de las curcubitáceas muy apreciadas por los aztecas.

Sus frutos ovoides o piriformes, pueden alcanzar hasta 20-25 cm de largo, según la variedad de que se trate puede ser verde oscuro, claro o amarillo y de superficie lisa o tener espinas más o menos largas y rígidas. Además está provisto de gruesas raíces comestibles, de forma ovoide y de color amarillento que reciben el nombre de chinchayote, chaloyestle. Sus posibilidades gastronómicas son enormes.

La temperatura ideal para el cultivo del **chayote** oscila entre los 18 y 30°C. Necesita suficiente riego y crece bien en suelos arcillosos-arenosos, de buen drenaje, buena fertilidad y alto contenido de materia orgánica.¹²



Imagen 56 Verduras como el tomate verde



Imagen 57 Verduras como el aguacate

¹² Hernández, M. (1977) *Valor nutritivo de los alimentos mexicanos*. Instituto Nacional de la Nutrición. México.

4.4. Una Cultura Prehispánica Agrícola y Hortícola

El sistema agrícola que caracterizaba la época prehispánica estaba basado en la milpa; entendida ésta como una pequeña fracción de terreno productivo capaz de ser adaptada a múltiples topografías que permitía la permanente obtención de los cultivos de maíz, chile, frijol y calabaza.

En la cuenca lacustre del valle de México se produjo un salto tecnológico en la productividad agrícola, al crearse allí el sistema de chinampas, que eran superficies artificialmente rellenadas con barro en la periferia de los lagos o islotes, rodeadas por canales que permitían su irrigación permanente y una agricultura intensiva en la que se obtenían hasta tres cosechas por año. En las chinampas se cultivaban, además diversas especies vegetales conocidas como **quelites**, que en realidad crecían como malezas entre los cultivos del maíz pero que por su alto valor nutritivo eran consumidas como verduras frescas. Algunas como el **berro, el epazote, la verdolaga, el pápalo y los romeritos** aún hoy forman parte de la dieta cotidiana del pueblo mexicano.

4.4.1. Los Quelites

Los **quelites** encontraron pronto un importante sitio en la dieta de los pueblos prehispánicos; la versatilidad en su preparación, aún con métodos de cocina no muy refinados les permitía emplearlos en un sinnúmero de platillos. Los aztecas sabían cocinarlos asados o al vapor. Una vez cocidos, podían prepararse en tacos, tamales, sopas, salsa o usarlos como guarnición. También se utilizaban en forma de rellenos para pescados, aves, quesadillas o peneques. Las verdolagas con hongos, los quelites cenizos al gratín, los romeritos en mole verde, la ensalada de berros y las quesadillas de quintoniles, son una pequeña muestra del sinfín de preparaciones que pueden elaborarse con las hojas verdes de los quelites.

En náhuatl, la palabra *quilitl* significa hierba comestible, legumbre o verdura. Actualmente el término quelite, derivado del náhuatl, se aplica a plantas que son verduras tiernas comestibles, o bien plantas jóvenes, brotes o renuevos de algunos árboles y, en ciertos casos, a flores comestibles.

La característica más importante de la mayoría de los quelites es que son ricos en fibra y en antioxidantes. Los hay de climas templados como los **chivitos, las vinagreras, nabos y quelite cenizo**; de climas cálidos como los **alaches, el pápalo, la chaya, los chipilines o chepiles, los retoños de guajes y la pipicha**. Otros se adaptan a una mayor diversidad climática como el **epazote, el mozote, la malva y los quintoniles**.

En ciertas ocasiones es difícil separar entre la categoría de quelite como alimento y quelite como condimento. En general, los quelites con sabores muy fuertes se emplean como condimentos para dar sabor a los platillos y para acompañar otros alimentos. Los quelites como alimento, se consumen como plato fuerte, ya sean solos, con carne o queso.¹³



Imagen 58 Quelites como el berro y la verdolaga

Verdolagas. (*Portulaca oleracea* L.) Pertenecen a la familia de las portulacáceas; crecen en regiones templadas y tropicales como malezas, a la orilla de los caminos, ríos y canales de riego.

Para su cultivo necesitan suelos ricos en materia orgánica. Es mejor cultivarlas en zonas de semisombra, No soportan las inundaciones.

Romeritos. (*Suaeda torreyana* Wats) Pertenecen a la familia de las quenopodiáceas, crecen en suelos salinos como maleza y en manchones abiertos de pastizales de manera silvestre. Las semillas también son recolectadas de áreas cenagosas de las chinampas.

Como platillo prehispánico, los romeritos son típicos de la cocina mexicana; para los aztecas eran tesoros culinarios por su valor nutritivo y la facilidad para conseguirlos- antes del deshierbe de la milpa. Los romeritos en mole con torta de camarón o revoltijo- llamado así por la mezcla de ingredientes tales como papa, nopales, almendras, nueces, cacahuete, cebolla y ajo- son hasta ahora, el plato preferido para la cena de Navidad y la vigilia en Cuaresma.

¹³ Linares, E. Aguirre, J. (1992) *Los Quelites, un tesoro culinario*. Instituto de Biología, UNAM. México.

El Distrito Federal es su principal centro de producción con cinco mil 374 toneladas en el año agrícola según datos del 2008.

Berro. (*Nasturtium officinale*) Crece de regiones templadas a semicálidas en hábitats acuáticos, a la orilla de riachuelos o lagunas de agua corriente. En Cuautla, Morelos la cultivan en ríos de poco caudal. Su cultivo en suelo debe ser rico en humus y arenoso. El sustrato debe mantenerse constantemente húmedo o debe tener riego abundante.

Pápalo. (*Porophyllum ruderale*) Pertenece a la familia de las compuestas. Crece de manera silvestre y espontánea en cultivos de climas cálidos. Crece bien en condiciones adversas, como barrancos, en las orillas de caminos y zonas rocosas. Requiere de lugares soleados con buen drenaje. Se usa como condimento para dar sabor a sopas, guisos, salsas y ensaladas.¹⁴

La horticultura se ha practicado en México desde la época prehispánica en Xochimilco; aunque su inicio es algo incierto, algunas referencias al respecto cuentan que cuando los Xochimilcas pierden la guerra contra el señor de Azcapotzalco y éste les pidió entre otros tributos, un jardín flotante de sabinos, sauces y flores para pagar el tributo, los xochimilcas construyen el sistema chinampero ayudados por su Dios Huitzilopochtli.



Imagen 59 Productos hortícolas en los mercados de la Merced y Jamaica transportados por los canales de la Viga y los lagos

Los productos hortícolas se transportaban por los canales de la Viga que conectaban con los lagos de Xochimilco y Texcoco, distribuidos en los mercados de la Merced y Jamaica. Este sistema agroecológico se mantuvo intacto varios siglos.

¹⁴ Linares, E. Bye, R. (1998) *Ahora hablemos de Quelites*. Festival del Centro Histórico. México.

A finales del siglo XIX, cuando las condiciones de Xochimilco empezaron a cambiar por la desecación de los lagos, la industrialización, el cambio del uso de suelo, el deterioro de la tierra y la contaminación del agua, disminuyó la producción de plantas y hoy en día, de este sistema chinampero solo quedan los poblados de Xochimilco, Santa Cruz Acalpixca, San Gregorio Atlapulco, San Luis Tlaxialtemalco, Santiago Tulyehualco, Tetelco, Azompa y Mixquic.

Gran parte de la producción de Xochimilco hoy en día es de invernadero o vivero, poco en chinampa a consecuencia de la modernización, la rentabilidad, la disponibilidad y calidad del agua.



Imagen 60 Intercambio de productos en el tianguis de Tlatelolco

Los españoles a su llegada, quedaron maravillados con las construcciones y el paisaje del Valle, en especial del sistema chinampero. La necesidad de abastecimiento de recursos alimenticios para las metrópolis; logró el intercambio de productos en grandes mercados o “tianguis”¹⁵. Existen múltiples evidencias en este sentido del transporte de mercaderías a largas distancias. Tanto la arqueología como la documentación histórica del tiempo de la conquista española, demuestran la importancia que la práctica del pago de tributos en alimentos por parte de las etnias sometidas, había adquirido para la consolidación del poder central azteca.

El mercado central de Tenochtitlán, el “tianguis” de Tlatelolco, era de dimensiones colosales para la experiencia europea de la época y causó admiración por su organización interna y la extraordinaria variedad de productos ofrecidos.

¹⁵ Bojorquez, L. (1995) *El ecosistema lacustre. Xochimilco y el deterioro de las chinampas*. Patronato del Parque Ecológico Xochimilco. México

4.5. La Importancia del Maíz

Así como la domesticación del trigo en la Mesopotamia y la del arroz en India y China sentaron las bases para la revolución neolítica de Europa y Asia; la domesticación del maíz transformó el desarrollo cultural de las civilizaciones americanas.

El maíz es muy versátil, sus granos tiernos pueden consumirse tostados o cocidos; cuando están secos se transforman fácilmente en masa para tortillas o tamales.

En México se siembra en todo el país. El período de crecimiento del maíz oscila entre 90 y 150 días, según la variedad. La temperatura media óptima para su cultivo es de 24°C, ya que a temperaturas inferiores a 13°C disminuye su desarrollo; para que alcance un buen rendimiento, demanda un promedio de 550 mm de agua y la temporada lluviosa debe ser en verano. Necesita una alta cantidad de días despejados, por lo que un excesivo período nublado le es perjudicial. Los mejores suelos para su cultivo tienen que tener buen drenaje, alto contenido de nitrógeno y materia orgánica, y que tengan buena capacidad de retención de humedad.

Constituye un excelente alimento tanto para humanos, aves y animales domésticos. Las hojas de la planta y de la mazorca pueden usarse para envolver y cocinar diversos platillos.

Los antiguos mexicanos descubrieron una forma realmente exitosa para que su ingesta fuera aún más digerible y saludable. Este proceso conocido como "nixtamal" del maíz, consiste en el cocimiento lento de los granos en agua alcalina (con tequesquite, ceniza o cal), permitiendo el desprendimiento de la cutícula u hollejo indigesto. Esto produce, entre otros beneficios, que el nivel de calcio de las tortillas aumente veinte veces.

Las tortillas han constituido desde tiempos inmemoriales el sustento básico de las poblaciones mexicanas. Nadie puede probar a ciencia cierta cuando aparecieron pero se supone que existen casi desde la domesticación del maíz, ya que en yacimientos arqueológicos muy antiguos se encuentran metales y comales, que son instrumentos culinarios imprescindibles para producirlas.

El Popol Vuh, el libro sagrado de los Mayas afirma que el hombre mesoamericano fue creado por los dioses a base de maíz: "sólo masa de maíz entró en la carne de nuestros padres... El maíz, grano divino... fue el alimento que los dioses guardaban en el centro de Tonacatépetl, el cerro de nuestra carne". Refieren los historiadores que excavaciones hechas en el valle de Tehuacán, en el estado de Puebla, revelaron el consumo, desde hace más de siete mil años, del cereal básico por excelencia en la dieta mesoamericana.

Por su importancia -en ello coinciden todos los escritores- el maíz se convirtió en objeto de culto religioso y en torno a él se organizaron varias ceremonias: antes de comerlo, lo trataban con ternura y delicadeza. Antes de cocerlo, lo calentaban con el aliento para que no sufriese con los cambios de temperatura y si encontraban algún grano en el suelo lo recogían y rezaban una oración, para disculpar el desperdicio e impedir que los dioses se vengaran produciendo sequías y hambre.

El maíz no sólo se convierte en tortillas; con él se hace una amplia gama de viandas regionales como tamales, atoles, enchiladas y los demás *antojitos* como llaman los mexicanos a la innumerable variedad de preparaciones a base de maíz. Se afirma que en todo México hay más de 700 formas de comer el maíz.¹⁶ El guiso, envuelto en una tortilla posee infinitas ventajas, ya que, además de ser práctico, sencillo y fácil de preparar, es uno de los platillos predilectos debido a su excelente sabor.

La tortilla de maíz tan popular en México y fuera de él, se utiliza como ingrediente flexible y comestible para enrollar cualquier alimento, con ella se prepara el apetitoso taco; cortada en pedazos permite usarla como cuchara también comestible o para untar numerosas salsas que son la apoteosis de la cocina mexicana.

La alimentación indígena en sus características básicas proporciona suficientes elementos para desarrollarse, siempre y cuando se coma en cantidad suficiente. En términos nutricionales, la dieta tradicional indígena es una buena fuente de energía e hidratos de carbono, de proteína en la combinación del maíz y el frijol, de vitaminas y minerales, si hay suficiente consumo de frutas y verduras, así como en el consumo cotidiano de chile; tiene además ventajas como ser buena fuente de calcio por la nixtamalización del maíz, baja en grasa en su forma original y tener un buen contenido de fibra.

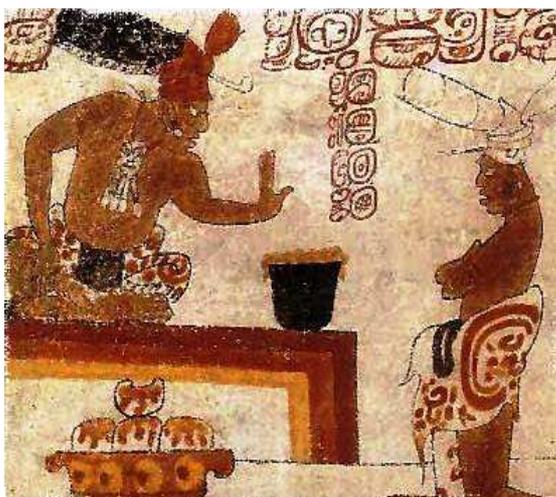


Imagen 61 El maíz, grano divino para los Mayas



Imagen 62 700 formas de comer el maíz

¹⁶ Museo de las Culturas Populares. (1982) *El maíz, fundamento de la cultura popular*. SEP. México.

4.6. Alimentación en la Época de la Conquista

Debido a que muchos hábitos alimentarios indígenas no fueron aceptados por los españoles, se abolieron muchos cultivos alimentarios que eran asociados a lo que ellos consideraban prácticas demoníacas.

El amaranto o huautli.

Es ejemplar lo que aconteció con el huautli, amaranto o bledo (*Amaranthus hypochondriacus* L.) que fue prohibido, porque con él, se elaboraba una masa llamada tzoalli, con la que los aztecas configuraban el cuerpo de Huitzilopochtli, el dios de la guerra, que era repartido en pequeñas porciones a la población. Esta semejanza con el sacramento católico fue factor definitivo para erradicarlo desde el lugar de origen, evitando su exportación.¹⁷

El huatli o amaranto es una planta de 1 a 1.5 m de altura, anual, de tallo color rojizo. Las panículas se colectan a los cinco meses. Las hojas tienen un alto valor nutritivo y sirven como verdura.



Imagen 63 Cultivo de amaranto abolido en la conquista

Su cultivo se puede realizar en condiciones de altas temperaturas y baja disponibilidad de agua. Es decir que es un cultivo de gran adaptabilidad, alto rendimiento, resistencia a las sequías, por lo que es considerado un cultivo alternativo. Se ha sembrado exitosamente en una amplia gama de altitudes y condiciones edafológicas, desde zonas semiáridas hasta selvas tropicales

También se desarrolla bien en pequeñas superficies o “minifundios”. Lo que lo califica como una planta del futuro es su gran cantidad de lisina, leucina y triptófano poco frecuente en un mismo grano, sobrepasando incluso al maíz y al trigo en estos aminoácidos.

¹⁷ Gómez, L.F. (1986) *Cultivo de Amaranto en México*. Universidad Autónoma de Chapingo. México

4.7. Alimentación Actual

Una vez consumada la conquista, se inicia un mestizaje culinario; los indígenas adoptaron y transformaron los productos que trajeron los españoles: trigo, arroz, azúcar, cítricos, entre otros; dando paso a la creación de la cocina novohispana. En el virreinato las monjas refinaron los platillos mexicanos, postres, dulces y golosinas en los conventos. Al consumarse la independencia, la gastronomía mexicana dejó de ser colonial y se volvió criolla.

En el siglo XIX, la alimentación mexicana vuelve a sufrir y gozar de una nueva y poderosa influencia, especialmente de la comida y cultura francesas, la cual fue la más notoria en la época del Porfiriato.

Hoy en día los antojitos (tacos, quesadillas, sopes, tamales, etc.) son parte esencial de la comida mexicana, mientras que las sopas, carnes y pescados, representan las variadas regiones del país, los postres provienen en su mayoría de las cocinas de conventos del virreinato; los dulces son generalmente de origen artesanal y son reflejo del sentimiento popular; las bebidas como tequila, mezcal, pulque, tepache, cerveza, aguas frescas de las más diversas frutas, atole, champurrado y chocolate, nos ofrecen un panorama casi mágico de sabores, olores y colores.

En el México de nuestros días aún conservamos una alimentación basada en la comida prehispánica. Gran parte del pensamiento prehispánico, relacionado con los alimentos subsiste hasta nuestros días. En la medida en que más conocemos la alimentación de los pueblos prehispánicos, vamos descubriendo el nivel de entendimiento que los antiguos habitantes de México tenían de una buena nutrición, además de la conciencia que existía para conservar un entorno equilibrado y de esta forma evitar que el ciclo de los alimentos se viera interrumpido.



Imagen 64 Cocina novohispana y refinamiento de los platillos mexicanos por las monjas en postres y dulces en los conventos

Capítulo V

Sustratos en las Azoteas Verdes

5.1. Importancia del Sustrato en las Azoteas Verdes

El sustrato utilizado en la instalación de una azotea verde es de vital importancia para el éxito y permanencia a través del tiempo de las especies vegetales cultivadas. Si la mezcla de suelo no logra el establecimiento de la vegetación y su desarrollo; y al mismo tiempo garantiza un adecuado equilibrio entre la retención y dren del agua; todo el sistema constructivo será un fracaso. La adecuada elección de un sustrato es importante para que la vida útil de una azotea verde esté asegurada a largo plazo.



Imagen 65 Mezclas de suelo de vital importancia para la naturación

Se puede decir entonces que el corazón de una Azotea Verde es el equilibrio entre los componentes que permiten el dren y la retención adecuada de agua en un sistema de naturación; y que el alma de una Azotea Verde es el sustrato o medio de crecimiento que seleccionemos para la vegetación que finalmente decidamos utilizar.

La elección del sustrato depende en gran medida de la elección del resto de los elementos y componentes de diseño que caracterizan una Azotea Verde. Por ejemplo, dependiendo del peso estructural que tendrá que soportar la losa donde se llevará a cabo la Azotea Verde; se puede determinar el espesor y el peso del sustrato a elegir, y en consecuencia la elección de las plantas. En otros casos donde el peso estructural no representa un aspecto importante a considerar, la elección de las plantas que se utilizarán en la Azotea Verde son las que determinarán la elección del sustrato.

5.2. Características Sustratos en Azoteas Verdes

El sustrato para Azoteas Verdes, debe ser una mezcla perfecta de materiales orgánicos y minerales con diferentes propiedades físicas y químicas.

Los principales aspectos de los sustratos en Azoteas Verdes que se vuelven primordiales con el tiempo son: el Peso, el Espesor, la Retención y Permeabilidad del agua; y la pérdida de Nutrientes para las plantas.

Peso: Los sustratos para las Azoteas Verdes, deben ser ligeros y con una estructura estable, pero a la vez deben contar con las propiedades físicas y químicas necesarias para el establecimiento de la vegetación. Todo lo anterior sin comprometer la estructura de la losa donde se establezcan.

Retención y permeabilidad del agua: En este aspecto, es importante observar la porosidad, granulometría- distribución del tamaño de partículas de los sustratos y la densidad aparente. Los sustratos tienen cuatro componentes principales: partículas sólidas, agua, aire y organismos como insectos y microbios. La relación de agua y aire en un sustrato ayuda a definir la infiltración y la retención de humedad. La capacidad de un sustrato para retener agua, lo convierte en uno de los elementos más importantes en las Azoteas Verdes para el manejo de agua pluvial. Se ha comprobado con algunos estudios, que a **mayor espesor de sustrato se tiene una mayor tasa de retención de agua pluvial**.¹⁸ El agua que el sustrato retiene también es utilizada por las plantas para su desarrollo y para soportar épocas de sequía. Sin embargo, para lograr plantas saludables es importante que el área de las raíces tenga un adecuado suministro de aire. Una densidad aparente alta, no es deseable y generalmente esto significa, un mal drenaje del suelo y por lo tanto un crecimiento limitado de la vegetación.



Imagen 66 Capacidad de retención de agua de los sustratos en la naturación, esencial para el manejo de agua pluvial

¹⁸ Rowe, D.B. (2003) *Green roof slope, substrate depth and vegetation runoff*. Greening Rooftops for Sustainable Communities. E.U

Para entender el funcionamiento del drenaje, hay que saber que el agua en el suelo sufre un proceso dinámico. En un principio cuando se agrega agua de manera abundante al suelo, todos los espacios de la tierra se encontrarán llenos de agua. En esta condición, se dice que el suelo está en su **punto de saturación**, y en su máxima capacidad de retención. El agua del suelo se conoce entonces como agua gravitacional. El agua ocupa los macro poros del suelo y drena con facilidad hacia los horizontes inferiores. Si esta situación se prolonga en el tiempo, por algún impedimento para drenar el agua, faltará aire en el suelo y las plantas no se podrán desarrollar adecuadamente. Si el suelo, en cambio, posee una estructura adecuada, luego de haber pasado el punto de saturación; el agua entonces, drena hacia sectores inferiores del suelo. El agua remanente queda alrededor y entre las partículas del suelo en una adecuada combinación agua- aire. En esta situación las plantas pueden desarrollarse adecuadamente y se dice que el suelo se encuentra a **capacidad de campo**.

Finalmente, por efecto de la evaporación de la superficie del suelo y la transpiración de las plantas con el tiempo se va reduciendo la cantidad de agua en el suelo, hasta que ya no se observa movimiento por capilaridad. El agua va quedando aprisionada en forma de una fina película alrededor de las partículas del suelo. De no producirse un nuevo aporte de agua, ya sea por riego o lluvia, el suelo queda tan seco que esto provoca que las plantas mueran. En este punto, el agua queda retenida entre las partículas más finas del suelo, de tal forma que pierden su estado líquido y se desplazan como vapor. Cuando esto ocurre se dice que se ha llegado a un punto de **marchitez permanente**.



Imagen 67 Capacidad de campo y punto de marchitez permanente del sustrato

La retención de humedad por el sustrato, en cantidades adecuadas y en forma homogénea, determina la posibilidad de las plantas, de utilizar el agua como vehículo para sus funciones metabólicas. **Es por eso que cuando seleccionamos un material para un sustrato es importante conocer la capacidad de humedad a saturación y la retención de agua a capacidad de campo.** Como ya se mencionó anteriormente, la capacidad de humedad a saturación es la cantidad total que el sustrato puede contener; y la retención de humedad a capacidad de campo es la cantidad total de agua que retiene después que el líquido ha sido ya eliminado por gravedad a tensión cero. **Este último dato es el que nos permite saber en qué medida el material mantiene la humedad alrededor de las raíces y hasta que punto permite la circulación del aire.**

Tabla 2. Retención de humedad de sustratos en peso y volumen

Sustrato	Capacidad de Retención de Agua a Capacidad de Campo	
	% Peso	% Volumen
Grava	4.2	6.7
Vermiculita	382.0	43.6
Arena	12.0	16.0
Arcilla expandida	28.0	14.0
Fibra de coco	780.0	70.0

Fuente: Cabrera R.I. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para producción de plantas en maceta. Chapingo

Cuando hablamos de **tensión cero**, nos referimos a la fuerza **con la que la cantidad de humedad es retenida en el suelo. En el caso de los sustratos, esta fuerza se mide en cm de agua.** Es por esto que cuando las plantas empiezan a extraer agua del sustrato, la tensión de humedad va aumentando y llega a un punto tal que las plantas ya no pueden extraer más cantidad de agua.

Es necesario, entonces, distinguir entre el agua retenida por el sustrato y que es accesible a la planta; y el agua fuertemente retenida por el sustrato y que no es utilizable por la planta, ya que la succión aplicada por las raíces no supera la fuerza con la que el agua es retenida por las partículas del sustrato.

Por lo tanto, y en relación con los sustratos, lo que es importante conocer es la **capacidad de retención de agua fácilmente disponible** y no la capacidad de retención total de agua.

En laboratorio se utilizan las **curvas de retención de agua de un sustrato**, que representan la **variación del reparto de fases (aire, agua y material sólido) en función de la tensión de humedad**.

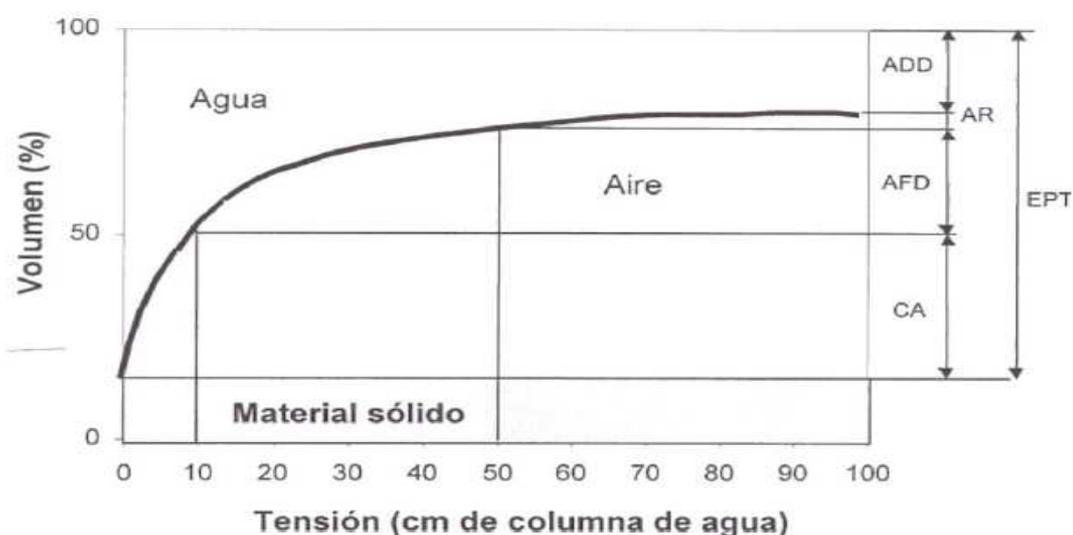


Imagen 68 Gráfica con curvas de retención de agua de sustratos

La **tensión de humedad** tiene las mismas unidades que la presión, y por lo tanto puede medirse como la altura de columna de un líquido como el agua o el mercurio. En el caso de los sustratos la tensión de humedad se expresa en cm de columna de agua.

En el esquema, podemos observar un recipiente cilíndrico con una placa filtrante en el fondo. El mismo tiene acoplado un manómetro en forma de U, provisto de una entrada de agua lateral y de un drenaje en la parte inferior. Al cerrar la válvula de drenaje, podemos ir llenando el tubo que contiene el sustrato compactado con agua para conseguir una saturación completa del sustrato. **Una vez saturado**, se abre la válvula inferior y dejamos que **drene libremente** hasta que **el nivel llegue hasta el punto cero**. En este momento **el sustrato se encuentra a capacidad de campo**. Al **seguir drenando agua**, hasta que el nivel baje a 10 cm por debajo del fondo del sustrato encontraremos que ese punto es el **límite de capacidad del aire del sustrato**. Al **seguir drenando el agua** hasta que el nivel baje a 50 cm por debajo del fondo del sustrato encontraremos en ese punto el **límite de agua fácilmente disponible**. Al **seguir drenando** hasta que el nivel baje a 100 cm por debajo del fondo del sustrato encontraremos el **límite de agua de reserva**.

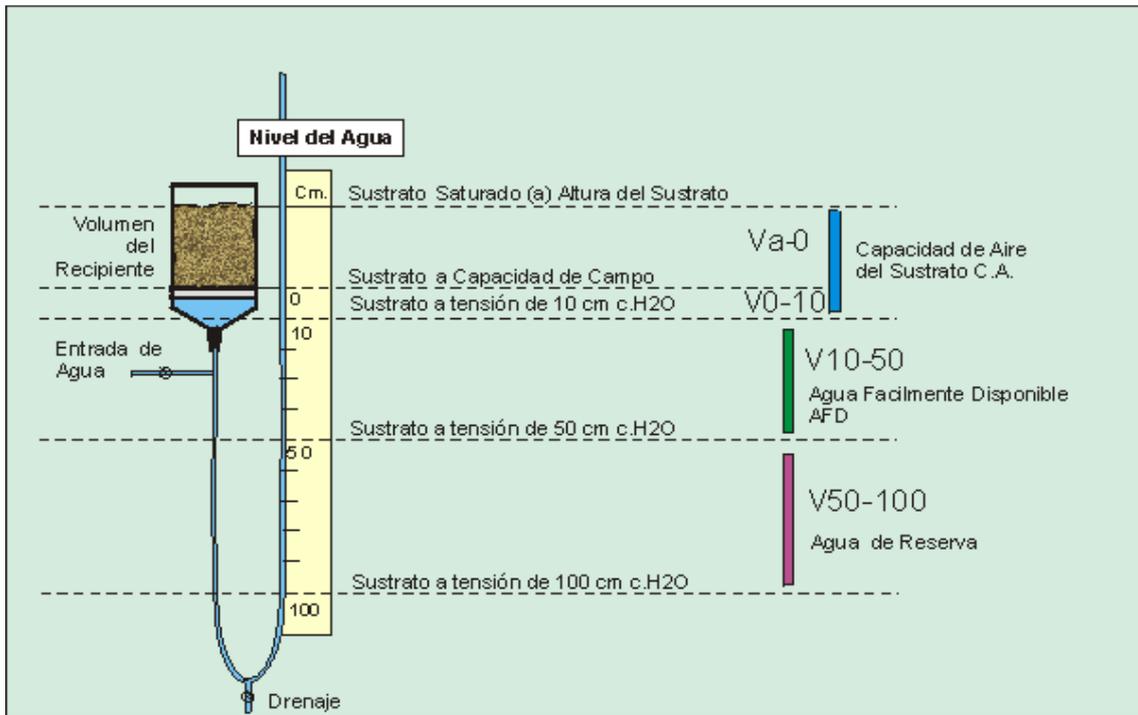


Imagen 69 Capacidad de Aire, Agua Fácilmente disponible y Agua de Reserva del sustrato

En la gráfica de una curva de retención de agua para sustratos diferentes podemos diferenciar el reparto volumétrico de agua, aire y material sólido de los sustratos a diferentes tensiones.

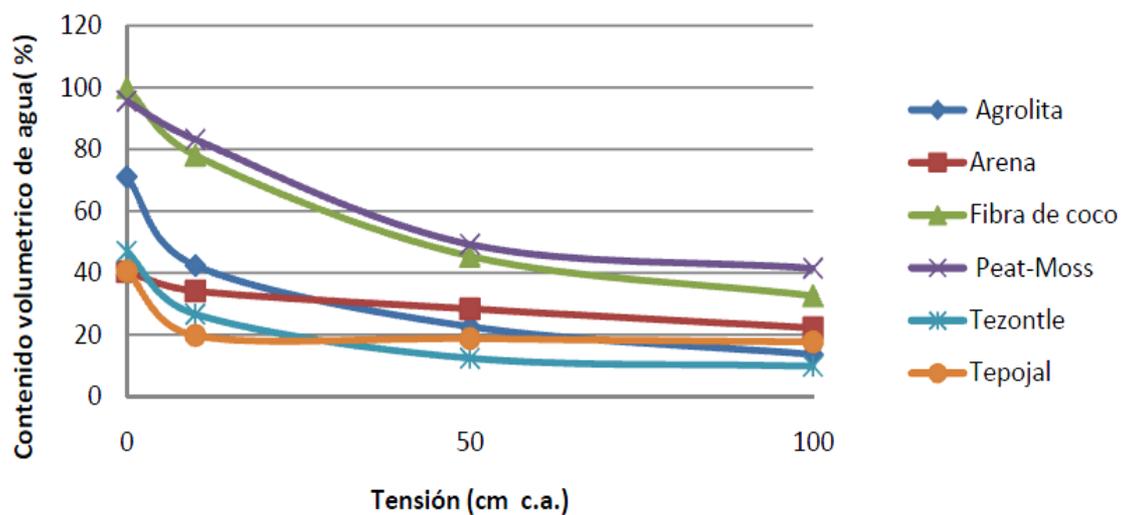


Imagen 70 Gráfica de comportamiento del agua en seis sustratos

En cuanto al **tamaño de las partículas, la distribución y tamaño de los poros también determinan el balance entre el contenido en agua y el aire del sustrato**, a cualquier nivel de humedad.

Los materiales de textura gruesa, con tamaño de partícula superior a 0,9 mm, con poros grandes, retienen cantidades reducidas de agua pero están bien aireados. Los materiales finos, con partículas inferiores a 0,25 mm y poros pequeños, retienen grandes cantidades de agua difícilmente disponible y están mal aireados. El mejor sustrato se define como aquel material de textura media a gruesa, equivalente a una distribución del tamaño de las partículas entre 0,25 mm y 2.5 mm, que retienen suficiente agua fácilmente disponible y presentan además, un adecuado contenido de aire.¹⁹

Por último es importante distinguir la forma en que los sustratos retienen la humedad. Algunos retienen la humedad sólo en la superficie de las partículas y otros almacenan humedad en su interior.

Tabla 3. Tipo de Almacenamiento de agua de sustratos

Sustratos	
Grava	Agua retenida en la superficie exterior de las partículas
Arena gruesa	
Arcilla expandida	Agua retenida en la superficie y en el interior de las partículas
Aserrín	Agua retenida en las fibras vegetales
Suelo agrícola	Agua absorbida en los micro poros o espacios capilares

Fuente: Cabrera R.I. *Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para producción de plantas en maceta*. Chapingo

En conclusión, la disponibilidad distinta de agua por el suelo, es característica de cada suelo en particular; y es por esto que en un suelo de textura arenosa, el agua disponible será menor que en un suelo arcilloso que posee mayor capacidad para almacenar agua.

Se recomienda que la distribución de partículas para una mezcla de suelo en una Azotea Verde sea:

- 20%** Componentes Sustrato **partículas < 1mm**. Para **aumentar la capacidad de retención de agua**.
- 40%** Componentes Sustrato **partículas de 1-2 mm**. Porcentaje **base de la estructura del sustrato**.
- 30%** Componentes Sustrato **partículas 2-10 mm**. Para lograr una **porosidad adecuada**.
- 10%** Componentes Sustrato con **materia orgánica**. **Reserva de nutrientes para las plantas**.

¹⁹ Cabrera, R.I. (1999) *Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para producción de plantas en maceta*. Universidad Autónoma de Chapingo. México.

Pérdida de nutrientes: Los **componentes minerales** en el suelo son los que **dan origen a estructuras estables u óptimas**; mientras que los **componentes orgánicos** proporcionan a las especies vegetales la **cantidad de nutrientes** adecuados que requieren.

La **cantidad de materia orgánica en un sustrato para Azoteas Verdes siempre tiene que ser mayor a la de un suelo natural; puesto que con el tiempo se va compactando y deslavando**; en algunas ocasiones es reemplazada por las mismas hojas de la planta o el polvo. Es por esto que en las mezclas de suelo, **se recomienda un porcentaje de materia orgánica del 3 al 6% mínimo pero siempre menor al 15%**. La recomendación general es que la mezcla de suelo tenga siempre un mayor porcentaje de materiales minerales como la agrolita, la perlita, tepojal, tezontle y vermiculita.

Se habla de un 5% de pérdida de materia orgánica al año, y esta es la razón principal de que el suelo vaya perdiendo los nutrientes necesarios que las plantas requieren con el tiempo.²⁰

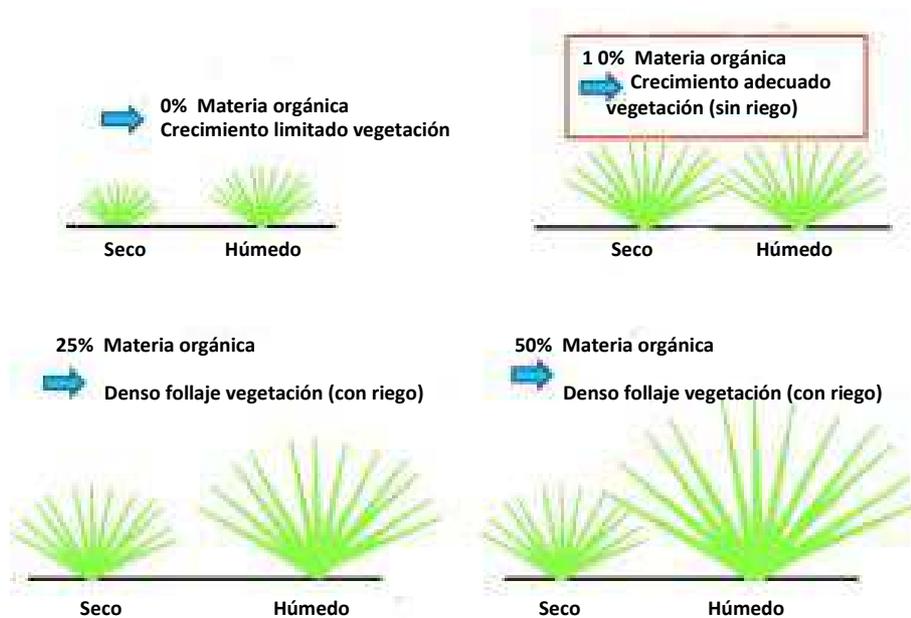


Imagen 71 Efecto del porcentaje de materia orgánica en el crecimiento de la vegetación

²⁰ Kononova, M. (1961) *Soil organic matter*. Pergamon Press. Inglaterra.

5.3. Cualidades Sustratos en Contenedores

Todas las macetas o contenedores pueden considerarse pequeñas escalas de sistemas equivalentes al conjunto total de una Azotea Verde. Las plantas cultivadas en contenedores tienen un crecimiento limitado de sus raíces; y tienen necesidades elevadas de nutrientes, aire y agua. Debido a que **el espacio es limitado, usar un sustrato o medio de crecimiento de alta eficiencia es crucial** para el crecimiento de la vegetación.

Las características de un contenedor resultan decisivas en el crecimiento de las plantas, ya que se produce una interacción entre las características del contenedor como la altura, el diámetro y el manejo de la combinación planta- sustrato.

Para lograr un sustrato de crecimiento de alta eficiencia es importante **entender cómo funcionan los componentes orgánicos y los inorgánicos de los sustratos en contenedores. La combinación de ambos permite obtener mezclas adecuadas para su uso en contenedores.**

Componentes orgánicos.

El suelo de forma natural contiene aproximadamente de un 2 a 5% de materia orgánica por volumen o masa total. El porcentaje de materia orgánica en el suelo de un contenedor debe ser mayor al del suelo natural para lograr que la vegetación se establezca adecuadamente; sobretodo si la vegetación no alcanza aún todo su desarrollo.²¹ Hay que considerar que a diferencia del suelo natural que va adquiriendo el material orgánico con el tiempo del ambiente en torno y su continuo almacenamiento; el material orgánico del sustrato en un contenedor permanece siendo el mismo que en un principio se agregó a la mezcla de suelo y esto no cambia con el tiempo.

En el mundo se está empezando a dar una tendencia en las mezclas de sustratos para Azoteas Verdes en donde el uso de material orgánico sea el mínimo. Las principales razones como ya se mencionaron anteriormente se deben a la pérdida de nutrientes, la compactación y el deslave del suelo que se dan con el tiempo debido a las condicionantes climáticas.

Cualquier actividad biológica en los sustratos es perjudicial. Los microorganismos compiten con la raíz por oxígeno y nutrientes. También pueden degradar el sustrato y empeorar sus características físicas. Generalmente disminuyen su capacidad de aireación, lo que puede provocar asfixia radicular. Es por eso que hay que observar la velocidad de descomposición que está en función de la población microbiana y de las condiciones ambientales en las que se encuentra el sustrato.

²¹ Emilsson, T. (2008) *The influence of Substrate: Establishment method and Species mix on Plant Cover*. Ecological Engineering. Volume 3. Number 3-4. Elsevier Estados Unidos

Sustratos de tipo orgánico.

Los componentes orgánicos más populares incluyen el peat- moss (turba), productos de madera compostados (corteza, aserrín), compostas de materia orgánica, hojas de árboles, paja, etc.

Peat- moss. Es un material orgánico que se caracteriza por estar sujeto a descomposición biológica; y consiste en restos de vegetación descompuesta lentamente bajo el agua en pantanos. Es de origen natural y está formado por restos de musgos y de otras plantas superiores; que se hallan en proceso de carbonización lenta; fuera del contacto con el oxígeno, por lo que conservan por largo tiempo su estructura. La Sociedad Americana para la Prueba de Materiales (American Society for Testing Material, ASTM), utiliza un sistema de clasificación fundamentado en el tipo de planta que compone al peat- moss y el contenido de fibra orgánica. Así tenemos que existe peat- moss del género Sphagnum, peat- moss de musgo Hypnum, peat- moss de aserrín y junco, entre otros. Es de los materiales más empleados en la elaboración de sustratos para macetas y contenedores, debido a sus cualidades. Es mejor que esté poco descompuesto, debido a que su estructura posee una excelente porosidad, es ligero, tiene una gran capacidad de absorber agua y es muy aireado. Está libre de gérmenes y semillas de malas hierbas. Puede ser utilizado inmediatamente después de su humedecimiento. Para utilizar el peat- moss, hay que desmenuzarlo y humedecerlo ligeramente, ya que de otra manera se hace difícil su manipulación. Entre sus características más importantes se pueden mencionar que tiene una baja densidad aparente y real (50-70%), porosidad total elevada, suficiente contenido de aire, alta capacidad de retención de agua total y disponible, pH ácido, elevada capacidad de intercambio catiónico y bajo nivel de nutrientes asimilables.

Corteza de pino. Es un residuo forestal, bastante estable que airea el sustrato. Debe estar triturada en trozos muy pequeños (1-2 cm) y se mezcla con turba en cantidades variables. Una desventaja de los residuos forestales es que no aportan nitrógeno. Tiene una retención de humedad de un 54%. Si no tiene taninos, se puede utilizar como acolchado para mantener la humedad.



Imagen 72 Sustrato orgánico Peat-moss



Imagen 73 Sustrato orgánico Corteza de pino

Tierra de hoja. Es muy rica en materia orgánica porque es el material que se origina en la parte superficial de los terrenos forestales, proveniente de la acumulación de material orgánico de vegetación forestal, con bajo grado de descomposición. Está constituido por material en descomposición que se acumula sobre el suelo de los bosques como restos de hojas, ramas, raíces, hierbas, pastos, musgo, corteza, troncos pequeños y flores. Tiene las propiedades físicas necesarias como buena aireación y retención de humedad, así como buen drenaje con una porosidad del 80%; pero por su alto contenido de microorganismos se tiene que esterilizar. Requiere un proceso de compostaje antes de poder ser utilizada como sustrato.



Imagen 74 Sustrato orgánico Tierra de hoja



Imagen 75 Sustrato orgánico Composta

Composta. Gracias al contenido orgánico que tiene, mejora el suelo con nutrientes. Este sustrato se obtiene mediante un proceso de apilamiento, fermentación y descomposición natural, en el que intervienen bacterias, hongos y otros microorganismos aeróbicos que degradan la materia orgánica en un ambiente húmedo. Es un proceso de degradación biológica controlada. Existen diferentes formas de hacer composta, pero en cualquiera de ellas, es necesario tener en cuenta que el producto final sea obtenido a partir de materia prima limpia (residuos orgánicos separados en su origen), libres de otro tipo de desechos como plásticos, latas, metales y desechos sanitarios. Un compostaje adecuado genera un producto orgánico final estable, libre de patógenos y otros contaminantes, que según su calidad puede ser utilizado como abono en la producción de alimentos, la jardinería y el establecimiento de coberturas vegetales para la recuperación de suelos y control de la erosión. Las características físicas y químicas de la composta varía dependiendo de los materiales orgánicos de que se obtenga. Una composta de residuos orgánicos urbanos presenta una porosidad del 70% de su volumen, una densidad aparente de 0.67 y una densidad real de 2.28 gr/ cm³.²²

²² Labrador, J. (1996) *Origen y constituyentes de la material orgánica*. Editorial Mundi- Prensa. España .

Tierra negra. Se utiliza para mejorar el suelo en caso de que éste sea pobre. Es un tipo de tierra de monte, que corresponde a suelos de tipo andosol pélico. Es de textura fina con partículas pequeñas, presenta mala aireación y drenaje deficiente; y cuando está seca se dificulta hidratarlas. Pero mejora el suelo porque presenta buena retención de humedad, pH ácido y alta capacidad de intercambio catiónico, lo que aporta nutrientes al complejo de fertilización de las plantas. Su estabilidad física es apropiada una vez humedecida.

Componentes inorgánicos.

Los componentes inorgánicos o minerales se obtienen a partir de rocas de diverso origen, modificando ligeramente su estado inicial para obtener partículas pequeñas. Tienen la ventaja de no ser biodegradables y conservar su estabilidad física, que implica poca disminución de volumen en los contenedores.

Tezontle. Es un material inorgánico natural que en México generalmente son escorias procedentes de la erupción de los volcanes. Están constituidos por silicatos de aluminio, los cuales son formados por fragmentos y partículas de lava porosa poco pesada. Existen tres tipos de tezontles utilizados en la horticultura: el negro, que está ligeramente erosionado; el tezontle amarillo que es producto de la erosión del tezontle negro; y el tezontle rojo cuyo color es debido a la presencia de hierro que sirve para drenar y proporcionar una mayor aireación del suelo. Tienen una elevada densidad aparente, por lo que es un material relativamente pesado. Presenta una elevada capacidad de aireación y poca capacidad de retención de agua. Las propiedades físicas varían considerablemente con el tamaño de las partículas y también varían las propiedades químicas con el origen del material. El tezontle aporta pocos nutrientes, su pH es casi neutro y generalmente se encuentra libre de sustancias tóxicas.



Imagen 76 Sustrato inorgánico Tezontle negro



Imagen 77 Sustrato inorgánico Tezontle rojo

Arena. Se debe emplear en pequeñas cantidades en las mezclas de sustratos. La arena mejora la estructura del sustrato, pero aporta peso. La arena de río es la mejor, pero debe estar limpia para ser utilizada en sustratos. Las arenas son materiales silíceos (óxido de sílice, SiO_2) de composición, forma y color variados dependiendo de la constitución original de las rocas que provenga. El tamaño de las partículas de las arenas va de 0.2 a 2 mm de diámetro. Tienen una densidad aparente de 1.30 a 1.84 gr/cm^3 , que puede representar de 1,350 a 1,500 kg/m^3 y una densidad real de 2.6 gr/cm^3 . Tienen una porosidad inferior al 50% y desde el punto de vista químico se consideran inertes, con excepción de las arenas de río que contienen materiales orgánicos. La arena utilizada en construcción no es buena porque lleva mucha arcilla y se compacta. Como ventajas se tienen que se evitan las malezas. Sus propiedades físicas varían en función del tamaño de las partículas, las arenas finas presentan buena capacidad de retención de agua, pero tienen mala aireación, mientras que las arenas gruesas presentan buena aireación con deficiente retención de humedad. Las ventajas de las arenas es que son prácticamente permanentes, tienen una buena estabilidad y son fáciles de desinfectar. La arena de río presenta buena aireación pero baja retención de humedad, presenta alta densidad y buena estabilidad física, aporta algunos nutrientes, presenta baja capacidad de intercambio catiónico y un pH cercano al neutro.

Agrolita o Perlita. Es un sustrato granular de color blanco, cuyo principal componente químico es el silicato de aluminio, que es estéril e inerte. Se obtiene a partir de una roca volcánica vitrea llamada perlita, cuyas partículas se expanden a temperaturas de 760 a 1000°C, al evaporarse el agua que contiene en su interior, provocando que exploten fragmentos formando partículas más pequeñas con aspecto esponjoso, parecidas a las palomitas. Tiene poco peso en mucho volumen porque posee una gran porosidad del 95%, aspecto que lo hace un material ligero, con alta estabilidad, no contiene nutrientes, pH neutro a ligeramente alcalino y baja capacidad de intercambio catiónico. Presenta partículas grandes y pequeñas que le proporcionan buena aireación, buen drenaje y baja retención de humedad. Se utiliza generalmente mezclado con otros sustratos como turba o arena.



Imagen 78 Sustrato inorgánico Arena



Imagen 79 Sustrato inorgánico Agrolita

Vermiculita. Es un mineral constituido por silicato de aluminio con una estructura laminar o en capas parecida a una mica, que tiene una capacidad de expansión de hasta 12 veces su volumen. Tiene una capacidad de retención de humedad del 68%. Posee una gran capacidad de aireación aunque con el tiempo tiende a compactarse. Su densidad aparente es de 0.13 gr/cm^3 y una densidad real de 2.5 gr/cm^3 con un 95% de su volumen constituido por espacios porosos, lo que le permite un buen drenaje y facilidad de absorción de nutrientes lo que indica que tiene alta capacidad de intercambio catiónico. El pH es neutro.

Tepojal. Es un material inorgánico natural. Da mejor oxigenación a la raíz y soporte a la planta, proporciona mayor retención de humedad.²³



Imagen 80 Sustrato inorgánico Vermiculita



Imagen 81 Sustrato inorgánico Tepojal

La altura del contenedor tiene un importante efecto que se debe vigilar en el contenido de aire, **cuanto más alto es el contenedor, más alto es el contenido de aire y viceversa**. Cuando se usa un **contenedor pequeño o poco profundo** es preferible usar **sustratos gruesos** para mantener una aireación adecuada. Contrariamente en **contenedores altos**, se utilizan **sustratos más finos** para garantizar el contenido de agua.

²³ Pastor Saéz, Narciso J. (1999) *Tecnología de Sustratos: Aplicaciones a la producción viverística, ornamental, hortícola y forestal*. Universidad de Lleida. España.

5.4. Elección de un Sustrato para Especies Vegetales Comestibles en Contenedores para Azoteas Verdes

El Contenedor

Los elementos de diseño que se deben observar en los contenedores para el cultivo de especies vegetales comestibles son la altura- tamaño y los reservorios de agua.

Los contenedores con mayores dimensiones tanto en tamaño como en altura son mejores para el cultivo de especies vegetales comestibles, pero es importante observar que la selección final del mismo, depende del espesor de sustrato que requiera cada especie vegetal utilizada.²⁴

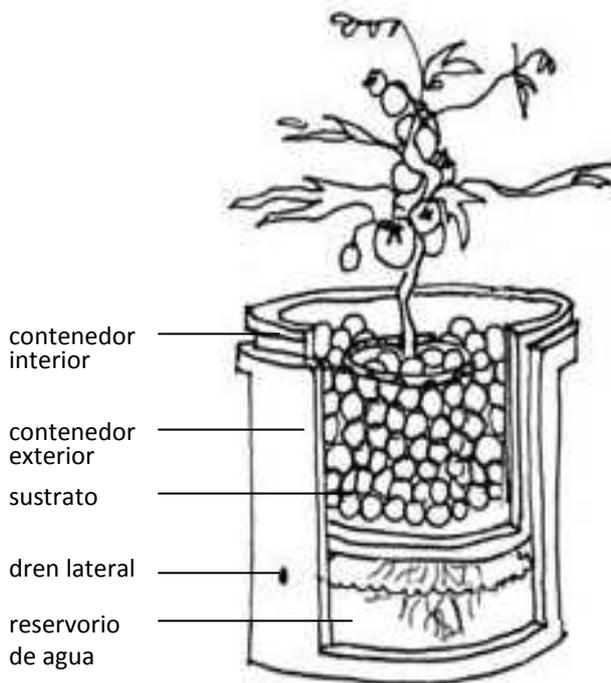


Imagen 82 Modelo de contenedor para especies comestibles

En cuanto al diseño, es buena idea optar por un doble contenedor para que en la parte inferior se pueda contar con reservorios de agua, ya que el riego de las especies vegetales comestibles es frecuente antes del desarrollo total de la planta y a medida que pasa el tiempo también permite tener suficiente agua que garantice la humedad de las raíces.

Deben existir también orificios de drenaje en la base del primer contenedor para el dren del agua sobrante y orificios laterales para mantener el nivel de agua del reservorio y evitar su desborde hacia el primer contenedor.

²⁴ Guerra, Michael. (2000) *The Edible Container Garden*. Simon and Schuster. Estados Unidos.

El contenido

(Sustrato para especies vegetales comestibles en contenedores)

En el interior del contenedor se recomienda contar con las siguientes capas para la mezcla de sustratos para especies vegetales comestibles:

- Capacidad de retención de agua
- Base estructura de sustrato
- Porosidad adecuada
- Reserva de nutrientes- materia orgánica
- Capacidad de retención de agua y aporte de materia orgánica
- Porosidad y aporte de materia orgánica

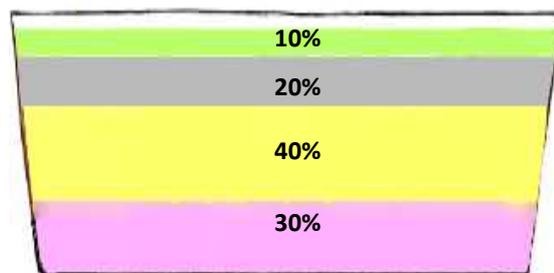


Imagen 83. % de capas en mezclas de sustratos

Tabla 4. Características de diferentes sustratos orgánicos e inorgánicos

Sustrato	Características de los sustratos					
	Densidad Aparente	Retención de humedad	Aire	Tamaño de partículas	pH	CIC
Corteza de pino	0.1-0.25 g/cm ³	19%	37%	0.5-5.00 mm	ácido neutro	Alta
Agrolita o Perlita	0.03-0.16 g/ cm ³	45%	35%	1.5-6.00 mm	neutro	Bajo
Vermiculita	0.08-0.13 g/ cm ³	35%	25%	1.00-2.00 mm	neutro	Alta
Arena	1.35-1.50 g/ cm ³	15%	35%	0.2 - 2.00 mm	neutro	No
Tezontle	0.82-1.43 g/ cm ³	27%	22%	0.25-0.84 mm	neutro	Ligero
Tepojal	0.54 g/ cm ³	40%	36%	2.00-10.00 mm	neutro	Bajo
Peat- moss	0.296 g/cm ³	48%	20%	0.25 mm	ácido	Alta
Composta	0.67 g/ cm ³	50%	40%	0.20-0.50 mm	alcalino	Alta
Tierra negra	1.40 g/ cm ³	35%	25%	0.2-0.5	ácido	Alta
Tierra de hoja	0.1-0.4 g/cm ³	40%	37%	0.20 mm	neutro	Alta

Fuente: Bunt A. C. Media and Mixes for container grown plants. Unwin Hyman

Planificación de los cultivos (especies vegetales comestibles)

Al planificar que especies vegetales comestibles seleccionaremos para los distintos sustratos, tenemos que tener en cuenta el ciclo de cultivo; el cual varía según la especie y variedad (corto o largo, primavera o invierno) y el clima (temperatura, radiación solar).

Cuando hablamos de asociación de cultivos, significa que aprovechamos al máximo el espacio con cultivos que no tienen las mismas necesidades y por tanto no compiten por el agua, los nutrientes y la luz. Así se crea un ecosistema diverso y aumenta la calidad y cantidad de las cosechas.

La rotación de cultivos consiste en alternar en el tiempo la plantación de especies de distintas familias y por tanto con distintas necesidades. Alternando plantas de distinta variedad, logramos que no se agoten los nutrientes de la tierra, interrumpimos la propagación de plagas y enfermedades, y obtenemos una producción más variada.

Para asociar y rotar cultivos, se recomienda:

- **Sean de diferentes familias**, para que no tengan necesidades demasiado parecidas ni sean sensibles a las mismas plagas.
- **Tengan ciclos de diferente duración**, para que una vez cosechadas las de ciclo corto o medio, quede espacio para el desarrollo de las de ciclo largo.
- **Tengan distintas partes aprovechables**, ya que su necesidad de nutrientes y espacio serán distintas.²⁵

Tabla 5. Familias, Ciclos de cultivo y Partes comestibles

	Familia	Duración del ciclo	Parte comestible
Verdolaga	Portulacaceae	Corto	Raíz- Hojas
Amaranto	Amaranthaceae	Corto	Hojas- Semillas
Rábano	Cruciferae	Medio	Raíz
Cilantro	Apiaceae	Corto	Hojas- Semillas
Frijol	Fabaceae	Largo	Semillas
Romeritos	Amaranthaceae	Corto	Tallo- Hojas
Epazote	Amaranthaceae	Medio	Tallo-Hojas
Acelgas	Amaranthaceae	Largo	Hojas

Fuente: Cabrera R.I. *Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo*

²⁵ Cabrera, R.I. (1999) *Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para producción de plantas en maceta*. Universidad Autónoma de Chapingo. México

Capítulo VI

Modelo de Estudio Matemático

6.1. Descripción del Modelo

El modelo numérico de simulación propuesto, tiene como objetivo conocer el desempeño térmico de una azotea en una vivienda en la ciudad de México utilizando un Sistema modular o indirecto y realizando una comparativa con la azotea sin naturación.

El modelo numérico experimental valida a su vez el Método Cuantitativo de Cálculo Térmico basado en la Metodología del Dr. Diego Morales que es utilizado obteniendo datos reales de la estación meteorológica de la **Escuela Nacional Preparatoria Gabino Barreda o ENP1** para obtener la **temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento a cada hora** para los días de diseño seleccionados.

Para poder obtener los datos de **temperatura y humedad horaria mensual** se utilizaron los programas del Dr. Adalberto Tejeda (**Tempa 1 y Humid 1**). En el caso de los **datos de radiación solar**, se obtuvieron también **por hora** por medio del programa **SOLAR**.

A su vez se recopilaron **datos de artículos y de pruebas de laboratorio realizadas en el Instituto de Investigaciones de Materiales de la UNAM para el Sustrato y la Vegetación** y conocer así la **conductividad térmica, el calor específico y densidad**.

Todos los datos obtenidos por medio de los programas, artículo y las pruebas de laboratorio serán evaluados mediante el Método Cuantitativo de Cálculo Térmico basado en la Metodología del Dr. Diego Morales; los cuales una vez calculados permitirán la realización de comparativas de los flujos de calor y el comportamiento de la temperatura horaria en el interior de la vivienda tanto de la azotea sin naturación como de la azotea utilizando un Sistema modular o indirecto.

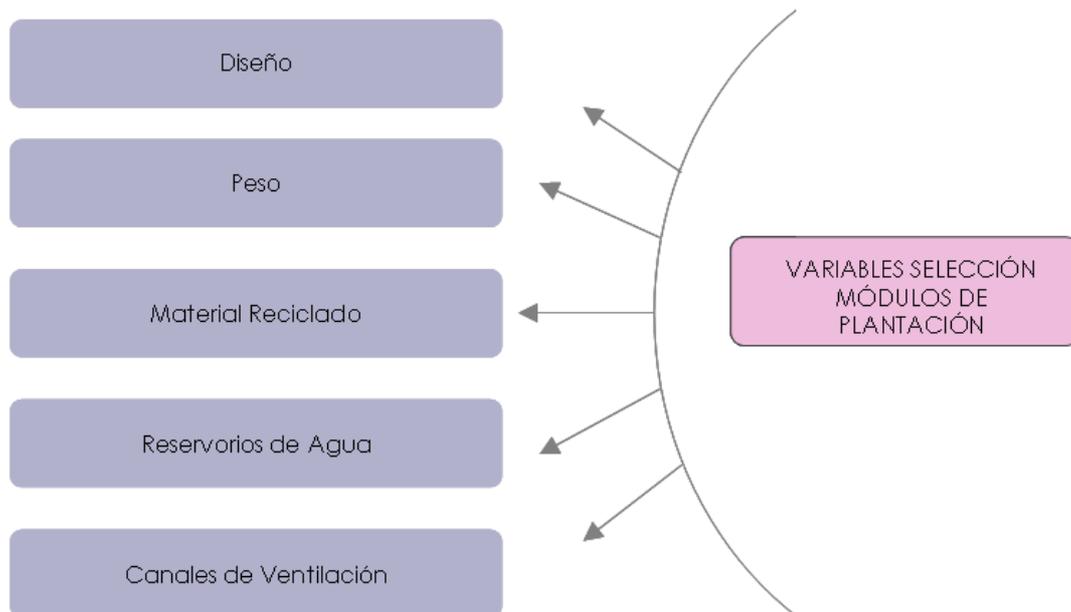
6.2. Criterios de Selección de Variables:

Materiales Vivos e Inertes Sistema Modular para Azoteas Verdes

6.2.1. Variables para la Selección de Módulos de Plantación ó Contenedores

Utilizando la información recabada en cuanto a los modelos de estudio de empresas nacionales e internacionales que han diseñado y fabricado contenedores o módulos para azoteas verdes; se establecieron las variables de selección que son las más convenientes para el establecimiento de un sistema modular en azoteas verdes de la ciudad de México.

Diagrama 1. Variables Selección Módulos de Plantación



A continuación se describen la descripción de los aspectos mencionados:

Diseño: Los tamaños y formas varían de una empresa a otra. Para la elección de los módulos se debe considerar como algo muy importante su disponibilidad en el mercado nacional y en segundo lugar, que su tamaño no sea ni muy grande ni muy pequeño, de tal forma que sea fácil su manejo manual.

El tamaño que se considera el más adecuado para lograr lo mencionado anteriormente es de 60x60x35 cm.

Peso: Las propuestas de selección deben tener el menor peso para evitar problemas en las estructuras donde se coloquen y para su fácil manejo manual. El peso que se propone es de los 55 kg/m² a los 125 kg/m², incluyendo sustrato y vegetación.

Material Reciclado: La mayoría de las propuestas en el mercado cumplen con este requisito. La mayoría de los elementos o módulos son fabricados con plásticos y polietileno reciclados.

Reservorios de Agua y Canales de Ventilación: Este aspecto se considera como uno de los más importantes, puesto que es parte de las características de diseño de los contenedores que los hace distintivos y que se supone, representan una ventaja en el comportamiento térmico de las edificaciones.

6.2.2. Variables para la Selección de Especies Vegetales Comestibles

La elección de las especies vegetales que mejor puedan adaptarse a una azotea verde, están sujetas a importantes condicionantes impuestas por el clima, el sustrato, la estructura de la azotea y el objetivo que se persigue en su diseño.

Las especies vegetales que se han seleccionado hasta ahora en la mayoría de las Azoteas Verdes siguen criterios de disminución de labores de mantenimiento especializado por lo que se ha preferido el uso de especies del género Sedum o especies suculentas.

Esto ha propiciado principalmente una monotonía en las propuestas que se pueden realizar para la utilización de las Azoteas Verdes. En el caso de la ciudad de México, se empieza a hacer evidente que hay muchos ejemplos que podrían estar en una escuela o en un edificio corporativo y no se distinguirían las diferencias entre unas u otras.

La intención de la experimentación con especies vegetales comestibles, es considerar la vegetación que puede ser utilizada en las Azoteas Verdes desde otra perspectiva: la de ser consecuente con propuestas que tengan una filosofía ecológicamente sostenible, en donde los espacios “verdes” no sean espacios sólo para observar, sino espacios que se utilizan, se cuidan y entonces se fomenta así su permanencia en nuestro futuro. Este propósito va compaginado con la intención de que también puedan actuar como un sistema de climatización pasivo y activo a la vez, ya que como todo ser vivo, son sensibles a las condiciones climáticas y al paso del tiempo.

Diagrama 2. Variables Selección Especies Vegetales Comestibles

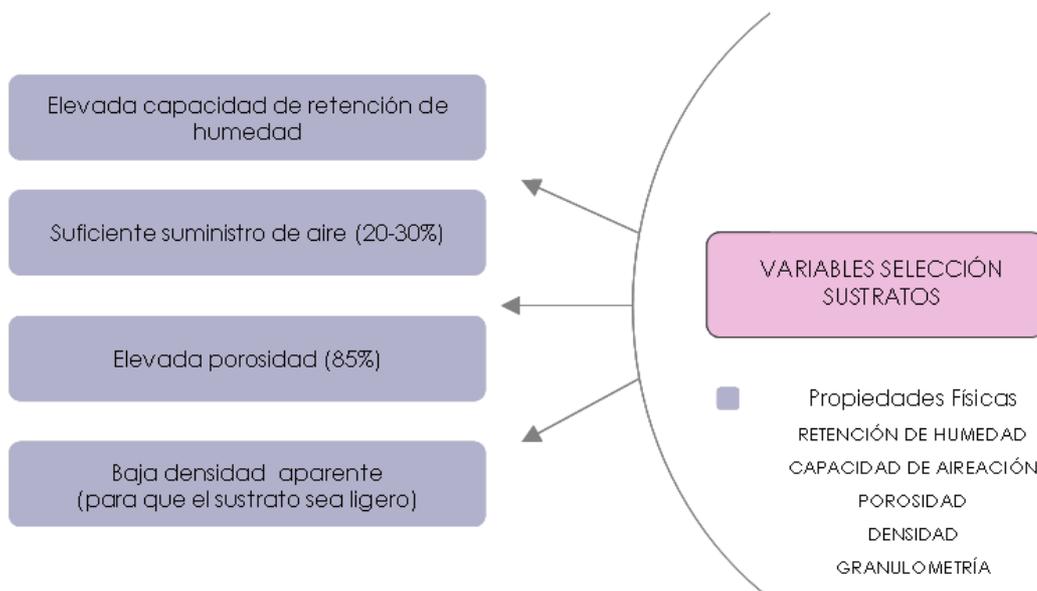


6.2.3. Variables para la Selección de Sustratos o Medios de Crecimiento

Un **medio de crecimiento** puede definirse como un suelo diseñado o constituido con la finalidad de imitar y mejorar las propiedades de los suelos nativos. Los suelos nativos, pueden funcionar a la perfección en su ambiente natural, pero no pueden ser usados en la construcción de azoteas verdes debido a su **peso excesivo**, a su **incapacidad de retener la suficiente humedad**, así como la **imposibilidad para drenar los excesos de agua apropiadamente**. En resumen, un medio de crecimiento ideal para azoteas verdes debe: **favorecer el crecimiento de las plantas, ser ligero y mantener el equilibrio para que simultáneamente se pueda retener la humedad pero drenar el agua en exceso y además todas estas funciones deben desempeñarse en un sistema poco profundo**.

Cuando las plantas crecen en **contenedores**, el **aporte de agua y nutrientes** es **limitado** y menor que en el cultivo en suelo, dado el menor volumen de sustrato a explorar. En estas condiciones hay que **garantizar un alto suministro de agua en el sustrato que permita satisfacer las necesidades de transpiración**. Cuando la disponibilidad hídrica del sustrato es muy alta, pueden aparecer fácilmente problemas de falta de aireación. Por lo tanto hay que establecer un **equilibrio entre el agua disponible y aire**, por lo que generalmente se recomienda que los sustratos para cultivo de especies vegetales comestibles presenten una **elevada porosidad**.

Diagrama 3. Variables Selección de Sustratos



Se entiende por propiedades físicas a aquellas que se pueden ver y sentir. Las propiedades físicas de los sustratos, deben ser consideradas como más importantes que las propiedades químicas, porque no existen métodos prácticos que permitan su modificación una vez instalado el cultivo, que debe tener garantizado unas buenas condiciones para su desarrollo y que se mantengan a lo largo de todo su ciclo.

A continuación se describen algunas propiedades físicas:

Porosidad: Es la suma de los poros internos y externos; y de ella dependen las propiedades hídricas del sustrato, como la **retención de agua y la permeabilidad**. **Cuanto mayor sea la porosidad, mayor capacidad de retención de agua y aire tendrá el sustrato.**

Densidad aparente: Se define como la masa de una sustancia entre el volumen que ocupa. Para el cultivo de especies vegetales comestibles se prefiere utilizar **sustratos con densidades aparentes bajas, especialmente por el costo en el transporte y manejo del mismo en la azotea.**

La altura del contenedor tiene un importante efecto que se debe vigilar en el contenido de aire, **cuanto más alto es el contenedor, más alto es el contenido de aire y viceversa**. Cuando se usa un **contenedor pequeño o poco profundo** es preferible usar **sustratos gruesos** para mantener una aireación adecuada. Contrariamente en **contenedores altos**, se utilizan **sustratos más finos** para garantizar el contenido de agua.

Propiedades químicas: pH, Conductividad eléctrica y Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).

El **pH** de un sustrato se prefiere que sea **ligeramente ácido (5.5-6.5)** y la **conductividad eléctrica que no sea mayor de 2.0 ms/cm**. Se ha sugerido que una **capacidad de intercambio catiónico es importante** en los sustratos, pero no es indispensable. La composición química puede ser modificada durante el desarrollo de la planta mediante el riego y el abonado.

6.3. Indicadores o Parámetros

Para poder definir los indicadores o parámetros para el manejo de la modelación, debemos entender en primer lugar las propiedades de los Sistemas.

Un sistema es un conjunto organizado de cosas o partes inter-actantes e interdependientes, que se relacionan formando un todo unitario y complejo.

Las cosas o partes pasan a ser funciones básicas realizadas por el Sistema. Se pueden enumerar en Entradas, Procesos y Salidas

Entradas: Constituyen la fuerza de arranque que suministra al sistema sus necesidades operativas

Procesos: Es el que transforma una Entrada en Salida

Salidas: Las salidas de los sistemas son los resultados que se obtienen de procesar las entradas. Son el propósito para el cual existe el Sistema.

Parámetro- Cuando una variable no tiene cambios ante alguna circunstancia específica

ASPECTO TÉRMICO

Los indicadores o parámetros se definen en el aspecto térmico con el Estudio del Clima (datos de parámetros climáticos como temperatura ambiente; velocidad y dirección del viento; temperaturas máxima, media y mínimas; humedad relativa media mensual, latitud, longitud y altitud).

En base a estos datos se puede determinar una **Época Calurosa y una Fría** para poder evaluar de manera adecuada el Desempeño Térmico de un Sistema Modular para Azoteas Verdes de la ciudad de México.

El indicador o parámetro más importante que se considera entonces es el de la **Temperatura de Confort** que como se verá en el capítulo de Resultados, en el caso de una vivienda en Xochimilco es de **21° C** para el mes de **Diciembre**, **22° C** para los meses de **Enero, Febrero y Noviembre**, **23° C** para los meses de **Marzo, Abril, Julio, Septiembre y Octubre**; y **24°C** para los meses de **Mayo, Junio y Agosto**.

6.4. Variables Internas y Externas para el Cálculo Desempeño Térmico

Azotea Verde Sistema Modular

En cuanto a las variables internas y externas a medir se determinaron las siguientes como las principales a tomar en cuenta:

EXTERNAS

- Condiciones climáticas del Sitio: Temperatura Ambiente, Humedad Relativa, Radiación Solar, Dirección y Velocidad Viento, Precipitaciones
- Propiedades térmicas de los materiales de la envolvente (Material construcción Losa)
- Sistema Naturación: Conductividad Térmica Material Contenedores; Densidad y Calor Específico Sustrato; Absortancia y Emitancia de la vegetación.

INTERNAS

Las cargas internas se realizarán en condiciones controladas.

- Temperatura interior Recámara Vivienda Habitacional
- Humedad Relativa Interior

* Las cargas por ocupación de las personas no serán cuantificadas porque se considerará que el espacio no será utilizado durante los períodos de Evaluación térmica.

Capítulo VII

Caso de Estudio:

Azotea Vivienda en Xochimilco, Ciudad de México

7.1. Ubicación Caso de Estudio

Para establecer un sistema modular en una azotea de la ciudad de México, el caso de estudio es determinado en base a las condiciones de orientación, actividad de los ocupantes y horarios de uso del sitio; por lo que se llegó a la conclusión que era primordial contar con una azotea cuyas colindancias no se encontraran obstruidas en ninguna de sus fachadas para que las mismas cuenten con el mayor tiempo de radiación solar durante el día.



Imagen 84 México, Distrito Federal



Imagen 85 Delegación Xochimilco

En cuanto a la actividad de los ocupantes y horarios de uso se busca sobretodo un ambiente controlado, en donde se puedan mantener las condiciones ambientales e impedir en mayor medida que la temperatura al interior cambie continuamente por la entrada y salida de los ocupantes. .Es así que se dio la búsqueda de sitios que tengan menor uso en viviendas como son los dormitorios o recámaras, para poder mantener las puertas y ventanas cerradas durante períodos continuos del día.

La azotea de la vivienda se encuentra ubicada en México, Distrito Federal; en la zona oriente de la delegación Xochimilco al sur de la Ciudad de México; sobre el callejón Niños Héroes, en la colonia de Santa María Tepepan.

Su ubicación geográfica es la siguiente: Latitud 19° 16' 35" Norte, Longitud 99° 08' 11" Oeste. Altitud: 2269 m.s.n.m



Imagen 86 2do Callejón Niños Héroes, delegación Xochimilco

La orientación de la vivienda es SE, y el área de la losa que se analizará para la evaluación térmica sin naturación y con un Sistema modular es de 20.16 m².



Foto 19. Vista Fachada Sureste Vivienda en Xochimilco



Foto 20. Vista hacia el Noreste Azotea Vivienda en Xochimilco



Foto 21. Vista hacia el Sureste Azotea Vivienda en Xochimilco



Foto 22. Vista Interior Recámara Vivienda en Xochimilco

7.1.1. Clima del Sitio y Características

El clima del sitio con base en los registros de la estación meteorológica **ENP1 (Escuela Nacional Preparatoria Gabino Barreda)** ubicada a 19° 15 ´ 59" Latitud Norte y 99° 08 ´ 28" Longitud Oeste; es **C(W₂) w b í**, cuya interpretación según la clasificación de Koppen y modificada por Enriqueta García lo define como un **clima Templado subhúmedo, con verano fresco y largo, con lluvias de verano, es el mas húmedo de su grupo, con poca oscilación térmica entre 6-7° C.**

Los vientos dominantes soplan con mayor frecuencia del **Norte**.

El análisis del clima permite determinar las condiciones térmico-atmosféricas al exterior y a las que estará expuesta la vegetación, y al interior para determinar las condiciones de confort.

Normales Climatológicas

Las mediciones que se tomaron para el cálculo y que se obtuvieron de las normales climatológicas son: Temperatura máxima, mínima y media y con las mismas, se determinó la oscilación entre los valores máximos y mínimos obtenidos.

Tabla 6. Datos Temperaturas Máximas, Medias y Mínimas Mensuales

	Temperatura Máxima	Temperatura Media	Temperatura Mínima	Oscilación
Enero	27.2	16.0	4.9	22.3
Febrero	25.8	14.4	3.1	22.7
Marzo	28.3	17.4	6.6	21.7
Abril	29.3	18.8	8.4	20.9
Mayo	31.2	21.4	11.6	19.6
Junio	30.7	21.8	13.0	17.7
Julio	26.6	19.3	12.1	14.5
Agosto	27.7	19.8	11.9	15.8
Septiembre	26.2	16.9	7.6	18.6
Octubre	26.6	17.0	7.5	19.1
Noviembre	25.1	13.2	1.3	23.8
Diciembre	23.4	12.3	1.2	22.2
Anual	27.3	17.3	7.4	19.9

Elaboración propia con datos de Normales climatológicas año 2010

Estación meteorológica ENP1 Escuela Nacional Preparatoria Gabino Barreda

Tabla Temperatura con Programa Tempa 1

Para poder obtener los datos de **temperatura horaria mensual** se utilizó el programa del Dr. Adalberto Tejeda (**Tempa 1**). La temperatura media anual según la Tabla 1 de las Normales Climatológicas es de 17.3°, durante el mes de mayo se alcanza la temperatura máxima anual con 31.2°; y la mínima en el mes de diciembre con 1.2 °.

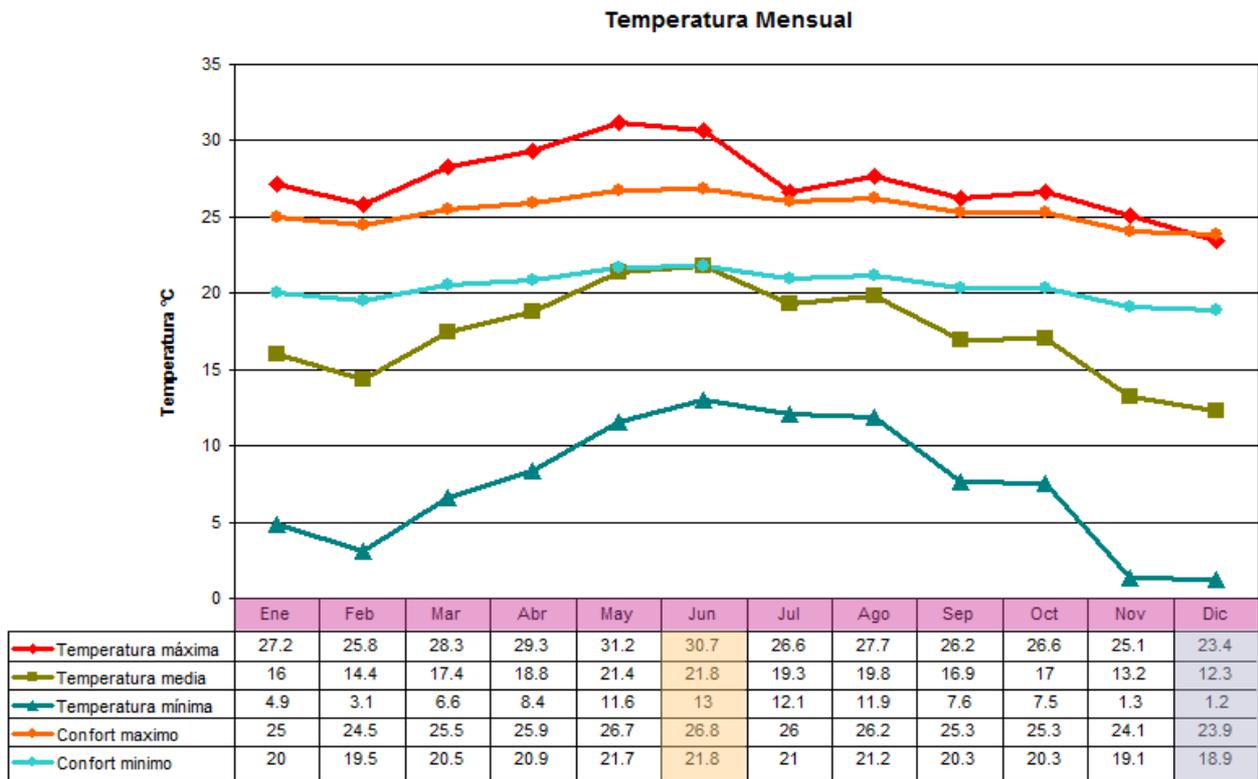
Según el Rango de Confort calculado a partir de la ecuación de Aluciems las temperaturas medias y mínimas se encuentran por debajo de los rangos de confort; la temperatura máxima también sobrepasa los rangos.

Tabla 7. Datos Temperaturas Horarias por Mes

Latitud 19° 16' 35" Norte, Longitud 99° 08' 11" Oeste. Altitud: 2269 m.s.n.m

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
00:00	10.7	8.8	11.8	13.1	15.8	16.7	15.2	15.4	11.9	12.2	7.5	7.1
01:00	9.7	7.7	10.8	12.2	15.0	16.0	14.6	14.7	11.1	11.3	6.3	6.0
02:00	8.8	6.9	10.0	11.5	14.3	15.4	14.1	14.2	10.4	10.6	5.4	5.1
03:00	8.0	6.1	9.3	10.9	13.8	14.9	13.7	13.7	9.9	10.0	4.6	4.3
04:00	7.4	5.5	8.8	10.4	13.3	14.5	13.4	13.3	9.4	9.5	3.9	3.7
05:00	6.9	5.0	8.3	10.0	13.0	14.2	13.1	13.0	9.0	9.1	3.4	3.2
06:00	6.5	4.6	8.0	8.4	11.8	13.4	12.3	12.0	7.6	8.7	2.9	2.8
07:00	5.2	3.8	7.9	10.5	14.4	16.0	14.4	13.8	9.0	8.3	1.7	1.4
08:00	8.3	7.5	11.9	14.9	18.8	20.0	17.7	17.2	12.7	11.5	5.2	4.3
09:00	13.2	12.7	17.0	19.8	23.3	24.1	21.0	20.9	17.1	16.0	10.5	9.2
10:00	18.4	17.8	21.7	24.1	27.1	27.3	23.7	24.1	21.0	20.2	16.0	14.4
11:00	22.6	21.9	25.3	27.1	29.6	29.5	25.5	26.2	23.9	23.5	20.4	18.6
12:00	25.5	24.4	27.4	28.8	30.9	30.5	26.4	27.4	25.6	25.6	23.4	21.6
13:00	26.9	25.6	28.2	29.2	31.1	30.6	26.5	27.6	26.1	26.5	24.8	23.0
14:00	27.1	25.6	27.9	28.7	30.4	29.9	26.0	27.2	25.8	26.4	24.9	23.3
15:00	26.3	24.6	26.9	27.5	29.2	28.7	25.0	26.2	24.8	25.5	24.1	22.6
16:00	24.9	23.1	25.3	25.9	27.6	27.3	23.8	25.0	23.4	24.2	22.5	21.2
17:00	23.1	21.2	23.4	24.0	25.8	25.6	22.5	23.6	21.8	22.5	20.6	19.4
18:00	21.0	19.1	21.4	22.1	24.0	24.0	21.2	22.1	20.1	20.8	18.4	17.4
19:00	19.0	17.0	19.4	20.2	22.3	22.4	19.9	20.7	18.4	19.0	16.2	15.3
20:00	17.0	15.0	17.5	18.4	20.6	21.0	18.7	19.3	16.8	17.4	14.1	13.3
21:00	15.1	13.2	15.8	16.8	19.2	19.7	17.6	18.1	15.3	15.8	12.1	11.5
22:00	13.5	11.5	14.3	15.4	17.9	18.5	16.7	17.1	14.0	14.5	10.4	9.8
23:00	12.0	10.1	12.9	14.2	16.8	17.5	15.9	16.2	12.9	13.2	8.8	8.4

Fuente: Cálculo Programa TEMPA 1. Dr. Adalberto Tejeda



Gráfica 1. Rangos de confort y Temperaturas max., medias y min. mensuales

Tabla Humedad Relativa con Programa Humid 1

Para poder obtener los datos de **humedad relativa horaria mensual** se utilizó el programa del Dr. Adalberto Tejeda (**Humid 1**).

Podemos observar que los datos que tienen mayor Humedad Relativa se dan en el mes de Julio, y que esto coincide porque se trata de la época de lluvias, obteniéndose para este mes una variación de 83% al 40%.

El mes más seco se dio en Enero, con una Humedad Relativa máxima de 72% y una mínima de 24%.

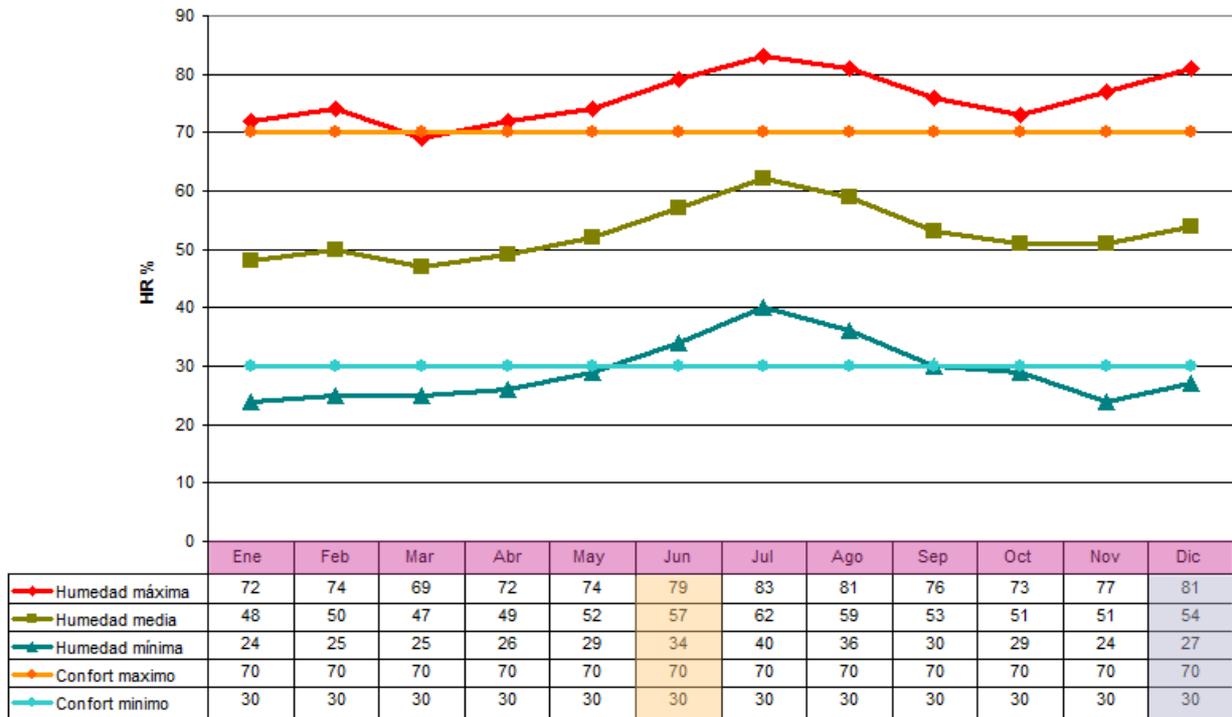
Tabla 8. Datos Humedad Relativas Horarias por Mes

Latitud 19° 16' 35" Norte, Longitud 99° 08' 11" Oeste. Altitud: 2269 m.s.n.m

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
00:00	60	62	60	62	65	70	74	71	65	64	64	67
01:00	62	65	62	63	67	72	76	73	67	66	67	70
02:00	64	67	64	65	68	73	78	75	69	68	69	72
03:00	66	68	66	66	70	75	79	76	70	69	71	74
04:00	67	70	67	68	71	76	80	77	71	70	72	75
05:00	68	71	68	68	72	76	81	78	72	71	73	77
06:00	69	72	68	72	74	79	83	81	76	72	74	78
07:00	72	74	69	67	68	72	77	76	72	73	77	81
08:00	65	65	60	58	58	61	67	66	63	65	69	74
09:00	54	54	49	47	47	51	56	56	52	54	57	62
10:00	43	42	39	37	39	42	48	47	42	44	45	49
11:00	34	33	31	31	33	36	43	40	35	36	35	38
12:00	28	27	27	27	30	34	40	37	31	31	28	31
13:00	25	25	25	26	29	34	40	36	30	29	25	28
14:00	24	25	25	27	31	35	41	38	30	29	24	27
15:00	26	27	28	30	34	38	44	40	33	31	26	29
16:00	29	30	31	33	37	42	48	44	36	35	30	32
17:00	33	35	35	37	42	46	52	48	40	39	34	37
18:00	37	39	40	42	46	51	56	52	45	43	39	42
19:00	42	44	44	46	50	55	60	56	49	47	44	47
20:00	46	49	48	50	54	59	63	60	53	51	49	52
21:00	50	53	52	53	57	62	67	63	56	55	54	56
22:00	54	56	55	56	60	65	70	66	60	58	58	60
23:00	57	60	58	59	63	68	72	69	62	61	61	64

Fuente: Cálculo Programa HUMID 1. Dr. Adalberto Tejeda

Humedad Relativa Mensual



Gráfica 2. Rango de confort y Humedad max., medias y mínimas mensuales

Tabla Radiación Solar con Programa Solar

Para poder obtener los datos de **radiación solar mensual** se utilizó el programa **SOLAR**.

Podemos observar que los valores más altos de radiación se perciben entre las 10:00 am y las 14:00 pm, en el periodo de Marzo a Julio, con su punto más alto en Mayo a las 12:00 pm donde se perciben 751 w/m², mientras durante el amanecer a las 6:00 am y el atardecer a las 18:00 se pueden observar los valores más bajos con 5 w/m².

Tabla 9. Datos Radiación Solar Horarias por Mes

Mes - Hora	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
Enero	-	64	234	404	546	639	672	639	546	404	234	64	-
Febrero	-	105	289	468	616	712	746	712	616	468	289	105	-
Marzo	-	142	321	490	627	716	747	716	627	490	321	142	-
Abril	24	180	352	512	639	721	750	721	639	512	352	180	24
Mayo	54	211	377	527	647	724	751	724	647	527	377	211	54
Junio	60	199	343	473	575	641	664	641	575	473	343	199	60
Julio	51	181	316	439	537	599	621	599	537	439	316	181	51
Agosto	30	163	307	439	544	612	636	612	544	439	307	163	30
Septiembre	5	130	277	414	524	596	621	596	523	414	277	130	5
Octubre	-	99	252	400	521	600	628	600	521	400	252	99	-
Noviembre	-	68	226	383	514	600	630	600	514	383	226	68	-
Diciembre	-	47	192	338	461	543	571	543	461	338	192	47	-

Fuente: Cálculo Programa SOLAR.

7.1.2. Levantamiento Arquitectónico del Sitio y Zonificación Área de Simulación Cálculo Térmico

El caso de Estudio es una azotea de **20.16 m²** que se encuentra en una Vivienda en Xochimilco que tiene dos niveles y planta baja.

En planta baja se encuentra la Estancia – Comedor, Cocina, un baño, una recámara y Patio de Servicio. En los siguientes niveles se repite la misma organización de una recámara y un baño por nivel, quedando el resto del espacio ya sea como vestíbulo o como un espacio de usos múltiples.

La altura de piso a techo es de 2.7 metros, el techo es plano y las dimensiones de las ventanas varían de 2.10 x 1.50 en las estancias y recámaras a 1.80 x 0.15 en los baños. Los muros al exterior no cuentan con acabados ni pintura y tienen poca reflectancia y absorción por el color gris neutro del mortero cemento- arena que los caracteriza.

Tabla 10. Datos Materiales Vivienda en Xochimilco

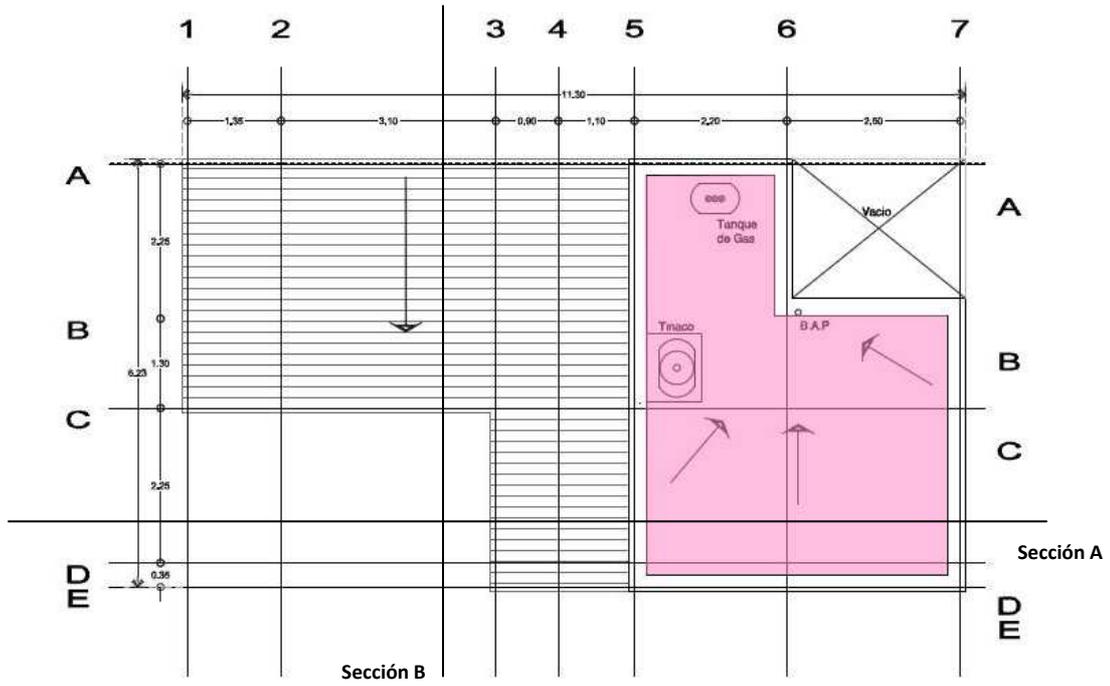
	Material	Espesor
Muro exterior	Aplanado de mortero cemento arena	0.02 m
	Tabique rojo recocido común	0.15 m
Muro interior	Aplanado interior, yeso blanco	0.02 m
	Tabique rojo recocido común	0.15 m
Ventana	Vidrio claro	0.005 m
Losa	Entortado (concreto pobre)	0.05 m
	Relleno de Tezontle	0.20 m
	Losa de concreto	0.15 m
	Aplanado de yeso	0.02 m

Elaboración propia con datos reales en sitio Vivienda en Xochimilco

Tabla 11. Datos m² Elementos constructivos Vivienda en Xochimilco

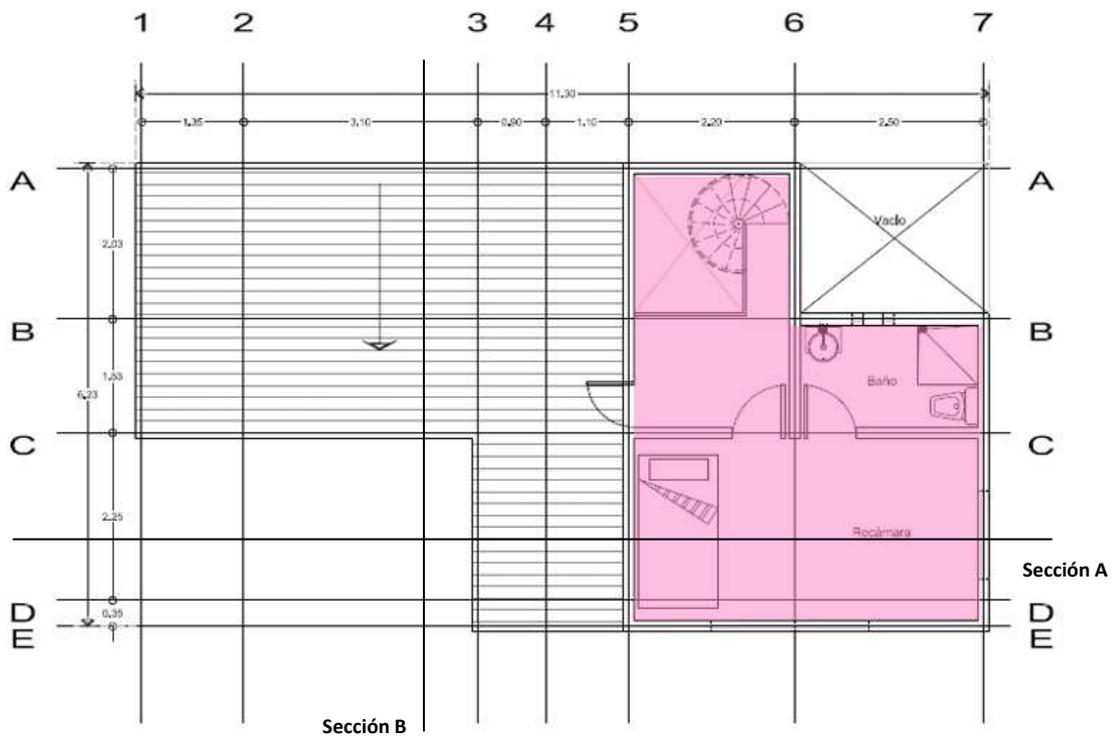
	Orientación	Área m ²
Muros	Noreste	36.31
	Sureste	19.84
	Suroeste	18.62
	Noroeste	15.86
Ventanas	Suroeste	4.59
	Noreste	0.54
	Sureste	0.54
Azotea		20.16

Elaboración propia con datos reales en sitio Vivienda en Xochimilco



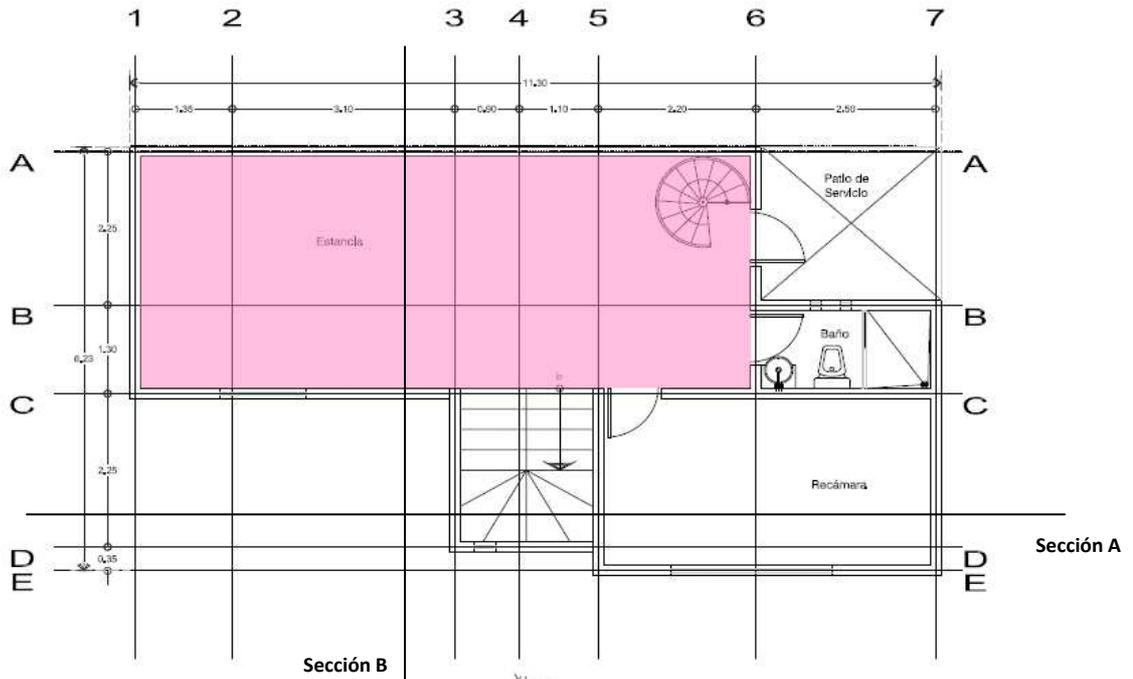
PLANTA AZOTEA

Plano 1. Zonificación en Azotea Zona de Estudio



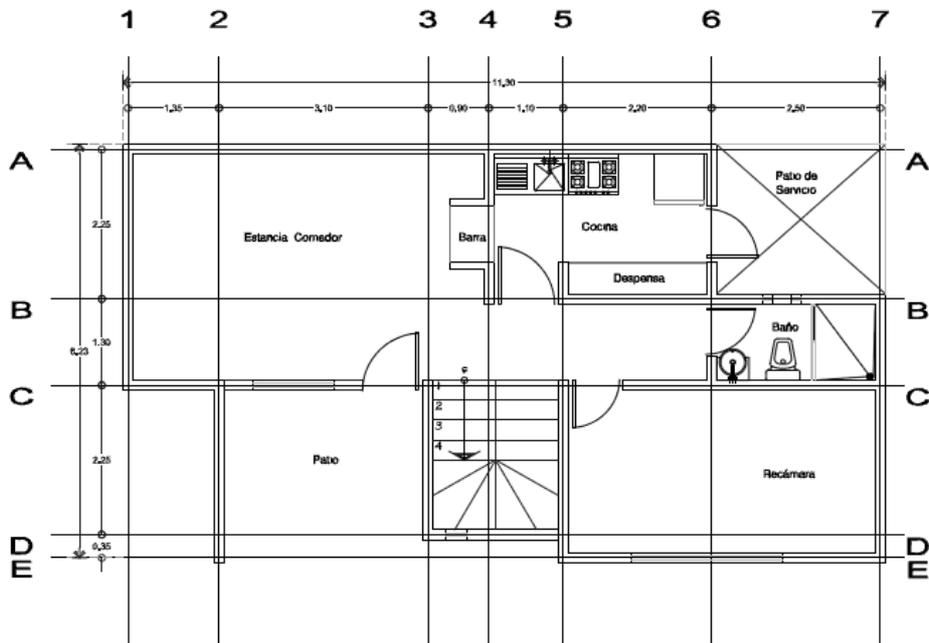
PLANTA NIVEL 2

Plano 2. Zonificación Zona de Estudio al interior Vivienda



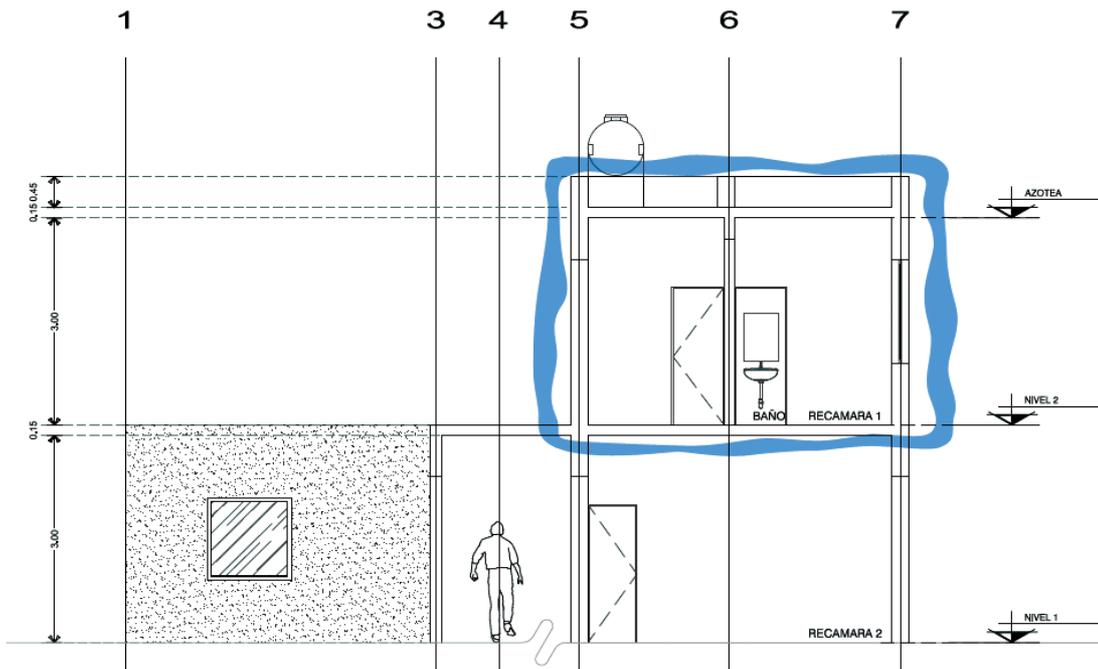
 **PLANTA NIVEL 1**

Plano 3. Zonificación Zona de Estudio Planta Nivel 1



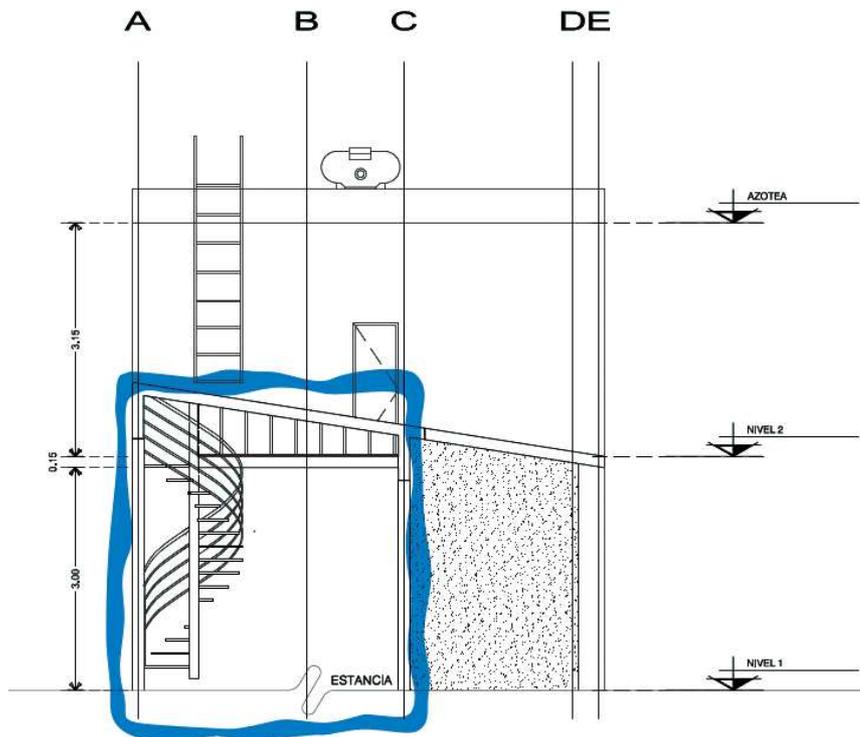
 **PLANTA BAJA**

Plano 4. Espacios Arquitectónicos Planta Baja



SECCION A

Plano 5. Zonificación Sección Recámara Zona de Estudio Nivel 2



SECCION B

Plano 6. Zonificación Sección Estancia Zona de Estudio Nivel 1

7.2. Evaluación Térmica

7.2.1. Rango de Confort de Temperaturas mediante la Ecuación de Aluciemis

El rango de la **Temperatura de Confort o Tn** se determina mediante la ecuación propuesta por Aluciemis que determina el rango en función de la **Temperatura media promedio mensual del lugar (Te)** para cada mes.

Utilizando la Ecuación de Aluciemis:

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

donde

Te- Temperatura media promedio mensual de un lugar

Tabla 12. Datos Temperaturas de Confort Mensuales Año 2010

Mes	Temperatura de confort (Tn)	Rango de la zona de Confort		
		- 2.5 (min)	Tn	+2.5(max)
Enero	$T_n=17.6+(0.31 \times 16.0)$	20.0	22.5	25.0
Febrero	$T_n=17.6+(0.31 \times 14.4)$	19.5	22.0	24.5
Marzo	$T_n=17.6+(0.31 \times 17.4)$	20.5	23.0	25.5
Abril	$T_n=17.6+(0.31 \times 18.8)$	20.9	23.4	25.9
Mayo	$T_n=17.6+(0.31 \times 21.4)$	21.7	24.2	26.7
Junio	$T_n=17.6+(0.31 \times 21.8)$	21.8	24.3	26.8
Julio	$T_n=17.6+(0.31 \times 19.3)$	21.0	23.5	26.0
Agosto	$T_n=17.6+(0.31 \times 19.8)$	21.2	23.7	26.2
Septiembre	$T_n=17.6+(0.31 \times 16.9)$	20.3	22.8	25.3
Octubre	$T_n=17.6+(0.31 \times 17.0)$	20.3	22.8	25.3
Noviembre	$T_n=17.6+(0.31 \times 13.2)$	19.1	21.6	24.1
Diciembre	$T_n=17.6+(0.31 \times 12.3)$	18.9	21.4	23.9

Elaboración propia con datos de Normales climatológicas año 2010, Estación meteorológica ENP1

El rango de la zona de confort es de +/- 2.5° C, las temperaturas por arriba de este umbral indican períodos de sobrecalentamiento y por debajo períodos fríos.

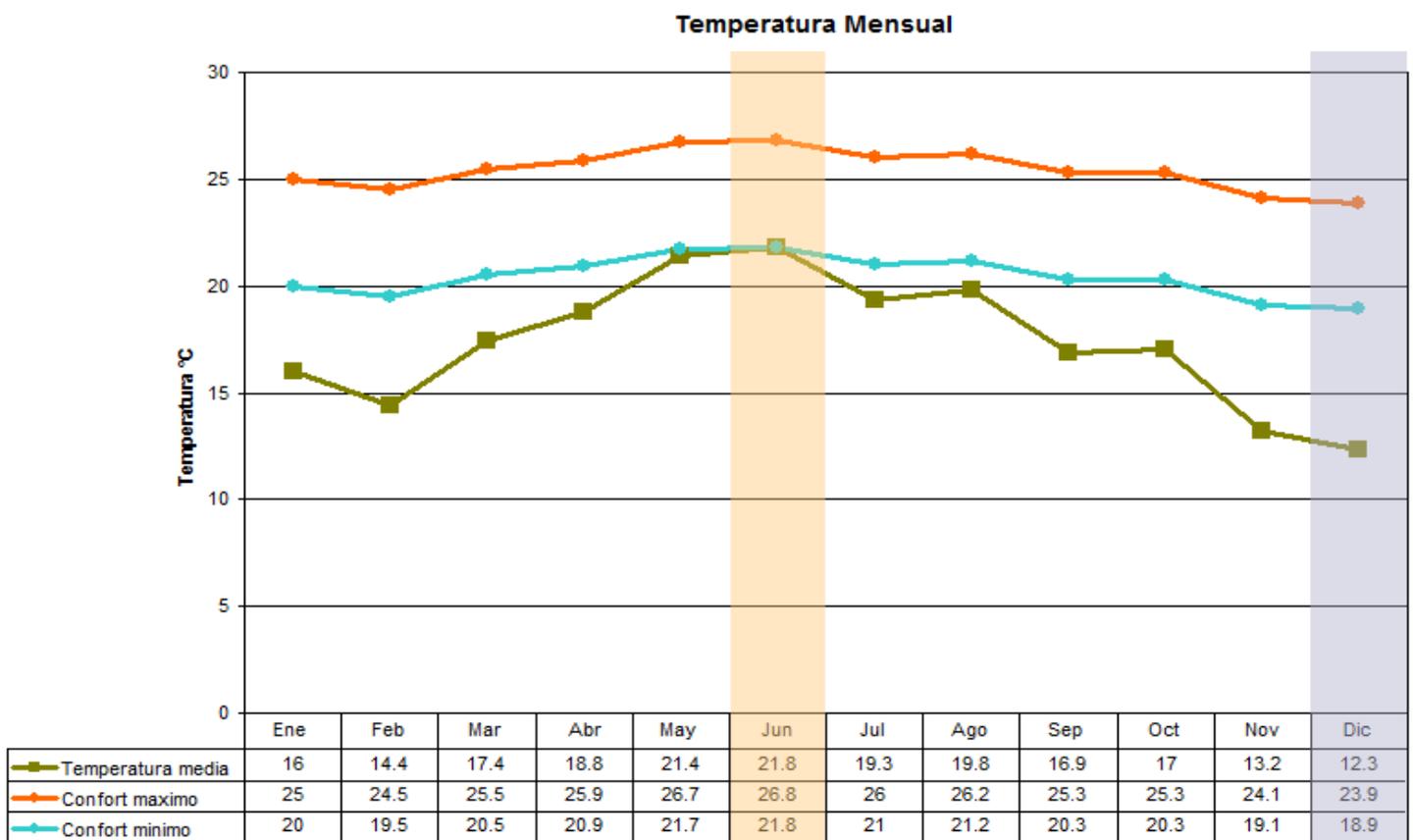
Las temperaturas Tn o de confort que se obtuvieron fueron **21° C** para el mes de **Diciembre**, **22° C** para los meses de **Enero, Febrero y Noviembre**, **23° C** para los meses de **Marzo, Abril, Julio, Septiembre y Octubre**; y **24° C** para los meses de **Mayo, Junio y Agosto**.

7.2.2. Día de Diseño (Junio y Diciembre)

Dados los resultados de los Registros Climáticos y de acuerdo al análisis de los datos de la Temperatura, Humedad relativa y Radiación solar mensuales se seleccionaron dos meses de diseño para realizar la Evaluación del Desempeño Térmico:

JUNIO. El mes más cálido

DICIEMBRE. El mes más frío



Gráfica 3. Días de Diseño Época Calurosa y Fría

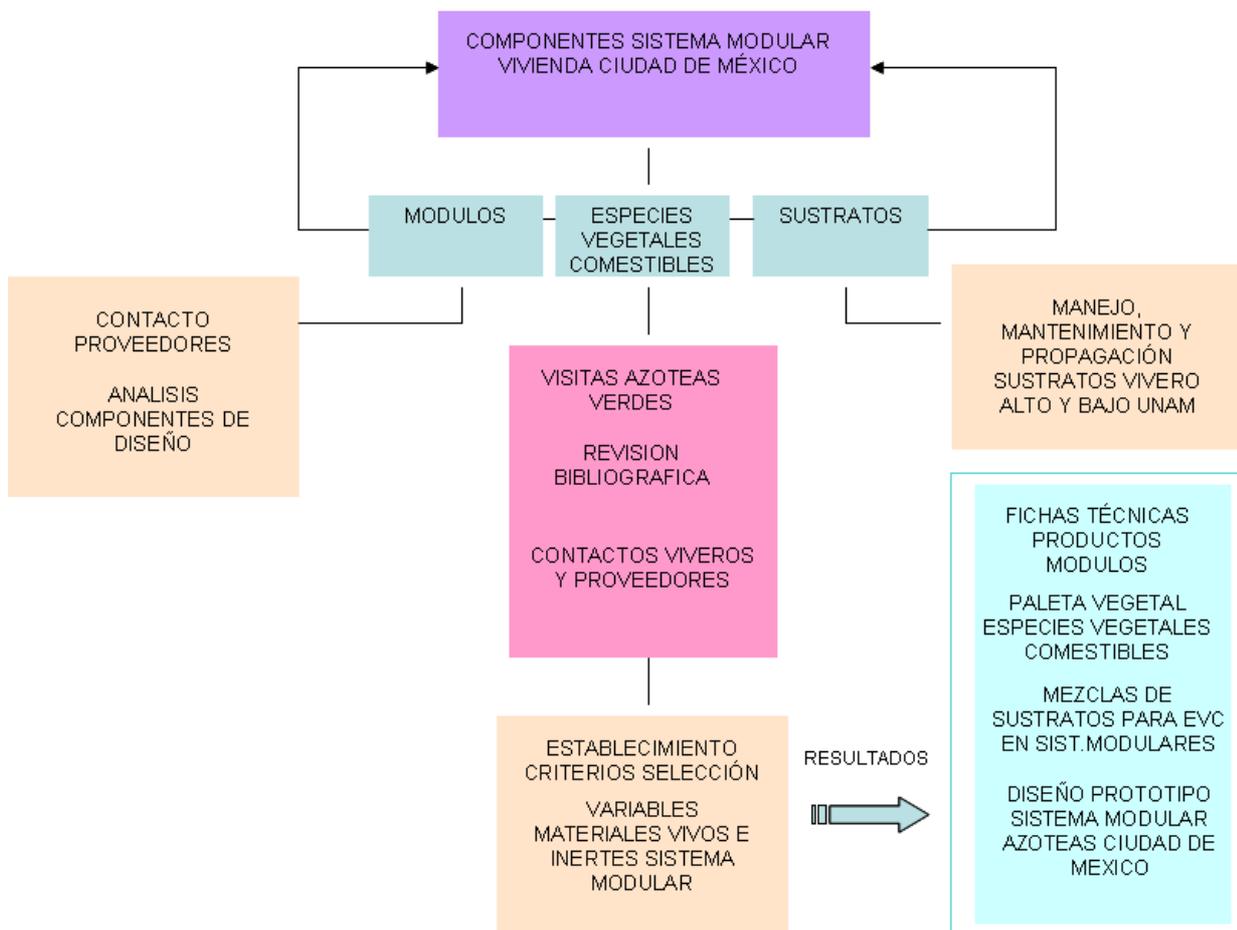
Capítulo VIII

Metodología

El procedimiento para lograr esta investigación se presenta a continuación por medio de tres diagramas que resumen los **Pasos y Resultados** obtenidos para definir los Componentes de un Sistema Modular; la realización de la Evaluación de Desempeño Térmico y la definición de las Ventajas Térmicas en la Composición de Sustratos.

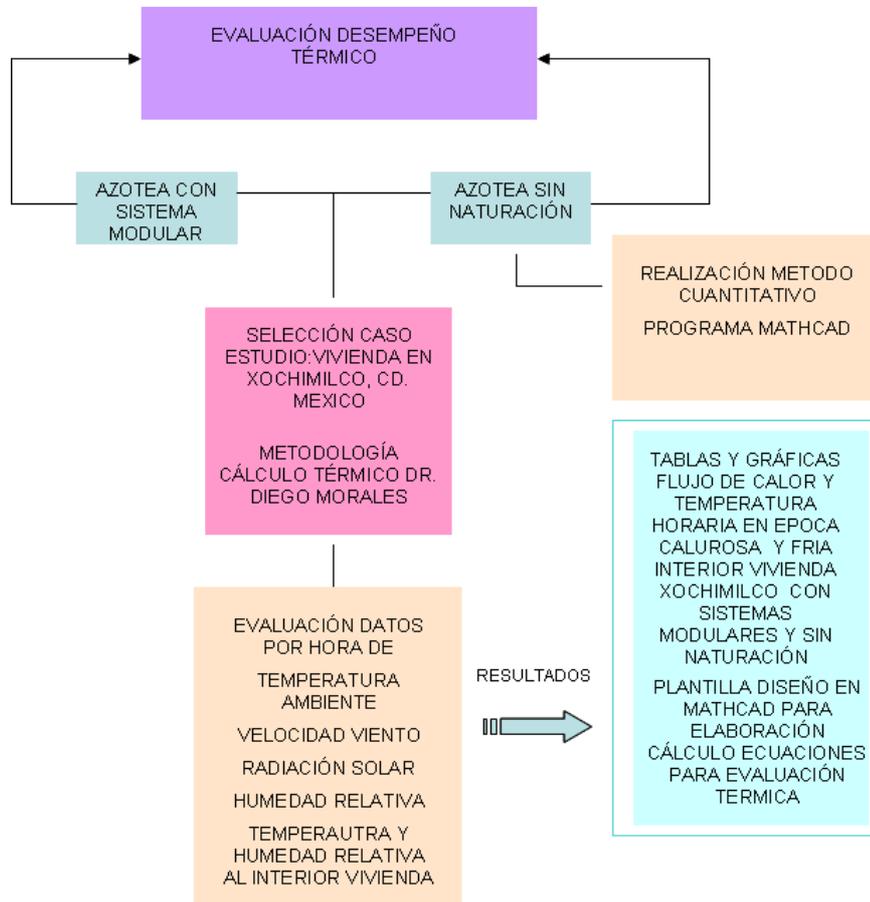
8.1. Componentes Sistema Modular Azotea Vivienda Ciudad de México

Diagrama 4. Método Determinación Componentes Sistema modular



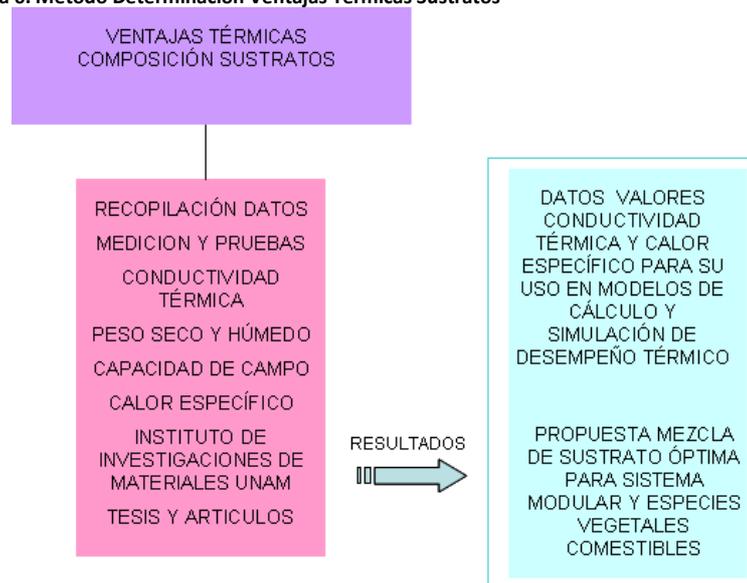
8.2. Evaluación Desempeño Térmico

Diagrama 5. Método para la Evaluación Desempeño Térmico



8.3. Ventajas Térmicas Composición Sustratos

Diagrama 6. Método Determinación Ventajas Térmicas Sustratos



Capítulo IX

Desempeño Térmico Sist. Modular Azoteas Verdes

9.1. Conductividad Térmica Materiales Vivienda

En la siguiente tabla se presentan las propiedades térmicas de los materiales constructivos que caracterizan la vivienda en Xochimilco que es nuestro caso de estudio y cuyos valores serán utilizados posteriormente en las ecuaciones para el Ejercicio de Cálculo y Evaluación Térmica.

Tabla 13. Propiedades Térmicas de los Materiales

	Material	Espesor e m.	Conductividad Térmica K (w/m°C)	Calor Específico Cp (kJ/kg°C)	Absortancia α (%)	Ermitancia ϵ (%)	Transmitancia T (%)
Muros exteriores	Aplanado de mortero cemento arena	0.02	1.4	1.00	0.5	0.93	
	Tabique rojo recocido común	0.15	0.72	0.92	---	---	
Muros interiores	Aplanado interior, yeso blanco	0.02	0.17	0.91	---	---	---
	Tabique rojo recocido común	0.15	0.72	0.92			
Losa	Entortado (concreto pobre)	0.05	0.72	1.00	0.89	0.95	
	Relleno tezontle	0.20	0.18	0.79	---	---	
	Losa concreto	0.15	1.17	1.00			
	Aplanado yeso	0.02	0.17	0.91			
Ventana	Vidrio Claro	0.006	1.16	0.84	0.12	0.94	0.78
Azotea Verde	Impermeabilizante	0.003	0.005	0.169	---	---	---
	Polietileno reciclado	0.10	0.38	2.10			
	Geotextil	0.001	0.001	0.174			
	Sustrato	0.07	0.073	0.50			
	Vegetación	0.15	0.053	1.42	0.10	0.50	0.40

Fuente: David G. Morillón. Enfoque bioclimático del Análisis Térmico de Edificios, UNAM

Los datos de conductividad térmica y calor específico de los materiales constructivos de la vivienda fueron tomados de la recopilación de diversos manuales y libros que llevó a cabo José Alberto Rojas Mendoza en su tesis de Especialidad en Heliodiseño “Obtención de propiedades ópticas, térmicas y físicas de algunos materiales de construcción” UNAM, México 1992.

En cuanto a los datos de conductividad térmica y calor específico de los materiales inertes del sistema indirecto o modular fueron tomados de las mediciones realizadas por Jazmín Carbajal, en su tesis de maestría “Diseño Térmico de Azotea Verde en Clima Subhúmedo” UNAM, México 2009.

En el caso de los datos de conductividad térmica de sustratos se obtuvieron de mediciones realizadas por Jazmín Carbajal en su tesis de maestría “Diseño Térmico de Azotea Verde en Clima Subhúmedo” UNAM, México 2009 y de los datos publicados en los artículos “Dynamic U- value estimation and energy simulation for green roofs”, de Kotsiris G. en Energy and Buildings, Vol. 45, Febrero 2012, páginas 240-249. En esta publicación reportan una conductividad térmica de 0.65 para un sustrato de 10 cm que consiste en una mezcla de composta, arena y perlita. En cuanto al sustrato con conductividad térmica de 0.073 y 7 cm de espesor, el mismo consiste en una mezcla de agrolita, arena, tierra de hoja y tierra negra.

Los datos de conductividad térmica de los materiales vivos (vegetación) que se utilizaron para realizar el cálculo térmico fueron tomados de los resultados de las mediciones realizadas por Ilse García Villalobos, en su tesis de maestría “La vegetación como sistema térmico en la naturación extensiva de cubiertas” UNAM, México 2010. También se tomó en cuenta el dato publicado en el artículo “La cubierta ecológica como material de construcción”, de Machado, Brito y Neila, en Informes de la Construcción, Vol. 52, número 467, páginas 15-29, en el año 2000. En esta publicación reportan un calor específico de 1424 J/kg°C para una vegetación de porte bajo.

Tabla 14. Conductividad Térmica Materiales vivos e inertes azotea verde

Materiales vivos e inertes azotea verde	Conductividad Térmica K (w/m°C)	Espesor Altura
Especies vegetales	0.053	0.15 cm
Mezcla de sustrato 1	0.073	0.07 cm
Mezcla de sustrato 2	0.0651	0.10 cm

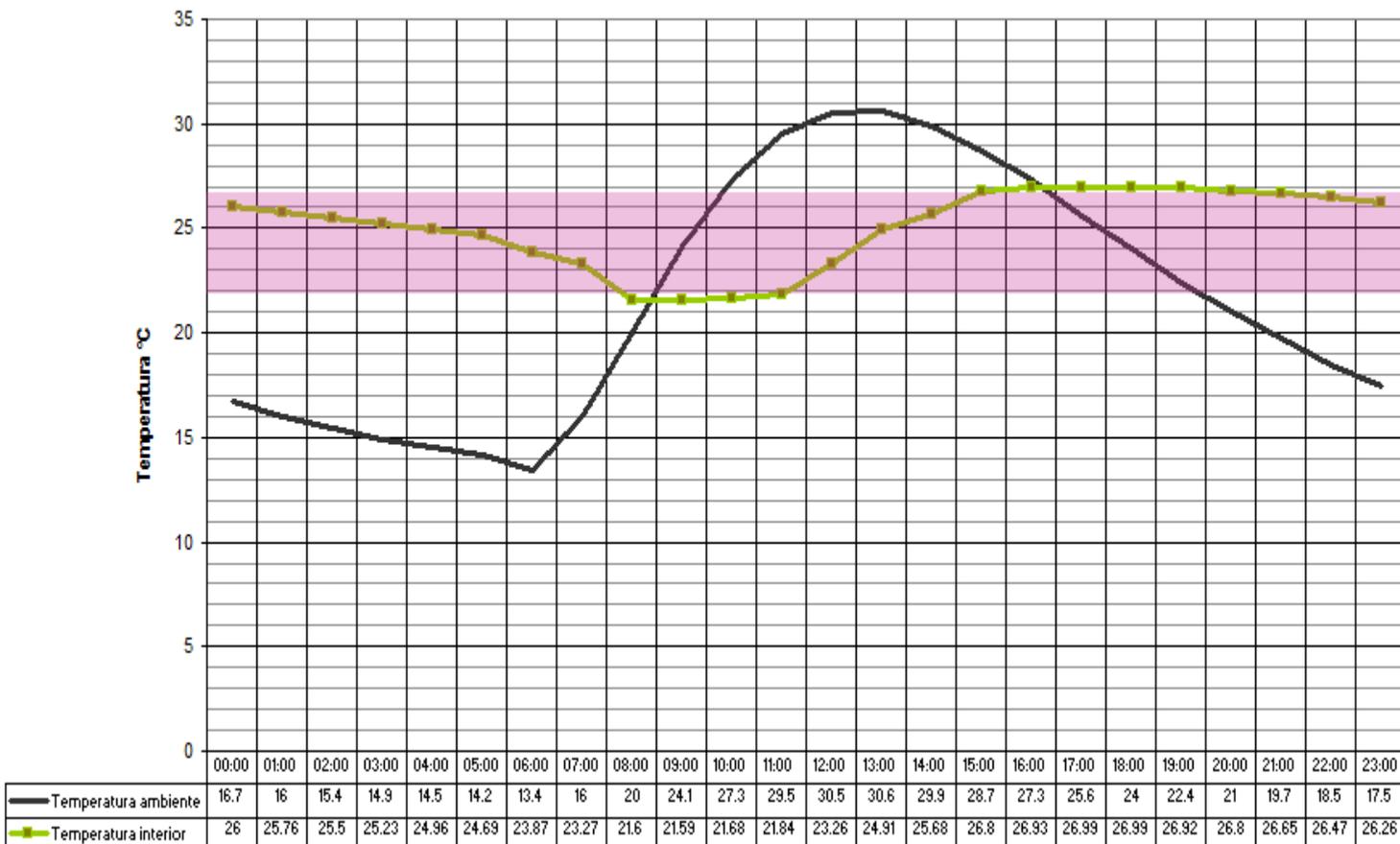
9.2. Cálculo Térmico

9.2.1. Sistema modular o indirecto en la Azotea en Junio

La gráfica muestra que la Temperatura Interior con un Sistema modular o indirecto para el mes de Junio está dentro de la zona de Confort (Franja en rosa) durante casi todo el día (excepto entre 8:00 am a 11:00 pm) en donde las temperaturas son más bajas que el Confort mínimo.

Se puede decir entonces que la Zona de Estudio (Recámara) cuenta con un buen desempeño térmico debido al uso del Sistema modular o indirecto en la cubierta ya que regula térmicamente los flujos de ganancias y pérdidas térmicas al interior de la vivienda.

El comportamiento observado se presenta considerando una ventilación mínima (ventanas más pequeñas abiertas) desde las 11:00 am hasta las 14:00 pm y de 5:00 am hasta las 7:00 am. Por lo mismo las condiciones de temperatura interior se mantienen en la zona de Confort y son favorables en comparación con lo que se puede observar con las fluctuaciones de temperatura del ambiente exterior.



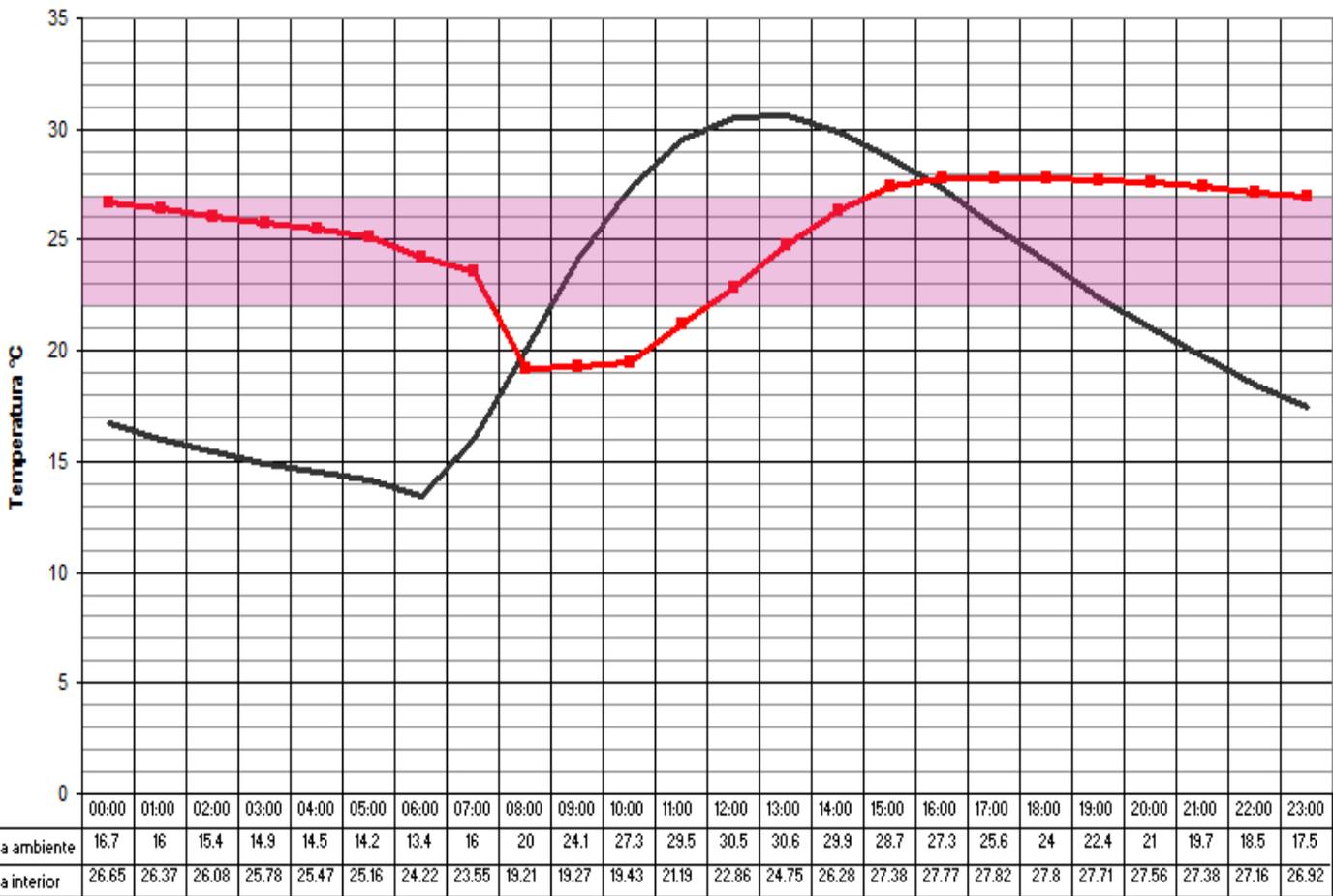
Gráfica 4. Desempeño Térmico con Sistema modular en Azotea en Junio

9.2.2. Azotea sin naturación en Junio

La gráfica muestra que la Temperatura Interior sin naturación para el mes de Junio está por debajo de la zona de Confort (Franja en rosa) casi todo el día; sobretodo por las mañanas y durante toda la tarde hasta medianoche (excepto entre las 12:00 pm a 14:00 pm por la tarde y entre las 0:00 am a las 7:00 hrs por la madrugada).

Se puede decir entonces que la Azotea sin Naturación tiene una mayor fluctuación diaria en comparación con la Azotea con el sistema modular o indirecto.

El comportamiento observado se presenta considerando una ventilación mínima (ventanas más pequeñas abiertas) desde las 10:00 am hasta las 15:00 pm y de 5:00 am hasta las 7:00 am. Por lo mismo las condiciones de temperatura interior no son favorables sobre todo por la tarde y algunas horas por las mañanas; pero son menos contrastantes en comparación con lo que se puede observar con las fluctuaciones de temperatura del ambiente exterior.



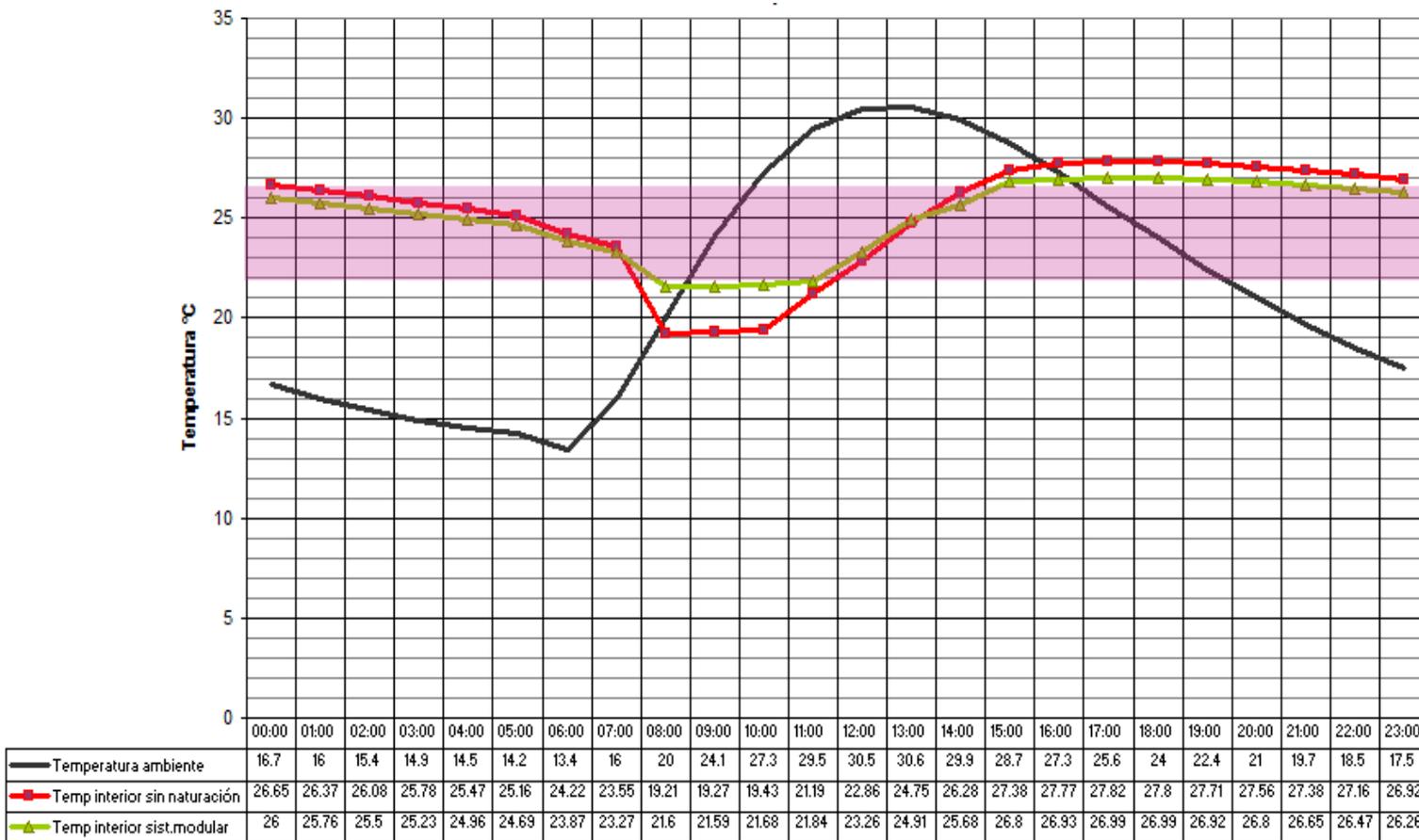
Gráfica 5. Desempeño Térmico sin Naturación en Junio

9.2.3. Comparativa Azotea sin Naturación y con Sistema modular Junio

La gráfica muestra que la fluctuación total diaria de la temperatura calculada sin la naturación en el mes de JUNIO es de 8.61 °C y de 5.40 °C en el caso de la instalación del sistema modular o indirecto.

Esto quiere decir que la mejor regulación térmica en JUNIO se da con la instalación de un sistema modular por tener la menor fluctuación total diaria.

Sin embargo la diferencia no es tan evidente, a pesar de que las temperaturas calculadas sin la naturación se encuentran la mayor parte del tiempo por arriba del rango de confort.



Gráfica 6. Comparativa sin Naturación y Sistema modular Junio

— Temperatura ambiente
—■— Temp interior sin naturación
—▲— Temp interior sist.modular

Comparativa	Fluctuación diaria
Azotea sin Naturación	8.61
Azotea con Sistema indirecto o modular	5.40
Temperatura Ambiente	17.2

9.2.4. Sistema modular o indirecto en la Azotea en Diciembre

La gráfica muestra que la Temperatura Interior con un Sistema modular o indirecto para el mes de Diciembre está muy cerca de la zona de Confort (Franja en rosa) durante casi todo el día. A partir de las 15:00 horas, se mantiene una temperatura confortable por once horas.

Se puede decir entonces que la Zona de Estudio (Recámara) cuenta con un buen desempeño térmico debido al uso del Sistema modular o indirecto en la cubierta ya que regula térmicamente los flujos de ganancias y pérdidas térmicas al interior de la vivienda.

El comportamiento observado se presenta considerando una ventilación mínima (ventanas más pequeñas abiertas) desde las 11:00 am hasta las 18:00 pm y de 5:00 am hasta las 7:00 am. Por lo mismo las condiciones de temperatura interior se mantienen muy cerca de la zona de Confort y son favorables en comparación con lo que se puede observar con las fluctuaciones de temperatura del ambiente exterior.



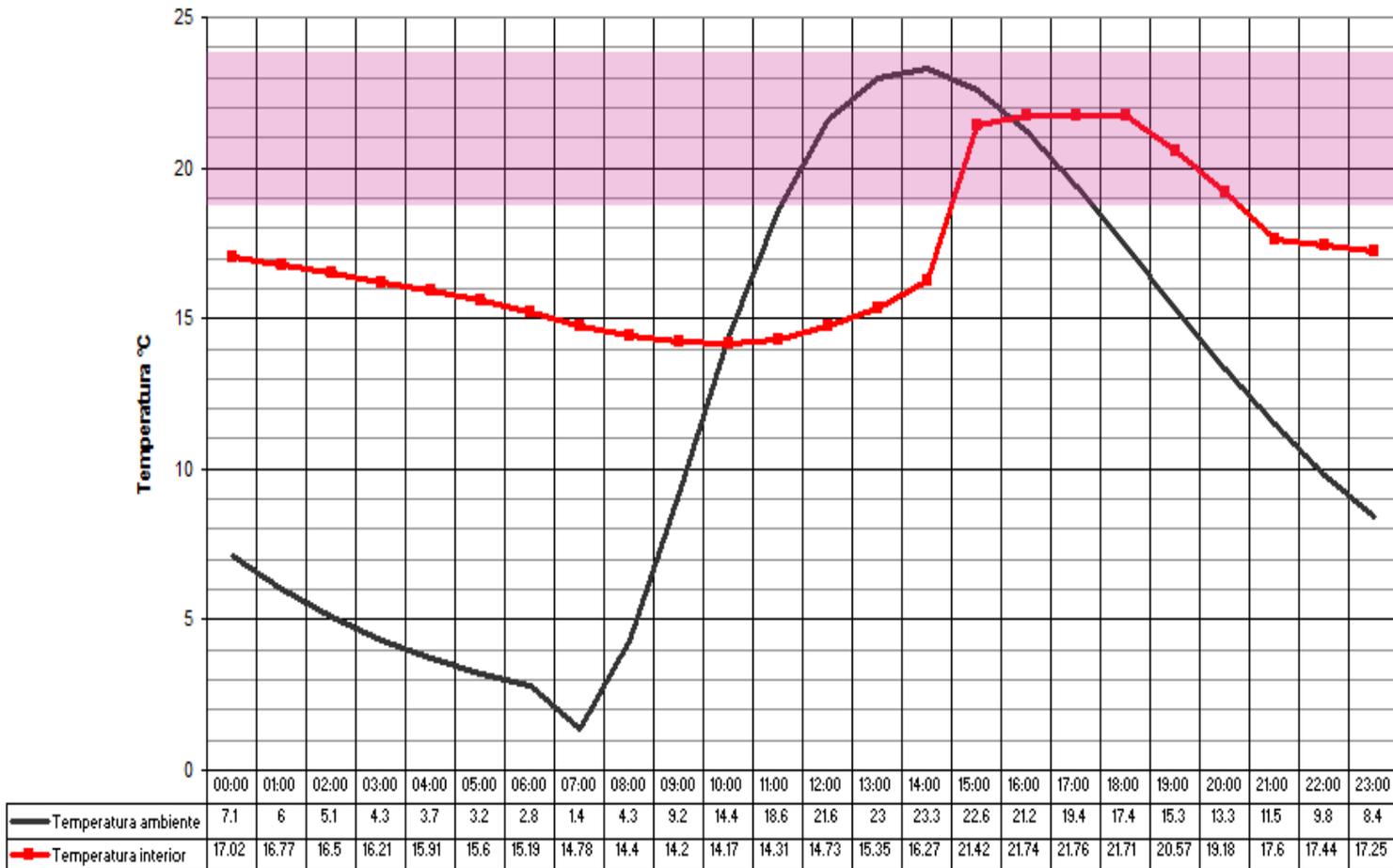
Gráfica 7. Desempeño Térmico con Sistema modular en Azotea en Diciembre

9.2.5. Azotea sin naturación en Diciembre

La gráfica muestra que la Temperatura Interior sin naturación para el mes de Diciembre está por debajo de la zona de Confort (Franja en rosa) durante casi todo el día (excepto entre las 15:00 pm a 20:00 hrs por la tarde).

Se puede decir entonces que la Azotea sin Naturación tiene una mayor fluctuación diaria en comparación con la Azotea con el sistema modular o indirecto.

El comportamiento observado se presenta considerando una ventilación mínima (ventanas más pequeñas abiertas) desde las 10:00 am hasta las 15:00 pm y de 5:00 am hasta las 7:00 am. Por lo mismo las condiciones de temperatura interior no son favorables sobre todo por la noche, la madrugada y las primeras horas pasando medio día; pero son menos contrastantes en comparación con lo que se puede observar con las fluctuaciones de temperatura del ambiente exterior.



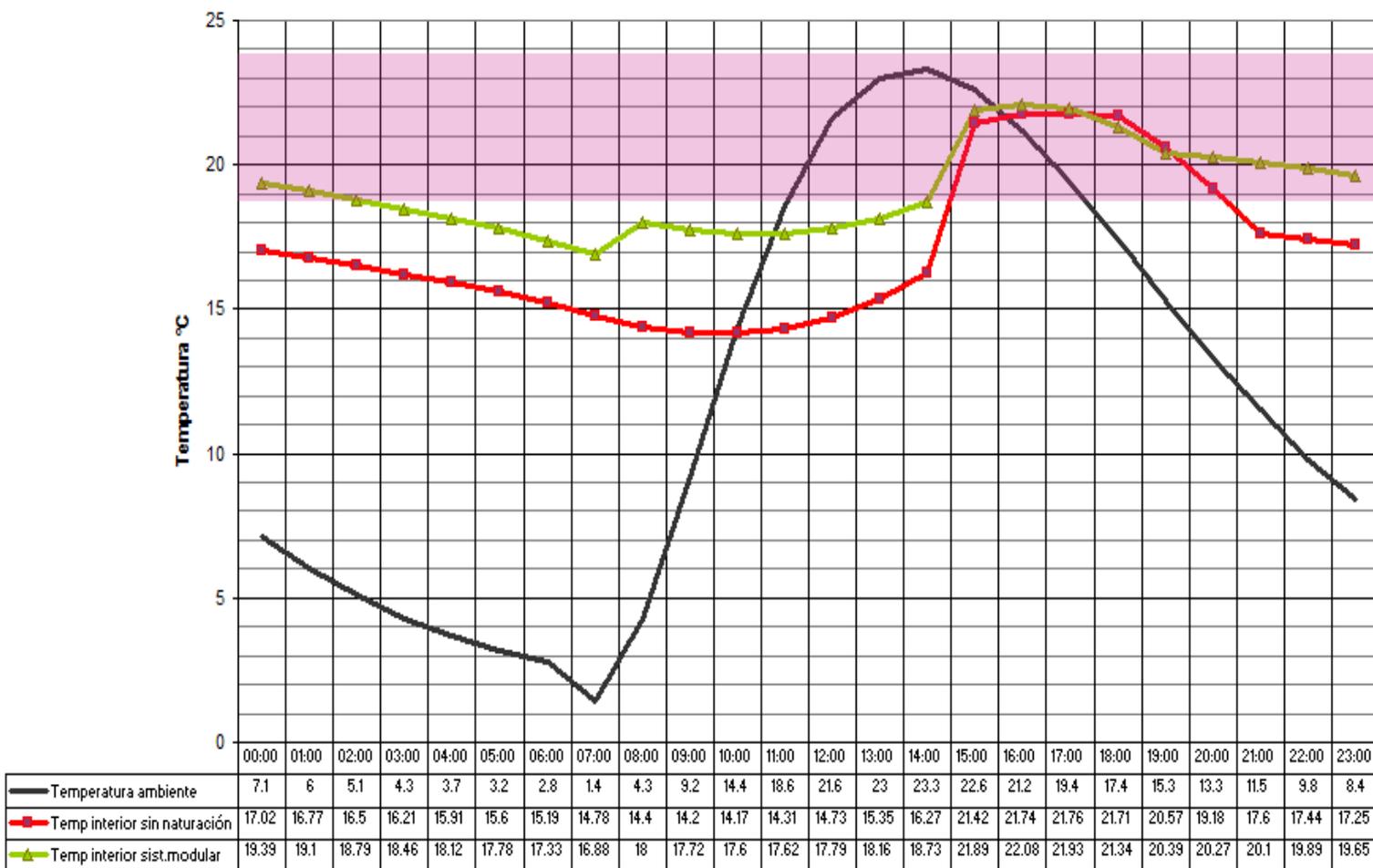
Gráfica 8. Desempeño Térmico sin Naturación en Diciembre

9.2.6. Comparativa Azotea sin Naturación y con Sistema modular Diciembre

La gráfica muestra que la fluctuación total diaria de la temperatura calculada sin la naturación en el mes de DICIEMBRE es de 7.59 °C y de 5.20 °C en el caso de la instalación del sistema modular o indirecto.

Esto quiere decir que la mejor regulación térmica en DICIEMBRE se da con la instalación de un sistema modular por tener la menor fluctuación total diaria.

Sin embargo la diferencia no es tan evidente, a pesar de que las temperaturas calculadas sin la naturación se encuentran la mayor parte del tiempo por debajo del rango de confort.



Gráfica 9. Comparativa sin Naturación y Sistema modular Diciembre

— Temperatura ambiente
—■ Temp interior sin naturación
—▲ Temp interior sist.modular

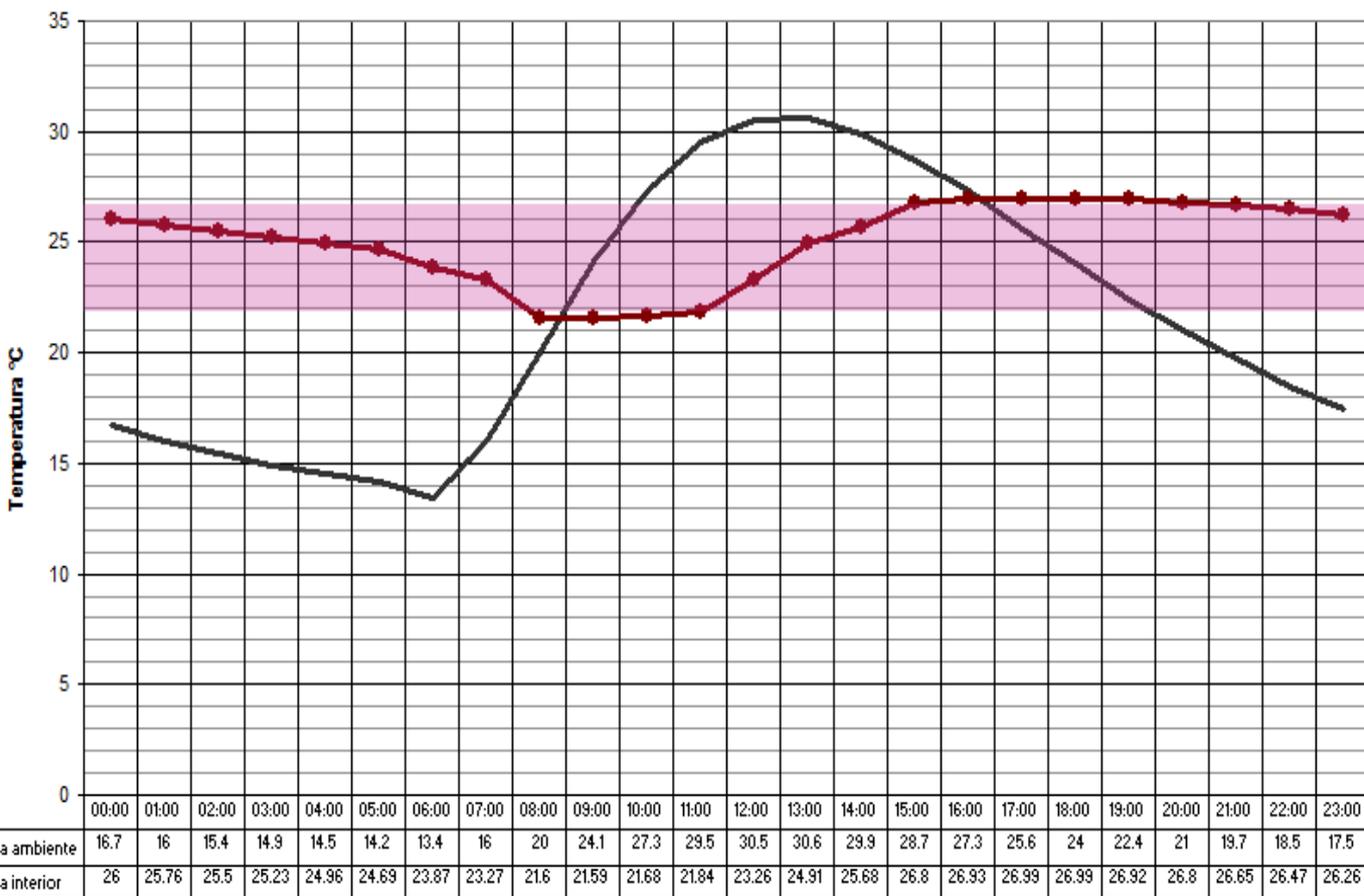
Comparativa	Fluctuación diaria
Azotea sin Naturación	7.59
Azotea con Sistema indirecto o modular	5.20
Temperatura Ambiente	21.9

9.2.7. Sistema modular o indirecto: Mezcla de Sustrato 1 (Junio)

Con este tipo de sustrato, el sistema muestra una tendencia en donde en las primeras horas del día (8:00 am a 11:00 am) se registran temperaturas que se encuentran por debajo del rango de confort mínimo. (especificación de mezclas de Sustratos evaluados en Capítulo Resultados)

La temperatura interior llega a 26.8°C y mantiene temperaturas confortables por 17 horas a partir de las 12:00 am.

Esto indica como se puede observar en la gráfica que la fluctuación de temperatura se reduce significativamente en comparación con el comportamiento de la temperatura exterior y que la temperatura es favorable para la habitabilidad de la recámara de la vivienda.



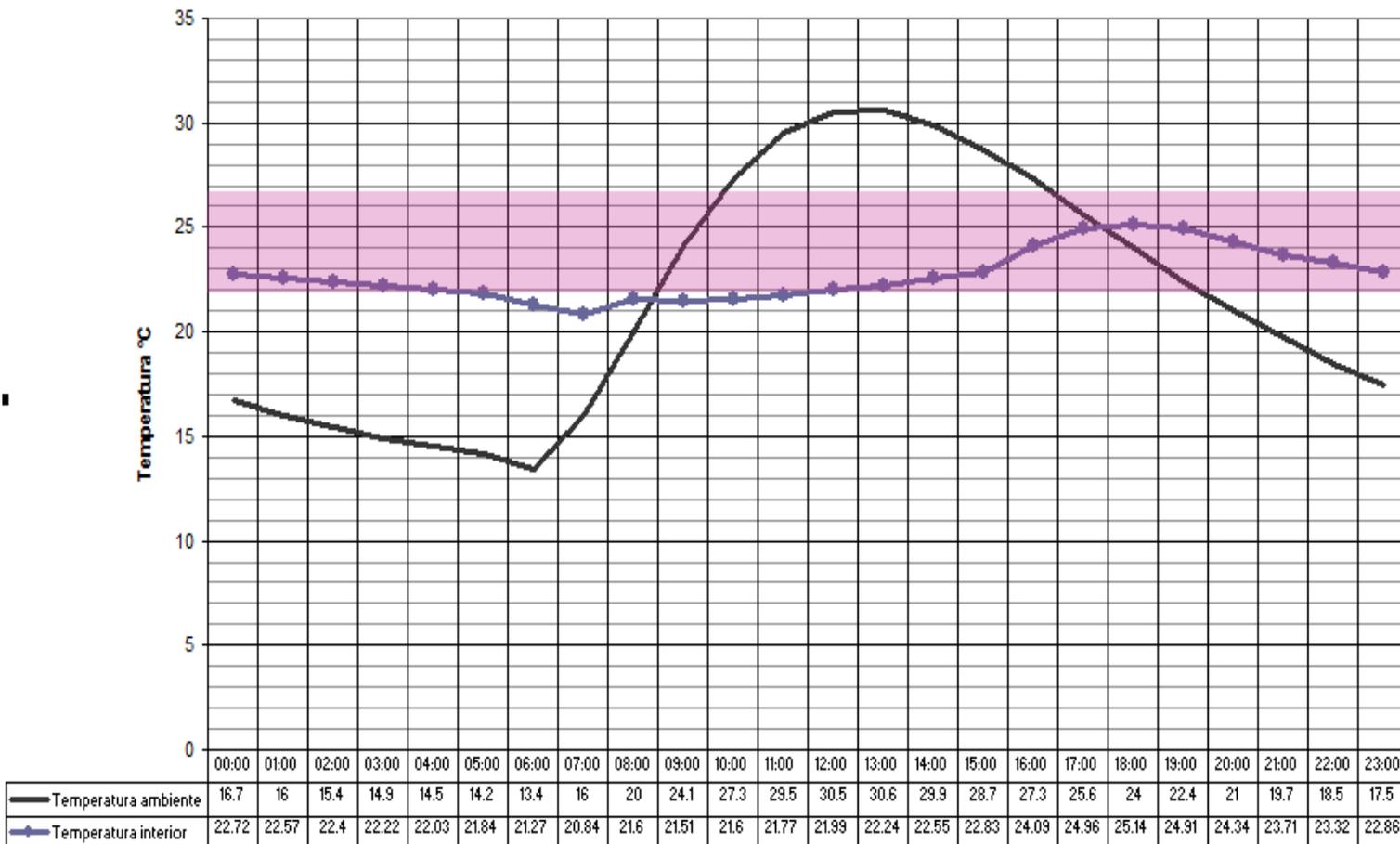
Gráfica 10. Desempeño Térmico Mezcla de Sustrato 1 en Junio

9.2.8. Sistema modular o indirecto: Mezcla de Sustrato 2 (Junio)

Con este tipo de sustrato, el sistema muestra una tendencia en donde toda la madrugada y hasta mediodía (5:00 am a 11:00 am) se registran temperaturas que se encuentran por debajo del rango de confort mínimo. (especificación de mezclas de Sustratos evaluados en Capítulo Resultados)

La temperatura interior llega a 25.14°C y mantiene temperaturas confortables por 17 horas a partir de la 13:00 pm.

Esto indica como se puede observar en la gráfica que las fluctuaciones de temperatura son muy bajas durante todo el transcurso del día. Este comportamiento es contrario a la temperatura exterior en ese mismo período por lo que se puede concluir que con esta mezcla de sustrato cambian significativamente las condiciones de temperatura interior en la recámara de la vivienda.

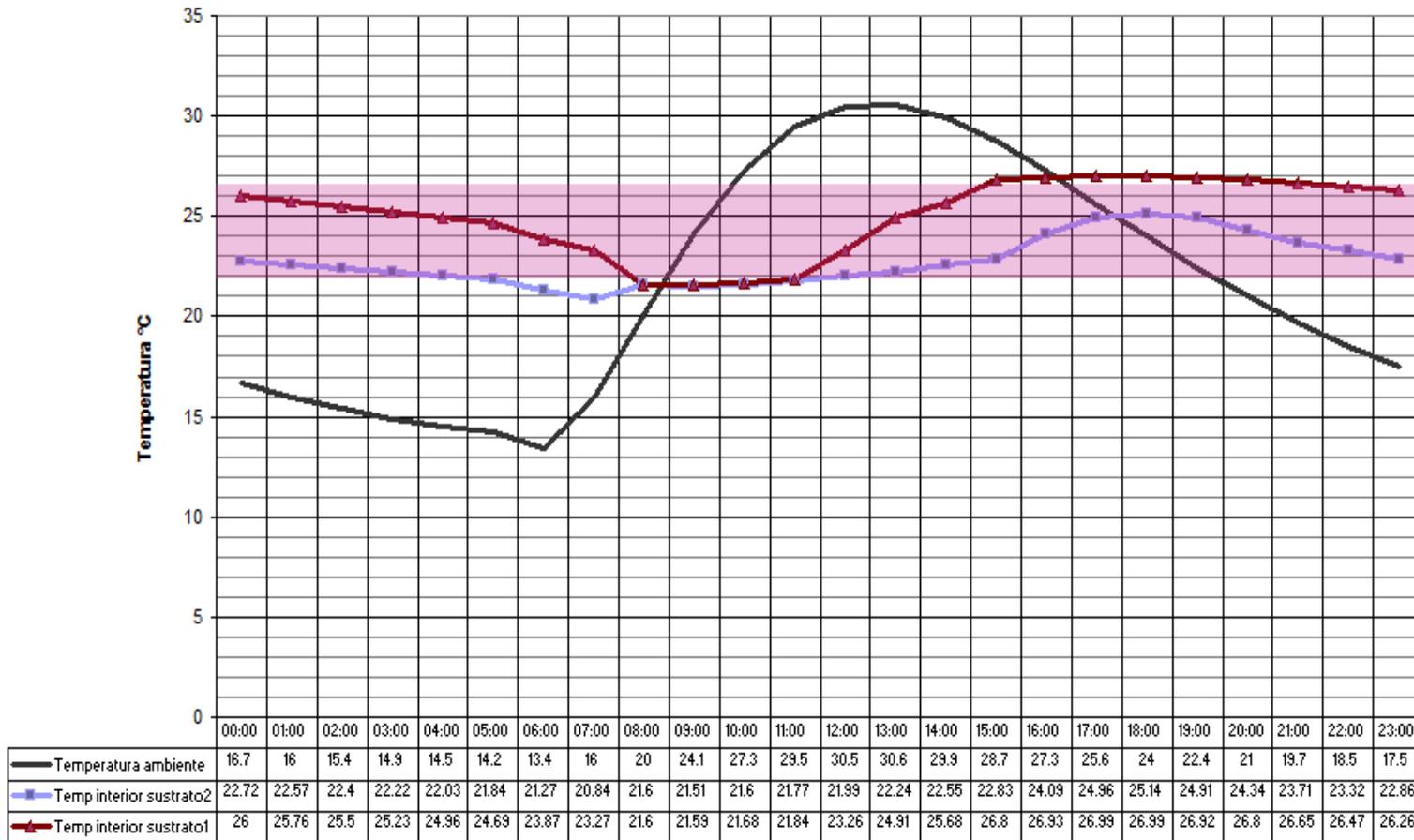


Gráfica 11. Desempeño Térmico Mezcla de Sustrato 2 en Junio

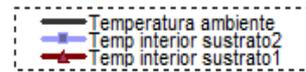
9.2.9. Comparación de Fluctuación de Temperaturas entre distintos tipos de sustratos

La gráfica muestra que la fluctuación total diaria de la temperatura calculada con el primer sustrato en el mes de JUNIO es de 5.40 °C y de 4.30 °C en el caso de la mezcla de sustrato 2.

Esto quiere decir que la mejor regulación térmica en JUNIO se da con la instalación de un sistema modular con una mezcla de sustrato 2. (especificación de mezclas de Sustratos en Capítulo Resultados)



Gráfica 12. Comparativa fluctuación de temperaturas entre mezclas de sustratos



Comparativa	Fluctuación diaria
Sistema modular & mezcla de sustrato 1	5.40
Sistema modular & mezcla de sustrato 2	4.30
Temperatura Ambiente	17.2

Capítulo X

Propuesta

10.1 Paleta Vegetal Propuesta:

Especies Vegetales Comestibles Mexicanas con Potencial de Uso en Azoteas Verdes

Una Paleta Vegetal se puede definir como un listado de plantas que cumplen con requerimientos específicos al sitio o lugar donde se pretenden establecer diversas especies vegetales.

Para lograr la definición de una Paleta Vegetal se deben seguir criterios de selección que determinan el tipo de vegetación que se utilizará para cada proyecto.

Los criterios que se definieron para la propuesta de la Paleta Vegetal para una Azotea Verde mediante un Sistema modular en la ciudad de México son:

- 1. Las especies vegetales deben ser comestibles y características de la cultura mexicana**
- 2. Las especies vegetales se deben poder adquirir en viveros de la ciudad de México**
- 3. Las especies vegetales deben adaptarse a un Clima Templado sub-húmedo**
- 4. Las especies vegetales deben tener capacidad de extenderse horizontalmente y de mantener un estrato bajo**
- 5. Las especies vegetales deben tener resistencia a la contaminación, fuertes vientos y escasos recursos hídricos**

En base a lo anterior se visitaron las azoteas verdes del Jardín botánico CICEANA y el Jardín botánico de la UNAM para observar en sitio qué especies vegetales comestibles se estaban desarrollando adecuadamente y cuáles se contemplaría establecer. Asimismo se realizó una revisión bibliográfica de las especies vegetales que han caracterizado la cultura mexicana; así como sus requerimientos de cultivo, puesto que era importante que las mismas resistieran condiciones adversas en las azoteas verdes. Finalmente se visitaron varios viveros en la ciudad de México para determinar si las propuestas de plantas estaban en existencia ya fueran en semillas o plantas conformadas.

El listado que se presenta a continuación es producto de los aspectos mencionadas anteriormente:

cilantro



Ficha Técnica 7. Especie *Coriandrum sativum* L

Características generales

Nombre científico. *Coriandrum sativum* L.
Familia. Apiaceae
Origen. Grecia
Altura. 0.40 cm

Requerimientos

Iluminación. Sol directo. Media sombra
Suelo. Con buen drenaje. Limosos
Clima. Templado sub-húmedo
Riego. Moderado

Características botánicas y Valor nutricional

Hierba anual, de tallos rectos, hojas compuestas, flores blancas y frutos aromáticos. Es rica en vitaminas A, B1, B2, C y en hierro.

verdolaga



Ficha Técnica 8. Especie *Portulaca oleracea* L

Características generales

Nombre científico. *Portulaca oleracea* L
Familia. Portulacaceae
Origen. México (incierto)
Altura. 0.40 cm

Requerimientos

Iluminación. Sol directo
Suelo. Suelos arenoso, alcalino, suelo pobre
Clima. Templado sub-húmedo
Riego. Moderado

Características botánicas y Valor nutricional

Hierba anual, suculenta, de tallos carnosos, hojas alternas, flores amarillas. Es rica en vitaminas A, B y C. Contiene mas ácido graso Omega- 3 que cualquier otra verdura.

frijol



Ficha Técnica 9. Especie Phaseolus vulgaris L.

Características generales

Nombre científico. Phaseolus vulgaris L
Familia. Fabaceae
Origen. México
Altura. 0.20-0.60 cm

Requerimientos

Iluminación. Sol directo
Suelo. Con buen drenaje. Arenoso
Clima. Templado sub-húmedo
Riego. Escaso

Características botánicas y Valor nutricional

Hierba anual, hojas alternas y pecioladas, flores blancas. Es rica en vitaminas como la tiamina, niacina y ácido fólico; hierro, calcio, proteínas y fibra.

amaranto



Ficha Técnica 10. Especie Amaranthus hypochondriacus

Características generales

Nom. científico. Amaranthus hypochondriacus
Familia. Amaranthaceae
Origen. México
Altura. 0.40 cm

Requerimientos

Iluminación. Sol directo
Suelo. Buen drenaje, materia orgánica. Pobre
Clima. Templado sub-húmedo
Riego. Escaso

Características botánicas y Valor nutricional

Hierba anual, tallos fibrosos, hojas compuestas y pecioladas, flores en panícula. Es rica en vitaminas A y C. Contiene lisina, mucha fibra, hierro, calcio y magnesio

romeritos



Características generales

Nombre científico. Suaeda torreyana
Familia. Chenopodiaceae
Origen. México
Altura. 0.60 cm

Requerimientos

Iluminación. Sol directo
Suelo. Alcalinos--arenosos y salobres
Clima. Templado sub-húmedo
Riego. Moderado

Características botánicas y Valor nutricional

Arbusto anual perenne, hojas alternas, tallo liso. Alto contenido en proteínas

Ficha Técnica 11. Especie Suaeda torreyana

epazote



Características generales

Nombre científico. Chenopodium ambrosioides
Familia. Chenopodiaceae
Origen. México
Altura. 0.50 cm

Requerimientos

Iluminación. Media sombra
Suelo. Arenoso-Alcalino
Clima. Templado sub-húmedo
Riego. Moderado

Características botánicas y Valor nutricional

Hierba anual perenne, hojas pecioladas sinuado- dentadas, tallo simple, flores en panícula amarillas . Es rica en vitaminas A, y C. Contiene proteínas, calcio, fósforo y hierro.

Ficha Técnica 12. Especie Chenopodium ambrasoides

rábano



Ficha Técnica 13. Especie Rhapanus sativus

Características generales

Nombre científico. Rhapanus sativus
Familia. Cruciferae
Origen. Asia
Altura. 0.50 cm

Requerimientos

Iluminación. Sol directo
Suelo. Arenosos, Profundos, arcillosos
Clima. Templado sub-húmedo
Riego. Moderado

Características botánicas y Valor nutricional

Herbácea anual perenne, hojas basales y pecioladas debordes dentados, tallo breve que se alarga, inflorescencias racimosas. Rico en vitamina A, B1 y C, en fibra y potasio

acelgas



Ficha Técnica 14. Especie Beta vulgaris

Características generales

Nombre científico. Beta vulgaris
Familia.Chenopodiaceae
Origen. Europa
Altura. 0.60 cm

Requerimientos

Iluminación. Sol directo. Media sombra
Suelo. Rico en humus-arenoso.Buen drenaje
Clima. Templado sub-húmedo
Riego. Moderado

Características botánicas y Valor nutricional

Hierba anual rastrera, tallo rojizo ramificado, hojas alternas, flores sésiles. Es rica en vitamina A, fósforo, hierro y potasio y fibra

10.2. Propuestas de Mezclas de Sustratos

Especies Vegetales Comestibles en Sistemas Modulares

mezcla 1



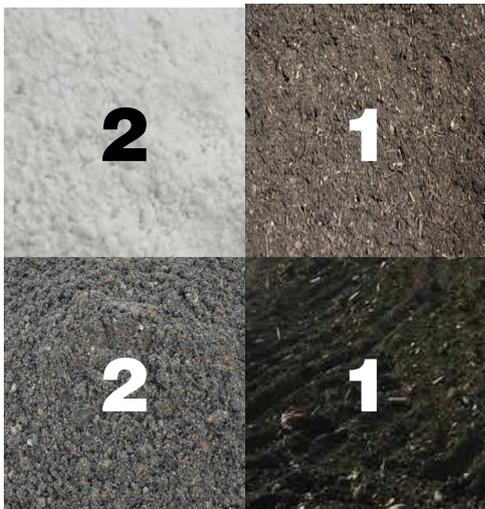
2 partes Agrolita
1 parte Composta
1 parte Tierra de hoja
2 partes Tierra negra

amaranto



verdolagas

mezcla 2



2 partes Perlita
1 parte Composta
2 partes Arena
1 parte Tierra negra

rábanos



mezcla 3



1 parte Peatmoss

1 parte Tepojal

1 parte Perlita

3 partes Tierra negra

rábanos



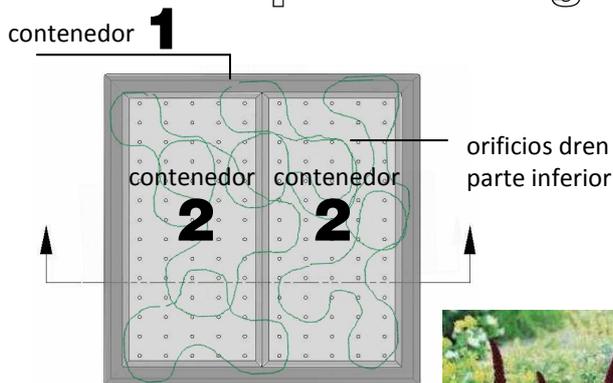
romeritos



10.3. Diseño de Prototipo de Sistema Modular

Azoteas Verdes de la Ciudad de México

especies vegetales comestibles



modulo

Tamaño 60x60x25 cm

Polietileno Reciclado

Doble contenedor

Orificios dren de agua en base contenedor interior

rábanos romeritos amaranto verdolagas

mezcla de sustrato 2



2 partes Perlita

1 parte Composta

2 partes Arena

1 parte Tierra negra

Espesor de sustrato 10 cm

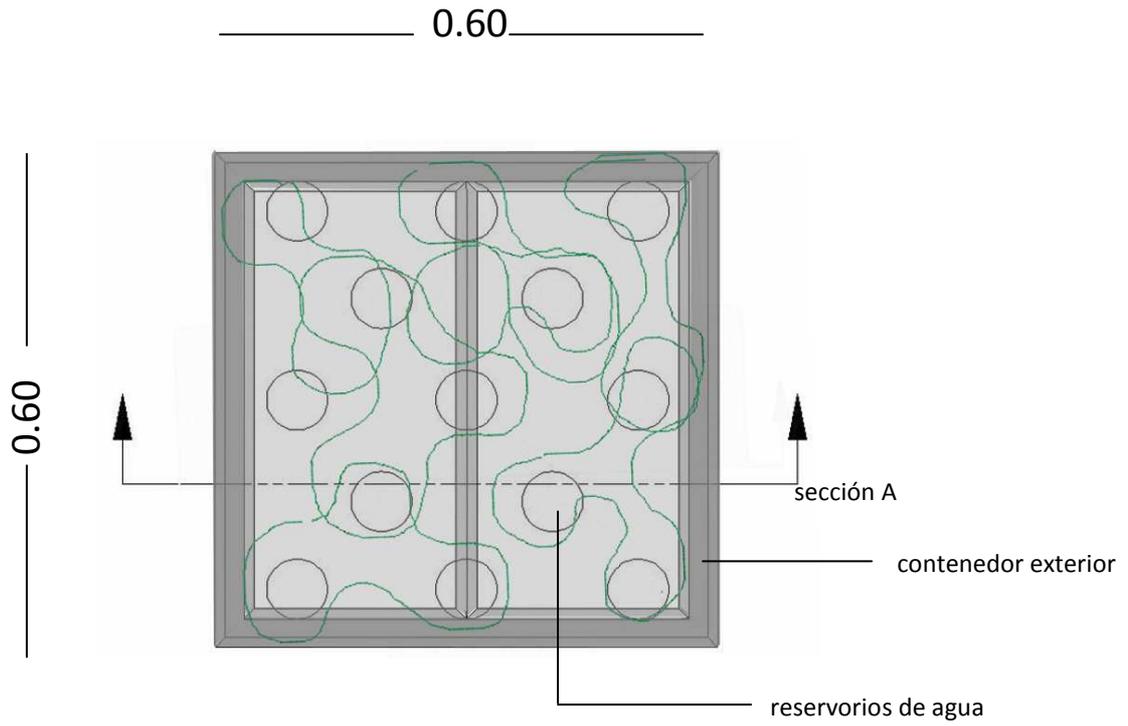
Canales de ventilación

Altura max.vegetación
0.40 cm

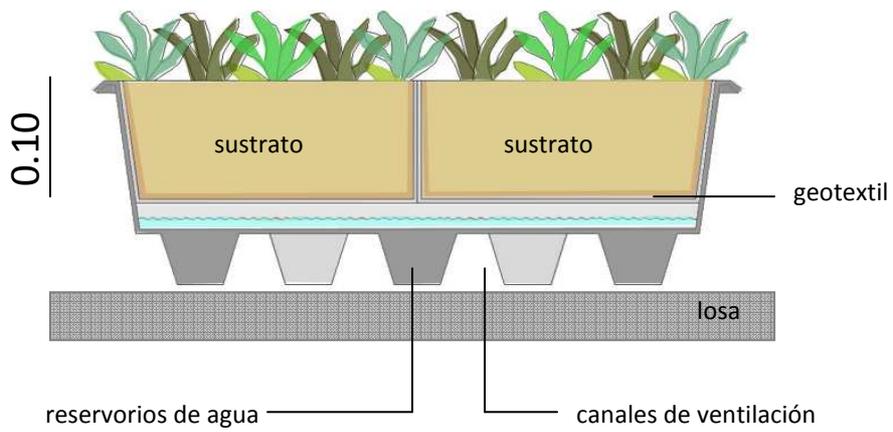
Orificios laterales dren

modulo





planta modulo



sección A modulo

Conclusiones

El establecimiento de especies vegetales comestibles, como una alternativa para la naturación en azoteas en la ciudad de México es una opción viable debido a que se advierte de manera más frecuente sobre la necesidad de crear alternativas alimentarias que aminoren las posibles crisis de alimentos que amenazan al mundo y a nuestro país; por lo que se ve posible el crecimiento en este tipo de propuestas en el futuro en conjunto con la utilización de nuevas tecnologías como los Sistemas modulares, lo que se espera se traduzca en un beneficio social palpable para los habitantes de ciudades como la de México.

En la evolución del diseño de las Azoteas Verdes en la ciudad de México, también se empieza a vislumbrar la necesidad de colocar la vegetación en contenedores para lograr dos aspectos importantes: Versatilidad de diseño y evitar daños al Sistema de impermeabilización. En cuanto al uso de especies vegetales comestibles; también se está empezando a explorar su presencia para crear espacios de educación en temas de Agricultura urbana que van desde la reutilización de desechos orgánicos, la producción de productos orgánicos hasta temas más complejos como la disminución del peso del sustrato.

Los Sistemas modulares requieren aún propuestas que contemplen una mayor diversidad de tamaños sobre todo a nivel nacional. A nivel internacional esta industria sigue creciendo y se están realizando propuestas que van mejorando sus aspectos funcionales y estéticos ya que este tipo de elementos permite un diseño versátil todavía aún sin explorar y lleno de posibilidades.

Es importante recuperar poco a poco los aspectos agrícolas y los alimentos que han caracterizado a la cultura mexicana, pues los mismos tienen una tradición y riqueza nutricional que es poco aprovechada en la actualidad.

En la ciudad de México se está generando inversión en programas de gobierno, para impulsar proyectos productivos agrícolas a pequeña escala que contemplan entre varios puntos, el rescate de lugares abandonados.

Es así como el aprovechamiento de los espacios en las azoteas para el establecimiento de especies vegetales comestibles que caracterizan nuestra cultura mexicana son una oportunidad para recuperar la amplia tradición agrícola y hortícola de la ciudad de México.

Las propuestas de sistemas constructivos modulares o indirectos en las azoteas verdes también permiten vislumbrar posibilidades de mejorar aspectos de instalación que en los sistemas tradicionales no se han logrado con éxito como es el aspecto de control de los sustratos utilizados y también la calidad de los módulos como elementos que pueden ser removidos de su lugar.

Las investigaciones realizadas hasta ahora en materia de naturación han permitido demostrar los beneficios que el establecimiento de una azotea verde tiene en las edificaciones. Se han evaluado con éxito y demostrado en varios estudios que las azoteas verdes mejoran los aspectos térmicos al interior de los espacios construidos; que reducen el volumen de escurrimiento de agua pluvial en el entorno donde se establecen; que el establecimiento de vegetación crea nichos y una diversidad en el habitat de especies animales e insectos; y que también la vegetación retiene contaminantes en zonas urbanas, generando un beneficio a la salud de las personas.

Sin embargo son muy pocas las investigaciones que se dedican a proponer opciones viables para la disminución del peso del sustrato; así como aspectos de disminución en los costos de su realización para que las azoteas verdes sean una realidad para la mayoría de las personas.

El estudio del sustrato es complejo porque la selección del mismo depende en gran parte de la selección de la vegetación que se establece en una azotea verde, además que con el tiempo y después de la época de lluvias el sustrato se va deslavando lo que ocasiona que su espesor no sea uniforme cambiando parámetros importantes como su estructura, humedad, capacidad de campo, textura, entre otros. Aunado a eso la disminución de su peso ha sido complicada puesto que mientras menos espesor de sustrato se tiene, más difícil es el establecimiento de diversas especies vegetales y disminuyen a su vez los beneficios térmicos que proporcionan estos sistemas constructivos al interior de las edificaciones.

En esta investigación se propone un prototipo de sistema modular para el establecimiento de especies vegetales comestibles en la ciudad de México. Se determinó en base a los requerimientos climáticos y condicionantes propias para el establecimiento de una naturación; una paleta vegetal para la selección de especies vegetales que pueden ser consumidas, que proporcionan un valor nutricional y que además son características de la cultura mexicana. Este último aspecto fue primordial puesto que era importante tener un vínculo cultural que en muchos casos se deja de lado; y en el caso de las azoteas verdes poco a poco se está tomando conciencia de la importancia de personalizar los espacios, de hacerlos útiles y no sólo contemplar aspectos estéticos de los mismos.

También se determinaron tres mezclas de suelo que pueden ser utilizadas en conjunto con la propuesta de especies vegetales comestibles planteada; y este aspecto fue el principal elemento dentro del sistema de naturación que fue analizado para el modelo matemático utilizado para la evaluación de Desempeño Térmico de un sistema modular.

Los resultados obtenidos indican que distintos componentes de las capas de sustrato, tienen un efecto en la reducción y regulación térmica diferentes. Se evaluaron dos mezclas de sustratos; la mezcla de sustrato 1 contiene mayor material orgánico que la mezcla de sustrato 2 en donde predominan los componentes minerales y estructurales. Según los datos arrojados la mezcla con mayor cantidad de material inorgánico o mineral que es la mezcla de sustrato 2 tiene una menor fluctuación de temperatura de casi 1.5 grados centígrados menos, por lo que si se da prioridad a la elaboración de sustratos con un alto contenido inorgánico o mineral, se obtendrá un mejor desempeño térmico al interior de las viviendas.

Este resultado nos permite optar por la mezcla de sustrato más ligera, que en el caso del peso estructural total sobre la azotea siempre se debe tomar en consideración. Sin embargo, los resultados también ponen en evidencia que no son del todo la opción más viable, puesto que de no contar con un suficiente aporte de material orgánico inicial, el desarrollo de la vegetación puede quedar comprometido. También como ya se mencionó, con el tiempo el material orgánico se va deslavando por el agua de lluvia y se va compactando, ocasionando una pérdida de casi el 5% del sustrato que originalmente se coloca, por lo que la recomendación de un porcentaje mayor de material orgánico inicial en las mezclas de sustratos, queda supeditado a contar con un peor desempeño térmico en las viviendas. Los resultados obtenidos validan la hipótesis principal de la investigación pues se comprobó que los sistemas modulares si mejoran el desempeño térmico al interior de viviendas en la ciudad de México y que es importante considerar un aporte importante de material inorgánico o mineral en los sustratos para garantizar mejores comportamientos térmicos que aporten los sistemas de naturación.

Es necesario realizar aún investigaciones encaminadas a determinar cuál es el porcentaje óptimo entre materiales orgánicos y componentes minerales que puedan ser utilizados para el cultivo de especies vegetales y que a su vez tengan el menor peso estructural para el establecimiento de una azotea verde.

Otra línea de investigación a seguir también sería evaluar el peso estructural total utilizando distintos tipos de sustratos por módulos y diversos espesores. En esta investigación no fue posible evaluar qué sucedería si se manejaran por bloques diversos sustratos y también si varían las alturas de los contenedores por zonas, qué efecto en conjunto tendría en el desempeño térmico y la disminución del peso estructural.

Finalmente seguir retando las posibilidades de manejo de los sistemas modulares es una vía todavía por explorar ilimitada, si empezamos a pensar en la posibilidad de que los elementos puedan ser removidos por la mañana o por la noche o crecer por medios mecánicos en su diseño. Falta mucho que trabajar en la mejora de un diseño que sea accesible económicamente y que posea todas las ventajas que los contenedores y módulos que se trabajan actualmente en la industria ya tiene.

También esta investigación plantea el establecimiento de especies vegetales comestibles que caracterizan la cultura mexicana; sin embargo en cuanto a la vegetación, explorar su uso como componentes vivos en los sistemas de naturación sigue siendo un campo ilimitado por evaluar.

Lo más importante es no perder la iniciativa de crear propuestas que reten nuestra imaginación, innovación y campo de diseño. Cada espacio en nuestra ciudad y cada elemento de diseño tienen la posibilidad de nuevos usos. Si pensamos en espacios eficientemente modulados o contenidos que puedan ir cambiando de acuerdo a las necesidades, tal vez podamos empezar a tener una nueva forma de entender los espacios que ya conocemos.

Bibliografía

- ❖ Andros T. Maclin T. Kline M. Malone B. Franzen E. (2007) **Green Roof Proposal and Guide**. UGA Environmental Practicum. Athens- Clarke County City Hall. Estados Unidos
- ❖ Ansorena J (1994) **Sustratos. Propiedades y caracterización**. Ediciones Mundi- Prensa. México
- ❖ Armelagos, George (1997) **Conquista y comida. Consecuencias del encuentro de dos mundos**. UNAM. México
- ❖ Bennion Douglas (2009) **Performance Evaluation of Green Roof Systems using the Roof Evaluation Modules**. British Columbia Institute of Technology. Vancouver, Canada
- ❖ Bojorquez, L. Villa, R (1995) **El ecosistema lacustre. Xochimilco y el deterioro de las chinampas. Presente, pasado y futuro de las chinampas**. CIESS. Patronato del Parque Ecológico Xochimilco. México
- ❖ Bunt A. C (1998) **Media and mixes for container grown plants**. Unwin Hyman. Inglaterra
- ❖ Cabrera R. I. (1999) **Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para producción de plantas en maceta**. Revista Chapingo. Serie horticultura. Volumen 5. No. 1 Universidad Autónoma de Chapingo. México
- ❖ Carbajal Jazmin (2009) **Diseño Térmico de Azotea Verde en clima cálido subhúmedo**. Tesis de Maestría, UNAM. México
- ❖ Clark Corrie. Adriaens Peter (2010) **Green Roof Valuation: A Probabilistic Economic Analysis of Environmental Benefits**. University of Michigan. Estados Unidos
- ❖ Coffman Reid R (2007) **Vegetated Roof Systems: Design, productivity, retention, habitat and sustainability in Green Roof and EcoRoof Technology**. Ohio State University. Estados Unidos
- ❖ Dunnet Nigel. Clay de Andy (2007) **Rain gardens: Managing Water Sustainably in the Garden and Designed Landscape**. Timber Press Incorporated. Primera edición. Estados Unidos
- ❖ Durban Natal (2009) **Rooftop Gardens and the Greening of Cities**. University of Kwazulu. Sudáfrica
- ❖ Emilsson T (2008) **The Influence of Substrate: Establishment Method and Species Mix on Plant Cover**. Ecological Engineering Volume 33 Number 3-4. Elsevier.
- ❖ Gaffin S.R. Rosenzweig C. Khanbilvardi R. (2011) **Stormwater Retention for a Modular Green Roof using Energy Balance Data**. Center for Climate Systems Research. Columbia University. Estados Unidos
- ❖ García Villalobos, Ilse (2009) **La vegetación como sistema térmico en la naturación extensiva de cubiertas**. Tesis de Maestría, UNAM. México

- ❖ Garnham Luke (2004) **Green Roofs and the Promise of Urban Agriculture**. The Green Roof Infrastructure Monitor. Estados Unidos
- ❖ Germain Amélie. Grégoire Benjamin. (2008) **Guide to Setting Up your own Edible Rooftop Garden**. Alternatives and the Rooftop Gardens Project. Montreal. Canadá
- ❖ Gernol Minke **Techos verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos**. Editorial Fin de Siglo. Uruguay
- ❖ Getter Kristin L. Rowe Bradley D. (2006) **The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development**. Michigan State University. HortScience Volumen 41.No. 5. Estados Unidos
- ❖ Getter Kristin L. Rowe Bradley D. (2009) **Substrate Depth influences Sedum Plant Community on a Green Roof**. Michigan State University. HortScience Volumen 44.No. 2. Estados Unidos
- ❖ Greenstone Clive (2009) **Rooftop gardens and the greening of cities- a case study of University of Kwazulu, Natal, Durban**. Housing and Planning University of Kwazulu
- ❖ Guerra Michael (2000) **The Edible Container Garden**. Simon and Schuster. Estados Unidos
- ❖ Halstead Maria Cristina. (2010) **Thermal Performance of Green Roof Variations**. Master of Science Regenerative Studies. American Solar Energy Society. Estados Unidos
- ❖ Hernández M (1997) **Valor nutritivo de los alimentos mexicanos**. Instituto Nacional de la Nutrición. México
- ❖ Kingsbury Noel (2004) **Planting Green roofs and Living walls**. Timber Press Inc. Estados Unidos
- ❖ Kononova, M (1961) **Soil organic matter**. Pergamon Press. Inglaterra
- ❖ Knott, J.E. (1962) **Handbook for vegetable growers**. J. Willey and Sons Inc. Estados Unidos
- ❖ Kuhn Monica. Peck W. Steven (2009) **Design guidelines for Green Roofs**. Ontario Association of Architects. Canadá
- ❖ Labrador J (1996) **Origen y constituyentes de la materia orgánica**. Editorial Mundi- Prensa. España
- ❖ Linares E. Aguirre J (1992) **Los quelites, un tesoro culinario**. Instituto de Biología. UNAM. Instituto Nacional de la nutrición "Salvador Zubirán". México

- ❖ Logan Marty (2004) **Urban Agriculture reaches New Heights through Rooftop Gardening.** International Development Research Center. Estados Unidos
- ❖ Martínez Andrés (2005) **Habitar la cubierta.** GG, Barcelona
- ❖ Margolis Liat. Robinson Alexander (2007) **Living Systems. Innovative Materials and Technologies for Landscape Architecture.** Editorial Birkhauser Verlag AG. Berlin. Alemania
- ❖ Martin J.F. Coffman J.S (2004) **The Sustainability of an Agricultural Roof Garden.** Greening Rooftops for Sustainable Communities. Green Roofs for Healthy Cities. Portland, Oregon, Estados Unidos
- ❖ McKnight (2005) **Los quelites en mi memoria.** Jardín botánico del Instituto de Biología. UNAM. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. México
- ❖ Mercado Camargo Rosalío (2010) **Alimentación e identidad cultural en México.** CINVESTAV-IPN. México
- ❖ Nielsen S (2004) **Sky Gardens- Rooftops, Balconies and Terraces.** Schiffer Publishing. Estados Unidos
- ❖ **Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007** Especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación en el Distrito Federal
- ❖ Novo S (1979) **Cocina mexicana o Historia gastronómica de la ciudad de México.** Editorial Porrúa, S. A. México
- ❖ Nowak, Michelle (2004) **Urban Agriculture on the Rooftop.** Cornell University. Estados Unidos
- ❖ Osmundson H. Theodore (1999) **Roof Gardens: History, Design and Construction.** W.W.Norton and Company Inc. Primera edición. Estados Unidos
- ❖ Oberndorfer Erica. Lundholm Jeremy. Dunnet Nigel (2007) **Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions and Services.** BioScience. Volumen 57. No. 10
- ❖ Palomino Ramírez Bruno J (2010) **Aplicaciones paisajísticas del Sedum para el aligeramiento de Sustratos sobre Azoteas Verdes.** Unidad Académica de Arquitectura de Paisaje. Facultad de Arquitectura. UNAM. México
- ❖ Pastor Saéz, Narciso J (1999) **Tecnología de sustratos: Aplicaciones a la producción viverística, ornamental, hortícola y forestal.** Universidad de Lleida. España
- ❖ Peck W. Steven (2007) **Award winning Green roof Designs: Green Roofs for Healthy Cities.** Schiffer Publishing. Estados Unidos

- ❖ Rotem Ayalon (2006) **Making Rooftops Bloom: Strategies for encouraging rooftop greening in Montreal** . McGill University. Canadá
- ❖ Rowe D.B. Rugh C.L (2003) **Green roof slope, substrate depth and vegetation runoff**. 1st North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities. Estados Unidos
- ❖ Rzedowski, J (1995) **Aspectos de las plantas ornamentales de México**. Revista Chapingo, Serie Horticultura. Volumen I (5-7)
- ❖ Saltzman Dan. Marriot Dean (2009) **EcoRoof Handbook**. Environmental Services City of Portland. Estados Unidos
- ❖ Townshend Derek (2007) **Study on Green Roof Application in Hong Kong**. Urbis Limited. Architectural Services Department. Hong Kong, China
- ❖ **Uso Eficiente de la Energía en la Vivienda**. Guía CONAFOVI. Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda. México
- ❖ Velazquez S. Linda (2003) **Modular GreenRoof Technology: An Overview of two systems**. First Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference. Chicago. Estados Unidos

WEB

- ❖ CARLISLE Coatings & Waterproofing Green Roof Systems <http://www.carlisleccw.com/> 2012
- ❖ EFECTO VERDE Contenedores para Azoteas Verdes <http://efectoverde.org/> 2012
- ❖ GREEN GRID ROOFS Sistemas modulares para Azoteas Verdes <http://www.greengridroofs.com/> 2012
- ❖ GREEN INNOVATIONS Green Roof System, Water Retention Panels <http://www.greenroofsystems.com> 2012
- ❖ GREEN ROOF BLOCKS Roof Garden Modules <http://greenroofblocks.com/> 2012
- ❖ GREENTECH Modular RoofTop Garden System <http://www.greentechitm.com/> 2012
- ❖ LIVEROOF Hybrid Green Roof System <http://www.liveroof.com/> 2012
- ❖ TECHOS VIVOS Módulos Azoteas Verdes <http://www.techosvivos.com> 2012

Glosario

ACOLCHADO. Capa de material orgánico con la que se cubre el suelo alrededor del tallo de la planta lo que permite un aumento en la retención de agua en el suelo; evitar la proliferación de malas hierbas y la competencia radicular; enriquecer la vida microbiana y disminuir las labores de mantenimiento.

AIREACIÓN SUELO. Abastecimiento de oxígeno para el buen desarrollo de los microorganismos y de las raíces de las plantas que posee el suelo. Cambio que se produce entre los gases del suelo y los gases de la atmósfera.

ALTURA DE LA PLANTA. Distancia vertical entre el nivel del suelo y la punta más alta de la especie vegetal plantada; cuando está en envase es del cuello de la raíz a la punta más alta.

CALOR ESPECÍFICO. Magnitud física o cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa de una sustancia para elevar su temperatura en una unidad (grado Centígrado o Kelvin)

CLIMA. Conjunto de condiciones atmosféricas o meteorológicas, como: la temperatura, la humedad, el viento, entre otros, que caracterizan a una región cualquiera.

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA. Propiedad física de los materiales que mide la capacidad de transferir calor o energía cinética de sus moléculas a otras moléculas adyacentes con las que no está en contacto.

CONFORT TÉRMICO. Condición de la mente en que se expresa satisfacción con el ambiente.

CONTENEDOR. Recipiente para cultivar plantas, generalmente con agujeros en el fondo para el drenaje.

CONVECCIÓN. Transporte de calor por medio de las parcelas de fluido ascendente y descendente. La convección se produce únicamente en fluidos, éstos al calentarse disminuyen su densidad y ascienden al ser desplazados por las porciones superiores que se encuentran a menor temperatura.

CUBRESUELO. Planta que se extiende acompañando la conformación del suelo.

DENSIDAD APARENTE. Peso seco del suelo entre volumen. Se suele utilizar como medida de la estructura del suelo.

DENSIDAD REAL. Peso seco del suelo entre el volumen ocupado por las partículas sólidas; es decir que no se cuenta el volumen ocupado por los poros o porosidad.

DOSEL. Capa aérea vegetal que se define por el conglomerado de tallos, hojas, ramas, flores y frutos de diferentes especies que crecen y se ubican por encima de otras de menor tamaño.

EROSIÓN. Degradación y transporte del suelo o roca que producen distintos procesos en la superficie de la Tierra. Entre los agentes se pueden mencionar la circulación de agua, el viento o cambios térmicos.

ESQUEJES. Fragmentos de plantas separados con una finalidad reproductiva. En el caso de separar fragmentos de tallos, se introducen en la tierra para producir raíces.

ESPECIE SUCULENTA. Son plantas donde su raíz, tallos y hojas se han engrosado para lograr el almacenamiento de agua. Esta adaptación les permite mantener agua por períodos prolongados y sobrevivir en entornos áridos. Se caracterizan por la ausencia de espinas.

EVAPORACIÓN. Conversión del agua líquida a vapor y su subsiguiente transferencia de un suelo o superficie acuosa a la atmósfera.

FLORACIÓN. Tiempo que duran abiertas las flores.

FLUCTUACIÓN. Hace referencia a la oscilación (crecer o disminuir alternativamente). Es la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de la temperatura.

FOLLAJE. Conjunto de hojas de árboles o plantas.

HABITAT. Medio en el que se atienden las necesidades vitales de un animal o vegetal.

HUERTO ORGANOPÓNICO. Cultivos donde se siembran plantas en contenedores basados en principios de agricultura orgánica. Es una modalidad útil en condiciones donde no se dispone de suelo cultivable fértil.

INTERCAMBIO CATIONICO. Capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos, merced a su contenido en arcillas y materia orgánica. A mayor contenido de materia orgánica, aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo.

LOMBRICOMPOSTA. Descomposición controlada de materia orgánica utilizando lombrices de tierra.

MALEZA. Abundancia de hierbas no deseadas que perjudican el desarrollo de una planta.

MATERIAL INERTE. Aquello que se caracteriza por la falta de vida. Todas aquellas cosas que no presenten movilidad por sí mismas como sustratos, plásticos, entre otros.

MATERIAL VIVO. Conformados por la unidad fundamental (células) con la cual están constituidos todos los seres vivos como la vegetación.

MICROORGANISMO AEROBIO. Organismos que pueden vivir o desarrollarse en presencia de oxígeno o en ausencia de oxígeno.

NATURACIÓN. Tratamiento técnico con vegetación, especialmente adaptada para superficies edificadas horizontales, verticales o inclinadas con el objeto de obtener una capa multifuncional sobre dichas superficies, obteniendo beneficios ambientales, sociales y económicos.

OSCILACIÓN TÉRMICA. Diferencia entre la temperatura más alta y la más baja registrada en un lugar o zona urbana en un período de tiempo.

PERENNE. Plantas cuyas hojas viven más de dos años. Se usa para nombrar a las plantas cuyo follaje se mantiene verde en todas las estaciones del año.

PÉRGOLA. Elemento de tipo estructural y arquitectónico que está compuesto por un corredor flanqueado por un determinado número de columnas que soportan el peso de unas vigas longitudinales que unen las columnas en cada uno de sus lados y otras transversales que unen ambos lados y sostienen un enrejado abierto.

PODA. Supresión de cualquier parte de la planta (hojas, ramas, raíces, yemas, flores) con el fin de obtener un objetivo de seguridad, estética o desarrollo de la planta.

PRODUCTO ORGÁNICO. Productos agrícolas sin aditivos químicos ni sustancias de origen sintético. Uso de técnicas no contaminantes para la obtención de alimentos.

SETOS. Asociación de arbustos y árboles con una función delimitadora de espacios en jardines que ayudan a aislar visualmente determinadas áreas o a resaltar composiciones de plantas.

SISTEMA PASIVO DE CLIMATIZACIÓN. Acondicionamiento ambiental mediante procesos naturales como el sol, el viento y las características propias de los materiales de construcción.

SUELO. Medio natural para el crecimiento de las plantas.

SUSTRATO. Suelo de dos o más materiales que se combinan en diferentes mezclas y proporciones para llenar envases o espacios en donde se llevarán a cabo plantaciones.

TANQUE DE TORMENTAS. Infraestructura que consiste en un depósito dedicado a retener y capturar el agua de lluvia, sobretodo cuando hay precipitaciones muy intensas.

ANEXO A

Programa MathCad

La selección del Programa MathCad para el ingreso de los datos y ecuaciones para la realización del Método Cuantitativo de Cálculo Térmico basado en la Metodología del Dr. Diego Morales, se hizo en base a la propuesta de utilizar un programa o herramienta que fuera accesible en su utilización y que permitiera de manera ágil y rápida obtener los resultados requeridos sin tener que aprender sintaxis complicadas para manejarlo.

MathCad es un programa o herramienta pensado para la realización de Cálculos Técnicos.

Permite en un solo documento combinar cálculos, gráficos, texto e imágenes.

MathCad es más intuitivo de usar, las ecuaciones se escriben y se ven como si estuvieran escritas en el papel. Simplemente al escribir las ecuaciones, aparece el resultado inmediato que es interpretado por MathCad.

De manera muy similar a otros programas como Excel, en MathCad se trabaja también con Hojas de Trabajo.

Cualquier Ecuación que se escribe en la Hoja de Trabajo es interpretada por MathCad.

MathCad **comprende qué operación debe efectuar primero y ajusta las barras de fracción, paréntesis y otros símbolos** para mostrar las ecuaciones como si las viéramos en un libro.

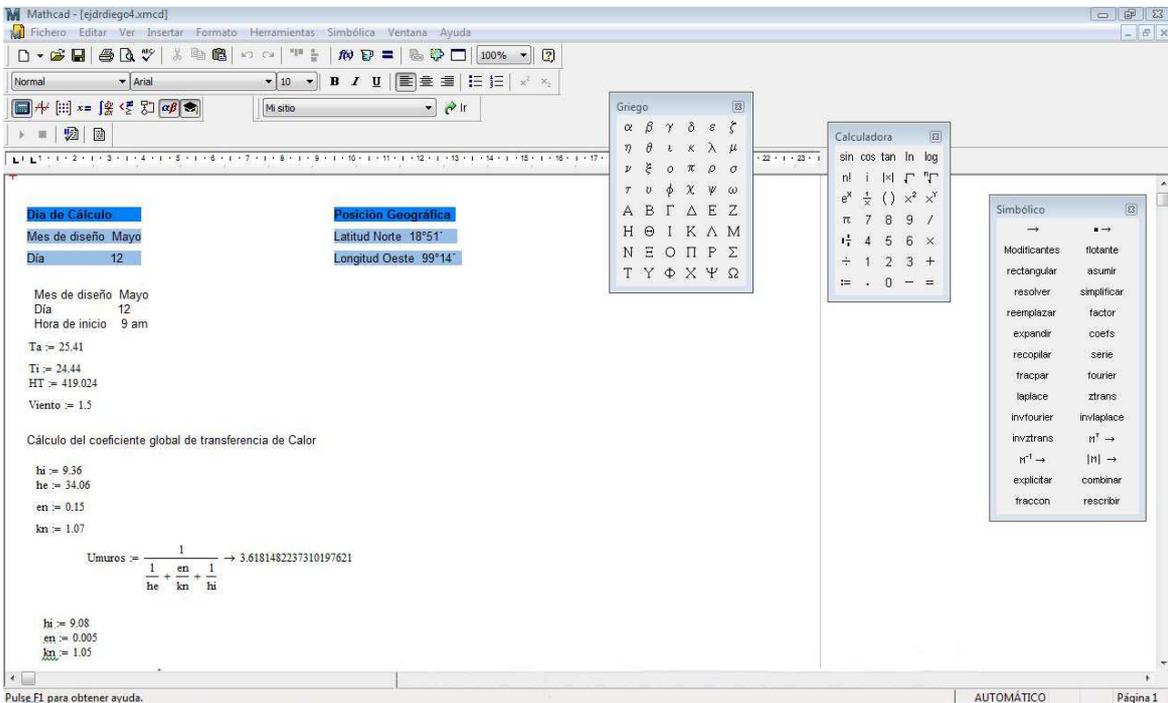
Las ecuaciones una vez que se escriben en las Hojas de Trabajo, pueden ser editadas pulsando en ellas e introduciendo nuevos caracteres u operadores.

La forma en que **MathCad trabaja y vincula las ecuaciones, es por medio de la definición de variables y funciones.**

Los **variables en las Hojas de Trabajo se definen de arriba abajo y de izquierda a derecha.** Una vez que se define una variable **se pueden efectuar cálculos con ella en cualquier lugar por debajo y a la derecha de la definición.**

MathCad puede realizar cálculos simbólicamente, en donde el resultado de una expresión es por lo general otra expresión; y esto implica que MathCad comprueba primero todas las variables y funciones que conforman la expresión que se va evaluar, para ver si se han definido anteriormente en la Hoja de Trabajo y entonces el resultado es evaluado simbólicamente.

Es por esto que se hizo una plantilla en donde se definirían las principales variables a utilizar y posteriormente se dio paso a escribir las distintas ecuaciones utilizadas en el Cálculo Térmico basado en la Metodología del Dr. Diego Morales cuyos resultados son cálculos simbólicos que pueden ser comprobados por el programa y así son modificados a lo largo de todo el resto de las ecuaciones.



Ventana de trabajo Programa MathCad con barras de herramientas y plantilla de Cálculo Térmico

ANEXO B

Tablas de Evaluación Térmica por Horas

CALCULO TÉRMICO CON SISTEMA MODULAR O INDIRECTO EN LA AZOTEA EN JUNIO

hora de inicio	Temperatura ambiente °C	Radiación Solar Global HT	Humedad Relativa	Viento	QLOAD	Temperatura interior °C
08:00	20.0	343.18	61	2.2	- 62.32	21.6
09:00	24.1	473.06	51	5.8	1725.08	21.59
10:00	27.3	575.75	42	9.4	3219.34	21.68
11:00	29.5	641.42	36	8.5	27125.06	21.84
12:00	30.5	664.0	34	11.2	31374.40	23.26
13:00	30.6	641.42	34	10.7	14719.31	24.91
14:00	29.9	575.75	35	11.2	21441.50	25.68
15:00	28.7	473.06	38	9.4	2573.83	26.80
16:00	27.3	343.18	42	11.2	1223.98	26.93
17:00	25.6	199.56	46	11.6	56.36	26.99
18:00	24.0	60.93	51	8.0	-1181.29	26.99
19:00	22.4	0.00	55	8.9	- 2170.16	26.92
20:00	21.0	0.00	59	7.2	- 2816.52	26.80
21:00	19.7	0.00	62	3.1	- 3358.72	26.65
22:00	18.5	0.00	65	3.1	- 3879.08	26.47
23:00	17.5	0.00	68	0.4	- 4189.83	26.26
00:00	16.7	0.00	70	1.3	- 4550.06	26.0
01:00	16.0	0.00	72	2.2	- 4790.49	25.76
02:00	15.4	0.00	73	3.1	- 4937.37	25.50
03:00	14.9	0.00	75	5.4	- 5077.91	25.23
04:00	14.5	0.00	76	1.3	- 5121.78	24.96
05:00	14.2	0.00	76	2.2	- 15547.76	24.69
06:00	13.4	60.93	79	1.3	- 11234.66	23.87
07:00	16.0	199.56	72	1.3	-7201.00	23.27

CALCULO TÉRMICO EN LA AZOTEA SIN NATURACIÓN EN JUNIO

hora de inicio	Temperatura ambiente °C	Radiación Solar Global HT	Humedad Relativa	Viento	QLOAD	Temperatura interior °C
08:00	20.0	343.18	61	2.2	1219.68	19.21
09:00	24.1	473.06	51	5.8	2899.79	19.27
10:00	27.3	575.75	42	9.4	30961.03	19.43
11:00	29.5	641.42	36	8.5	29403.85	21.19
12:00	30.5	664.0	34	11.2	33238.55	22.86
13:00	30.6	641.42	34	10.7	26947.17	24.75
14:00	29.9	575.75	35	11.2	19310.84	26.28
15:00	28.7	473.06	38	9.4	6961.01	27.38
16:00	27.3	343.18	42	11.2	878.47	27.77
17:00	25.6	199.56	46	11.6	-303.07	27.82
18:00	24.0	60.93	51	8.0	-1545.60	27.80
19:00	22.4	0.00	55	8.9	-2534.37	27.71
20:00	21.0	0.00	59	7.2	-3180.11	27.56
21:00	19.7	0.00	62	3.1	-3704.61	27.38
22:00	18.5	0.00	65	3.1	-4190.72	27.16
23:00	17.5	0.00	68	0.4	-4556.78	26.92
00:00	16.7	0.00	70	1.3	-4824.69	26.65
01:00	16.0	0.00	72	2.2	-5065.12	26.37
02:00	15.4	0.00	73	3.1	-5184.76	26.08
03:00	14.9	0.00	75	5.4	-5315.17	25.78
04:00	14.5	0.00	76	1.3	-5340.18	25.47
05:00	14.2	0.00	76	2.2	-16350.88	25.16
06:00	13.4	60.93	79	1.3	-11559.98	24.22
07:00	16.0	199.56	72	1.3	-7366.83	23.55

CALCULO TÉRMICO CON SISTEMA MODULAR O INDIRECTO EN LA AZOTEA EN DICIEMBRE

hora de inicio	Temperatura ambiente °C	Radiación Solar Global HT	Humedad Relativa	Viento	QLOAD	Temperatura interior °C
08:00	4.3	191.61	74	0.9	- 5242.07	18.0
09:00	9.2	338.52	62	0.9	-2176.27	17.72
10:00	14.4	461.49	49	2.2	536.31	17.60
11:00	18.6	542.68	38	2.7	3363.83	17.62
12:00	21.6	571.0	31	3.1	7065.28	17.79
13:00	23.0	542.68	28	5.4	10998.34	18.16
14:00	23.3	461.49	27	5.4	60122.30	18.73
15:00	22.6	338.52	29	12.1	3607.07	21.89
16:00	21.2	191.61	32	12.1	-2825.03	22.08
17:00	19.4	47.03	37	13.4	-11075.86	21.93
18:00	17.4	0.00	42	12.5	-17985.08	21.34
19:00	15.3	0.00	47	12.5	- 2227.16	20.39
20:00	13.3	0.00	52	12.5	- 3083.42	20.27
21:00	11.5	0.00	56	10.7	- 3813.68	20.10
22:00	9.8	0.00	60	4.9	- 4483.18	19.89
23:00	8.4	0.00	64	5.8	- 4886.31	19.65
00:00	7.1	0.00	67	2.7	- 5480.13	19.39
01:00	6.0	0.00	70	1.3	- 5832.89	19.10
02:00	5.1	0.00	72	0.9	- 6078.82	18.79
03:00	4.3	0.00	74	1.3	- 6320.93	18.46
04:00	3.7	0.00	75	0.4	- 6405.25	18.12
05:00	3.2	0.00	77	0.4	- 8533.54	17.78
06:00	2.8	0.00	78	0.4	- 8480.11	17.33
07:00	1.4	47.03	81	0.9	-11535.33	16.88

CALCULO TÉRMICO EN LA AZOTEA SIN NATURACIÓN EN DICIEMBRE

hora de inicio	Temperatura ambiente °C	Radiación Solar Global HT	Humedad Relativa	Viento	QLOAD	Temperatura interior °C
08:00	4.3	191.61	74	0.9	- 3402.61	14.4
09:00	9.2	338.52	62	0.9	-389.80	14.20
10:00	14.4	461.49	49	2.2	2570.18	14.17
11:00	18.6	542.68	38	2.7	7442.65	14.31
12:00	21.6	571.0	31	3.1	11007.29	14.73
13:00	23.0	542.68	28	5.4	16197.25	15.35
14:00	23.3	461.49	27	5.4	90188.65	16.27
15:00	22.6	338.52	29	12.1	5730.80	21.42
16:00	21.2	191.61	32	12.1	506.01	21.74
17:00	19.4	47.03	37	13.4	-807.85	21.76
18:00	17.4	0.00	42	12.5	-19860.08	21.71
19:00	15.3	0.00	47	12.5	- 24169.19	20.57
20:00	13.3	0.00	52	12.5	- 27647.35	19.18
21:00	11.5	0.00	56	10.7	- 2652.33	17.60
22:00	9.8	0.00	60	4.9	- 3300.33	17.44
23:00	8.4	0.00	64	5.8	- 3859.04	17.25
00:00	7.1	0.00	67	2.7	- 4316.49	17.02
01:00	6.0	0.00	70	1.3	- 4694.71	16.77
02:00	5.1	0.00	72	0.9	- 4952.50	16.50
03:00	4.3	0.00	74	1.3	- 5192.44	16.21
04:00	3.7	0.00	75	0.4	- 5289.00	15.91
05:00	3.2	0.00	77	0.4	- 7051.63	15.60
06:00	2.8	0.00	78	0.4	- 7047.01	15.19
07:00	1.4	47.03	81	0.9	-9595.66	14.78

DESEMPEÑO TÉRMICO EN LA AZOTEA CON SISTEMA MODULAR Y SUSTRATO 1 (JUNIO)

hora de inicio	Temperatura ambiente °C	Radiación Solar Global HT	Humedad Relativa	Viento	QLOAD	Temperatura interior °C
08:00	20.0	343.18	61	2.2	- 62.32	21.6
09:00	24.1	473.06	51	5.8	1725.08	21.59
10:00	27.3	575.75	42	9.4	3219.34	21.68
11:00	29.5	641.42	36	8.5	27125.06	21.84
12:00	30.5	664.0	34	11.2	31374.40	23.26
13:00	30.6	641.42	34	10.7	14719.31	24.91
14:00	29.9	575.75	35	11.2	21441.50	25.68
15:00	28.7	473.06	38	9.4	2573.83	26.80
16:00	27.3	343.18	42	11.2	1223.98	26.93
17:00	25.6	199.56	46	11.6	56.36	26.99
18:00	24.0	60.93	51	8.0	-1181.29	26.99
19:00	22.4	0.00	55	8.9	- 2170.16	26.92
20:00	21.0	0.00	59	7.2	- 2816.52	26.80
21:00	19.7	0.00	62	3.1	- 3358.72	26.65
22:00	18.5	0.00	65	3.1	- 3879.08	26.47
23:00	17.5	0.00	68	0.4	- 4189.83	26.26
00:00	16.7	0.00	70	1.3	- 4550.06	26.0
01:00	16.0	0.00	72	2.2	- 4790.49	25.76
02:00	15.4	0.00	73	3.1	- 4937.37	25.50
03:00	14.9	0.00	75	5.4	- 5077.91	25.23
04:00	14.5	0.00	76	1.3	- 5121.78	24.96
05:00	14.2	0.00	76	2.2	- 15547.76	24.69
06:00	13.4	60.93	79	1.3	- 11234.66	23.87
07:00	16.0	199.56	72	1.3	-7201.00	23.27

DESEMPEÑO TÉRMICO EN LA AZOTEA CON SISTEMA MODULAR Y SUSTRATO 2 (JUNIO)

hora de inicio	Temperatura ambiente °C	Radiación Solar Global HT	Humedad Relativa	Viento	QLOAD	Temperatura interior °C
08:00	20.0	343.18	61	2.2	- 1579.98	21.6
09:00	24.1	473.06	51	5.8	1768.97	21.5
10:00	27.3	575.75	42	9.4	3262.43	21.6
11:00	29.5	641.42	36	8.5	4341.39	21.7
12:00	30.5	664.0	34	11.2	4808.73	21.9
13:00	30.6	641.42	34	10.7	6112.83	22.2
14:00	29.9	575.75	35	11.2	5543.97	22.5
15:00	28.7	473.06	38	9.4	24296.84	22.8
16:00	27.3	343.18	42	11.2	16672.50	24.0
17:00	25.6	199.56	46	11.6	3560.15	24.9
18:00	24.0	60.93	51	8.0	-4270.38	25.1
19:00	22.4	0.00	55	8.9	- 10723.96	24.9
20:00	21.0	0.00	59	7.2	- 11961.03	24.3
21:00	19.7	0.00	62	3.1	- 7312.90	23.7
22:00	18.5	0.00	65	3.1	- 8704.83	23.3
23:00	17.5	0.00	68	0.4	- 2511.65	22.8
00:00	16.7	0.00	70	1.3	- 2857.35	22.7
01:00	16.0	0.00	72	2.2	- 3162.40	22.5
02:00	15.4	0.00	73	3.1	- 3342.53	22.4
03:00	14.9	0.00	75	5.4	- 3532.02	22.2
04:00	14.5	0.00	76	1.3	- 3590.25	22.0
05:00	14.2	0.00	76	2.2	- 10820.52	21.8
06:00	13.4	60.93	79	1.3	- 8118.71	21.2
07:00	16.0	199.56	72	1.3	-4452.23	20.8