



Universidad Autónoma del Estado de México.

Facultad de Arquitectura y Diseño.

Tesis de Maestría en Diseño.

Presenta: Arq. José Luis Torres Quintana.

Tema: “Techos vivos en Toluca, una propuesta de aprovechamiento de agua pluvial y mejoramiento medio-ambiental”.

Tutor: Dr. en Arq. René L. Sánchez Vértiz Ruíz.

Fecha: Marzo/2016.

“ Techos vivos en Toluca”

Tutor de Tesis: Dr. en Arq. René L. Sánchez Vértiz Ruíz.

Tutor Adjunto: Dra. Susana Bianconi Bailez.

Tutor Revisor: Mtro. Andrés Salvador Galindo Bianconi.

Tutor Lector: Dra. Graciela Noemí Grenón Cascales.

Tutor Lector: Dr. Ignacio Mendiola Germán.

Dedicatorias:

A mi esposa María de Guadalupe, por su respaldo y constante apoyo.

A mis hijos Luis Israel, José Alberto y Violeta Karina.

A mis nietos Mariel, Luis Alberto, Edgardo, Luisa Fernanda y América Alejandra.

A mis padres y hermanos.

A mis amigos Ramón y Ezaú.

A mis camaradas ausentes.

Agradecimientos:

A la **Universidad Autónoma del estado de México**, por el voto de confianza para volver a estudiar un posgrado después de tantos años de ejercicio profesional.

A mi FAD, por la oportunidad de cristalizar un sueño largamente acariciado.

A mi tutor Dr. en Arq. René L. Sánchez Vértiz Ruiz por su orientación y apoyo incondicional a mi tema.

A mis Tutores, revisores y lectores por su aportación en mi trabajo, su paciencia y tolerancia.

Al CONACYT por su apoyo económico y la oportunidad brindada.

Al Observatorio Meteorológico Mariano Bárcena, en especial a Emilio Rangel.

A manera personal, el realizar una tesis de maestría con el tema que nos aborda, definitivamente y a fuerza de decir la verdad, ha sido de un trabajo excepcional, dadas las circunstancias personales que me han motivado a seguir estudiando después de muchos años de haber egresado de la carrera, desde reiniciar el hábito de estudiar hasta la necesidad de actualizarme técnicamente en cuestiones computacionales, pasando por el aprendizaje, lectura de libros y artículos relacionados al tema, la aceptación en la maestría, la asistencia a clases, presentación de trabajos y coloquios, también cuestiones de salud y sobre todo, porque no decirlo, de algunos tropiezos en el transcurso de dicho proceso de maestría, pero, de todo ello se ha experimentado y aprendido, enriqueciendo cada vez más el acervo de conocimientos personales de nuestra profesión, lo cual, nunca acabaré de agradecer a nuestra Universidad y en especial a nuestra Facultad, la oportunidad concedida de que he sido objeto en mi persona. Gracias infinitas.

Índice.

Capítulo:

Introducción:

<u>I: Antecedentes</u>	Pág. 8
1.1.-La vida en el planeta.....	Pág.8
1.2.-Historia de la naturación urbana.....	Pág.8
1.3.-La Naturación en Europa.....	Pág.11
1.4.-Las cubiertas vegetales en el siglo XX.....	Pág.14
1.5.-Calentamiento Global.....	Pág.16
Conclusiones del capítulo I.....	Pág.21
<u>II: Fundamento teórico</u>	Pág.22
Marco Teórico.	
2.1.-Planteamiento del problema.....	Pág.22
2.2.- Objetivos de la investigación.....	Pág.24
2.3.-Hipótesis.....	Pág.25
2.4.- Preguntas de investigación.....	Pág.26
2.5.- Metodología seleccionada y aplicada al proyecto.....	Pág.26
2.6.-La naturación urbana.....	Pág.27
2.7.- Hacia lo sustentable.....	Pág.28
Conclusiones del capítulo II.....	Pág.29
<u>III: Factores geográficos y climáticos</u>	Pág.31
3.1.-Concepto de naturación.....	Pág.31
3.2.-Ventajas y desventajas de las azoteas verdes.....	Pág.31
3.2.1.- En el sector privado.....	Pág.31
3.2.2.-En el sector público.....	Pág.32

3.3.- El clima en Toluca.....	Pág.33
3.3.1.- Entorno.....	Pág.33
3.3.2.-Contaminación Atmosférica. Calidad del aire. Polución.....	Pág.38
3.3.3.-Isla de Calor Urbano.....	Pág.39
3.3.4.- Control y manejo de Lluvia.....	Pág.40
3.3.5.- Emisiones antropogénicas.....	Pág.41
3.3.6.- Clima, Vientos.....	Pág.42
3.4.- Desempeño térmico.....	Pág.45
3.4.1.- Confort higrotérmico.....	Pág.45
3.4.2.-Metabolismo y Confort.....	Pág.46
Conclusiones del capítulo III.....	Pág.49
<u>IV: Los techos vivos</u>	Pág.51
Definición.....	Pag.51
4.1.- Tipos de Azoteas Verdes.....	Pág.53
4.1.1.-Extensivas.....	Pág.53
4.1.2.-Semi-intensiva.....	Pág.53
4.2.3.-Intensivas.....	Pág.53
4.2.- Diseño de cargas en una azotea verde.....	Pág.55
4.3.- Normatividad.....	Pág.57
4.3.1.-Normas y reglamentos de construcción.....	Pág.57
4.4.- Las plantas. Variedades a utilizar: (Facultad de Agronomía).....	Pág.58
4.4.1.-Suculentas, crasas, aloes y cactáceas.....	Pág.60
4.4.2.-Variedades nativas.....	Pág.66
4.4.3.-Arbustos, Hierbas y Pastos.....	Pág.67
4.4.4.-Suelos y Sustratos.....	Pág.76

4.4.5.- Diseño de sustrato para experimento de naturación.....	Pág.82
4.4.6.- Composta y lombri-humus.....	Pág.89
Conclusiones del capítulo IV.....	Pág.93
<u>V: Instalación y mantenimiento</u>	Pág.95
5.1.-Biodiversidad.....	Pág.95
5.2.- El agua, Fotosíntesis y la Transpiración.....	Pág.96
5.3.-Características de los Materiales.....	Pág.100
5.4.-Riego, poda y fertilización.....	Pág.107
5.5.- Costos.....	Pág. 109
5.6.-Captación, Control, y manejo de agua pluvial.(Enfasis de tesis).....	Pág. 110
5.7.-Experimentación y resultados.....	Pág.114
5.7.1.-Experimento de Captación, control y manejo de agua pluvial.....	Pág.115
5.7.2.-Experimento de naturación de plantas en maqueta.....	Pág.119
5.7.3.-Experimento con tableros (palets).....	Pág.122
5.8.- Conclusiones generales de la tesis.....	Pág.127
<u>Bibliografía</u>	Pág.130
Figuras.....	Pág.132
Cuadros.....	Pág.137
Anexos.....	Pág.138

CAPITULO I: ANTECEDENTES.

1.1.- La vida en el planeta.

Desde el origen del hombre,

Es de sorprender que dentro de las esferas tendientes a la sustentabilidad, en las ciudades se genere cada vez más el daño al medio ambiente ocasionado por el aumento poblacional, producto de la migración campo-ciudad, generando con ello asentamientos humanos sin ninguna planeación, causando fenómenos como el efecto isla de calor, gases de efecto invernadero, urbanización forzada de áreas anteriormente destinadas a la agricultura y la consecuente instalación de drenajes sanitarios y pluviales (cuando existen) mal planeados o insuficientes motivando la falta de permeabilidad de agua pluvial al subsuelo, la falta de empleo o sub-empleo, el hacinamiento y una serie de problemas urbanos cada vez en aumento, ya que en la actualidad más del 70% de la población mundial vive en zonas urbanas, siendo esto el principal problema que amenaza a la tierra impactando de manera considerablemente el medio ambiente en una contaminación global superior al 75% (Ruano,2008:7) del suelo, aire, agua y particularmente la reflexión solar incidiendo directamente en la capa de ozono, lo que contribuye al cambio climático a nivel global,utilizando más del 70% de la energía consumida por la humanidad.

La incorporación de vegetación al sistema urbano genera beneficios en las tres esferas de acción de la sustentabilidad, la social, la económica y la ambiental, debiendo ser de manera holística. En la parte social, mejorando la calidad de vida de los habitantes de las ciudades creando ambientes más confortables para la convivencia, el desarrollo de actividades deportivas y la generación de identidad y comunicación. En la parte ambiental, describir los múltiples beneficios de la vegetación al mitigar los efectos urbanos que interfieren con el medio natural, tales como mejorar la temperatura, disminuir el ruido, mejorar la imagen urbana y como auxiliar para evitar inundaciones. En el aspecto económico, al mejorar la calidad ambiental de las ciudades se genera un beneficio social en sus habitantes elevando su calidad de vida y revaluando el suelo ya que obtiene mayor plusvalía en estas zonas de la ciudad (Galindo y Victoria,2012: 100).

1.2.-Historia de la Naturación Urbana.

Antecedentes:

La palabra “Naturación” viene de la terminología latina “natura” que significa naturaleza en su sentido más amplio. En este trabajo lo incorporaremos como “acción de incorporar o fomentar la naturaleza en nuestra vida cotidiana”. Son exponentes definitivos la recuperación de la flora y la fauna autóctonas de una manera aceptable y coherente, buscando la viabilidad de llegar a lo sostenible. (Briz,2004:7).

Según la publicación de la Universidad de Chapingo “Naturación urbana, un desafío a la urbanización” la naturación urbana es la tarea de “incorporar vegetación al medio urbano con el objeto de amortiguar el desequilibrio entre la urbanización y la conservación del medio

ambiente".(<http://www.redalyc.org/pdf/629/62927563004.pdf>). Naturar es dotar o incorporar de vegetación al espacio construido, o colocar vegetación donde antes no la había, en un espacio urbano. (Urbano-López,2013:1)

Actualmente los proyectos de edificación ya incluyen, para los requerimientos de naturación en el soporte de azoteas verdes, que el cálculo estructural tenga una mayor tolerancia de peso, básicamente basados en la norma establecida en la ciudad de México en la cual, según el artículo 8 de especificaciones técnicas de proyecto y ejecución para cubiertas naturadas, inciso 8.1 de requerimientos mínimos a satisfacer, entre otros, puntos referentes a la *Estabilidad y Resistencia mecánica, Impermeabilidad, Resistencia de la acción de las raíces sobre la estructura, Seguridad civil en las maniobras*. (Gaceta oficial del Distrito Federal,2008:16-17)

En primer lugar vemos que el impacto de la naturación de forma socio-económica en la población urbana y en las entidades públicas y privadas, no es del todo bien aceptada, por lo que tenemos que analizar el efecto costo-beneficio del sistema. La naturación de azoteas es un proceso artificial que genera un costo, por lo que requiere de trabajo, imaginación e inversión, ya que se deben rehacer las características propias de la naturaleza, replicando hasta donde sea posible, las condiciones que esta otorga a las plantas para su correcto desarrollo. (López, 2010: 5)

En segundo lugar se requieren las participaciones técnicas de un grupo interdisciplinario para su aplicación. Desde la arquitectura bioclimática, pasando por especialistas en contaminación, botánica, sustratos, bio-electromagnetismo hasta especialistas en sistemas de impermeabilización, teniendo como común denominador la naturación urbana con énfasis en las azoteas verdes y muros vivos, debiendo medir los parámetros más significativos para analizar los datos con objetividad para hacer una propuesta de naturación adecuada a las condiciones climáticas del lugar. Se debe hacer un planteamiento global del impacto que la naturación genera en el medio socio-económico de la población y las acciones a desarrollar para evaluar los efectos costo-beneficio así como incentivar a los propietarios de inmuebles beneficiados con estos sistemas de naturación. (Briz,2004:9).

Una gran parte de la ciudadanía requiere de buenas condiciones medio-ambientales o sea, lograr que la naturaleza, sacrificada por una planificación inadecuada y especulativa con el suelo, recupere el espacio perdido en el constante crecimiento de las grandes manchas urbanas, resarciendo a la naturaleza, parte del terreno arrebatado por este efecto de crecimiento desordenado, siendo de una manera muy significativa la implementación de la naturación urbana en superficies planas horizontales e inclinadas (cubiertas ecológicas), superficies verticales (muros vivos), la naturación en contenedores y en suelos naturales, los cuales cada vez son menos.

En las ciudades, más que en cualquier otro lugar, existe un déficit de áreas verdes que de alguna manera podría subsanarse con la implementación de sistemas de naturación, según la opinión del miembro de la Generación verde, Jorge Escutia, maestro en ciencias, financiado por CONACYT en el 2015. La organización mundial de la salud OMS recomienda una superficie de áreas verdes públicas de diez metros cuadrados mínimos y de 15 metros cuadrados máximos por habitante, siendo que estas proporciones son menores en las ciudades. Se puede calcular esta proporción ya sea por

zona, barrio, colonia e incluso por un determinado grupo de manzanas calculando los metros cuadrados de áreas verdes en estas zonas y contando la densidad poblacional de las mismas, incluso basándonos en los últimos datos censales, resultando que en promedio por familia existen cuatro miembros por ejemplo, resultan insuficientes los 18 metros cuadrados que autoriza el reglamento del libro quinto de desarrollo urbano para este rubro.(Galindo y Victoria.2012:103)

La idea de lograr una sociedad ecológica supone un compromiso social con una serie de prioridades entre las que podemos mencionar las siguientes:

+ Sostenibilidad en la vida social.

Ahorro energético.

Reciclado y reutilización de productos y materiales.

Protección medioambiental.

Reducción al mínimo de recursos naturales no renovables.

Consecución de un ambiente saludable y de máxima longevidad para sus habitantes.

Conservación, reciclado y ahorro del agua.

Estímulo de negocios a través de pequeñas y medianas empresas.

Naturación urbana y rural.

+ Educación.

Estímulo a la formación comunitaria colaborando con otros grupos sociales.

Impulso a los estudios medioambientales y de protección a la naturaleza.

Espíritu de justicia medioambiental.

Mantenimiento de centros de formación e información ciudadana en el área ecológica.

+ Desarrollo socio-económico.

Facilitar espacio suficiente para la expansión y crecimiento dentro de una óptica de sostenibilidad.

Sensibilidad ante el beneficio-coste de las medidas ecológicas, incorporando nuevos parámetros tales como impacto mediambiental y beneficios y externalidades de la naturación.

Disponer de centros de asistencia técnica y financiera que actúen como viveros de empresas con un enfoque ecológico.

Estimular las acciones que analicen los problemas más significativos de la sociedad, para lo cual se requiere de una adecuada combinación de acciones entre las instituciones públicas, el sector privado y los centros universitarios de investigación.

En toda sociedad existe el deseo de mejorar el medio que la rodea, por lo tanto y principalmente en el medio urbano, existe una demanda creciente de lo ambiental, propiciando un nuevo encuentro con la naturaleza. (Briz, 2004: 67).

1.3.- La naturaleza en Europa.

La idea de la naturaleza urbana y específicamente de las cubiertas ecológicas, no es nueva. En los siglos XXII-XXV A. de C. en Ur, los zigurats (templos en forma de torre o pirámide escalonada) de Etemaki y Namná, desarrollaban construcciones de plataformas superpuestas que giraban sobre sí mismas hasta adoptar las cuatro orientaciones, donde sembraban arbustos. Se tiene conocimiento de los jardines colgantes de Babilonia en el siglo VI A. de C. construidos por el rey Nabucodonosor II, los cuales estaban soportados por arcos de piedra y ladrillo e impermeabilizados con carrizo y alquitrán y bañado finalmente con plomo para evitar que la humedad de la tierra de cultivo transminara y llegase a la cubierta, las cuales soportaban todo tipo de plantas e incluso, árboles de elevado porte (López, 2010:10).

Los romanos también incluyeron en sus palacios y mausoleos azoteas jardinadas para adorno y esparcimiento. Sin embargo, estas ostentaciones estaban limitadas a construcciones sólidas capaces de soportar la sobrecarga de estos jardines intensivos con plantas, árboles y grandes capas de sustratos (Briz,2004:18).

Siglos antes, en territorio escandinavo (hoy Dinamarca, Finlandia, Noruega, Islandia y Suecia) y debido a las condiciones adversas de los climas septentrionales, el uso de las cubiertas vegetales originarias de las aldeas vikingas, que se asentaban cerca de praderas donde conseguían la materia prima para sus techos, práctica que ha sobrevivido hasta nuestros días con una técnica constructiva consistente en madera espaciada con cortezas de abedul, alquitrán, roca y turba en capas de 6 a 8 centímetros de espesor dándole a las construcciones una protección duradera de 20 a 30 años en buenas condiciones.

Durante la colonización de Norteamérica, más específicamente en Columbia Británica, tuvo mucho auge la ocupación de tierras debiéndolas trabajar por un lapso de cinco años y por la escasez de madera construían las casas bajo la corteza de la tierra constituyendo el techo el pasto mismo o la hierba encima de una estructura de madera plana cubierta con lodo, pero resultaba bastante insalubre por la proliferación de humedad e insectos. (López.2010:12)

En *Copenhague*, la ciudad más grande de Dinamarca, se han caracterizado por ser pioneros siempre en temas medio-ambientales y eco-sustentable. Reconocidos por su fuerte inclinación al transporte en dos ruedas, hoy nos sorprenden con una nueva ley que obliga a los propietarios de azoteas a tener algún tipo de vegetación sobre ellas. Las metas que pretende esta primera ley es mejorar el hábitat y ahorrar el consumo de energía ya que existen planes de cubrir de vegetación las viejas azoteas de la ciudad con la finalidad de llegar a tener carbono neutral para el año 2025. Copenhague es la segunda ciudad en el mundo con una legislación sobre azoteas verdes, después de Toronto, Canadá, la cual implementó una ley similar que ha generado 1.2 millones de metros cuadrados verdes en desarrollos comerciales, institucionales y habitacionales, generando un ahorro energético de más de 5 millones de kw/h para los propietarios de dichos edificios.

Los beneficios verdes de las azoteas son notables ya que absorben hasta el 80% del agua de lluvia ayudando a resolver los problemas de inundación producidos por tormentas así como la saturación momentánea de las redes de drenaje pluvial, reducen las temperaturas urbanas (Efecto Isla de Calor), protegen de los rayos ultravioleta UV a los edificios y los cambios bruscos de temperatura aumentando al doble la vida útil que tendría una azotea sin protección. También sirven para sembrar y cultivar frutas, verduras, flores y pastos.

En la actualidad, Copenhague posee alrededor de 20,000 metros cuadrados de azoteas verdes donde es posible implementar esta idea. Existen al menos 30 edificios con techos verdes y se prevé que la nueva ley incrementará anualmente 5,000 metros cuadrados de techos verdes en las nuevas construcciones, es por eso que Copenhague ostenta el título actual de Ciudad Verde Europea 2014 el cual reconoce a Copenhague como "una ciudad que está realizando importantes esfuerzos para mejorar el entorno urbano y para proporcionar una forma más saludable y sostenible de vivir", en base a algunas acciones, siendo entre las más importantes:

A).- El 36% de los habitantes usa el transporte público y el 55% usa la bicicleta para ir a trabajar, a la escuela o a la universidad.

B).-La calefacción del distrito se suministra al 98% de los hogares.

C).- El 90% de los residuos de la construcción se reutiliza.

D).-Hubo una reducción del 24% en las emisiones de carbono entre 2005 y 2014.

E).-El 96% de los habitantes viven a 15 minutos a pie de una zona de recreo.

F).-Copenhague ha sido votada dos veces como la ciudad más habitable del mundo por la revista *Monocle* (en 2008 y 2013).

G).- En el 2008, el tren urbano de la ciudad fue nombrado como "El mejor metro del mundo".

En Suiza, por ejemplo, también ya es obligatorio el implemento de azoteas verdes en todos los edificios nuevos. (Eco-habitar, 2014).

La ciudad de *Barcelona* incentivará para que las azoteas verdes tengan usos comunitarios y ambientales, donde “Las subvenciones cubrirán hasta el 50% del costo de las obras, con un límite de hasta 60,000 euros. El alcalde de Barcelona, Xavier Triás, ha anunciado este martes 25 de noviembre del 2014, que el consistorio pondrá en marcha un plan de ayuda para que las azoteas de la ciudad tengan usos energéticos, medioambientales y comunitarios”.

Hasta entonces, los vecinos podían acceder a ellos y era común tomar el sol o el fresco, hacer verbenas, tender la ropa y acoger palomares, y ahora, el consorcio quiere que las azoteas vuelvan a tener un uso comunitario, pero adaptadas a las necesidades del siglo XXI.

Según Xavier Triás, son un buen lugar para acoger sistemas generadores de energía limpia, huertos urbanos y zonas verdes, para de esta forma, contribuir a reducir la emisión de dióxido de carbono (CO₂).

“No es lógico que en una ciudad mediterránea”, la gran mayoría de las azoteas estén cerradas y no tengan ningún uso, ha explicado el alcalde, mientras que Vives ha explicado que si todos los terrados se recuperasen, se lograría una superficie útil equivalente a dos veces el distrito de Eixample.

Según los cálculos del consorcio, el 67% de las azoteas de Barcelona podría acoger instalaciones de aprovechamiento de energía y agua, pequeñas zonas verdes y huertos urbanos y tener uso comunitario.

La normativa actual establece que las decisiones en una comunidad de propietarios deben tomarse por unanimidad, de acuerdo con el consejo de agentes de la propiedad, se está impulsando en el Parlamento una reforma del Código Civil para que sea necesaria una mayoría simple y no el acuerdo de todos los vecinos.

Los edificios municipales de nueva planta, ya sean para oficinas o bloques de edificios protegidos, contarán con azoteas comunitarias, así se está haciendo en la nueva biblioteca del barrio de Vallbona, que contará con una cubierta verde con césped.

Las subvenciones cubrirán hasta el 50% del coste de las obras con un límite de hasta 60,000 euros y Puigdollers ha dicho que el consorcio el consiente de que se trata de una estrategia a “largo plazo” y que se irá implantando progresivamente. (Jardines Verticales y Cubiertas vegetales Jueves 27 de noviembre del 2014, Blog).

1.4.- Las cubiertas vegetales en el siglo XX.

Debido a la revolución industrial y la invención de nuevos materiales de construcción como el concreto y los derivados del petróleo como el chapopote utilizado como impermeabilizante sobre estos techos, transformó los procedimientos constructivos actuales. Desde la utilización de terrados a base de vigas de madera, loseta de barro, una capa gruesa de tierra, una capa de ladrillo rojo en forma de petatillo impermeabilizado con una solución de alumbre, hasta el uso de la cubierta plana de cartón impermeabilizante descansada sobre un entablado de madera donde se disponían rollos de cartón impregnados de alquitrán garantizando la impermeabilización, rematandola con una capa de arena o grava pasando de las pesadas planchas de plomo antiguas a las láminas flexibles derivadas de materiales como la hulla y después con asfalto.

El socialismo marxista de finales del siglo XIX y principios del XX supone un reto al movimiento verde: La prioridad a la industrialización, el crecimiento económico, la centralización de la administración y la lucha de clases, es una marcha atrás en los conceptos verdes. A principios y mediados del siglo XX, para ser exactos en 1964, Lewis Mumford, sociólogo, historiador y urbanista estadounidense llamado “El último humanista del siglo XX”, en la publicación de su libro “El mito de la máquina”, denunciaba que las ciudades modernas y sus alrededores no satisfacían las necesidades de sus pobladores. La gran metrópoli requería una gran inversión de capital e imponía unos elevados medios de transporte. Las zonas periurbanas perjudicaban el paisaje y no tenían autonomía económica ni cultural.

De una manera más popular se inicia en el siglo XIX una línea urbanística europea que incorpora la azotea en los proyectos, facilitando, en un nuevo espacio vital multiuso, desde reuniones familiares, tendederos y, más recientemente, bosques de antenas de televisión. En el siglo XX se habla de ciudades-jardín y la planificación bio-regional y continúa la tendencia a la implantación de la teoría de la Cubierta de jardín, siendo en 1927 **Le Corbusier** (Charles Edouard Jeannerete-Gris) uno de sus más fervientes defensores, al publicar los “Cinco puntos para la nueva arquitectura” entre los cuales comenta que “ la planta ocupada por la vivienda debe ser reintegrada a la naturaleza en forma de jardín en la cubierta del edificio, convirtiendo este espacio en un ámbito aprobechable para el esparcimiento, que además permite mantener las condiciones de aislamiento térmico sobre las nuevas losas de hormigón”. Fue él quien empezó a usar las azoteas verdes más sistemáticamente desde 1920, el inconveniente es que las implementaba sólo en las azoteas de los edificios de clientes ricos y pudientes. Gracias a su visión se incrementó en la ciudad de París una gran parte de azoteas verdes con fines recreativos. Aún existe en la actualidad una azotea construida en el departamento de Londres, tienda Derry and Tomy, construida en los años treinta, con una gran variedad de jardinería temática propagada en cerca de 6,000 metros cuadrados.(Nigel and Kingsbury,2008: 8).

Los aspectos más importantes que Le Corbusier propuso en la mayoría de sus proyectos son:

- 1.-*La planta sobre pilotes*, argumentando que la planta baja, a nivel del suelo, debe ser para el automóvil y circulación peatonal.
- 2.-*La planta libre*, que a partir de una estructura de concreto independiente de pilares en la que se apoyan las losas y cerramientos en los diferentes niveles.
- 3.- *La fachada libre*, la cual es la culminación del plano libre en el plano vertical, liberando a la fachada de su función estructural permitiéndole libertad en su función con respecto de la estructura.
- 4.-*La ventana alargada*, que al igual que el punto anterior, libera los muros exteriores pudiendo ser la ventana de todo el ancho de la construcción, mejorando la relación con el exterior y permitiendo mejor asoleamiento a los espacios interiores.
- 5.-*La terraza-jardín*, naturando la cubierta de las construcciones devolviendo de esta manera, el espacio arrebatado a la naturaleza para el desplante de la misma.

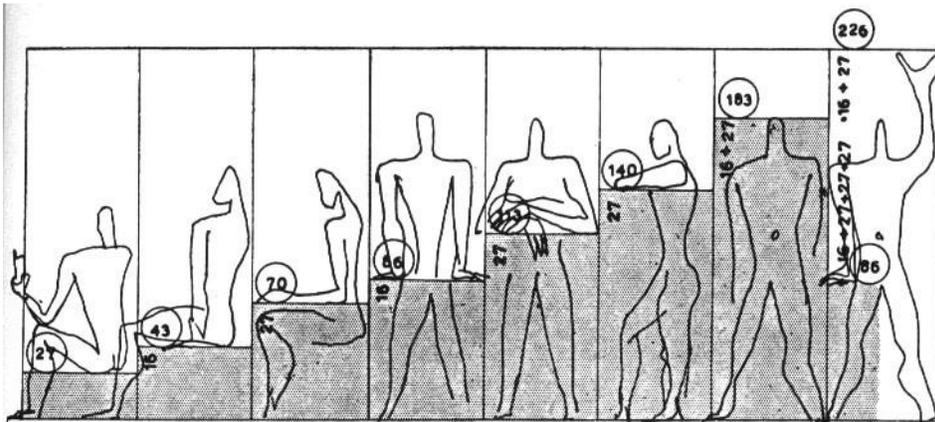


Figura 1.-El modulor.Sistema de Medidas antropométricas publicado por Le Corbusier en 1948.

La mejora en los materiales de construcción como el hormigón, los aislantes, los impermeabilizantes y los sistemas antirraíces, permiten aportar soluciones cada vez más prácticas al sistema de azoteas verdes . Este tipo de naturación va extendiéndose progresivamente, aunque en su parte intensiva sigue apareciendo como un sistema costoso y de cierta ostentación contemplándose hasta ahora, como un beneficio personal, limitado a un cierto número de personas.

Los nuevos planteamientos nos hablan de una naturación extensiva a gran escala, que permita ejercer un efecto beneficioso sobre el conjunto urbano, aprovechando lo que en la mayoría de los casos constituyen los espacios muertos, desaprovechados, como son las cubiertas, planas o

inclinadas. La ampliación de zonas verdes intercomunicadas viene constituyendo lo que los especialistas denominan grupos de biotopos. La ciudad está configurada por un sinnúmero de tipos de construcción y a su vez depende de las condiciones climáticas, disponibilidad de materiales, tradición, cultura, capacidad técnica y económica, entre otros. Como ejemplo nos referiremos a la cubierta como el asiento de naturación extensiva, siendo las cubiertas inclinadas en países con abundante lluvia o nieve de características como los del centro y norte de Europa, donde las condiciones climatológicas han permitido la implantación de especies vegetales en las mismas, en forma de pradera, que además de aislamiento térmico e impermeabilizante, permite el paso de animales de poco peso, siendo un apoyo a la biodiversidad local que, aunado a optimizar la conservación energética y mejora ambiental, resulta una práctica ideal (Briz,2004:19).

1.5.-Calentamiento Global.

Cada vez resulta más evidente que la emisión de gases de efecto invernadero generadas por el hombre (emisiones antropógenas) están afectando el clima del planeta. Durante el último siglo se registraron incrementos en la temperatura global que no son explicables en su totalidad por causas naturales, trayendo consigo cambios que van desde el aumento en el nivel del mar hasta alteraciones en el comportamiento de los animales y se espera un mayor calentamiento y modificaciones aún más importantes en el futuro. La solución al problema y sus consecuencias debe involucrar a todos los países, tomando en cuenta sus diferentes condiciones y capacidades.

En el marco de la convención de las Naciones Unidas para el cambio climático que fue negociado en 1998, pretende que 37 países desarrollados reduzcan sus gases de efecto invernadero (GEI) en un 5% para el año 2012 con respecto a sus niveles de emisión del año 1990. El acuerdo detalla cómo se puede alcanzar este objetivo a través de metas legalmente vinculadas que cada país desarrollado decida a nivel doméstico. Los alcances de este acuerdo han sido muy limitados ya que, los Estados Unidos, principal productor de estos gases, no respetó ni firmó dicho acuerdo. (Protocolo de Kyoto,1998: 4).

Como país en desarrollo, México no tiene ninguna obligación de reducción de gases bajo los acuerdos del protocolo de Kyoto, no obstante, dado que las emisiones nacionales se incrementan cada año, Greenpeace considera que México, así como otros países en desarrollo deben asumir compromisos de reducción para después del 2012 y antes del 2020.

De la Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático aprobada en New York el 9 de mayo de 1992 cuyo fin del protocolo es promover el Desarrollo Sostenible cumpliendo los compromisos cuantificados de limitación y reducción de emisiones, se mencionan los siguientes compromisos:

Artículo 2 del protocolo:

+ Promoción de prácticas sostenibles de gestión forestal, forestación y reforestación.

- + Promoción de modalidades agrícolas de acuerdo al cambio climático.
- + Promoción y desarrollo de nuevas formas de energía renovable.
- + Reducción progresiva de gases de efecto invernadero y no controlados por el protocolo de Montreal (2006), referente a las sustancias que agotan el Ozono (que contienen Cloro y Bromo) clorofluorocarburos e hidroc fluorocarburos.
- + Controlar los gases de efecto invernadero en la producción, transporte y energía.
- + Limitar o reducir los gases de efecto invernadero no controlados por el protocolo como los producidos por los transportes aéreo y marítimo.

Artículo 3: Este artículo habla principalmente de la financiación, los seguros y la transferencia de energía, e indica entre otras cosas:

- + El cambio de uso en la tierra y la Silvicultura.
- + Las emisiones antropógenas, derivadas de la combustión de combustibles fósiles, hidrofluorocarburos, perfluorocarbónicos y hexafluoruro de azufre.

Respecto a qué se ha hecho últimamente con respecto a tomar decisiones para mitigar o disminuir el cambio climático del planeta, comento lo siguiente, en orden cronológico inverso:

- + El 4 de agosto del 2015 se reunió el Sr. Ban Ki-moon, secretario general de la ONU con el presidente de E.U. Barak Obama en Washintong D.C. para hablar de una serie de temas importantes a nivel mundial, entre ellos, el del cambio climático global.
- + Se llevó a cabo del 1 al 12 de diciembre del 2014 en Lima, Perú, la reunión cumbre sobre el cambio climático, en la XX conferencia de las partes cuyo objetivo fue concluir un acuerdo provisional mundial para reducir la emisión de gases de efecto invernadero.
- + Ese mismo día China se comprometió a limitar su pico de emisiones de CO₂ antes del año 2030 y consumir el 30% de energía limpia ese mismo año.
- + En esa fecha, Estados Unidos se comprometió a reducir sus emisiones del 26-28% al mismo año y financiar energías limpias. Se comprometió a donar 3,000 millones de dólares para el fondo Verde del Clima (GCF).
- + El 28 de octubre del 2014, la Unión Europea se comprometió a reducir la emisión de gases de efecto invernadero en un 40% para el año 2030 con respecto al año 1990 y que el 27% de la producción energética, sea de fuentes renovables.

+ Perú se comprometió a tener 0% de deforestación para el año 2021 y obtener el 60% de su energía procedente de fuentes renovables.

+ A finales del 2011, se adoptó un mecanismo financiero en la Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático con el fin de conseguir mitigar y adaptar el cambio climático en la comunidad internacional, buscando un equilibrio entre ambos objetivos. (O.N.U. 2010)

Gases de efecto invernadero: La temperatura de un planeta está definida por su masa, la distancia con respecto al sol y la composición de su atmósfera, que, en el caso de la tierra, está compuesta por 78% de Nitrógeno, 21% de Oxígeno y 1% de otros gases, entre ellos los de efecto invernadero, entre los que se encuentran, principalmente :

Bióxido de Carbono (CO₂) originado por la combustión de combustibles fósiles.

Metano (CH₄) originado por la agricultura y los gases de los animales.

Óxido Nitroso (N₂O) que es un componente de los fertilizantes.

Hidrofluorocarburos (HFC) sustancia contenida en los refrigerantes.

Perfluorocarburos (PFC) componente de los conductores de calor.

Hexafluoruro de Azufre (SF₆) componente de los aislantes.

Estos tienen la capacidad de retener la parte de la radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre, manteniéndola así aún más caliente de lo que estaría en su ausencia, lo que ocasionaría que la temperatura media fuera de -20 grados centígrados.

Hasta ahora han sido 141 naciones las que han ratificado el acuerdo pero, en el 2004 dándose la condición de que con los países que respaldan el protocolo, se suman ya el 61.6% de las emisiones totales más los que han emitido su voto de apoyo desde esa fecha.

Según la Agencia Internacional de Energía 2014, México, con 118 millones de habitantes, emite un 1.37% de las emisiones globales de CO₂, que es considerado uno de los gases de efecto invernadero que ocasionan el cambio climático. (Protocolo de Kyoto, 1998: 21).

La teoría de **La Gaia** (Diosa de la tierra en griego) que significa “*una nueva visión de vida sobre la tierra*” fue desarrollada por el químico James Lovelock en 1969 y propone: “*Dadas unas condiciones especiales que hicieron posible el inicio de la vida en el planeta, ha sido la propia vida la que las ha ido modificando y que por lo tanto, las condiciones resultantes son consecuencia y responsabilidad de vida de quien lo habita*”. En base a esta hipótesis, Lovelock dice que el cambio climático es ya inevitable pero aún no es demasiado tarde para salvarnos. Asegura que Gaia es: “Un conjunto de modelos científicos de la biósfera que postula que la vida fomenta y mantiene unas condiciones adecuadas para sí misma, afectando a su entorno”. Esto es que, la Atmósfera y la Tierra auto-regulan sus condiciones esenciales como temperatura, química y salinidad de los océanos, siendo

que es un sistema auto-regulador que tiende al equilibrio afirmando que la **Biomasa** autorregula las condiciones del planeta para hacer su entorno físico más hospitalario con las especies que lo conforman, afirmando la existencia de un sistema de control global de la temperatura, composición atmosférica y salinidad oceánica en base a que:

- + La temperatura global de la superficie de la tierra ha permanecido constante a pesar del constante incremento de la energía proporcionada por el sol.
- + La composición atmosférica permanece constante aunque debiera ser inestable.
- + La salinidad del océano permanece constante.

Gran parte de todo esto es por el **Albedo** que es la capacidad de los cuerpos de reflejar la radiación solar incidente en su superficie, calculada en razón de la radiación reflejada contra la radiación incidente. (La Gaia, 1969.)

En un artículo publicado por Elian Mireille Martínez Gómez, **“Te quiero verde”**, auspiciado por CONACYT, agencia informativa, de fecha 10 de diciembre del 2014 en México, D.F. se comenta lo siguiente: En diversos edificios de la ciudad de México, en zonas como Reforma o Polanco, se aprecia la implementación de muros verdes los cuales poseen flora que le imprime una estética ambiental a la capital del país, además de brindar beneficios ambientales y económicos. Los muros y techos verdes se han convertido en una forma sustentable de diseños atractivos para edificios gubernamentales y de iniciativa privada, cuya tecnología tuvo sus orígenes en Alemania entre los años 40 y 50 del siglo pasado. El nombre técnico para estos sistemas de aislamiento térmico es *naturación de azoteas* o *muros vegetales* y brindan diferentes beneficios. Por ejemplo, en el aspecto ambiental absorben el bióxido de carbono (CO₂), disminuyen partículas suspendidas, aumentan el nivel de oxígeno y humedad, además de generar un microclima, disminuir el efecto de calor y funcionar como aislantes acústicos. En el aspecto económico, los techos y muros verdes ayudan a disminuir los gastos de aire acondicionado, evidenciándose principalmente en las regiones con mayor temperatura en el país. Al respecto, el Ingeniero Pablo Monterrubio, director de la empresa Proyecto Tierra, comentó en diciembre del 2014 : *“El impacto que tienen los muros o techos verdes en el norte del país, al tener temperaturas muy altas, se presenta en ahorros de casi el 50 por ciento en cuentas de aire acondicionado, las cuales ascienden a miles de pesos”*. (CONACYT, agencia informativa. 2014)

En la ciudad de México se cuenta con la norma NADF-013-RNAT-2007 publicada en la gaceta oficial del Distrito Federal el 24 de diciembre del 2008, la cual señala las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación. Para incrementar la instalación de techos o muros verdes en la capital mexicana, la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (SEDEMA), en coordinación con la Secretaría de Finanzas, otorgaron un beneficio fiscal del 10 por ciento en la reducción del impuesto predial.(Norma ambiental. 2008).

El ingeniero Monterrubio explicó que el contar con un techo verde contribuye a disminuir la impermeabilización, ya que esta se hará cada 20 años; además se puede diseñar un techo verde con plantas aromáticas o téis, las cuales podrían venderse para obtener un ingreso extra. Agregó que este sistema no se trata de “macetitas en el techo” ni tampoco es similar a la hidroponía, ya que los techos verdes cuentan con un sustrato el cual retiene poca humedad y es liviano, lo que permite el crecimiento de las raíces.

La azotea más grande en Latinoamérica está ubicada en el edificio del Instituto del Fondo Nacional para la Vivienda de los Trabajadores (Infonavit), ubicado en el sur de la ciudad de México, el cual cuenta con una pista para corredores, zonas recreativas, captación de agua pluvial e incluso invernadero. (CONACYT, agencia informativa, 2014).

Un estudio revela que las cubiertas verdes en los edificios pueden reducir hasta el 50% el consumo energético. La escuela técnica de ingeniería Agronómica y del medio natural de la Universidad Politécnica de Valencia, a través de su Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria y la empresa Projar, dedicada al desarrollo y comercialización de productos y soluciones medio-ambientales han realizado un estudio cuya principal conclusión es que las cubiertas verdes tienen un gran potencial en climas como el mediterráneo, ya que pueden ahorrar entre un 20 y un 50% del consumo energético necesario para la refrigeración de un edificio.

De acuerdo con el trabajo, encargado por la empresa al Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria de la ETSIAMN, la instalación de cubiertas verdes en los edificios y naves industriales tiene “numerosos beneficios”, tanto para los propietarios de la instalación como para su entorno, según ha informado la escuela en un comunicado.

En esta línea, tanto la responsable de comunicación de la empresa, Miriam Carretero, como el coordinador del proyecto en la escuela, Nacho Díez, cuya labor ha consistido en una revisión de experiencias internacionales sobre los “beneficios ambientales” que aportan las cubiertas verdes, en conclusión les ha llevado a asegurar que comienza a existir una base científica y técnica que evidencia las ventajas de implantar estos sistemas en climas como el nuestro.

Asimismo, estas cubiertas vegetales mitigan el efecto “isla de calor” y permiten mejorar la salud y la calidad de vida de los habitantes de zonas urbanas, gracias a la mejoría de la calidad del aire.

La Nueva piel de nuestros edificios: Otra de las ventajas que presenta el estudio es que la instalación de cubiertas verdes sobre los edificios ayuda a evitar riesgos ambientales como las inundaciones que se producen en ámbitos urbanos, ya que estos sistemas permiten la retención temporal del agua de lluvia y su liberación progresiva, con lo que se evita así el peligro que generan los picos de escorrentía sobre superficies impermeables.

Además, pueden generar una mejora en el paisaje urbano y aumentar el aislamiento acústico de los edificios. “Las cubiertas verdes pueden convertirse en una nueva piel de nuestros edificios, una dermis que se superponga a la arquitectura, protegiéndola, regulando el intercambio de materia y

energía con el entorno y mejorando la calidad ambiental de nuestras ciudades”, ha explicado el coordinador del proyecto en la escuela.

Por su parte, Carretero ha confirmado que han elaborado este estudio para “corroborar con datos internacionales y con diferentes climatologías, los efectos positivos de las cubiertas vegetales que nosotros, por nuestra experiencia ya conocíamos contando con el aval de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y del Medio Natural de Valencia, por su trayectoria”. (Europa Press, 2014).

CONCLUSIONES DEL PRIMER CAPÍTULO.

Hemos podido darnos cuenta de que la naturación es un vínculo estrechamente ligado a la naturaleza, que es la vida misma, la esencia de nuestro planeta, es todo lo que nos rodea, todo lo que percibimos con los sentidos, todo lo que existe en nuestro entorno y el de todos los seres vivientes del planeta. A partir del siglo XIX en que se inició la Revolución Industrial, la contaminación ambiental, que incluye tierra, agua y aire, se ha depredado en forma irracional. El incremento de la población mundial así como el crecimiento desmedido y sin planeación de las grandes ciudades, ha dado como resultado, los problemas ambientales y climáticos que padecemos hoy en día. Las conclusiones del primer capítulo básicas del deterioro son:

- El aumento mundial de la población es la causa principal de los problemas actuales ya que esta ha aumentado de 1,000 millones en el año 1800 a 6,000 millones en el 2000, y a octubre del 2011 ha rebasado los 7,000 millones, con los consecuentes problemas que esto implica como alimentación, salud, empleo, habitación, organización política y social y varios puntos más, los cuales como consecuencia han originado la actual crisis mundial, tanto a nivel energético y de recursos como de subsistencia.
- La industrialización mundial, forzada por la necesidad de suministrar bienes y servicios a esa creciente población, y la consecuente obtención de energía, aunado al auge petrolero, eléctrico y de otros recursos, ha venido a colapsar la disponibilidad de recursos a nivel mundial.
- La deforestación ocasionada por el crecimiento desmedido de las ciudades y zonas urbanas así como el cambio de uso de suelos anteriormente agrícolas a habitacionales y de servicios, degeneró en la reducción de fuentes de creación de oxígeno, crecimiento de áreas duras que no permiten la filtración de agua pluvial al subsuelo, el incremento de las islas de calor y por consecuencia, la afectación de la capa de ozono y el cambio climático.
- La obtención de recursos, materia prima y materiales, el proceso de industrialización al que están sometidos para su utilización, transformación y acondicionamiento, implica todo un proceso de transformación en el cual se gastan recursos y energía, lo cual hace un producto más costoso, así como la generación de basura y su destino final.

CAPITULO II: POLÍTICAS Y ESTRATEGIAS DE IMPLEMENTACIÓN.

Marco Teórico.

2.1.-Planteamiento del problema.

Como se comentó anteriormente, a partir de la revolución industrial iniciada hacia los albores del siglo XIX, se observa un desequilibrio entre la urbanización creciente de las ciudades y el medio ambiente. En la segunda mitad de este siglo se incrementa considerablemente el aumento poblacional en las ciudades debido a la industria, centros de trabajo, escuelas, etcétera, siendo este en forma desordenada y anárquica. Esta población aumentó en cinco veces hacia el año 2011, calculando que para el año 2020 el 85 de la humanidad estará viviendo en centros urbanos ocasionando urbes desbordadas, degradadas y empobrecidas, con una numerosa población muy vulnerable ya que las ciudades no están planeadas para acoger este crecimiento descontrolado lo cual se observará en el desequilibrio ecológico, energético, de recursos, de materia orgánica y residuos, problemas de habitabilidad, de salud y sociales. (Urbano, 2013. Redalyc).

Los centros urbanos y ciudades son contaminadas por el Bióxido de carbono CO₂ produciendo un calentamiento a la atmósfera y el incremento de efecto invernadero por la falta de circulación de aire, la emisión de gases de efecto invernadero, la falta de filtración de agua pluvial al subsuelo, la disminución de la humedad relativa y el aumento de la escorrentía superficial, los asentamientos humanos a los márgenes de la ciudad exponiéndose a deslaves e inundaciones repentinas. El ciclo de residuos presenta un aumento de residuos sólidos urbanos ricos en materia orgánica perdiéndose la fertilidad de las tierras agrícolas por la salinización. Debido al desequilibrio entre la planificación y crecimiento, aparecen deficiencias entre la ocupación del suelo, desapareciendo las áreas verdes y agrícolas para dar paso a la urbanización con deficiencias en las condiciones higiénicas, formales, constructivas, estéticas y de uso de edificios ocasionando hambre, pobreza, explotación, criminalidad, prostitución, consumo de drogas y falta de atención a niños, hacinamiento, entre otras.(Nigel and Dunnett, 2008: 27).

Hacia una sociedad sustentable.

Los problemas ambientales y como están afectando al planeta y a la humanidad, son analizados por Víctor M. Toledo en su libro *“Ecología, Espiritualidad y Conocimiento”*, donde respecto al tema trata de crear conciencia de la grave crisis global que para muchos es ya una situación sin salida, rumbo a una catástrofe en una “sociedad de riesgo” en donde analiza dos ejemplos: El primero es el ejercicio de “Producción de café de sombra en Puebla” y el segundo es “Gestión del presupuesto en el estado de Río Grande do Sul, en Brasil” en los cuales debe formar un modelo social alternativo para enfrentar la utopía del sistema social vigente y modificarlo o sustituirlo, basado en un *“desarrollo industrial sin la menor conciencia de la degradación tan terrible que le están causando a*

los recursos no renovables del planeta en su entorno, sin consideración alguna para las futuras generaciones". (Toledo, 2003: 11).

En su propuesta de "Sociedad Sustentable", Toledo acude a un principio pre-modernista de "Espiritualidad" de gran importancia en los pueblos indígenas, manifestando también la sabiduría de tiempos antiguos de que la naturaleza, antes de que Descartes y Bacon llegara a declarar que la naturaleza está al servicio del hombre y que este debe conocer las leyes de la naturaleza para dominarla, teniendo como consecuencia, el problema global actual. Toledo habla de la sabiduría antigua acerca de la relación hombre-naturaleza citando a Lao-Tsé, argumentando que el hombre bueno o consiente solo toma de la naturaleza el fruto de ella sin violentar nada para obtener más, destacando la vocación de conquista y dominio que ejerce el hombre sobre el espacio exterior y la clonación humana, sintiéndose autorizado para modificar la vida misma gastando en ello infinidad de recursos que se podrían ocupar en otros menesteres, lo cual, no es ético. Si la sabiduría antigua conservaba la relación hombre-naturaleza era porque consideraba al hombre, parte de ella y participando en esta, la respetaba y veneraba. En lugar de ver el hombre su papel de cuidador y conservador de todo lo que le rodea, asumió el papel de "Rey de la Creación" como amo y señor de la naturaleza que, aunado a la "Civilización" tecnológica, ha depredado su entorno con los resultados actuales. Esta relación de la naturaleza sigue estando en el origen del problema, que es un asunto medular que no solo deben debatir los pensadores y humanistas para construir una sociedad sustentable, pero desgraciadamente las personas que sirven dentro del "sistema" y los grandes capitalistas e industriales le niegan la importancia que debe tener la "Civilización Industrial" en el complejo deterioro de nuestro entorno. (Toledo, 2003: 65).

Toledo opina que es de vital importancia modificar la ética de la sociedad actual de vivir el "aquí y ahora" sin importarle el mundo futuro, requiriendo cambios no solo en la ciencia, la técnica, la economía y la política, sino un cambio en la mente del hombre donde tenga una solidaridad y compromiso con todo lo que lo rodea, hombres, animales, plantas, ambiente y todos los seres vivos que lo acompañan a habitar nuestra casa, la tierra. Se necesita una *nueva conciencia* para revertir ese cambio en una sociedad inmersa en una crisis de valores universales. El autor hace responsable de esta crisis a la moderna Civilización Industrial por la crisis ecológica por la que estamos pasando, la cual es profunda y global poniendo en riesgo la supervivencia de la humanidad, lo que es un hecho único en la historia de la tierra, ocasionando la desaparición de la especie humana tomando en consideración las calamidades que estamos padeciendo como inundaciones, efecto invernadero, contaminación del agua, aire y suelo por la industrialización, disminución de la reserva de agua dulce, deforestación y la consecuente desaparición de especies animales, adelgazamiento de la capa de ozono, derretimiento de los polos, heladas intensas y un amplio etcétera, los cuales, cada vez que se presentan, alcanzan más significación y con modalidades que nos están afectando cada vez más y no es algo abstracto, sino toda una realidad.

Marx decía: "Que muera el hombre, no la especie" obligándonos a pensar en su principio. El autor llama "Conciencia de especie" siendo esto la piedra angular a una "Ecología sustentable"

encendiendo los focos rojos de una alarma para prevenir a la raza humana del urgente cambio de vida en su producción y forma de consumo intolerable y desmedido. (Toledo, 2003: 17).

2.2.-Objetivos de la investigación.

Objetivos generales.

Una preocupación cada vez más creciente en todos los gobiernos del mundo, es que, aunada al cambio climático global y sus consecuencias, estas se manifiestan cada vez con mayor frecuencia y más cantidad en sequías, deforestaciones, olas de calor, ciclones, huracanes y lluvias torrenciales. En este último rubro, este trabajo de tesis intenta aportar lo siguiente:

- A través de la implementación de azoteas verdes en la ciudad de Toluca, realizar una propuesta de naturación con la finalidad de captar y retener las caídas en columna de precipitación al suelo duro de la zona urbana y evitar las escorrentías a los drenajes municipales, liberando esta precipitación retenida de forma más lenta para evitar la saturación y colapso de los drenajes y cárcamos municipales.
- En base a los resultados, hacer una propuesta de sustrato idóneo para poder captar, retener y filtrar de forma lenta, la precipitación pluvial caída en un lapso corto de tiempo, tratando de evitar la saturación y daño al sistema de colectores municipales.

Esto se logrará con un método experimental que captará la caída de agua en un determinado periodo de tiempo, midiendo la cantidad de precipitación y la retenida, el tiempo de retención y liberación, la temperatura antes y después de la precipitación, el peso de estas y la propuesta de un sustrato idóneo para plantas suculentas y herbáceas.

- Se elaborará una maqueta a tamaño natural de 2.20 X 2.20 en la cual se propondrá la naturación de algunas variedades propuestas, tanto inducidas como nativas, aunque estas últimas se desarrollarán en un área extensiva creada para este fin. Observaremos y registraremos el desarrollo de las mismas integrando la información de las que se desarrollaron eficientemente y las que no alcanzaron su desarrollo y explicar las causas de esto. Al final, obtendremos conclusiones de estos experimentos.

Objetivos Particulares.

Estos están basados en que, después de ejercer la profesión por más de 20 años de trabajo profesional en el ámbito privado, a estas alturas de mi vida y después de algunas experiencias desagradables de salud, he decidido aprovechar el tiempo y obtener la escolaridad y conocimiento que no logre en mi época estudiantil. Una idea que tengo es que *“el conocimiento nunca ha estado peleado con la edad”*. Es más, no cabe la comparación pero, las personas que han trascendido en el quehacer científico, literario, musical, creativo y en general, de aportación de obras talentosas y de

utilidad a la sociedad, lo han hecho ya entrados en años en sus vidas laborales y de estudios. Claro, existen sus excepciones.

Por mi parte deseo ofrecer mi trabajo en una temática que implica un problema que nos aqueja actualmente a nivel global como lo son la depredación del medio ambiente, la contaminación atmosférica y el cambio climático, pero principalmente la problemática que cada vez nos afecta más que es la mayor caída de precipitación pluvial en un menor rango de tiempo, ocasionando los problemas de construcción, desazolve y mantenimiento de la red municipal de drenaje, con el consiguiente gasto y molestias ocasionadas a la población, todo esto a través de una práctica que, aunque es milenaria, se ha tecnificado en las últimas décadas como alternativa de mitigación para los problemas antes mencionados, como lo es la naturación, pero ahora ya en el plano urbano.

2.3.-Hipótesis.

Pregunta General de Hipótesis.

¿Es posible que a través de la implementación de azoteas verdes se logre controlar la caída de agua pluvial en columna y se mitigue la descarga de estas al sistema de drenaje de la ciudad, aliviando el desfogue de escurrimientos hacia su destino final?

Una hipótesis es una alternativa que busca explicar fenómenos por medio de una conjetura o suposición verosímil que luego será probada a partir de la comprobación de hechos.

La hipótesis del tema que estamos tratando es una hipótesis de investigación descriptiva, ya que se toman las variables de un determinado contexto donde podrán ser observadas en presencia de algún fenómeno o acontecimiento.

2.4.-Preguntas parciales de investigación.

La sociedad actual tiene la obligación de producir los implementos, productos y servicios que requiera para su sostenimiento sin poner en riesgo los recursos que demandarán las futuras generaciones y garantizando el suministro de estos. La conservación de recursos privilegia la reducción de residuos generados en el ciclo de vida de un producto. Sabemos que a partir de los sismos de 1985, los cuales obligaron a gran parte de la población asentada en la cuenca del Distrito Federal, a buscar asentarse en otras ciudades perimetrales a la ciudad de México, como Cuernavaca, Puebla, Tlaxcala, Pachuca, Querétaro y, obviamente la ciudad de Toluca, trayendo consigo una serie de situaciones para las cuales no estaba preparada la capital del Estado de México, como asentamientos humanos irregulares, el aumento de la mancha urbana, un repentino crecimiento poblacional y sobre-oferta de mano de obra y su demandante oportunidad de empleo, generando, entre otras situaciones, ocupar áreas anteriormente destinadas a la agricultura, jardinería y forestal, urbanizando cada vez más área impermeable de rodamiento vehicular, la

producción masiva de vivienda que en la mayoría de las ocasiones, se desarrolló sin ninguna planeación, sin proyecto y sin permisos por parte de las autoridades.

Este fenómeno desencadenó otro aún igual o más preocupante. El aumento del parque vehicular, tanto particular como de servicio colectivo, generando con esto una mayor emisión de bióxido de carbono. Lo lastimoso de esto son dos cosas: La primera que se otorgaron concesiones por parte de la Secretaría del Transporte del Estado de México (Hoy Secretaría de Movilidad) sin control alguno, aumentando escandalosamente el parque vehicular en nuestra zona urbana. Y Segundo, que la mayoría del transporte público circula, según las rutas autorizadas, por el centro de la ciudad de Toluca. Efectivamente, en horas pico de transporte de personas de sus hogares a centros de trabajo, oficina, fábricas y escuelas, en totalmente justificable pero, el resto del día es lastimoso observar filas interminables de autobuses formados sobre las avenidas importantes de nuestra ciudad, como Avenida Morelos, Lerdo o Juárez, llevando tan solo dos, tres o cuatro pasajeros, o algo similar con los taxis, ya sea de sitio o de libre circulación, y nos damos cuenta de ello cuando, en un alto de semáforo, vemos que hay cuatro autos particulares y de seis a ocho autos de alquiler.

En base a los fenómenos anteriormente citados, es válido hacer los siguientes cuestionamientos:

Primera pregunta: ¿Al reducirse el área permeable de suelo natural y aumentarse las superficies duras y asfaltadas, la precipitación pluvial tiene *menor infiltración al subsuelo* y por tanto *mayor cantidad de escurrimiento*, lo que ocasiona un gran deterioro al drenaje colector municipal, principalmente en la zona noroeste de la ciudad?

Segunda pregunta: ¿Por ser devastada la masa vegetal de la ciudad, y pasar a ocupar suelo duro, los rayos solares ya no tienen refracción, o sea, absorción del suelo natural, y son reflejados en su mayoría, aumentando el *efecto Isla de Calor* en nuestra ciudad?

Tercera pregunta: Una vez efectuados los efectos de las preguntas anteriores, ¿es de comprender que existe *menor producción de oxígeno* y por tanto *menor calidad del aire* en la zona urbana?

Cuarta pregunta: ¿Es posible que, a través de la naturación urbana, en todos sus variables, podamos ya no detener, sino mitigar los efectos de los problemas anteriormente expuestos, en beneficio de los habitantes de nuestra ciudad?

2.5.-Metodología seleccionada y aplicada al proyecto.

El **enfoque** de mi investigación es de **tipo cuantitativo** ya que analiza diversos elementos que pueden ser medidos y cuantificados, en el cual intervienen, entre otras, las siguientes actividades: medición de fenómenos, utilización de estadísticas, empleo de experimentación y análisis de causa-efecto de estos fenómenos. En general de utiliza el **método deductivo** por estar basado en la *lógica* y la *razón*, fundamentado en la razón pura asociada al trabajo científico que intentará demostrar parte de un conocimiento establecido en la teoría a través de la recolección de datos para

probar la hipótesis en base a la observación y medición numérica y elaboración de conclusiones del experimento.

2.6.- La naturación Urbana.

Es obligación de todos los gobiernos, en sus tres niveles, promover e incentivar a la población a base de concientización y aportación de conocimientos a través de asesoría técnica y respaldo económico para la adquisición e implementación del producto y la tecnología, para que se vea incrementada la demanda de azoteas verdes en un tiempo razonable. (Briz, 3003: 98).

La preocupación política y social por el medio ambiente y en especial por la polución atmosférica en las grandes urbes, es evidente. La salud es un concepto fundamental y se comienza a unir dicho concepto asociado al de la naturaleza. (Briz,2004:115).

En el sector de naturación urbana, un papel muy importante en la construcción de azoteas verdes lo juega los proyectistas, ingenieros, arquitectos y técnicos que intervienen en la implementación de las mismas, ya que todos ellos asesoran a usuarios y compradores en el proyecto específico acorde a las necesidades y características de un determinado tipo de cubierta ecológica para cada construcción en función de ciertas variables como ubicación del edificio, configuración del entorno, el uso y finalidad del edificio, necesidades térmicas, materiales, cargas y resistencias, diseño técnico y artístico, disponibilidad económica, necesidades y deseos del cliente, etc.(Briz,2004:118).

En 1987, la Comisión del Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas definía al Desarrollo Sostenible como aquel “que aborda las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de futuras generaciones para satisfacer sus necesidades”. Posteriormente la denominada “Cumbre de la Tierra” de Río, en 1992, adoptaba a través de la Agenda 21, un plan global de acción que tenía varios escenarios, desde lo más general a lo particular. (Briz, 2004.65).

El crecimiento global debe orientarse de manera que se concedan igual de oportunidades a las generaciones actuales y a las venideras, estableciendo las bases para diseñar los indicadores para la viabilidad de la especie humana.

La utilización de recursos por las acciones humanas y la consecuente generación de elementos contaminantes, han sobrepasado lo que es físicamente aceptable. En las próximas décadas debe realizarse una significativa reducción en el consumo de energía y recursos naturales o, de lo contrario, se produciría un descenso inevitable en las disponibilidades per cápita de estos recursos.

Sin embargo, hay posibilidades de actuar para evitar este sombrío futuro. Dejando a un lado las políticas económicas consumistas aunado a un planteamiento de incremento de eficacia. Esto es, reducir a la mitad el consumo y duplicar los rendimientos, logrando una “sociedad sostenible” tanto económica como técnicamente. Esta transición no será fácil, se deben organizar reajustes que hagan compatibles los objetivos a corto, mediano y largo plazo, donde los principios de equidad y calidad de vida deben combinarse con la eficiencia siendo esto, una cuestión de actitud ante la vida.

La combinación de intereses públicos y privados en la mejora del medio ambiente, requiere de un esfuerzo conjunto para poner a salvo los bienes públicos naturales, aplicando sistemas de gestión con métodos propios de economía de mercado incluso, a instituciones públicas y promoviendo desde la academia y a nivel gubernamental, en sus tres diferentes sectores, la implementación de la tecnología propia de acuerdo a nuestra situación geográfica, las ventajas y desventajas de la naturación y legislar desde las cámaras sobre los beneficios no solo ambientales sino también económicos y de impuestos con el desarrollo de cubiertas naturadas.

“La naturación es la incorporación de vegetación en superficies edificadas a través de un tratamiento técnico especializado. Esta técnica ayuda a contrarrestar los efectos negativos de la pérdida de áreas verdes, reducir el efecto isla de calor y mejorar la calidad del aire en las zonas urbanas, propiciando también la renovación de masas de aire, el incremento en la calidad de las mismas y la regulación de temperaturas y humedad en las zonas urbanas”.(Tanya Muller, AMENA:2010)

2.7.- Hacia lo sustentable.

Siguiendo la tendencia de la naturaleza a ser totalmente sustentable, debemos aplicarla a obtener productos “elaborados, procesados, contruidos, fabricados, hechos, manufacturados, etcétera.” que conlleven en este proceso, una serie de intervenciones, ya sea de mano de obra, de materiales, energía, recursos o la combinación de ellos, lo cual los hace de algún modo, no cumplir con los tres puntos básicos de la sustentabilidad: El económico, el social y el ambiental. En la premisa “desde el nacimiento hasta la cuna”, o sea, el análisis del ciclo de vida (ACV) en la sociedad consumista de nuestros días, nos ha hecho perder todo razón con respecto de los objetos que requerimos en nuestra vida diaria. Al ser creados y llevar un proceso a partir de mano de obra, energía y materia prima, los cuales no son ilimitados, y que en algunas ocasiones son usados más rápido que en lo que se reemplazan y desechan, de manera denigrante pasan a ser basura u objetos obsoletos, y para estos, no existe un lugar de destino final. (Romero, 2003: 91).

Si bien la implementación de naturación urbana por medio de azoteas verdes, muros vivos, forestación de parques y jardines, etcétera, es una práctica que tiende hacia la sustentabilidad, no logra del todo su propósito, al ser las azoteas verdes, un sistema de naturación artificial, veamos porque. Al tratar de suplantar el desarrollo de la vegetación en un suelo natural, o sea, en suelo firme, e intentar hacerlo en un medio de crecimiento que no esté a ras de piso, ya implica el tener que crear, modificar y/o adaptar un área o estructura para este fin, lo que implica trabajo, movimientos de materiales y residuos de estos así como materiales nuevos, los cuales, en la gran mayoría de veces, llevan un proceso de manufacturación, como las láminas aislantes de P.V.C. o las membranas anti-raíz, amén de las capas de impermeabilización que generalmente son de material de asfaltado bituminoso, a base de fibras sintéticas, el tener que diseñar y crear un sustrato acorde con la variedad vegetal que se vaya a sembrar, realizando una combinación de materiales de diferentes orígenes, crear esa variedad vegetal ya sea en el lugar o en invernadero, y todo lo

anteriormente dicho tiene un determinado costo y proceso de trabajo, por lo cual, no se puede afirmar que sea 100 % sustentable.

El concepto de *Desarrollo Sustentable* hunde sus raíces en la crítica del desarrollo económico en general, ante los altos niveles de degradación del medioambiente. A mediados del siglo pasado surgen movimientos en la sociedad civil y en la academia que cuestionaban el modelo de industrialización y desarrollo, y sobre todo, los efectos contaminantes de la atmósfera, agua y suelos, y sus impactos en la integridad de los ecosistemas y en la biodiversidad. Se afirmaba que a la par del crecimiento económico de la sociedad, también se incrementa simultáneamente la degradación por la sobre-explotación de los recursos naturales y el deterioro del ambiente en general, caracterizando a la civilización contemporánea identificada con el crecimiento material, el consumo y el confort, creyendo esta civilización que este crecimiento es ilimitado, lo que impulsa a una crisis ecológica que se manifiesta en el deterioro global de las condiciones naturales que hacen posible la vida en el planeta y ponen en riesgo el futuro de la especie humana.(Gutiérrez,2007: 55).

El desarrollo “sustentable, durable o sostenible” debe considerar, además de las cuestiones ambientales, aspectos relativos a la pobreza y explosión demográfica en el mismo nivel de importancia que las cuestiones medioambientales. O sea que, el desarrollo sustentable es un campo de conocimiento de frontera que integra el desarrollo económico y la equidad, el ambiente y la biodiversidad y la cultura y la sociedad, proponiendo tres ejes analíticos:

Un desarrollo que tomen cuenta la satisfacción de las necesidades de las *actuales generaciones*.

Un desarrollo respetuoso del *medioambiente*.

Un desarrollo que no sacrifique los derechos de las *generaciones futuras*. (Gutiérrez, 2007: 57).

CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO II.

+ Al existir la alternativa de valorar conscientemente las actividades propias de los tiempos actuales que estamos viviendo, somos conscientes de que, si bien los cambios tecnológicos en todos sus aspectos le han generado comodidad, ahorro de mano de obra y tiempo al ser humano en la gran mayoría de sus actividades, también lo es que el origen de estos cambios y adelantos tecnológicos han deteriorado el medio ambiente y los recursos naturales de forma alarmante, a tal grado de poner en riesgo tres de los elementos básicos de la naturaleza, como lo son el aire, el agua y la tierra o suelo, todo esto, a partir de la llamada “Revolución Industrial” en que se dio el despegue tecnológico y científico a escala mundial, pero que ha sido también mal empleado, como ejemplo están los estragos de las dos guerras mundiales y la carrera armamentista entre las potencias.

+ Obviamente nuestro deber es analizar los aspectos positivos o benéficos de este auge científico y tecnológico en lugar de perder nuestra energía en analizar cuestiones negativas. Es verdad que a partir de fines del siglo XIX y durante todo el siglo XX, en un siglo o siglo y medio se incrementó la

población mundial en un porcentaje que no se había incrementado en más de un milenio, con el consecuente problema de brindar a esta “*población nueva*”, por así llamarla, los recursos suficientes para subsistir, el espacio para vivir ya sea rural, semirural o urbano, lo que ocasionó el crecimiento desmedido de todas las ciudades del mundo y centros urbanos, cuando hubo planeación adecuada, como en el caso de Brasilia, Stuttgart, Basilea, Barcelona y otras ciudades que previeron dicho crecimiento poblacional y planearon adecuadamente el crecimiento de sus ciudades y la creación de fuentes de empleo y oportunidades de vida para esta generación naciente.

+ Existe la conciencia por parte del ser humano de que el tener esta disponibilidad de recursos, energía, alternativas de trabajo, de vida, de progreso, y todo esto se ha logrado a base de transformar los recursos que la naturaleza nos ofrece en los beneficios que nos ocupan hoy en día, no sin antes reconocer que no hemos resarcido debidamente al planeta, los beneficios que de él hemos obtenido.

+ Si somos conscientes de que le ocupamos terreno natural por la urbanización desmedida y sin planeación, y que impedimos cada vez más la filtración del agua de lluvia al subsuelo, que cada vez emitimos mayor cantidad de contaminantes, desde basura, desechos tóxicos, bióxido de carbono, etcétera, de que cada vez más deforestamos las áreas verdes y boscosas, que día con día motivamos un mayor efecto de Isla de Calor, que cada vez más utilizamos recursos obtenidos y si estamos conscientes de esta problemática, también es muy del ser humano tener el compromiso de reducir o mitigar de alguna forma, todos los efectos que le estamos causando al planeta y resarcirle o reponerle aunque sea de forma parcial, para que el daño y deterioro sea minimizado para poder garantizar a futuro, que las generaciones venideras gocen y disfruten de los beneficios de la naturaleza que nosotros disfrutamos actualmente.

Aquí es donde interviene la propuesta de naturación urbana a través de techos vivos precisamente en la ciudad y zona urbana de nuestra ciudad, que es donde se genera básicamente el problema que hemos comentado y analizado anteriormente, motivado por la actividad humana, especificando que este trabajo no es precisamente una panacea para resolver la problemática antes analizada sino, más bien, un pequeño aporte de alternativa de solución a un problema creciente conforme pasa el tiempo.

CAPITULO III: FACTORES GEOGRÁFICOS Y CLIMÁTICOS.

3.1.-Concepto de naturación.

El concepto de “naturación” implica involucrar la vida urbana y rural en un medioambiente donde la naturaleza recupere el protagonismo a través de especies vegetales que mejoren las condiciones de vida de una forma sostenible. Es la acción de incorporar o fomentar la naturaleza en nuestra vida cotidiana a través de la recuperación de la flora y la fauna autóctonas de una manera aceptable y coherente buscando la viabilidad de un mantenimiento que nos lleve a una naturación sostenible. (Briz, 2003:7).

Como señalamos anteriormente, la naturación es lo mismo que naturaleza, un proceso desarrollado para llegar a ser, o mejor dicho, un proceso de naturación es motivo de hacer naturaleza.

3.2.-Ventajas y desventajas de las azoteas verdes.

Al igual que cualquier sistema o tecnología nueva o de avanzada ofrece adelantos y ventajas en su implementación y práctica, también ofrece situaciones desfavorables en su práctica, aunque sea en menor proporción. Dichas desventajas deben ir corrigiéndose conforme se va perfeccionando y mejorando el sistema. En el tema de las azoteas verdes existen beneficios en dos sectores: El privado y el público y también en las desventajas, como se indica a continuación.

Ventajas y beneficios y de las azoteas verdes:

Sector Privado:

1.- **Regulación de temperatura y ahorro de electricidad** al tener la vegetación un alto efecto de aislamiento térmico al funcionar el sustrato como un aislante que evita que el techo se caliente, reduciendo el consumo de electricidad y aire acondicionado.

3.- **Retardo de incendio** al disponer de una capa vegetal que la mayor parte del tiempo está húmeda, la cubierta con vegetación toma el papel de una protección contra incendio que impide la propagación de las llamas.

3.- **Prolongación de la vida útil de la cubierta** ya que la naturación ayuda a proteger de las fluctuaciones extremas de temperatura, lo que aumenta la durabilidad estructural de la cubierta.

4.- **Reducción de ruido** al formar una masa vegetal y el sustrato una barrera natural envolvente en el edificio. Una parte de la onda es absorbida por las plantas y otra es reflejada y desviada llegando a exceder el aislamiento acústico los 10 decibeles. El sustrato bloquea las frecuencias bajas mientras que las plantas lo hacen con las frecuencias altas.

5.- **Beneficios físicos y psicológicos** relacionados con la respiración, relajación, regeneración, reducción del estrés y aprovisionamiento de aire más limpio.

6.- **Productividad y generación de ingresos** ya que los techos verdes generan la posibilidad de la agricultura urbana, ya sea horizontal o vertical siendo la producción de hortalizas y frutos para autoconsumo y venta una gran posibilidad.

7.- **Incremento del valor comercial** porque la popularidad de los espacios verdes se refleja en los valores inmobiliarios ya que las cubiertas verdes aportan un valor agregado aumentando el valor del edificio así como también lo vuelven más atractivo a la visual del entorno, independientemente de ser un apoyo para la biodiversidad de flora y fauna silvestre local.

Sector público:

1.- **Mejoramiento de la calidad del aire** al reducir la contaminación, filtrar partículas suspendidas en el aire, absorber bióxido de carbono (CO₂), reducir el dióxido de azufre así como el ácido nitroso y liberar oxígeno.

2.- **Manejo de aguas de lluvia** ya que tienen la capacidad de retención de agua al almacenarlas en el sustrato donde es absorbida por las plantas y devueltas a la atmósfera mediante la evapotranspiración y liberarlas lentamente evitando con esto la saturación en tuberías y evitando los escurrimientos en pavimentos.

3.- **Reducción del efecto isla de calor** pues los techos verdes absorben parte del calor generado en las grandes superficies pavimentadas a través de la refracción para utilizarlo en el proceso de evapotranspiración reduciendo la temperatura urbana y el efecto de smog.

4.- **Aspectos estéticos** que mejoran considerablemente el paisaje del entorno, ya que en su mayoría, las cubiertas en nuestra ciudad son planas y están dedicadas a alojar instalaciones dedicadas al servicio y mantenimiento del edificio como tinacos, antenas, sistemas de ventilación y en el caso de construcciones habitacionales, alojan áreas de lavado y tendido de ropa, e incluso ahí se alojan objetos que ya no se usan u obsoletos.

5.- **Formación de Biotopos** para la preservación de la fauna menor y anidación de aves nativas ayudando a la conservación de la biodiversidad.

6.- **Beneficios Sociales** que incluyen la integración del edificio a entornos naturales, variadas posibilidades de diseño y la utilización de los espacios para descanso, esparcimiento y convivencia comunitaria ya que puede ser utilizado como mirador, cafetería o restaurante.

7.- **Reconocimiento y Responsabilidad ambiental** ya que los edificios que implementan esta tecnología, son fácilmente reconocibles por lo que difieren significativamente de los demás edificios en las áreas urbanas, principalmente en las áreas donde se implementan por primera vez.

Desventajas de las azoteas verdes. En ambos sectores.

A pesar de que la vegetación se reproduce como parte del ciclo de la naturaleza, las desventajas se relacionan directamente con el diseño, construcción y mantenimiento de éstas. La problemática para el diseño es que se tome solo como un elemento de moda, sin profundizar en los beneficios de su construcción y sin tener clarificado cuál es su finalidad, o sea, que solo se copie de alguna otra ya construida. Aunque sean similares, nunca podrán ser iguales, por el simple hecho de que están construidas en edificios y lugares diferentes y la finalidad no es la misma. Un diseño inadecuado repercutirá en un alto costo.

- 1.- **El diseño específico** de una azotea verde es costoso.
- 2.- **El estudio y reforzamiento de la estructura** que recibirá la naturaleza.
- 3.- **Diseño del sustrato** acorde al tipo de azotea a implementar.
- 4.- **Una impermeabilización** adecuada aunada básicamente a una membrana anti-raíz.
- 5.- **Una paleta vegetal** idónea al clima y entorno del lugar.
- 6.- **Mano de obra especializada** tanto en la aplicación de materiales como en mantenimiento.
- 7.- **El costo** de todos los puntos anteriores y el requerimiento rápido de la inversión.

(López, 2010: 79-83).

3.3.-El clima en Toluca.

3.3.1.-Entorno.

Ubicado a 68 kilómetros al poniente de la ciudad de México, con una altura de 2,650 m.s.n.m. con un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, nuestro Valle de Toluca, básicamente conformado por los municipios de Toluca, Metepec y Zinacantepec, ha sufrido, al igual que muchas ciudades del país y del mundo, cambios en el comportamiento de su clima en los últimos años que han generado diversas acciones por parte de los gobiernos municipales y estatales, sin resultado alguno, ya que siguen incrementándose los problemas mencionados anteriormente que ocasionan estos fenómenos. Según datos proporcionados por el Observatorio Climatológico "Mariano Bárcena", dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de México, entre los años 2000 al 2009, nos damos cuenta de que ha habido variaciones que han afectado importantemente al clima local, como veremos en las gráficas presentadas a continuación:

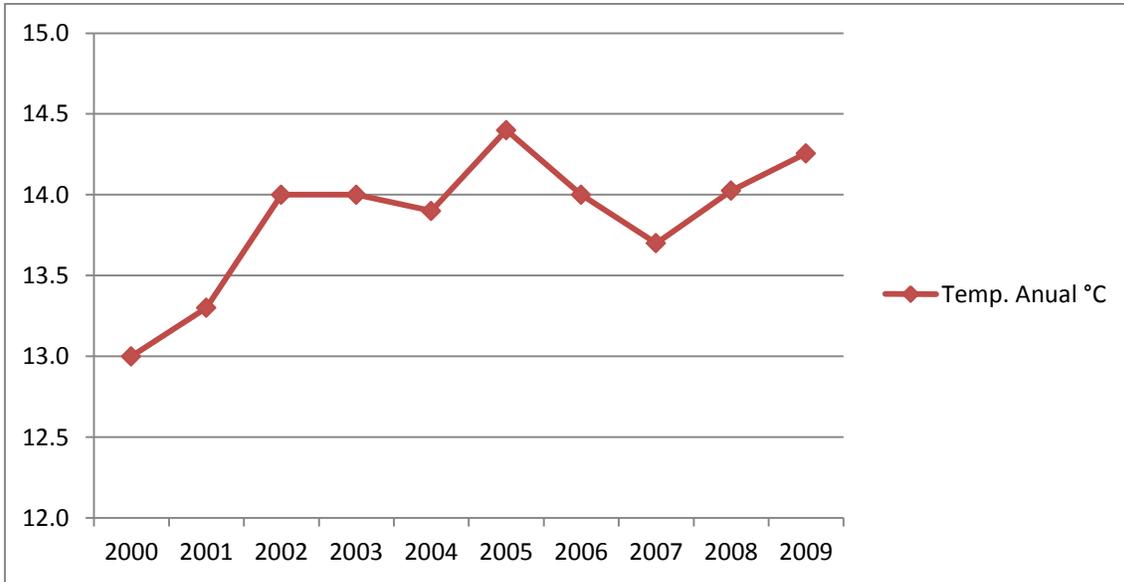


Figura 2.- Temperatura promedio anual 2000-2009.

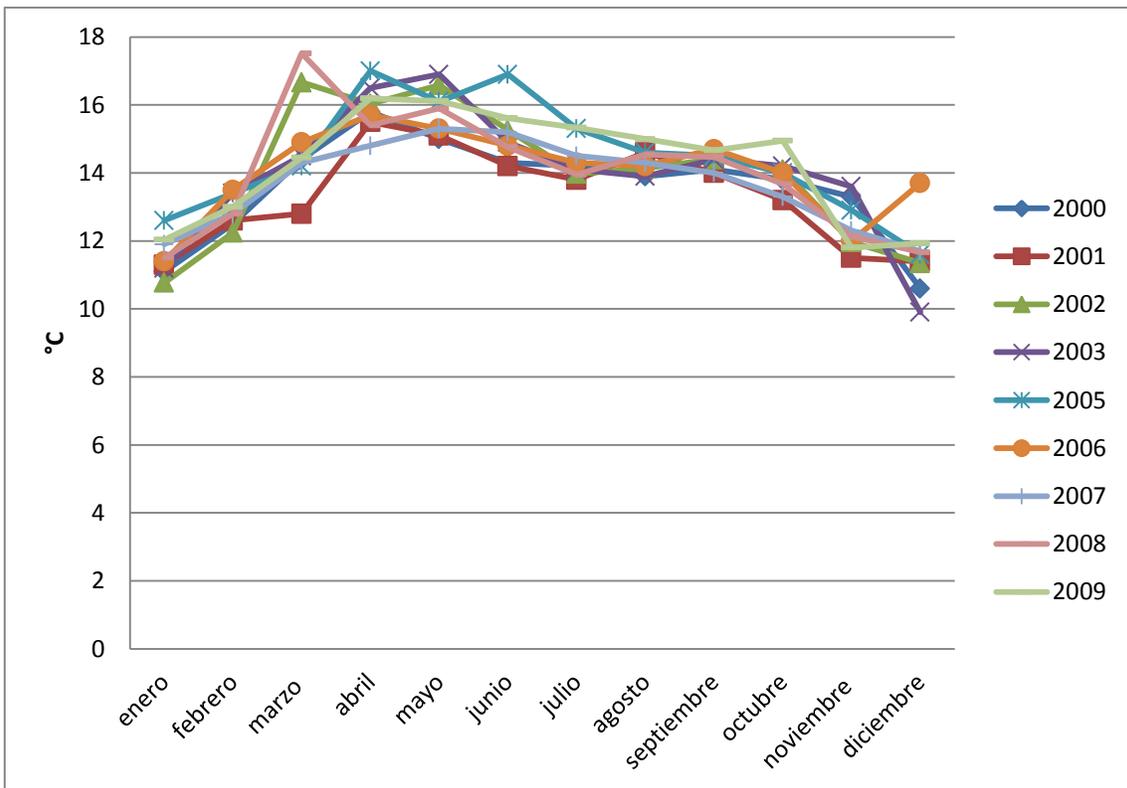


Figura 3.- Temperatura ambiente promedio mensual 2000-2009.

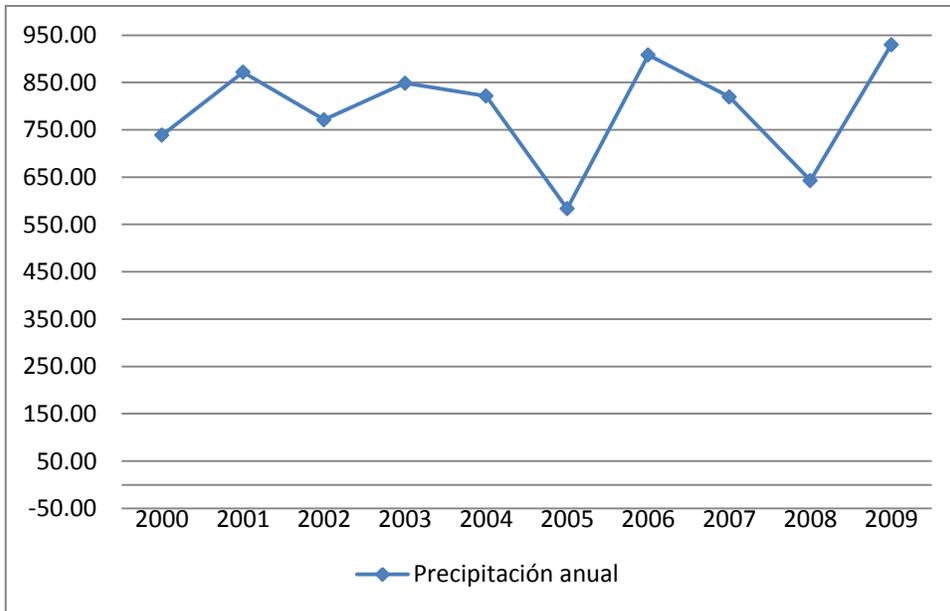


Figura 4.- Precipitación anual 2000-2009.

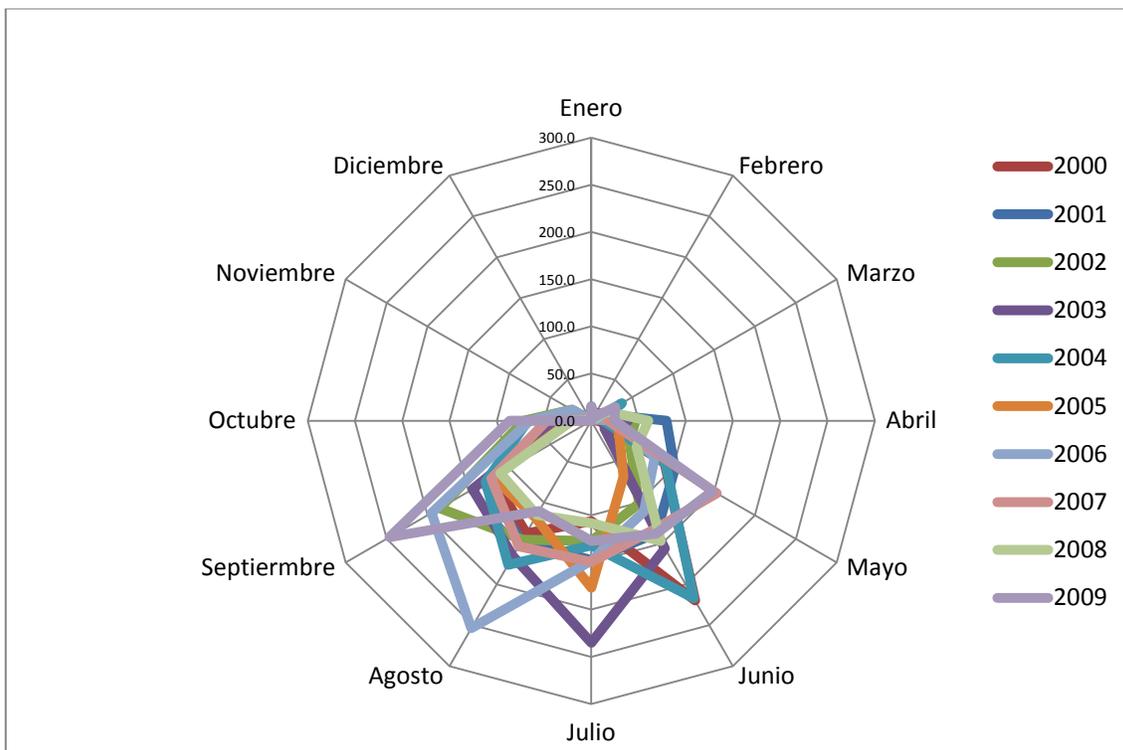


Figura 5.- Precipitación mensual por año 2000-2009.

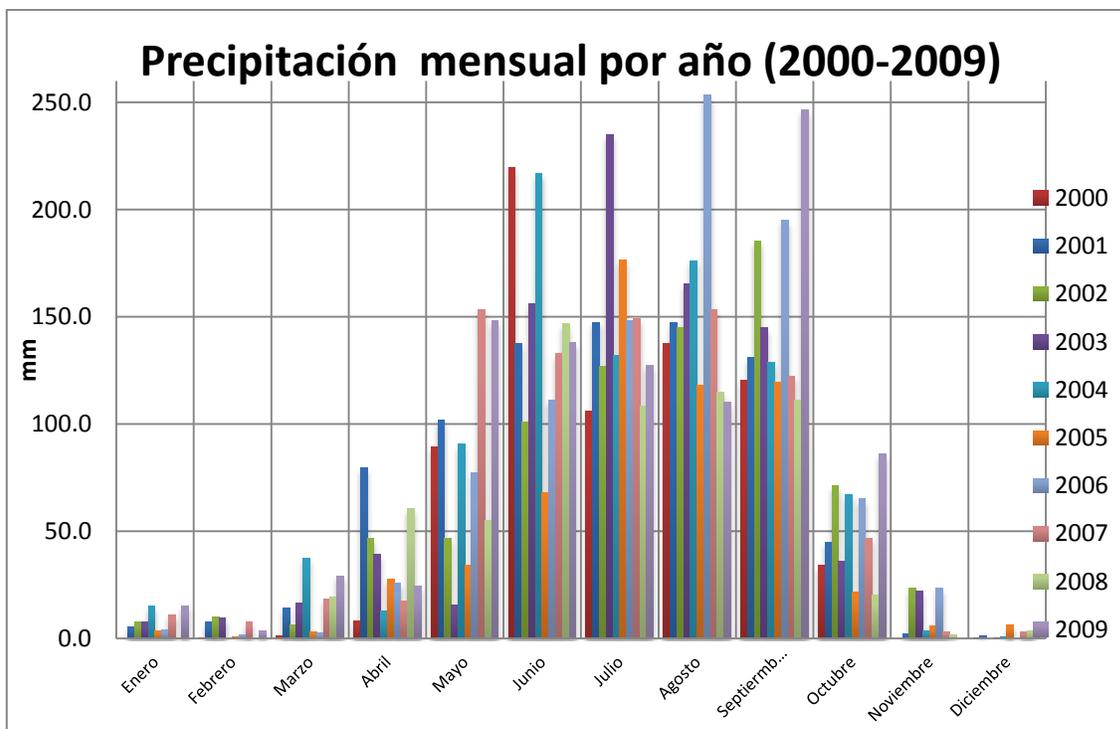


Figura 6.- Precipitación mensual por año 2000-2009.

Cuadro1.- Precipitación mensual acumulada 2006-2015. Observatorio Mariano Bárcena.

Mes/año	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Enero	3.90	11.00	0.20	15.40	32.70	0.95	10.40	24.10	0.44	0.00
Febrero	1.90	7.70	0.10	3.60	86.71	7.13	30.04	11.49	6.19	37.13
Marzo	2.6	18.40	19.54	29.32	0.00	11.39	32.23	7.06	7.91	47.14
Abril	25.9	17.50	60.50	24.64	6.75	79.25	6.61	21.23	15.37	54.80
Mayo	77.40	153.32	53.30	148.42	54.88	42.04	29.62	40.11	127.37	198.38
Junio	111.20	133.10	146.87	137.92	96.93	158.13	172.68	78.51	120.78	
Julio	148.10	149.40	108.42	127.37	275.22	191.60	181.15	160.43	124.69	
Agosto	253.70	153.62	114.90	110.29	126.16	163.94	198.70	97.25	144.58	
Sept.	195.10	122.30	111.20	246.70	93.46	107.47	130.88	196.21	95.91	
Octubre	65.10	47.00	20.44	86.27	13.42	93.86	12.74	55.47	66.43	
Nov.	23.40	3.22	1.72	0.00	7.85	40.21	2.57	8.28	6.04	
Dic.	0.00	3.10		0.25	0.00	0.00	0.00	2.74	0.09	
Suma	908.25	819.66	642.98	930.18	794.08	892.97	807.62	702.88	715.18	

Como se puede observar y es un hecho, cada vez la precipitación es mayor en cantidad y menor en el tiempo de caída, afectando la temperatura, como lo muestra la figura 2 donde indica que en el año 2000 hubo una temperatura promedio anual de 13°C y para el año 2005 se incrementó a 14.4°C. Ciertamente es que cada vez llueve más en menor tiempo, como lo indica la figura 4, donde se

aprecia que en el año 2000 hubo un promedio anual de precipitación de 740 milímetros incrementándose para el año 2009 a 940 milímetros. En este año 2015 ha caído 1.55 veces mayor cantidad de lluvia que en el 2014, que fue un año de muchísima precipitación, pero comparado con 2013 esta cantidad se eleva a 4.94 veces más, y para el año 2012 se dispara en 6.69 veces, como lo indica el cuadro 1, lo que en cierto modo explica las situaciones de obras y arreglos en el sistema de drenaje de la ciudad que realiza el H. Ayuntamiento de Toluca cada temporada de lluvias. Aquí es donde considero la importancia de la propuesta de mi trabajo de tesis.

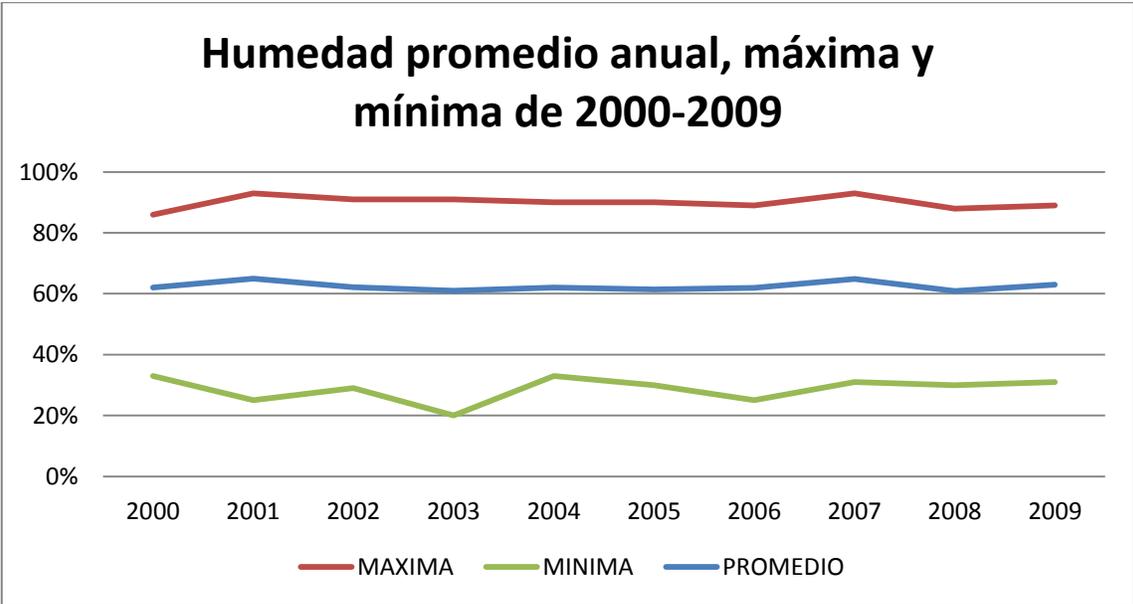


Figura 7.- Humedad promedio anual.

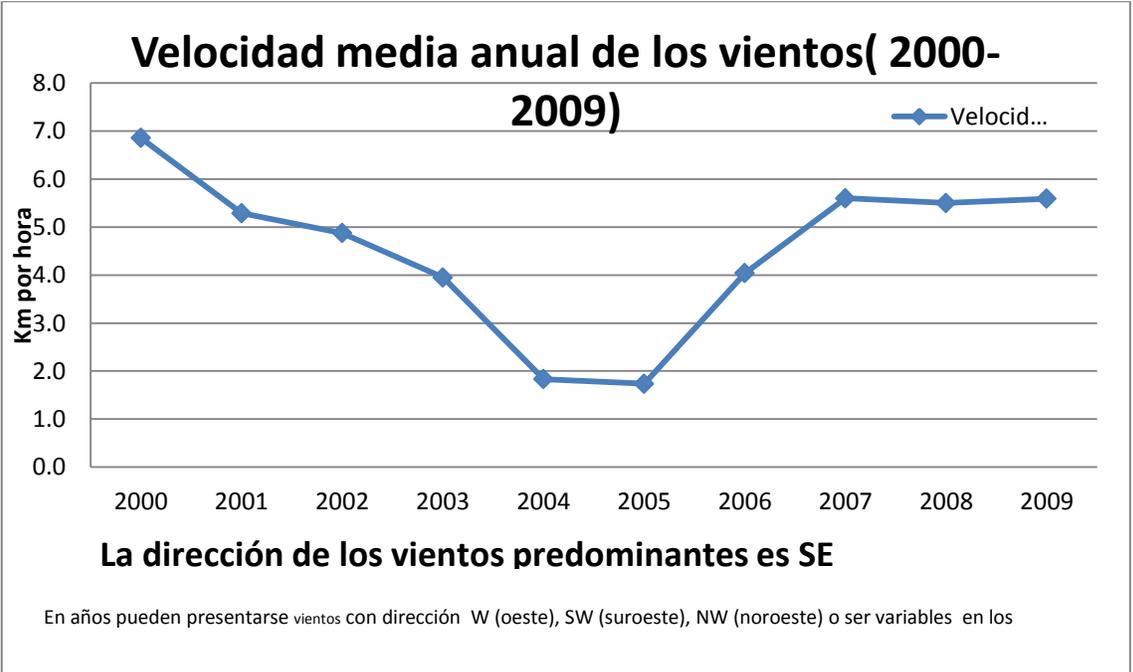


Figura 8.-Velocidad media anual.

El efecto aislante en las azoteas verdes es el resultado combinado de las plantas y el sustrato que tiene la capacidad de limpiar las capas más gruesas, lo que aumentará el efecto aislante. Las mediciones indican que una capa de entre 20-40 cm. de capa de vegetación en un sustrato de 20 cm. es equivalente a 15 cm. de aislamiento de capa mineral. Las azoteas verdes y fachadas naturadas tienen no solo la capacidad de reducir el costo de la calefacción y enfriamiento del edificio, sino también reducir la cantidad de aislamiento necesaria y el tamaño del equipo requerido de aire acondicionado. (Dunnett and Kingsbury, 2008:76).

3.3.2.-Contaminación atmosférica. Calidad del aire. Polución.

Entre otros beneficios reconocidos en la implementación de azoteas verdes esta la reducción de polución de gases como nitrógeno, nitratos, compuestos orgánicos volátiles, ozono y exceso de bióxido de carbono CO₂ mejorando la calidad del aire, atrapando las partículas de polvo extendidas en el aire. (Dunnett and Kingsbury,2008:36).

A pesar de que entre las funciones de las azoteas verdes está la de mitigar el cambio climático a través de la reducción del efecto Isla de Calor, la captura y retención de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, a partir de la naturación en techos vivos, todavía no han sido analizadas y evaluadas a profundidad. Una respuesta a la comunidad global radica en la reducción y modificación de los procesos constructivos, tendientes a la reducción de CO₂ y los trabajos interdisciplinarios que maximicen la integración y generación de nuevos conceptos e ideas para los conceptos arquitectónicos. En una revisión completa acerca del papel de las azoteas verdes, pone en discusión su comportamiento para el **secuestro del carbono**, calidad del agua y contaminación acústica pero, otros estudios están más enfocados a **estudiar la absorción de CO₂ a través de la fotosíntesis** comprobando la absorción de bióxido de carbono y monóxido de nitrógeno, comparando los resultados de otros estudios donde se ha demostrado la **absorción de 117 ± 13 Kg/ año** en plantas de naturación urbana, destacando en este estudio la importancia de la función de una determinada **masa foliar** (LAI en inglés) y la **densidad de madera** como fuertes variables para la evaluación de remoción y secuestro de carbono en zonas urbanas, siendo estas variables una base sólida para futuros estudios relacionados a evaluar la eficiencia de remoción de carbono en azoteas vivas urbanas y principalmente, en jardines intensivos con plantas leñosas, complementado este dato con otro estudio que demuestra que 20 hectáreas de azoteas verdes en Chicago tienen la capacidad de remover un total de 1,675 kilogramos de contaminantes atmosféricos, principalmente de ozono (52%) y óxido nitroso (27%), entre otros, lo que equivale a un valor casi de 85 Kg./ Ha. al año de contaminantes.

Este dato es de un importante valor en la remoción de contaminantes atmosféricos, tomando en consideración que estas cantidades pueden variar de acuerdo al tipo de plantas con que se haga la naturación, principalmente su crecimiento (**Herbáceas y Arbustivas**) y la **profundidad del sustrato** donde se ha demostrado que son más eficientes en la remoción de contaminantes los **techos extensivos** incluso en los que dominan los pastos y teniendo en cuenta la latitud donde se esté trabajando con las azoteas verdes, ya que su funcionamiento y resultados no son los mismos en regiones templadas que en regiones tropicales, ya que en estas últimas, se requieren mayor estudio del desempeño de las azoteas verdes en la reducción de estos gases. (GEM, 2006: 26).

La preocupación política y social por el medio ambiente y en especial por la polución atmosférica en las grandes urbes, es evidente. La salud es un concepto fundamental y se comienza a unir dicho concepto con el de la naturaleza. (Briz, 2003: 115).

Los animales serían felices de vivir en áreas urbanas si pudieran encontrar donde vivir. Todas las plantas verdes ayudan a mejorar el efecto de la polución; Absorben ruido, atrapan polvo, reciclan el bióxido de carbono y absorben y descomponen muchos gases contaminantes. Las plantas ayudan a reducir los efectos negativos del clima en la urbanización, por ejemplo, absorbiendo algunos de los calores generados en el desarrollo de la ciudad y absorbiendo la lluvia que llega a las superficies duras y calientes. Pueden contribuir a improvisar un clima urbano en una escala micro-climática pero también en más grande escala a aminorar los efectos de la isla de calor urbano, luchando contra las inundaciones urbanas y reduciendo los costos de energía asociados a custodiar edificios frescos en climas cálidos. Las plantas pueden ayudar a regular los climas interiores de edificios aislando contra los extremos de calor y de frío y pueden jugar una parte en el enfriamiento psicológico de un edificio como resultado de la evaporación de agua en su superficie. (Dunnett and Kingsbury, 2008:11)

3.3.3.-Isla de calor urbano.

Aún sin consecuencias graves que lamentar pero, ya con indicios de cierto aumento en sus límites de monitoreo, la ciudad de Toluca ha empezado a padecer el efecto de isla de calor urbano. A partir de los sismos de 1985 que asolaron nuestro país, principalmente la zona conurbada del Distrito Federal, se empezó la descentralización de áreas habitacionales y de otro tipo, hacia la periferia de la zona metropolitana, razón por la cual, ciudades pequeñas o medianas como Puebla, Pachuca, Querétaro, Cuernavaca y Toluca, vieron incrementada en poco tiempo su población, ocasionando que, por lógica, crecieran las ciudades hacia los suburbios de estas en forma desorganizada.

En la ciudad de Toluca, esto ocasionó un cambio de uso de suelo drástico, teniendo que transformarse necesariamente, de uso agrícola y forestal a habitacional y servicios, buena parte de la zona limítrofe de la ciudad, ocasionando deforestación, abatimiento de los mantos de agua, contaminación ambiental por obras de urbanización y limitando o impidiendo la permeabilidad del agua pluvial a los mantos acuíferos de la zona. Nuestra ciudad se encuentra en una zona donde convergen fenómenos atmosféricos provenientes de zonas frías, templadas y húmedas, por lo cual su atmósfera es muy dinámica a lo largo del año. La elevada altitud del valle se define como un clima templado sub-húmedo con lluvias en verano. (Morales, 2007: 308).

El efecto de Isla de Calor Urbano en Tokio fue el principal factor que hizo decidir al gobierno metropolitano, en el 2001, el introducir una regulación para las nuevas construcciones privadas superiores a 1,000 m². (10,760 Pies ².) y las nuevas construcciones públicas superiores a 250 m².(2,690 Pies².) con un espacio del 20 % en su azotea para vegetarla; los infractores pueden ser multados. El Ministerio Nacional de Tierra, Infraestructura y Transporte y muchos órganos de gobiernos locales desde entonces tienden a seguir esta conducta; en el momento de escribir sobre las 40 ciudades que ofertan subsidios para las azoteas verdes en las construcciones. (Dunnett and Kingsbury,2008:18).

3.3.4.-Control y manejo de Lluvia. (Énfasis del trabajo de tesis)

Por la ubicación geográfica y el clima de la ciudad de Toluca, la precipitación que cae en la temporada de lluvia, considerada de mayo a octubre de cada año, y esporádicamente en los meses de fin de ciclo, cada año es mayor y ocasiona daños mayores al único sistema de drenaje de nuestra ciudad, que deberían ser pluvial y sanitario, siendo que es único, ya que van unidos el de agua negras y el de aguas pluviales, ocasionando que se colapsen en determinados puntos del trayecto, como los puntos de inflexión, los cárcamos colectores, los registros de cambio de dirección y en muchas ocasiones, en el conducto mismo de la tubería la cual, que cada vez tiende a ser de mayor diámetro. Pero lo grave no es esto, sino que cada año, esa mayor precipitación en columna que cae, lo hace en menor tiempo. O sea, que cada vez llueve mayor cantidad pero, en menor tiempo, lo cual viene a agravar la situación del drenaje de Toluca. En el capítulo 5.7.1 de este libro, referente a la captación, manejo y control de agua pluvial, explico a detalle esta situación pues en ella hago referencia en cantidades estadísticas y experimentación, lo que está sucediendo.

Siendo las escorrentías de agua pluvial un problema social que afecta a gran parte de la población citadina, sería una buena alternativa la construcción de drenajes separados para incluso, promover el aprovechamiento de aguas pluviales.

En Alemania, país pionero en la tecnificación de azoteas verdes, en todos los niveles de gobierno, existen tres herramientas para soportar la implementación de ellas y son la ayuda directa del gobierno en forma de subsidio para los edificios con naturación, el descuento libre del agua de lluvia a las construcciones que eviten la caída en columna de agua al drenaje municipal y la asesoría y planes de financiamiento por parte del gobierno a la ciudadanía. Si el gobierno local le cobra un determinado impuesto al particular por desahogar las aguas pluviales así como el manejo de las escorrentías, de ese impuesto el mismo gobierno puede construir drenajes separados de aguas grises y negras de las pluviales para su aprovechamiento y devolverle al ciudadano el beneficio en alguna exención de impuestos. (Dunnett and Kingsbury,2008:33).

Esta medida funcionaría en Toluca aliviando la excesiva carga de precipitación vertida al único drenaje municipal que existe que colecta ambas aguas y beneficiaria tanto social como económicamente a la ciudadanía, porque ya no existirían las obras que cada temporada de lluvia nos hemos acostumbrado a ver en nuestra ciudad, con la consecuente molestia para los habitantes y gastos excesivos para el municipio, viéndose reflejado en el pago de impuesto predial de cada usuario, lo que sería atractivo y motivante para los propietarios de los inmuebles. Habrá de tener en cuenta que el beneficio y recuperación de la inversión no es a corto, sino a mediano y largo plazo.

En nuestro país, así como en otras partes del mundo, en este caso y principalmente en la ciudad donde vivimos, se debe concientizar a la población por medio del conocimiento de la naturación urbana a través de azoteas verdes y muros vivos para ver aumentada la demanda de terrazas ecológicas y con esto el número de implementaciones realizadas cada año, pero no se hace por desconocimiento y la falta de interés de los niveles de gobierno en la promoción de esta tecnología. (Briz,2004:98).

Un pionero en la implementación de azoteas verdes con la finalidad de retener, manejar y controlar el agua pluvial en la ciudad, es Portland, Óregon, donde en 1999 y por iniciativa del gobierno municipal, a través del Buró de Desarrollo Sustentable y Servicios del Ambiente se inició el programa “Azotea Tecnológica” para investigar y explorar las azoteas verdes como una herramienta controladora de agua pluvial. El programa incluyó asistencia técnica para los propietarios de los edificios, una estación de monitoreo en el edificio Hamilton, una gran demostración de proyectos de azoteas verdes, una visita turística guiada en las azoteas verdes implementadas, monitoreo de vegetación y humedad, presentación promocional de desarrollos, consultas y diseños de investigación, rendimientos, políticas y elaborando encuestas ante la población con preguntas y respuestas sobre los techos ecológicos y una mejor manera de aportar ideas para su mejoramiento. (Dunnett and Kingsbury,2008:38).

3.3.5.-Emisiones antropogénicas.

Se le llama Emisiones antropogénicas a los principales gases de efecto invernadero generados por la quema de combustibles fósiles y demás derivados de toda actividad humana. Los principales gases de efecto invernadero son: el bióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido Nitroso (N_2O). Los dos últimos tienen un efecto invernadero muy superior al bióxido de carbono, pero su presencia en la atmósfera es muy inferior al primero. Así es como el metano tiene un efecto invernadero 23 veces superior al del CO_2 , pero su concentración es 220 veces inferior a este último. En base a esto, nos centraremos en las concentraciones de bióxido de carbono (CO_2).

Las emisiones de bióxido de carbono provienen tanto de la quema de combustibles fósiles como de los cambios de uso de la tierra, entre ellos, la deforestación, ya que al disminuir la vegetación, se absorbe menor cantidad de la atmósfera. Se estima que un poco más del 50% de bióxido de carbono que emitimos, permanece en la atmósfera, mientras que el resto es absorbido por los sumideros, entre ellos los océanos y la biósfera. Algunos autores estiman que porque el calentamiento de la tierra es natural, proporcionalmente aumenta la cantidad de bióxido de carbono. Estas variaciones en los cambios de temperatura son causadas por los océanos. Los episodios cálidos que desprenden CO_2 desde los océanos hacia la atmósfera son ocasionados por el fenómeno climatológico llamado “El Niño”. Al contrario, con el episodio denominado “La Niña” ocurre todo lo contrario, propicia depresiones húmedas tendentes a enfriar la atmósfera. Es una situación lógica que si los océanos se calientan, aumente el CO_2 . (ACANMET: 2009).

3.3.6.- Clima, Vientos.

Estado de la Atmósfera.

Clima:

Podemos definir *Clima* como “*el resultado de la interacción de diferentes factores atmosféricos, biofísicos y geográficos que pueden cambiar en el tiempo y el espacio*”. Estos factores biofísicos y atmosféricos son la temperatura, la presión atmosférica, el viento, la humedad y la lluvia. Los factores geográficos son la latitud, altitud, las masas de agua, la distancia al mar, el calor, las corrientes oceánicas, los ríos y la vegetación. Tanto los factores biofísicos como geográficos son los que determinan el clima en las diferentes partes del mundo.

Definiremos la *Temperatura* como “*propiedad de la materia que está relacionada con la sensación de calor o frío que se siente en contacto con ella*”. Cuando tocamos un cuerpo que está a menor temperatura que el nuestro, sentimos una sensación de frío y a la inversa si es de calor. Sin embargo, aunque tengan una estrecha relación, no debemos confundir *temperatura* con *calor*. Si dos cuerpos que se encuentran a distinta temperatura se ponen en contacto, se produce una transferencia de energía en forma de calor, desde el cuerpo caliente al frío, esto ocurre hasta que la temperatura de ambos cuerpos se iguala. En este sentido, la temperatura es un indicador de la dirección que toma la energía en su tránsito de unos cuerpos a otros.

El instrumento que se utiliza habitualmente para medir la temperatura es el termómetro, siendo los más populares los de líquido encerrado en vidrio, basado en las propiedades del mercurio y otras sustancias (alcohol coloreado, etc.) de dilatarse cuando aumenta su temperatura. El líquido se aloja en una burbuja (bulbo) conectada a un capilar (tubo muy fino). Cuando la temperatura aumenta, el líquido se expande por el capilar, siendo sus pequeñas variaciones claramente visibles.

Actualmente se utilizan tres escalas para medir la temperatura: La escala *Celsius*, que es la que normalmente acostumbramos a usar, la escala *Fahrenheit* que se utiliza normalmente en los países anglosajones y la escala *Kelvin* utilizada para usos científico. (INECOL, 2014).

El **clima** existente en la zona metropolitana de Toluca, de acuerdo a la clasificación climática de Köppen, modificada por Juan E. García, está caracterizado por tres tipos de clima, de acuerdo al grado de humedad: *Templado húmedo*, *semifrío* y *frío*. El *templado húmedo* abarca la mayor parte de municipios que conforman el Valle de Toluca. El clima *semifrío* presenta dos subtipos,; El *semifrío subhúmedo* que se presenta en aquellas zonas de altitud considerable como el nevado de Toluca, la sierra de Monte Alto y la sierra de Las Cruces y el *semifrío húmedo* localizado sólo en el municipio de Xalatlaco. El clima *frío* se localiza únicamente en las partes altas del Nevado de Toluca, seco con humedad moderada, ambos con un porcentaje de lluvia invernal inferior al 5 %, poca oscilación térmica anual y la temperatura más alta ocurre durante el solsticio de verano, y el tercero, el cálido sub-húmedo que presenta sequías y valores térmicos extremosos entre 7 y 14 grados centígrados, característico de la zona suroeste del estado.

En la zona de estudio se presentan tres áreas climatológicas por la regularidad que guarda el estado atmosférico a través del año (Figura 9).

1.-Época Seca-fría: Indica la temperatura promedio mensual más baja durante el año y comprende los meses de noviembre a febrero con un rango de 9 a 11°C. siendo las heladas un fenómeno meteorológico importante que se presenta en los alrededores del área metropolitana del Valle de Toluca y que está directamente relacionado con las temperaturas bajas registradas periódicamente y con las nevadas que en forma ocasional, debido a estas bajas temperaturas, se llegan a presentar.

2.-Época Seca-cálida: De los meses de marzo a mayo se presenta un incremento en la temperatura hasta llegar a los 15°C siendo esta la temperatura media expresada como máxima en la zona a lo largo del año. En estas dos primeras épocas, la precipitación pluvial es poco significativa, con registros inferiores a 40 milímetros, llamándose comúnmente "Temporada de estiaje".

3.-Época de Lluvia, definida por los meses de junio a octubre, caracterizada por la presencia de precipitaciones desarrolladas desde 160 mm hasta 210 mm. Al aparecer las precipitaciones, se registra una disminución en la temperatura que se mantiene entre 11°C y 13 °C, pero solo mientras duran estas, de mayo a septiembre u octubre, en que deja de llover pero se incrementa o inicia la época de frío, propia del clima templado y de la altura del Valle de Toluca.



Figura 9.-Indicador de precipitación pluvial de acuerdo a la época climática durante el año. (GEM, 2006).

Vientos:

Por su ubicación geográfica respecto al territorio nacional, la zona metropolitana del Valle de Toluca se encuentra bajo la influencia de fenómenos meteorológicos tropicales durante la época de lluvia. El paso constante de ondas y ciclones tropicales aportan la humedad más importante del año en forma de nublados y lluvias abundantes sobre la zona, lo cual contribuye a la remoción de contaminantes presentes en la atmósfera. En la época seca-fría el desplazamiento de frentes fríos y masas de aire polar son los sistemas que predominan. Cuando son intensos estos fenómenos, la zona metropolitana del Valle de Toluca es afectada por sistemas anticiclónicos (Tiempo atmosférico estable y seco) que puede generar inversiones térmicas, originando condiciones desfavorables para la dispersión de contaminantes. La zona metropolitana del Valle de Toluca no está encerrada por completo por barreras naturales, como en la zona metropolitana del Valle de México, lo cual favorece la circulación del viento y por tanto, su ventilación se ve favorecida la mayor parte del año.

El registro del comportamiento del viento a través de los años se refleja en la figura 10 de la rosa anual de los vientos.

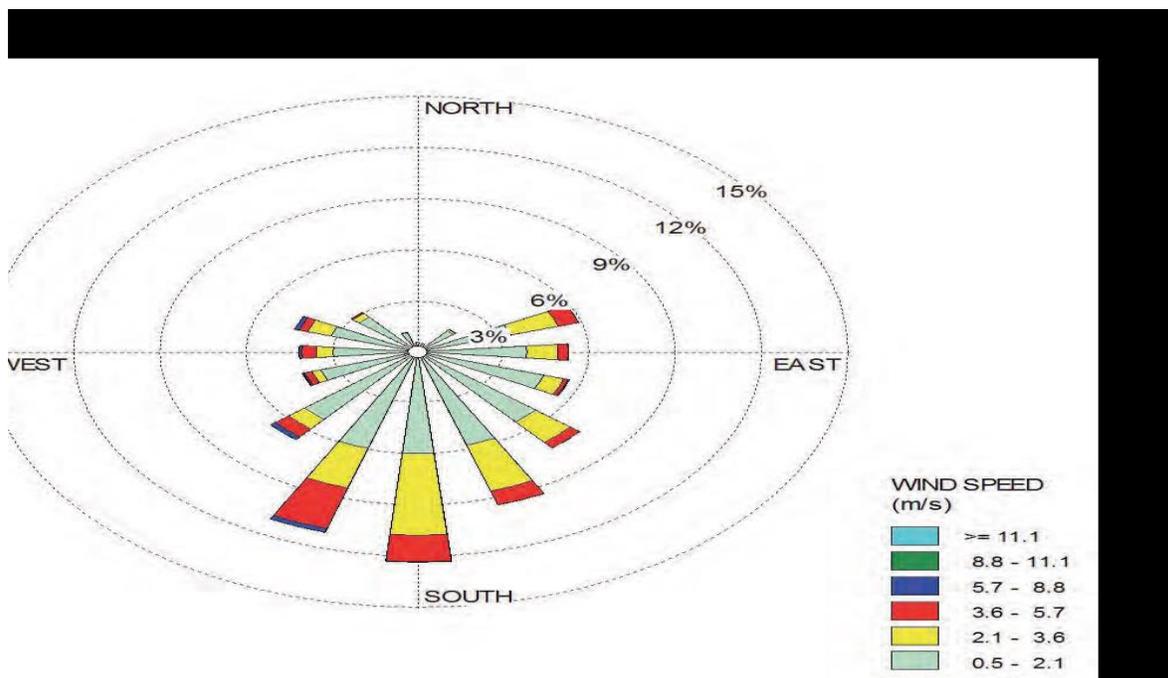


Figura 10.-. Rosa Anual de los vientos indicando la procedencia de los dominantes. (GEM, 2006).

En la figura se indica una marcada dominancia de los vientos provenientes del sur y suroeste con velocidades que van desde los 2.1 hasta los 5.7 metros por segundo.

3.4.- Desempeño térmico.

3.4.1.-Confort higro-térmico.

El confort térmico es una condición esencial para lograr la satisfacción de los ocupantes de una edificación y realizar con eficacia sus actividades. Una definición más aceptada de confort es: *“Condición mental bajo la cual expresan satisfacción la mayoría de los ocupantes en un determinado ambiente térmico”*.

El tema principal de las más recientes publicaciones de techos verdes es el de sus **efectos directos sobre las obras arquitectónicas**, donde varios artículos se relacionan con esa temática, siendo el más recurrente el aislamiento térmico que proporcionan las cubiertas vegetales a las edificaciones asociadas a la reducción del efecto Isla de calor, destacando la reducción en las variaciones de temperatura diarias y estacionales en las construcciones de los países de clima templado señalando el papel de los techos verdes en la reducción del consumo energético ocasionado por el uso de equipos de refrigeración y calefacción, incluso algunos han demostrado una reducción de alrededor del 40% en verano en países de clima templado. Al analizar los principales factores aislantes de los techos verdes, se considera como principal factor aislante **el sustrato** en el que crecen las plantas y otros estudios han demostrado que es la **biomasa vegetal** la que suministra este factor aislante, comparando diversas coberturas vegetales (pastos, hierbas y arbustos) describiendo el papel tan importante que juega la vegetación, tanto en cantidad como en estructura, en el aislamiento térmico de los techos verdes, resultando una mayor eficiencia en la cobertura de pastizal en la refrigeración diurna de una azotea verde. También el tipo de cubierta es una variable importante, siendo las **extensivas** las que juegan un papel importante en la reducción de la temperatura diaria máxima del aire con valores de hasta 0.7°C en un sustrato de 10 centímetros de altura que aparentemente es bajo, este se aporta a la reducción del efecto Isla de calor en grandes ciudades.

Otro análisis, pero en fachadas verdes, indica la **capacidad del aislamiento térmico** de este tipo de elementos, ya que en estudios recientes se ha obtenido hasta el 41% de aislamiento térmico en un edificio en fachadas verdes comparado con fachadas de cristal, destacando un estudio similar hecho en fachadas verdes tropicales, con un resultado cercano al de fachada en clima templado.

Respecto a la **contaminación por ruido** en las zonas urbanas, existe información científica que relaciona a los techos verdes con el aislamiento acústico, comprobando que tiene propiedades aislantes. Al analizar las variables que generan el aislamiento acústico, la profundidad y tipo de sustrato de un techo verde **NO** resultan determinantes, no así el follaje y el número de hojas, que tienen un efecto reductor de ruido con plantas densas de hasta 4 Kilohertzios.

Otro punto importante de los techos verdes en el campo de la arquitectura es del **peso** que generan el **sustrato y la biomasa vegetal** en la estructura del edificio, proponiendo generalmente el uso de sustratos poco compactos y muy bien drenados, logrando esto con la combinación de materiales gruesos convencionales como gravillas livianas como vermiculita, arcillolitas, perlita, etcétera. En Europa se ha propuesto el uso de caucho en fragmentos, ya que ha demostrado tener la misma capacidad de drenaje y de aislamiento térmico pero, no menciona el efecto de este material sobre el desarrollo de las plantas. Otra propuesta para el uso de sustratos ligeros es el uso

de lodos de depuradoras incinerados, que han sido ensayados en zonas tropicales logrando una capacidad de aislamiento térmico de hasta el 84% y siendo irrigados dos veces por semana se incrementa al 92%, sin embargo el uso de estos materiales debe ser revisado en prevención del efecto negativo que pudieran tener estos lodos en el follaje de herbáceas como la *Brassica rapa* y *Lolium perenne*.

Es muy importante en el diseño de azoteas verdes, la selección de la especie a natural, pues de una adecuada selección depende su éxito. Las especies a plantar son un factor determinante en cuanto al efecto de aislamiento térmico y acústicos que se relacionan estrechamente con los beneficios ambientales y ecológicos generados e inciden en el costo de funcionamiento de las edificaciones, siendo el costo de mantenimiento de la vegetación, una de las partes débiles del tema de azoteas verdes, debiendo considerar hasta donde estas inversiones se recuperarán gracias al ahorro de electricidad para calefacción y refrigeración. Una alternativa de costo de mantenimiento de la vegetación es la selección de **especies de alta tolerancia**, el cual se ha estudiado la implantación por un periodo de tres años con un mínimo de mantenimiento. También se ha profundizado en el tema de selección de especies para Norteamérica, siendo un punto difícil en comparación con el de climas tropicales donde las condiciones climáticas y de altitud obligan al uso de especies locales.

3.4.2.-Metabolismo y confort.

Definiremos el *Confort* como “Condición mental bajo la cual expresan satisfacción la mayoría de los ocupantes de un determinado ambiente térmico”. Se estima que más del 90% del tiempo, las personas realizan sus actividades dentro de un espacio construido donde no siempre las condiciones de humedad y temperatura son las adecuadas. Esto es particularmente cierto en una gran variedad de edificios contemporáneos que debido a sus condiciones inadecuadas de diseño, orientación y materiales empleados, presentan condiciones fuera de la zona de confort. Para acceder a tales condiciones, normalmente se debe recurrir a sistemas de acondicionamiento de aire, cuyo gasto de energía puede llegar a ser oneroso, con las consecuencias propias al medio ambiente.

El autor Fanger (Fanger P.O. 1970. Thermal Comfort, McGraw-Hill, New York, presentó los índices analíticos de voto medio estimado PMV) y porcentaje estimado de personas insatisfechas (PPD) que constituyen la base de la norma ISO 7730 que determina e interpreta analíticamente estos índices así como los estándares de confort de varios países.

Los factores que determinan el confort térmico, son de dos clases: Los factores *ambientales* y los factores *personales*.

Entre los *factores ambientales* podemos citar los siguientes:

- + La temperatura ambiente, que es la temperatura que rodea el cuerpo.
- + La temperatura radiante, que es el calor irradiado directamente por el sol y objetos cercanos calientes.

- + La velocidad de las corrientes de aire, la cual debe ser moderada para renovar el aire, lo cual no debe notarse en las corrientes de aire.
- + La variación en la irradiación de calor desde distintas direcciones, donde se debe evitar el efecto chimenea, o sea, calor por delante y frío por detrás.
- + La humedad ambiental, que debe ser de entre 40% y 70%.
- + La estratificación del calor, que es la diferencia de temperatura entre el aire cercano a los pies y el aire cercano a la cabeza, el cual no debe exceder de 3°C.

Entre los *factores personales* podemos citar los siguientes:

- + El vestido o ropa de abrigo, que implica la temperatura que rodea el cuerpo.
- + El nivel de actividad de la persona y el calor del metabolismo, que indica que a mayor actividad física se produce mayor calor metabólico, el cual debe ser evacuado.
- + El nivel de sensibilidad térmica de la persona, la cual depende en parte de sus condiciones físicas, tamaño, peso, edad, complexión y sexo.
- + La aclimatación de la persona, que es la experiencia de aclimatación de la persona a determinadas condiciones climáticas.

Cuadro 2.- Escala de evaluación térmica de Bedford.

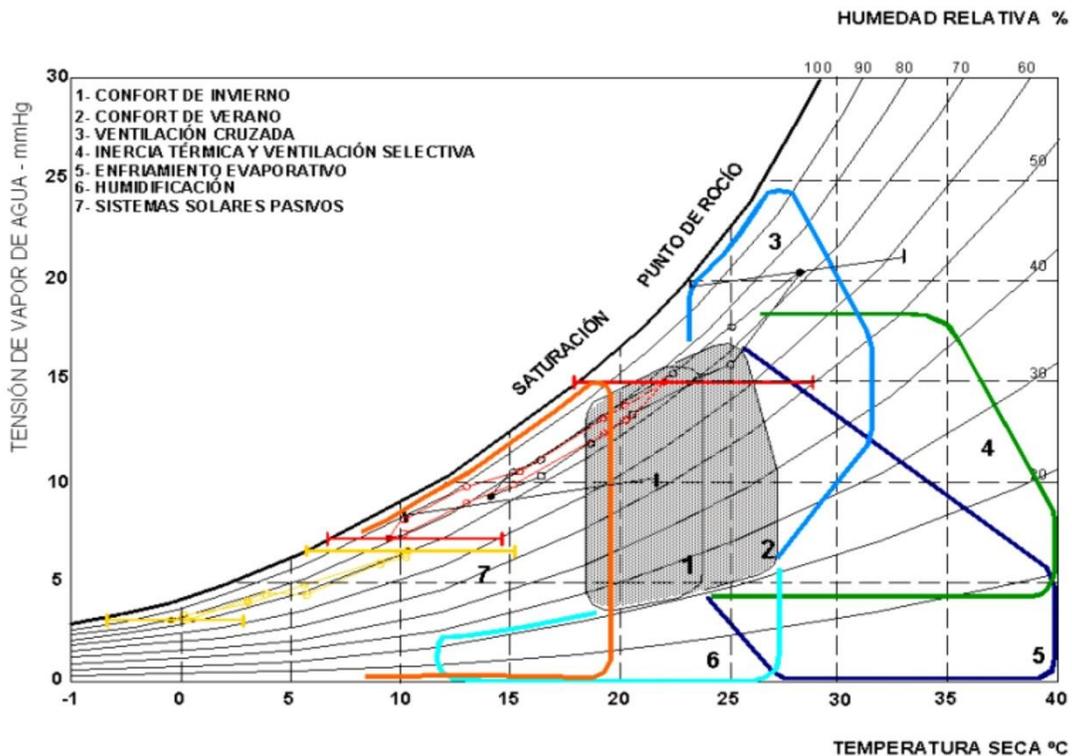
Valor	C o n d i c i ó n .
- 3	Muy frío.
- 2	Frío.
- 1	Confortablemente frío.
0	Confortable, ni frío ni caliente.
+ 1	Confortablemente caliente.
+ 2	Caliente.
+ 3	Muy caliente.

El método *Adaptivo* o *Adaptativo* indica que los factores conductuales y psicológicos de las personas, tienen un efecto significativo en la percepción de estas. Este hecho se basa en que las personas de las diferentes regiones climáticas del planeta tienden a reaccionar o adaptarse de diversas maneras para restaurar su estado de confort térmico y reaccionar de acuerdo con sus expectativas y percepción del entorno circundante.

El cuerpo humano mantiene su equilibrio térmico con su entorno circundante por medio de mecanismos naturales de auto-regulación como la sudoración y los escalofríos. Además de estos

procesos automáticos del organismo, existe una amplia gama de respuestas *adaptivas* que permiten a los ocupantes de los edificios adaptarse a los ambientes intramuros y del exterior por medio de ajustes conductuales, como el uso y ajustes de vestimenta adecuada, abrir o cerrar ventanas, uso de ventiladores, calefactores y aclimatadores. Se recomienda que el método adaptivo o adaptativo se base en las temperaturas de la piel y en las tasas de sudoración correspondientes a los diversos puntos en la escala ASHRAE (American Society of Heating Refrigeration and Air conditioning Engineers) para diferentes actividades metabólicas.

Cuadro 3.- Tabla de evaluación de confort.



La temperatura de bulbo seco es el parámetro de medición más útil para establecer las condiciones de confort, pero para la estimación de la magnitud de incomodidad o estrés térmico, se deben establecer otros índices que reconozcan e incluyan: La humedad del aire, la temperatura radiante media y el movimiento del aire. (García Chávez, Ambríz y Romero. 2005: 215-220).

Es de analizar que una buena parte del confort lo proporcionan tanto el clima donde intervienen la temperatura, humedad, viento o ventilación, humedad, sensación térmica según los índices indicados en el cuadro 3, así como el índice de indumentaria o vestimenta, la tabla del cuadro 4, y la constitución y condición física, edad y sedentarismo, entre otros factores, que utilice la persona para alcanzar el confort deseado.

Cuadro 4.- Índice de indumentaria o vestimenta (Clothing)

Equivalencia entre vestido y Clo (Clothing, Unidad de medida del índice de vestimenta)

Vestimenta	Clo
Desnudo	0.0
Pantalón corto	0.1
Traje veraniego	0.5
Traje masculino de calle	1.0
Conjunto femenino de invierno	0.7-0.9
Traje masculino de invierno	2-2.5

CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO III.

+ Si bien en la implementación de sistemas de naturación urbana como las azoteas verdes, muros vivos, reforestación y jardinería, creación de viveros, jardinería urbana, campañas de reforestación, etcétera, la finalidad está dirigida a la mitigación del impacto causado de las emisiones de gases de efecto invernadero, con una clara tendencia a la sustentabilidad, los métodos constructivos actuales y los materiales utilizados básicamente en la impermeabilización y aislamiento térmico, así como los métodos y tecnologías actuales, impiden alcanzar la sustentabilidad de forma total, ya que la mayoría de los materiales tienen un proceso de obtención, industrialización, manejo y comercialización, aplicación y sistemas constructivos amén de que la mayoría de estos son de polícloruro de vinilo (P.V.C.) y otros materiales asfaltados e industrializados.

+ A pesar de este imponderable, la naturación desarrollada a todos los niveles a partir de los años 60 y 70 donde se empezó a ver los estragos causados por los “avances tecnológicos de la Civilización”, inició a tener importancia para su estudio, evaluación, promoción, tecnificación, implementación y mejoramiento, todo esto tendiente a reducir o mitigar en la mayor proporción posible, el deterioro ambiental causado al ecosistema. Gernot Minke, arquitecto y catedrático de la Universidad de Kassel, Alemania, inició desde 1974 estudios acerca del desarrollo e investigación en el ámbito de las construcciones ecológicas, viviendas de bajo costo y construcción con tierra. Esta tecnología desarrollada y propuesta por el arquitecto alemán, a inicios de los años setentas, época en que en nuestro país, al igual que en el resto del planeta, aún no se asentaba de manera preocupante, el deterioro ambiental y el daño causado por los gases de efecto invernadero, determinantes en el cambio climático y sus efectos actuales al planeta, los cuales se asentaron de manera alarmante a partir de esta década, pero sobre todo en América, debido básicamente a la producción masiva de autos, la autosuficiencia de petróleo y sus derivados y al aumento de la población en las grandes ciudades.

+ El resultado de esta tecnificación en Europa y principalmente en los países escandinavos (Noruega, Suecia, Dinamarca, Finlandia e Islandia), y desarrollada originalmente en Alemania, ha dado como resultado que gran parte de estos países, en un tiempo relativamente corto, hayan detenido el deterioro que venía causando la emisión de gases contaminantes y debido a esto estén mitigando los daños causados al medio ambiente. Pero es conveniente darnos cuenta de que se trata de otras culturas, algunas milenarias y mucho más respetuosas con el medio ambiente. Por ejemplo: La cultura de la bicicleta: En nuestra ciudad apenas se está implementando el uso la bicicleta y se está fomentando de manera considerable, eso es muy bueno pero, hace cuantos años que en Alemania, Holanda, Italia, España y muchos países europeos, el uso de este medio de transporte data de hace muchas décadas. Otro ejemplo: En estos países existe la cultura del transporte colectivo, formado por una red de trenes eléctricos y de combustión que viajan constantemente entre ciudades del mismo país o de diferente, pero siempre hasta la mayoría de su cupo. Además, la gran mayoría de los autos europeos son de cuatro cilindros. Claro que existen los de 6, 8 y hasta 12 cilindros, pero son casos muy especiales. Esto también influye en la cantidad de emisión de gases antropogénicos a la atmósfera.

+ También existe la cultura de caminar, ya sea de manera recreativa en parques, plazas y espacios abiertos o de manera específica con destino a los centros de trabajo y estudio, lo cual permite a las personas ejercitarse y quemar más grasa corporal, y por consecuencia, ser más sanos, amén de que las costumbres de alimentación son totalmente diferentes a las de América. Determinemos que en varios países europeos se estila la ingesta de pan, vino, olivo, pescados y carnes rojas en sus dietas, amén del uso de vegetales y frutas, básicamente en las dietas mediterráneas, lo que aunado a la costumbre de caminar y moverse físicamente le origina a las personas, menor acumulación de grasa corporal y mejor salud. En una palabra, sus hábitos son más sanos.

+ Contrariamente a esto, en América, y más específicamente en nuestro país y sobre todo en los estados más tradicionalistas y formando parte de nuestra cultura, la gastronomía propia de cada región, nos lleva a degustar de la cocina mexicana tan rica en olores, sabores, texturas, etcétera, que es deliciosa, pero nunca dietética, aunado al consumo de productos norteamericanos como los hot-dogs, hamburguesas, paras fritas, coca-cola y demás productos considerados “comida chatarra”, y con los hábitos que tenemos de caminar poco, utilizar para casi todo el vehículo automotor, aunque vayamos cerca, el beber poca agua simple, el cenar en ocasiones más que lo que comemos e irnos directamente a la cama, nos ocasiona daños a nuestra salud, sobrepeso u obesidad, que aunado a la falta de ejercicio, trae consecuencias negativas a nuestro organismo.

+ Es verdad, porque así lo muestra las estadísticas, que en Toluca, cada año cae mayor cantidad de precipitación pluvial en menor cantidad de tiempo, que aunado al deficiente sistema de colectores de agua, tanto negra como pluvial, que es el mismo, básicamente en la zona noroeste, la más alta de nuestra ciudad, cada año que pase y no se remedie de forma drástica este sistema de colección de agua, separando los colectores de agua pluvial y negra y aumentando su diámetro para captar la cada vez mayor cantidad de precipitación, tendremos cada año, en temporada de lluvias, los mismos o mayores problemas que ya hemos tenido en varios años anteriores.

CAPITULO IV: LOS TECHOS VIVOS.

Definición de “Techos Vivos”.

De manera simple los techos verdes se consideran como “una serie de plantas creciendo en los techos de las construcciones”, técnicamente es “una tecnología para el techado de una construcción en la cual las plantas son consideradas como la parte principal” los cuales proveen algunos beneficios ecológicos, económicos y sociales, como el manejo de aguas de tormenta, la conservación de la energía, la mitigación de los efectos isla de calor urbana, incremento en la duración de las cubiertas, mitigación del ruido, contaminación del aire, incremento a la biodiversidad y un entorno más amigable.

Un sistema de impermeabilización y aislamiento de cubiertas de edificios, combinado con la instalación de una superficie vegetal ligera y “autosuficiente” es lo que se denomina una *azotea ecológica*.

Señalaremos que existen diferencias importantes entre este concepto y el de azotea ajardinada o azotea verde intensiva ya que estas últimas están más asentadas en el mercado y cada vez, más perfeccionadas, sobre todo en Europa y Norte-América. La principal diferencia radica en que las azoteas verdes, sobre todo las intensivas requieren un cuidado especial como puede ser poda, riego y fertilización, mientras que las azoteas ecológicas o extensivas no requieren ningún tipo de cuidado, o este es mínimo. Otra característica que las diferencia es la diversidad de especies vegetales y sus necesidades, optando las azoteas verdes intensivas o ajardinadas por una gran homogeneidad de plantas, generalmente del tipo ornamental, de alto y bajo porte, algunas muy delicadas que requieren de un sustrato abundante y nutritivo, mientras que en las azoteas ecológicas o extensivas, el sustrato es mínimo y las plantas recomendadas deben ser muy resistentes y de acuerdo a cada zona climática, debiendo ser de raíces muy pequeñas y de preferencia tapizantes o cespitosas. (Briz, 2003: 105).

La azotea naturada, medio totalmente artificial, debe proporcionar todos los medios para sustentar una capa vegetal que cambie la relación de la ciudad con la naturaleza, convirtiendo cada edificio en un espacio capaz de ser hábitat de plantas y animales y crear áreas dentro de la ciudad que mitiguen la fragmentación, y unan, a través de la vegetación, los espacios urbanos a los naturales, haciendo de la ciudad un espacio de parques y áreas verdes más amable. (López, 2010: 5)

De acuerdo a su función, se dividen en *dos categorías*: Los **Intensivos**, asociados con los jardines cubierta, que requieren de sustratos más profundos, trabajo especializado en azoteas verdes como poda, riego y mantenimiento, mientras que los **Extensivos** utilizan capas de sustrato delgadas de entre 8 a 15 centímetros y están pensados para requerir el mínimo mantenimiento, naturarse con especies nativas y que sean auto-sostenibles.

Las azoteas verdes pueden alojar arbustos y árboles, pero requieren de un espesor de sustrato específico mayor de 15 centímetros el cual incrementa el peso encima de la cubierta. El Bióxido de

carbono CO₂, es indispensable para la vida en el planeta ya que su *captura a través de la fotosíntesis* y subsecuente *liberación de oxígeno* son la principal fuente de incorporación y almacenamiento de energía en el planeta y base de todas las redes alimentarias, lo que hace básica a la vegetación para la estabilización de la composición atmosférica, regular los ciclos hidrológicos, climáticos y la composición del suelo. Por desgracia, debido a las actividades humanas, se ha incrementado de manera alarmante el contenido de CO₂ en la atmósfera desde la revolución industrial que era de 280 ppm (partes por millón, o sea, 280 moléculas de CO₂ por cada millón de moléculas aire) y en la actualidad son de 380 ppm y se estima que para fines del siglo sean de 700 ppm. A pesar de que es en las áreas urbanas donde se emite la mayor parte de CO₂ a partir del metabolismo urbano (consumo de energía, transporte, transformación del suelo de áreas naturales a zonas construidas, etc.) la gran parte de estudios sobre las dinámicas del CO₂ están orientadas a comprender el ciclo del Carbono en la tierra partiendo del flujo de bosques, pastizales y cultivos, omitiendo las áreas urbanas.

Los **techos verdes** se han estudiado como estrategia para mitigar el efecto isla de calor urbano, ahorro de energía, regulación de calor al interior de los edificios, *pero no se ha profundizado en su papel para la mitigación del cambio climático*. Si bien estos pueden disminuir el consumo del aire acondicionado y clima artificial en las edificaciones con el consecuente ahorro energético y reducir el CO₂ generado, también lo es que *puede convertirse en un potencial importante para el secuestro de Carbono Urbano*.

En un artículo publicado por Bárbara Ian, en Buenos Aires, Argentina, en la revista *Sustentator* del 2 de abril del 2015 titulado “El elixir de los techos verdes, las plantas Sedum”, comenta que, además de que la implementación de azoteas verdes mejora la calidad de vida de la sociedad al otorgar un gran beneficio a las edificaciones como el aislamiento acústico, mantener estable la temperatura de los inmuebles, crear espacios recreativos y mejorar la calidad del aire al reducir los niveles de bióxido de carbono, también hace mención al comentario vertido por el Ing. Agrónomo Gabriel Lande que explica que las plantas Sedum tienen propiedades sumamente favorables para la creación de azoteas verdes ya que poseen una alta resistencia a la sequía y a temperaturas extremas, cuenta con raíces poco profundas y es de bajo mantenimiento.

Además agrega que una de las características principales de las plantas Sedum es que tiene permanente renovación por resiembra natural y propagación agámica, esto es, que se reproduce asexualmente, sin unión de gametos. Comenta Tomás Dreizzen, cofundador de la revista *Sustentator*, afirmando que para que una cubierta vegetal sea exitosa, debe tener estar realizada al menos en 80% de su naturación con plantas Sedum, ya que tienen gran resistencia a condiciones adversas y sus hojas carnosas tienen gran absorción de agua, lo que ayuda a prevenir inundaciones. Afirma que la colocación de Sedum en azoteas verdes es un requisito obligatorio para obtener la certificación de liderazgo en Energía y Diseño ambiental, conocida como LEED, perteneciendo esta evaluación a un sistema internacional reconocido que destaca edificios sostenibles, que contribuyen al cuidado del medioambiente a partir de la preservación de recursos naturales y generación de espacios sostenibles para vivir. (*Sustentator*.2015)

4.1.- Tipos de azoteas verdes.

Clasificación de cubiertas vegetales.

Las azoteas verdes, cubiertas vegetales, techos naturados, o cualquier otra combinación de nombres que se le quiera dar, se clasifican de acuerdo a su costo y mantenimiento, y pueden ser:

+ **Extensivas o ecológicas:** Son aquellas en que el espesor de la capa de tierra (Sustrato) es mínimo y puede ir desde 4 hasta 15 centímetros, que utilizan plantas de bajo porte en las cuales las necesidades de riego y mantenimiento son mínimas, acepta especies nativas, endémicas o adaptadas, convenientes para pendientes de 0 a 30°, capaces de soportar temperaturas extremas, largos periodos de tiempo sin riego y de crecer en sustratos delgados. Se instalan en lugares poco accesibles y se riega normalmente con agua pluvial. Su mantenimiento es mínimo y se recomienda instalarlas en edificios ya construidos por su poco peso, menor a 70 Kg/m² en espesores menores de 8 centímetros y de 160 Kg/m² en espesores de hasta 15 centímetros. La vegetación crece de forma natural, sin ser sembrada y los musgos, suculentas, hierbas o pastos pueden sobrevivir sin cuidados y son resistentes a sequías y heladas, teniendo una buena capacidad de regeneración, eligiéndose por lo general plantas silvestres.

+ **Semi-intensivas:** Se consideran un sistema intermedio ya que el sustrato varía de 12 o 15 centímetros a 30 centímetros disminuyendo la variedad de especies vegetales aunque mayor que en el sistema extensivo. Es de mantenimiento esporádico y su peso es de entre 120 a 250 Kg/m² dependiendo del espesor, tipo, mezcla y proporción del sustrato, y siendo el sustrato del menor espesor indicado, se puede instalar en azoteas con cierta inclinación o pendiente leve, la cual es de 3° a 20°, o sea, de un 5 hasta un 35% de pendiente.

+ **Intensivas:** Son aquellas en que la capa de tierra es mayor de 30 centímetros y no existe limitación en la elección de plantas pero se debe tener en cuenta su mantenimiento constante así como su peso para el diseño de la estructura donde se va a desarrollar. Tienen un costoso sistema de instalación y mantenimiento, poda y riego constante, amén de un específico diseño estructural del soporte ya que implica pesos desde 250 hasta 400 Kg/m². lo cual es muy recomendable en edificios nuevos donde se diseña la estructura, incluyendo las cargas de naturación. Este tipo de azoteas se instala sólo en techos planos, ya que el peso y espesor del sustrato, en ocasiones mayor de 30 centímetros, puede llegar a ocasionar que el sustrato de la orilla, en caso de no tener algún contenedor, caiga hacia el exterior de la cubierta, ocasionando pérdida de medio de crecimiento a la vegetación implementada y que las raíces queden sin medio de soporte.

A continuación se presenta una tabla comparativa en la cual se observan las ventajas y desventajas que pueden ofrecer tanto las azoteas extensivas como las intensivas, no sin antes comentar que, no es que exista el rango medio entre ellas, que serían las azoteas semi-intensivas, pero estas toman

características de ambas en algunos puntos de acuerdo a su diseño y finalidad, pero si podemos darnos cuenta de las características más notables de una a otra.

Cuadro 5.- Tabla comparativa de tipos de azotes (Peck and Kuhn, 2006:5).

Azotea verde extensiva	Azotea verde intensiva
Medio de cultivo delgado, poco nulo riego, plantas en condiciones de estrés y baja diversidad de plantas.	Medio de cultivo profundo, sistema de riego, condiciones más favorables para la planta, gran diversidad de cultivo y acceso abierto.
<p data-bbox="332 504 446 535">Ventajas:</p> <ul data-bbox="267 535 795 1186" style="list-style-type: none"> • Peso ligero, la azotea generalmente no requiere reforzamiento. • Adecuado para grandes extensiones. • Apropiado para techos con pendientes de 0-30 °. • Bajo mantenimiento en su larga vida. • Frecuentemente no necesitará de sistemas de riego y drenaje especiales. • Baja necesidad de expertos técnicos. • Frecuencia adecuada para proyectos de modernización. • Puede dejar crecer la vegetación en forma espontánea. • Relativamente barata. • Apariencia más natural. • Más fácil planeación para homologar la planificación de plantas nativas. <p data-bbox="349 1218 503 1249">Desventajas:</p> <ul data-bbox="267 1249 795 1522" style="list-style-type: none"> • Baja eficiencia energética y menores beneficios en retención de agua. • Elección limitada de plantas. • Normalmente no tiene acceso como área de recreación u otros usos. • Poco atractiva para la gente, especialmente en invierno. 	<p data-bbox="933 504 1047 535">Ventajas:</p> <ul data-bbox="868 535 1396 997" style="list-style-type: none"> • Gran diversidad de plantas y habitantes. • Buenas propiedades de aislamiento. • Puede simular un jardín con fauna silvestre en estado natural. • Puede ser muy atractivo visualmente. • Accesibilidad abierta, puede tener mayores utilizaciones como área recreativa, comidas a descubierto y espacios libres. • Mayor eficiencia energética y buena capacidad de retención de agua pluvial. • Larga vida a sus membranas. <p data-bbox="933 1207 1088 1239">Desventajas:</p> <ul data-bbox="868 1239 1396 1543" style="list-style-type: none"> • Gran carga de peso en la estructura. • Necesidad especial de sistemas de drenaje que requieren energía, agua y materiales específicos. • Alta inversión de dinero y mantenimiento costoso. • Mayores sistemas complejos que requieren de expertos.

4.2. Diseño de cargas para una azotea verde.

Gráfica de cargas para una azotea verde.

Las consideraciones de carga para el diseño de una azotea verde que se deben tomar en cuenta, son la carga permanente, el peso total de la azotea, el sustrato en estado de saturación de agua y la carga de la vegetación a desarrollar. Durante la construcción de la azotea verde debe evitarse puntualmente, no sobrepasar la capacidad de carga admisible, ya sea por transporte de pesos o por almacenaje de materiales sobre el mismo. Se debe repartir la carga de manera uniforme sobre toda el área de la cubierta. En techos extensivos de una sola capa de sustrato con material de drenaje liviano con un espesor total de 10 centímetros en estado de saturación de agua, debiendo considerarse un peso de 100 Kg/m².

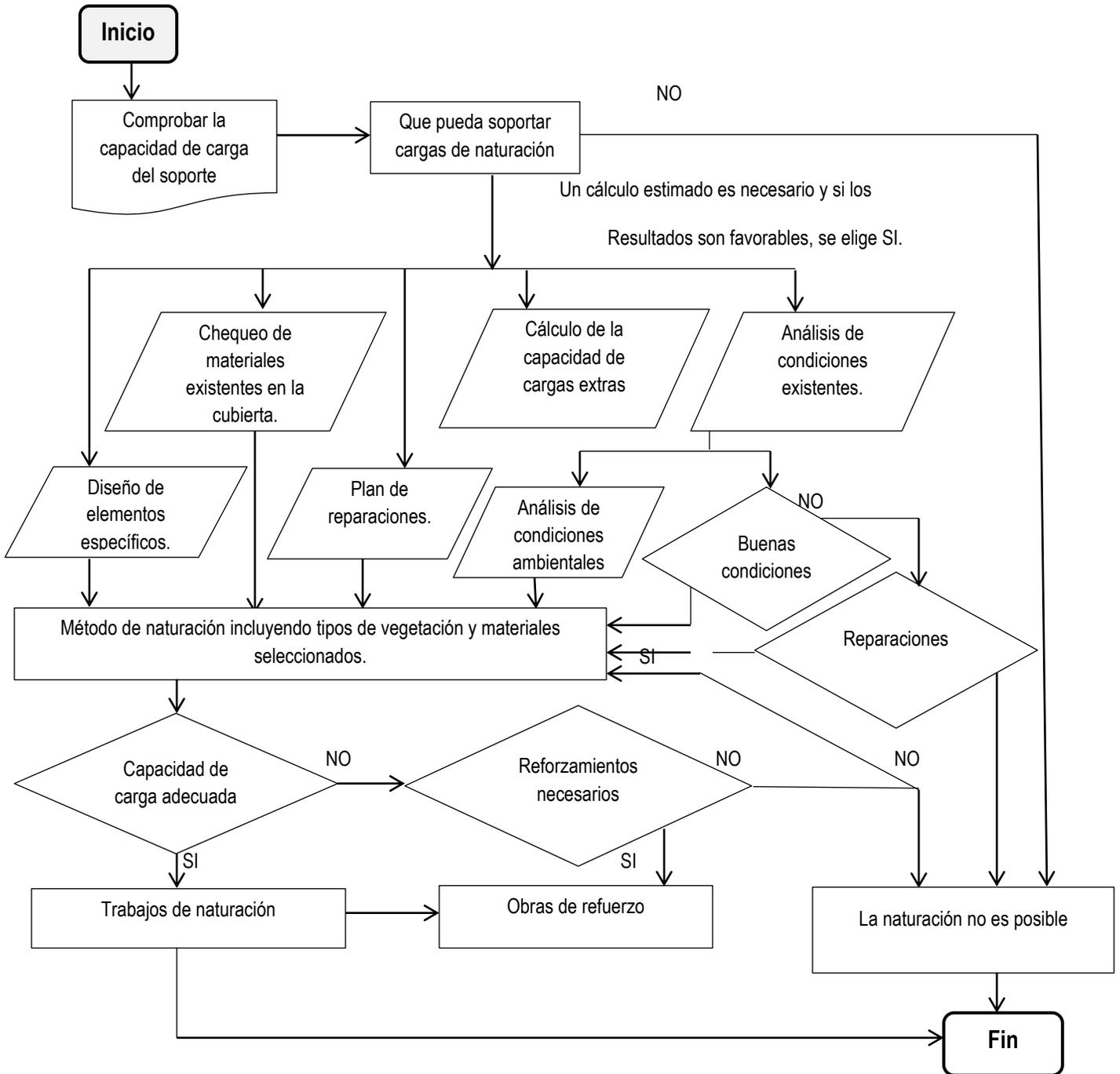
La Fuerza de succión del viento ya conocida en los techos tradicionales, en los techos verdes tiene otras características. La rugosidad de la superficie de la vegetación y sobre todo la posibilidad del pasaje del aire a través de la capa de vegetación, posibilitan una compensación de presión del aire entrante en las capas superior e inferior. Por ese motivo se reduce significativamente el efecto de succión del viento. Además de ese efecto, se genera en las raíces del entramado del sustrato, una distribución uniforme de las fuerzas que, por ejemplo, no se da en una capa de grava. Es por eso que en la Asociación alemana de jardineros de azoteas verdes para jardines extensivos, se consideran cargas en edificios de hasta 8 metros de altura con losas planas, 40 Kg/m² como peso mínimo en el centro de las losas y de 80 Kg/m² en las zonas perimetrales y en edificios de 8 a 20 metros de altura, de 65 Kg/ m² a 130 Kg/m² respectivamente, considerando como área perimetral 1/8 del largo de la losa y/o 1.00 m. mínimo ó 2.00 m. máximo. La práctica demostró que los granos de arena, debido a la succión del viento, pueden ser expulsados hacia afuera. Un techo de pasto bien enraizado con 15 centímetros de sustrato, no sufre a causa de la succión del viento (Minke, 2004:28).

Se debe conocer la capacidad de estructura y losa del edificio, la cual debe soportar el peso de la naturación, tanto las cargas muertas como las vivas. La naturación se puede realizar en losas de concreto colado en sitio, concreto prefabricado o metálicas, entre otras. De forma general, se considera que de los tres tipos de azoteas verdes, la naturación extensiva se considera dentro de las cargas calculadas para el edificio de 90 a 140 Kg/ m². En las azoteas semi-intensivas e intensivas las cargas son mayores, teniendo implicaciones estructurales superiores a 250 Kg/m² (López, 2010:6)

Las cargas a considerar en la implementación son azoteas verdes son diversas, de acuerdo a los fines con que vaya a ser naturada, la variedad escogida, el tipo de sustrato y el tipo de azotea, ya sea extensiva, semi-intensiva o intensiva, y se debe determinar desde los estudios preliminares, si la propuesta de techo vivo es aplicable a una determinada estructura, ya sea edificación nueva o ya construida, por lo que se deberá considerar en el diseño inicial, la carga en estado saturado y con vegetación y, de acuerdo al tipo de cubierta a desarrollar, si es que va a ser transitable o no. A continuación se presenta una gráfica de estudio preliminar para una propuesta de naturación en una

cubierta, tomando en consideración aspectos generales, ya sea edificación nueva, existente o que requiera de reforzamiento estructural para su desarrollo.

Cuadro 6.- Diagrama de Análisis de carga en azoteas verdes. (Dra. Mónica Pérez Báez).



4.3.-Normatividad de azoteas verdes.

Siendo un tema de innovación en nuestro país, pues su difusión no va más allá de 20 ó 30 años a la fecha, prácticamente no existe una normatividad establecida, a excepción de la Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007 que establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación en el Distrito Federal, autorizado mediante Gaceta Oficial del Distrito Federal No. 491 de fecha 24 de diciembre del 2008, en la cual se establecen las bases técnicas para el establecimiento de sistemas de naturación en la ciudad de México con el propósito de compensar la pérdida de áreas verdes y naturales por motivo del crecimiento de la mancha urbana y edificaciones, tanto del sector público como privado, evitando con esto la absorción de rayos solares por la vegetación, ocasionando un incremento en la temperatura debido a la liberación nocturna de calor acumulada durante el día en edificaciones y superficies duras, ocasionando cambios en el clima y micro-clima de la ciudad y por consecuencia, en el confort de los habitantes de todo el Valle de México.

El objeto de esta norma es establecer los criterios o especificaciones técnicas, condiciones, parámetros y criterios mínimos de calidad y seguridad estructural aplicables en la instalación de sistemas de naturación en el Distrito Federal. Los requisitos o especificaciones técnicas, condiciones, parámetros y criterios mínimos de calidad y seguridad, serán aplicables a los materiales y procedimientos constructivos que para tal efecto sean utilizados durante el proceso de planeación, instalación y mantenimiento de los sistemas de naturación.

Debido a la falta de promoción ante la sociedad, en los estados circundantes de la capital del país, y aun así, en los más alejados o muy provinciales, esta norma debe regir en términos generales, por motivo de que está dada en base a la situación geográfica de la ciudad de México, su altura sobre el nivel del mar, condiciones diferentes a otras ciudades donde sea aplicada, debiendo de tomar en consideración los aspectos antes señalados, los cuales varían de acuerdo a la ciudad donde se estudie la aplicación del sistema de naturación.

Existe en la capital del país, la AMENA (Asociación Mexicana para la Naturación de Azoteas), asociación civil creada en el año 2005, cuyo objetivo es investigar, informar y capacitar sobre los beneficios ambientales, sociales y económicos que representan las azoteas verdes.

En el diseño urbano existe el concepto de ciudad sana (Healty city) que aunado al de salud pública, se organizan a través de la Organización mundial de la salud (World Health Organization) la cual tiene su sede en la ciudad de Toronto, Canadá, el cual tiene sus lineamientos regionales para el desarrollo de proyectos de ciudades sanas (Regional Guidelines for Developing a Healthy Cities Project) editado en marzo del 2000 y en el que señala a nivel global los requerimientos y condicionantes para el desarrollo de los centros de población y ciudades de todo el mundo. Estos lineamientos deben ser aplicables en todos los países en su crecimiento poblacional y urbano.

4.4.-Las plantas, variedades a utilizar (Desarrollo y experimentación).

Clasificación Taxonómica.

Las plantas se pueden clasificar de la siguiente forma:

Reino

Subreino (División)

Clase

Subclase

Orden

Familia

Género

Especie

Súper-especie ó subespecie

Las plantas pueden ser: Caducas, Anuales o Perennes.

Las plantas vivaces Caducas y Anuales, son plantas herbáceas no leñosas que cuando llega el frío invernal, se secan sus tallos y hojas, pero sus raíces siguen vivas bajo tierra y en la próxima primavera vuelven a brotar.

Las plantas Perennes en el invierno no pierden ni su tallo ni sus hojas, como por ejemplo, Lavanda, Cineraria, Gazania, Geranios, y sirven, entre otras cosas, para construir :

1.-*Arriates*.- Son generalmente rectangulares, alargados y estrechos, con un fondo de valla o muro. Las plantas más altas se colocan atrás y las más pequeñas adelante. También se pueden combinar los arriates con arbustos, bulbosas y anuales (plantas de temporada). (Figura 11).

2.-*Macizos*.- Son “masas” de flores que se pueden contemplar desde todos los ángulos, a diferencia de los arriates, puesto que tienen un seto o muro atrás. Se hacen en forma rectangular, cuadrada, círculo, media luna, o irregular, con bordes sinuosos y puede estar formado por una sola especie o por más de una, teniendo cuidado de no tener una ensalada multicolor. (Figura 12).

3.-*Parterrés*.- Son igual que los macizos, pero se diferencian en que están delimitados por un borde. Esta bordura suele estar hecha por arbustos bajos que admiten recorte (Boj, Santolina, Lavanda, Evónimo, etc.) y se rellena con las plantas vivaces o perennes.

4.-*Borduras*.- Los bordes de un camino, de un macizo de arbustos, etcétera, pueden hacerse con un camino de plantas perennes, formando una bordura. Ejemplo, Santolina, Lavanda, Salvia, etc. (Figura 13).

5.-*Rocallas*.- Es una superficie física normalmente en pendiente donde se disponen piedras combinadas con plantas donde se pueden plantas arbustos, vivaces, perennes, bulbosas y plantas de temporada. Dentro de las vivaces y perennes, hay serie de especies que tienen poca altura y crecen expandiéndose en el suelo. Se llaman *tapizantes* y son ideales para usar en rocallas porque cubren huecos y se desparraman en las rocas. También se pueden usar como tapizantes algunos arbustos, plantas crasas y algunas trepadoras.

6.-*Macetas de jardinería*.- Las plantas vivaces y perennes se pueden cultivar perfectamente en contenedores, macetas y jardín, para decorar terrazas, en el interior de la casa, en el porche o patio y en muros y azoteas verdes. (Figura 15).

7.-*Para flor recortada*.- Las plantas aptas para flor recortada deben tener la cualidad de que una flor pueda vivir muchos días sin marchitarse. Deben cortarse en capullo como los claveles y las rosas. Otras se cortan totalmente abiertas como la gerbera o el crisantemo. No se cortan al calor del día sino temprano en la mañana o bien, al atardecer. Se debe tratar como planta de interior, cambiándole el agua varias veces a la semana añadiéndole conservador. Podemos mencionar entre estas a clavel, crisantemo, lila, violeta, azucena, nardo, tulipán, etc. (www.infojardin.com)



Figura 11.-Arriate



Figura 12.- Macizo



Figura 13.-Bordura



Figura 14.-Tapizante.



Figura 15.- Macetas y contenedores

4.4.1.-Suculentas.

El *Sedum* es un género que comprende muchas especies de Europa meridional, México y África central, las cuales son consideradas como **plantas suculentas**. Su clasificación es la siguiente:

Reino: Plantae.

Clado: Angiosperma.

Orden: Saxifragales.

Familia: Crasuláceas.

Género: Sedum.

Especies: Varias (A continuación de muestran algunas).

Características: También llamadas *crasas* (latín Suculentos “Muy jugoso”) son aquellas en las cuales la raíz, el tallo o las hojas se han engrosado para permitir el almacenamiento de agua en cantidades mucho mayores que el resto de las plantas, lo que les permite mantener reservas de agua durante periodos largos de tiempo y sobrevivir en entornos áridos y secos donde otras plantas no sobreviven. Muchas de estas plantas son pubescentes, o sea, que presentan una serie de pelillos que retienen el rocío matutino. La fotosíntesis se lleva a cabo precisamente en la superficie del tallo donde también se almacena el agua. Existen miles de plantas suculentas pero la mayoría pertenece a las Aizoáceas, Cactáceas, Crasuláceas y Euphorbiáceas. Son originarias principalmente de África, Asia y Madagascar pero existe gran variedad de Agaveáceas y Cactáceas originarias de América.



Figura 16.- Suculentas.

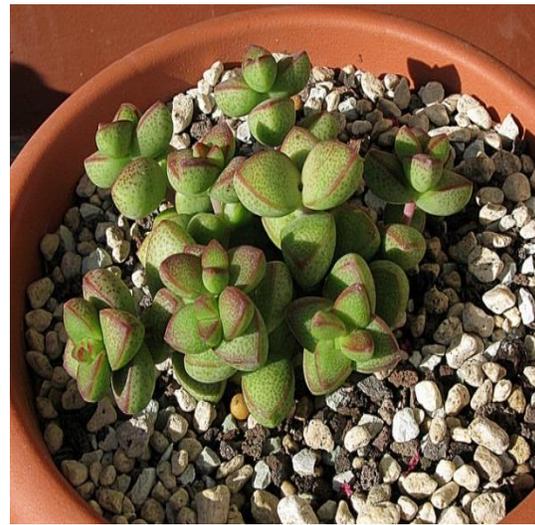


Figura 17.- Lithops o piedras.

Características generales: El género *Sedum* pertenece a la familia de las Crasuláceas, vasto grupo de plantas suculentas originarias de Europa meridional, de México y de África central. Son plantas perennes casi todas y muy rústicas con un porte más bien rastrero aunque existen especies de porte erguido, arbustivo y de mata. Son plantas bastante estimadas porque son muy bonitas desde su punto de vista estético, con hojas de un verde muy particular y atractivo y forman flores estrelladas de gran efecto decorativo.

Tanto los tallos como las hojas son muy carnosas y tienen la función de almacenar agua. Las hojas son opuestas y dispuestas alternativamente a lo largo del tallo y revestidas de una sustancia cerosa o de una ligera pelusa. Las flores son comúnmente en forma de estrella y de diferentes tamaños pero, tienden más bien a ser pequeñas, según la especie. En algunas especies se reúnen en inflorescencias de corimbo (inflorescencia abierta y pareja), en racimo (inflorescencia indefinida) en panícula (inflorescencia racimosa que va decreciendo de tamaño hacia el ápice). Según la especie, florecen de marzo a septiembre.

Especies principales: El género es bastante grande pues lo componen más de 450 especies, pero mencionaremos solo algunas de ellas, las más comunes usadas en nuestro medio:

<i>Sedum Rubrotincum.</i>		<i>Sedum anacampseros</i> (24)	<i>Sedum mexicanum</i> (32)
<i>Sedum Hintonii.</i>	(18)	<i>Sedum album</i> (25)	<i>Sedum glacophyllum</i> (33)
<i>Sedum Bellum.</i>	(19)	<i>Sedum cauticola</i> (26)	<i>Sedum reflectum</i> (34)
<i>Sedum Morgarianum.</i>	(20)	<i>Sedum ewersii</i> (27)	<i>Sedum pachyclados</i> (35)
<i>Sedum Pachiphyllum.</i>	(21)	<i>Sedum floriferum</i> (28)	<i>Sedum sexangulare</i> (36)
<i>Sedum Sieboldi.</i>		<i>Sedum hispanicum</i> (29)	<i>Sedum spurium</i> (37)
<i>Sedum Acre.</i>	(22)	<i>Sedum hybridum</i> (30)	<i>Sedum sieboldii</i> (38)
<i>Sedum Sempervivum.</i>	(23)	<i>Sedum Kamtschaticum</i> (31)	<i>Sedum tetractinum</i> (39)



Figura 18.-*Sedum Hintonii* Figura 19.-*Sedum Bellum* Figura 20.-*S. Morgarianum* Figura 21.- *S. Pachyphyllum*



Figura 22.-Sedum Acre Figura 23.- S. Sempervivum Figura 24.-S.Anacampseros Figura 25.-Sedum Album



Figura 26.-S.Cauticola Figura 27.-Sedum Ewersii Figura 28.-S. floriferum Figura 29.-S.hispánicum



Figura 30.-Sedum hybridum Figura31.-S. Kamschaticum Figura 32.-S. mexicanum Figura 33.-S.Glacophyllum



Figura 34.-S. reflectum Figura 35.- S. pachyclados Figura 36.- S. sexangulare Figura 37.- S. spurium.



Figura 38.- Sedum sieboldii Figura 39.- Sedum tetraactinum

Técnica de cultivo: Una creencia es que las plantas crasas o suculentas crecen bien aunque se descuiden, lo cual es en parte, falso, ya que como todos los seres vivos, tienen necesidad de algún

cuidado y atención, aunque sea mínimo. Pueden vivir si las descuidamos pero ciertamente no vive en la medida de sus posibilidades, considerando que los cuidados que solicitan, no son muchos, pues solo hay que dedicarles unos pocos minutos a la semana y nos veremos recompensados con un buen crecimiento.

Las plantas *Sedum* son planta que requieren de mucha luz, también sol directo en todas las estaciones del año, pero lo óptimo es una exposición al sur y evitar la exposición al norte.

No tienen grandes problemas con las temperaturas máximas mientras que las invernales tienen que estar entre los 10 a 13°C, pero atendiendo que no bajen de 10°C. porque si llegan a estos valores, la planta debe dejarse perfectamente seca, para evitar congelamiento de la parte húmeda. Son plantas que requieren sobre todo de aire por lo que deben estar libres o cerca de ventanas abiertas.

Riego: Los riegos deben ser efectuados cuando el sustrato está seco. Una buena práctica es mojar bien el sustrato, luego dejar escurrir toda el agua en exceso y dejar que el terreno vuelva a estar seco antes de proceder al siguiente riego.

Durante el otoño-invierno (de la segunda mitad de noviembre hasta la primera mitad de marzo) los riegos deben ser suspendidos hasta la primavera, teniendo mucho cuidado de no dejar agua estancada ni encharcamientos en el sustrato ya que esto no lo tolera la planta y pueden pudrir las raíces.

Suelo-trasplante: El *Sedum* tiene necesidad de ser trasplantada periódicamente, en primavera, si las raíces han ocupado todo el espacio a su disposición, siendo el trasplante un momento óptimo para controlar el estado de las raíces. Si se notan raíces tiznadas o grisáceas (las raíces tienen que ser blanco-nata) deben ser eliminadas. Esto se realiza con unas tijeras lavadas y esterilizadas a la llama, procediendo al corte. Después se rocía en las heridas del corte, polvo fungicida de amplio espectro y se procede al trasplante, debiendo esperar al menos una semana antes del riego para que puedan cicatrizar las heridas. Para el trasplante se utiliza una composta específica para plantas crasas y se le añade arena gruesa o perlita en proporción de 2:1 (dos partes de composta por una parte de arena o perlita), teniendo cuidado de colocar el orificio de drenaje, algunos trozos de barro recocido de modo que la tierra o las raíces no obstruyan el agujero del drenaje ya que los encharcamientos son letales para la planta.

Se aconseja usar terracota y no plástico, lo que permite al sustrato respirar permitiendo que el orificio de drenaje quede de modo que garantice un buen drenaje. Además el espesor de sustrato debe ser más ancho que profundo, ya que el sistema radicular tiende a crecer más extendido que profundamente, teniendo muy en cuenta que el primer riego no debe darse antes de una semana para permitir la cicatrización de las raíces.

Abono: Desde la primavera y durante todo el verano, el *Sedum* debe abonarse cada cuatro semanas con un abono líquido a diluir en el agua de riego, disminuyendo la dosis con respecto a lo indicado

en el paquete. A partir del otoño y durante el invierno, debe suspenderse el abono porque va a descanso vegetativo y pueden acumularse en el sustrato creando un entorno dañino para las raíces de la planta. Para asegurarle a la planta un óptimo crecimiento, debe suministrarse un abono igualmente balanceado en Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) en una proporción de 30:30:30 (macro-elementos), asegurándose también de que contenga micro-elementos como Magnesio (Mg), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Boro (B), Molibdeno (Mb), siendo todos estos muy importantes para el desarrollo y un correcto y equilibrado crecimiento de la planta.

Floración: Al proporcionarle una adecuada cantidad de luz, agua y abono, como se ha indicado, se tendrá un excelente y bonito crecimiento y floración, la cual empezará en marzo y durará todo el verano hasta septiembre.

Poda: Generalmente no se poda, solo se deben ir eliminando poco a poco las hojas que se secan o se estropean para evitar que se conviertan en vehículo de enfermedades parasitarias. Se debe tener mucho cuidado que el utensilio que se ocupe para ello, esté bien limpio y desinfectado para evitar infectar los tejidos.

Multiplicación: El *Sedum* se multiplica por esqueje o por semilla, teniendo en consideración que la multiplicación por semilla, no tendrá la misma igualdad a la planta madre al intervenir la variabilidad genética. Consecuentemente, para conseguir un ejemplar preciso, es mejor hacer la multiplicación por esquejes.

Por esqueje, la mejor época para realizarlo es entre mayo y junio. Los esquejes se sacan cortando los ápices del tallo a un largo de 8 -10 centímetros utilizando un cuchillo bien afilado y desinfectado (preferentemente a fuego) descartando las hojas más bajas de unos 2 a 3 centímetros en la parte baja. Se deja secar la parte cortada de unos 7 a 10 días o más para hacer cicatrizar la herida y se plantan en una composta formada por arena y turba. El sustrato debe ser mantenido ligeramente húmedo y en un lugar donde la temperatura sea de 13 a 16 grados centígrados. Cuando empiecen a aparecer las primeras raíces, debe tratarse como una planta adulta.

Por semillas, se realiza esta multiplicación de enero a marzo, distribuyendo las semillas de la forma más uniforme posible en un sustrato formado por dos partes de arena fina y uno de sustrato para semillas (puede ser peat moss). Pueden usarse macetas no muy altas o bandejas de multiplicación dejando un espacio de al menos 2 centímetros entre el borde de la maceta y el sustrato. Drenar la maceta con agua hasta que esté bien mojada y dejar escurrir el exceso de agua, ordenando las semillas uniformemente sobre el sustrato mojado sin enterrarlas, solo sobrepuestas en el suelo húmedo para que se adhieran al terreno. La bandeja se cubre con una hoja de plástico transparente o cristal para asegurar una buena temperatura y evitar que el suelo se seque demasiado rápido. El plástico o vidrio debe retirarse diariamente para controlar el grado de humedad del terreno y sacar el agua condensada del plástico o vidrio. La bandeja o maceta conteniendo la semilla debe ser conservada a la sombra a una temperatura de 13 a 18 grados centígrados y ligeramente húmeda, utilizando un rociador para humedecer el sustrato hasta el momento de la germinación.

Cuando brote la semilla, se aparta el plástico o vidrio. Como las semillas no brotan de forma juntas sino gradualmente, se requiere proporcionar a las nuevas plantas un poco más de luz, colocando la bandeja para que reciba más luz pero, no demasiado, respetando las semillas que aún no han brotado. Cuando las plantas sean suficientemente grandes para manipularlas, se trasplantan, teniendo especial cuidado en no estropear ninguna parte de la planta, a un sustrato como el indicado para plantas adultas o su lugar definitivo.

Plagas y enfermedades: El *Sedum*, como todas las plantas suculentas, no están particularmente sometidos a enfermedades. En todo caso, es más correcto hablar de fisiopatías, o sea, enfermedades no causadas por agentes patógenos sino a malas técnicas de cultivo.

Si el tallo de la planta se pudre en su totalidad, no hay nada que hacer pero, si existen algunos tallos que no se han podrido aún, es posible hacer algo por la planta. Se saca la planta con todo el trozo de tierra del contenedor y se deja al aire, de manera que la tierra se seque rápidamente. Se eliminan aquellas raíces que ya se hayan podrido cortándolas al menos 1 centímetro encima de la parte podrida con una tijera afilada y desinfectada al fuego, al igual que los tallos ya muertos, rociando en la superficie de corte el polvo fungicida de amplio espectro y luego se trasplanta, esperando dos semanas para regarla nuevamente teniendo más cuidado en el suministro y drenaje de agua.

Cuando la planta se marchita y pierde las hojas, es un debido a temperaturas demasiado bajas o a corrientes de frío, lo que nos obliga a colocar la planta en una posición más idónea.

Si las partes verdes de la planta se decoloran y aparecen como “arrugas” es generalmente debido a riegos demasiado escasos, o al estar la planta muchos meses sin riego, especialmente en el verano, por lo que la planta agota toda el agua contenida en los tejidos, lo que la hace parecer “vacía”. No siempre se puede recuperar la planta al llegar a este estado pero, es necesario hacer conciencia de los riegos más justos a nuestra planta.

En la infestación de cochinillas y de algodoncillo, se trata de insectos muy dañinos que pueden ser de dos tipos: Cochinilla parda y Cochinilla algodonosa, detectándose la presencia de estas en la decoloración de las hojas. Se deben detectar con una lupa y después de identificarlas, remediarlo retirando con un copo de algodón mojado con alcohol o, si la planta es grande, se lava con agua y jabón neutro frotando delicadamente con una esponja para retirar los parásitos, después lavarlas con agua limpia para retirar todo el jabón. Para plantas más grandes y a cielo abierto, existen productos químicos específicos como insecticidas anti-cochinillas que son muy eficaces al dirigirlos directamente a las larvas, que son más sensibles que los adultos ya plenamente desarrollados.(www.elcristo.it/es/como_cultivar/sedum)

4.4.2.- Variedades Nativas.

Existen diversas plantas nativas en el valle de Toluca, algunas endémicas (distribuida propiamente en un ámbito reducido y único) y otras originarias de otras regiones, pero que se han adaptado y desarrollado de manera eficiente en nuestro ambiente.

Suculentas nativas. Como se explicó anteriormente, estas plantas no son originarias de América, a excepción de algunas agaveáceas y cactáceas nativas de las regiones áridas de Norteamérica, entre ellas están:

Agaveáceas. También llamadas agavóideas, son una familia de plantas Monocotiledóneas en el cual diversas variedades de agave se distribuyen en México, donde existen 116 clases, con un importante uso económico debido a la elaboración de tequila y mezcal así como sus fibras en la industria textil. Las hojas son generalmente gruesas y fibrosas y raramente suculentas, con rosetas en la base o al final de las ramas, desarrollándose en terrenos pedregosos, con buena filtración de agua y con mucho sol. La pita se usa para producir bebidas fermentadas (Figuras 40 a 43).



Figura 40.-Agave Americana



Figura 41.-Agave Reina Victoria



Figura 42.-Agave Potatorum



Figura 43.- Agave Chiapensis.

Cactus y bisnagas. Entre los cuales están incluidos los sahuaros, nopales, tetechos, biznagas y cactus cuya familia es exclusiva de América, y se divide en tres grupos: En primer lugar los *nopales* y el *xoconostle*, con tallos aplanados como raquetas y frutos conocidos como “tunas”, todos espinosos. En segundo lugar los *cactus alargados*, *chapparros* y *redondos* en forma de barril y de candelabros conocidos como órganos, cardonales, candelabros, biznagas, borregos, peyotes, gambullos, pitayas, viejitos, tetechos, etcétera, de los cuales algunos llegan a vivir más de 500 años. En tercer lugar son especies poco conocidas como *cactus con hojas* o *árbol de matrimonio*, considerados como los cactus más primitivos. Existen cerca de 1,400 especies de cactáceas de las cuales cerca de 660 son mexicanas y 518 de ellas son endémicas (Figuras de 44 a 46).



Figura 44.-Opuntia (Nopal)



Figura 45.-Aworthia fasciata



Figura 46.- Bisnaga roja

CONABIO. (Consejo nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad), (Rojas, 1995).

4.4.3.- Arbustos, Hierbas y Pastos.

Características de plantas **herbáceas**.

Características:

HERBÁCEAS. Planta cuyo tallo, a diferencia de los árboles, no desarrolla tejido leñoso y que solo persiste hasta dar flores y frutos, o sea, muere al florecer y tiene las cualidades y características de la hierba, no crecen muchos centímetros y son de tallo flexible (Figuras 47 y 48).



Figura 47.- Arbustivas

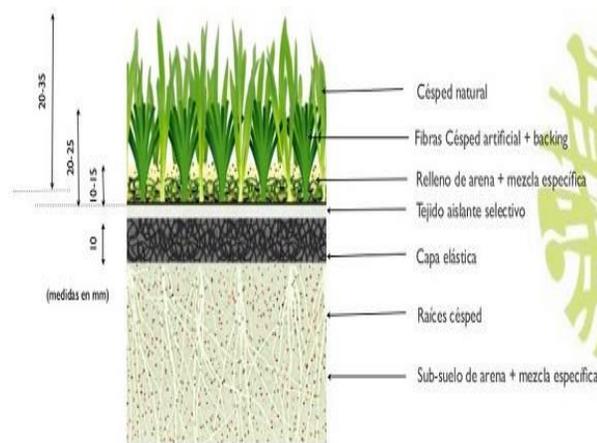


Figura 48.- Corte de césped

Hierbas Nativas. Según el libro “Flora silvestre del Valle de Toluca” del autor Alfonso Javier Rojas Wiezand editado en 1995 por la U.A.E.M. estas son algunas de las hierbas nativas:

Jarilla. (*Senecio salignus D.C.*). También se le conoce como *asomiate amarillo*, *alzumiate*, *chilca*. Es una planta vascular con semilla y flor de la clase de las dicotiledóneas, sub-clase asteridae, orden asterales, que se da desde el sur de Arizona hasta algunos lugares de Centroamérica como El Salvador y Honduras. En nuestro país se registra en Chiapas, Colima, Durango, Estado de México, Guanajuato, Hidalgo, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Nuevo León, Oaxaca, Puebla y Querétaro. Se distingue por sus flores de disco más grandes (de 9 a 11 milímetros de largo) y las brácteas del involucro (lo que rodea o envuelve a un órgano de la planta) más angostas. Es un arbusto muy ramificado y algo frondoso. De hojas sésiles (aptas para asentarse directamente en el tallo) muy angostas, de hasta 1.5 centímetros de ancho y puntiagudas, de numerosas cabezuelas, cada una con 5 o 6 flores liguladas de color amarillo (Figuras 49, 50 y 51).



Figura 49.- Jarilla



Figura 50.- Hoja de Jarilla



Figura 51.- Diferentes hojas

Chicalota. (*Argemone mexicana*, Cardosanto). Es una hierba anual robusta que mide de 80 centímetros a un metro de altura, también se le conoce como *cardosanto*, de tallo gláuco con líneas azules sobre las venas principales con divisiones dentado-espinosas, flores grandes solitarias de 4 a 7 centímetros de diámetro, pétalos de color amarillo brillante y pálido, fruto capsular elíptico de 24 a 45 milímetros de largo por 12 a 20 milímetros de ancho sin incluir las espinas. Se encuentra en áreas de cultivo abierto y en los campos y baldíos y su floración es de febrero a abril. Tiene importancia en la apicultura pues es una buena productora de polen. Se propaga por semilla en el viento en grandes cantidades. La flor brota en color blanco y amarillo (Figuras 52, 53 y 54).



Figura 52.- Chicalota amarilla



Figura 53.- Argemone mexicana



Figura 54.- Cardosanto.

Mirasol. (*Cosmos bipinnatus*). Llamado también *girasol*, *amapola de campo*, *mirasol morado*. Abunda desde el sureste de los Estados Unidos hasta Costa Rica y en México se encuentra en todos los estados a excepción de Yucatán y Baja California. Es una planta arvense (sin ningún valor económico que crecen en un lugar indefinido interfiriendo en los nutrientes de las variedades que la rodean) de las más atractivas de las partes altas de nuestro país ya que se presenta en grandes proporciones, sobre todo en cultivos de maíz abiertos. Es una planta ornamental que domina el paisaje a partir de la segunda semana de septiembre. Se encuentra a campo abierto y rara vez en los bosques. Tiene normalmente 8 flores de forma ligulada (parecidos a pétalos) de color rosa y son largas, de aproximadamente 3 centímetros, las flores tubulares del centro son amarillas y crecen de forma silvestre. El color de sus flores varía de lilas a moradas aunque se llegan a encontrar blancas (Figuras 55, 56 y 57)



Figura 55.-Planta de Mirasol



Figura 56.-Colores del Mirasol



Figura 57.- Cosmos

Acahual. (*Tithonia tubaeformis*). Planta silvestre ornamental de hojas alternas, pecioladas con la base cuñeada, de ápice agudo y bode aserrado, con cabezuelas terminales de color amarillo. Llega a medir hasta dos metros de altura, también llamada *Titonia*, *Gigantón* (Figuras 58, 59 y 60).



Figura 58.-Acahual



Figura 59.- Planta de Acahual



Figura 60.- Semilla

Maravilla. (*Mirabilis odorata*). También llamada *San Diego de noche*, *Linda tarde*, *Buenas noches*, *Arrebolera*, *Aretito*, *Tlalquilín.*, *Tumba vaquero*. Especie nativa invasiva perenne de ramas erectas ascendentes que se ha registrado desde Baja California hasta Yucatán de la cual se reconocen dos variedades. Las hojas son pecioladas ovadas de 4 a 15 centímetros de largo por 1 a 8 centímetros de ancho, de ápice agudo y base redondeada y de colores variados que van desde el morado, rojo, amarillento y blanco, y la hoja es más larga que ancha, en ocasiones se ven en forma de lanza, y sus flores tienen forma de trompeta alargada. Algunas tienen en la superficie pelos blancos y son de raíz gruesa y carnosa. Habita en alturas desde 800 hasta 2,700 m.s.n.m. (Figuras 61 y 62).



Figura 61.- Planta de Maravilla



Figura 62.- Flor de Maravilla

También existen algunas plantas arbustivas como el diente de león (*Taraxacum officinale*), y Calabacilla (*Cucurbita foetidissima*) que son plantas anuales y crecen de forma silvestre en el medio ambiente de forma natural en la temporada de lluvias. Una planta Sedum originaria de nuestra ciudad es la *Echeveria toluensis*, la cual se encuentra en peligro de extinción (Figuras 63.64 y 65).



Figura 63.-Diente de león



Figura 64.- Calabacilla



Figura 65.- Echeveria toluensis

HERBACEAS Y GRAMINEAS.

Según su CONSISTENCIA (Desarrollo del tallo)

Herbáceas: (Según su consistencia: Desarrollo del tallo). Son aquellas plantas cuyos tallos, independientemente de su tamaño, no han desarrollado estructura leñosa por lo que su consistencia es más o menos blanda, tierna, flexible y jugosa. A la mayoría se les conoce como *hierbas*, (aunque este término se refiera a las herbáceas que mueren después de su estación de crecimiento) Las plantas herbáceas pueden ser anuales, bianuales, perennes o vivaces.

Leñosas: Son aquellas plantas cuyos tallos, independientemente de su tamaño, han desarrollado consistencia leñosa por lo que su consistencia es dura y rígida. A la mayoría se les conoce como árboles y arbustos y a otras como matas. Las plantas leñosas solo pueden ser perennes.

Semi-leñosas: Están entre las dos anteriores y son plantas cuyos tallos han desarrollado una consistencia intermedia entre herbáceas y leñosas.

Suculentas: Son aquellas plantas cuyos tallos verdes, que realizan la fotosíntesis, son esponjosos, poco consistentes y que están especializados en almacenar agua. Los cactus y crasas son suculentas.



Figuras 66, 67 y 68. Plantas semi-leñosas y suculentas.

Según su CICLO DE VIDA las plantas *herbáceas* pueden ser:

Anuales: Son aquellas herbáceas cuyo ciclo vital completo se desarrolla dentro de una única estación de crecimiento. Se les conoce como plantas de temporada, en un mismo año las semillas germinan, se forman todas las partes vegetativas de la planta como raíz, tallo y hojas, se produce la formación y floración de nuevas semillas y la planta muere, por lo general con los primeros fríos. Las semillas son altamente resistentes al frío y la desecación. Dependiendo de la especie, se siembran a principio de año en recipientes, resguardándolas de la intemperie o en el suelo, si es que resisten el frío. Ofrece mucha versatilidad al jardín ya que puede variar todos los años la especie, el color o altura, según la planta que se elija. Se colocan muy juntas entre sí para que la vegetación sea más exuberante. Se pueden subdividir en *Resistentes*, que generalmente se siembran en primavera y en un lugar definitivo ya que resisten las condiciones de climas adversos, *Semi-resistentes*, las que no resisten una helada por lo que se siembran previamente en un lugar protegido y después se llevan al lugar definitivo sin riesgos de fríos intensos y las *Susceptibles* las cuales no soportan ni siquiera el más mínimo frío por lo que deben estar en interiores o invernaderos. Entre las plantas anuales podemos mencionar a Agerato, Alegría de la casa, Amaranto, Antirrino, Caléndula, Celosías, Cosmos, Alhelí amarillo, Girasol, Petunia, Tagetes, etcétera (Figuras 69 y 70).



Figuras 69 y 70.- Herbáceas anuales.

Bianuales o Bienales: Son aquellas que precisan dos estaciones de crecimiento para completar ciclo de vida que se da en dos fases. Tras la germinación se forman un tallo corto, una roseta de hojas próximas al suelo y una raíz normalmente modificada para almacenar alimento, al llegar el frío el desarrollo se detiene y la planta pasa el invierno en estado de latencia. Una vez pasado el frío, moviliza las reservas almacenadas florece, fructifica y forma nuevas semillas y después muere. Al igual que las anuales, se siembra en primavera o verano y algunas de estas plantas son bianuales porque debido al clima suelen morir en una sola temporada ya que no aguantan ni las heladas ni las sequías. Entre las plantas bianuales podemos mencionar a Alcaravea, Angélica, *Campanula Ranunculus*, *Digitalis purpúrea*, *Onagracca*, Pensamiento, *Vila cornuta*, etcétera (Figuras 71 y 72).



Figuras 71 y 72.- Herbáceas Bianuales.

Vivaces: Son las plantas que permanecen vivas más de dos años y son capaces de sobrevivir al invierno. Su parte aérea se seca cada año hasta la temporada próxima, donde surgirán de nuevo, ya que la raíz permanece viva debajo de la tierra y florece en primavera y otoño, según su ciclo. Dentro de las vivaces existe un grupo de plantas que no pierden los tallos ni las hojas permaneciendo verde durante todo el año, a las que se les llama *Perennes*. Se siembra en la misma temporada que las bianuales y de planta en otoño. Una particularidad de esta planta es que se puede sembrar por esquejes o división. La mayoría de las vivaces son resistentes a fuertes heladas por lo que no se deben podar antes del invierno y se debe abonar el

sustrato cada año ya que se debilita con la longevidad de la planta. Entre las plantas vivaces podemos mencionar a Astilbe, Ciclamen, Delphinio, Gallardía, *Heliantus*, Peonia, etcétera (Figuras 73 y 74).



Figuras 73 y 74.- Herbáceas viváceas.

Los Bulbos, Tubérculos o Rizomas son plantas vivaces con la particularidad de disponer de un órgano subterráneo que almacena las sustancias necesarias para su supervivencia y renovación año tras año. La tierra se debe ir removiendo y aireando constantemente para que los bulbos almacenen sus reservas y facilitar la lucha contra insectos y el buen drenaje de la tierra. Se suelen plantar a una profundidad de dos a tres veces su diámetro colocando los tubérculos en grupo o línea en el fondo de un agujero para que sus fuertes raíces tengan un buen asentamiento. Florecen en diferentes épocas del año y la plantación también varía. Las que crecen en primavera se plantan en octubre o noviembre y las que florecen en verano se plantan en primavera.

Perennes: Son aquellas cuyas estructuras vegetativas persisten durante la germinación año tras año sin marchitarse ni perder sus hojas ni tallos en ninguna época. En su mayoría son leñosas y aumentan su tamaño cada estación de crecimiento, pero solo florecen cuando alcanzan su estado adulto. Como crecen constantemente, necesitan estrategias para soportar la temperatura. La mayoría de las *Gimnospermas*, que son las plantas sin flores, reducen al máximo sus funciones vitales pero siempre tienen hojas verdes cubriendo sus ramas, lo que se conoce como árboles o plantas de “*hoja perenne*”. Por el contrario las *Angiospermas*, pierden las hojas con la llegada del invierno como respuesta a la severa reducción del agua disponible y se dice que son plantas de “*hoja caduca*”. Se subdividen en *Resistentes* que pueden vivir muchos años resistiendo las heladas e inclemencias de la naturaleza, *Semi-resistentes* a las cuales hay que protegerlas durante el invierno y las *Susceptibles* que definitivamente no soportan el frío y se deben mantener en el interior o en invernadero. Entre estas mencionaremos a las Acanto, Cerastio, Cineraria, Clavel, Gazania, Geranio, Lavanda, etcétera. Una misma planta, dependiendo del clima, puede ser anual, bianual o perenne.



Figuras 75 y 76.- Herbáceas perennes, Tulipán

Callavivaz o Alcatraz.

Según su FOLLAJE, pueden ser:

Plantas de **hoja perenne**: Son aquellas plantas que, con la llegada del invierno, reducen al máximo sus funciones vitales, pero siempre tienen hojas verdes cubriendo sus ramas.

Plantas de **hoja caduca**: Son aquellas plantas que, con la llegada del invierno, pierden sus hojas.

Plantas de hoja **marcescente**: Es un estado intermedio entre la hoja caduca y la perenne. Al llegar el otoño, las hojas entran en fase de senescencia normal pasando a ser de color marrón pero la hoja no cae, sino que permanece en la rama sobre la que se seca, dando al árbol aspecto de seco o enfermo, pasando todo el invierno cubierto con las hojas secas, las cuales se caen al llegar la primavera a medida que van brotando las nuevas hojas.



Figura 77.- Hoja perenne Roble.

GRAMÍNEAS. (Poaceas)

Las gramíneas forman una de las familias más numerosas, con más de 670 géneros y cerca de 10,000 especies descritas. Son plantas que se adaptan fácilmente y se bien desarrollan en diferentes lugares y con una gran aplicación en jardinería ya que además de su carácter ornamental por sus espigas y frutos, cuando la planta muere, también sirve para realizar centros de flor seca. Son plantas *Monocotiledoneas* con hojas envolventes, simples y acintadas, de tallos huecos, flores hermafroditas sin cáliz ni corola, que nacen en inflorescencias en forma de espiga, racimo o panícula y con frutos en cariósipide. En general, son hierbas, si bien pueden ser leñosas como los bambúes tropicales, cespitosas, rizomatosas o estoloníferas. Por la duración de su ciclo de vida pueden ser anuales, bianuales o perennes y la mayor parte de las gramíneas florecen en verano y otoño.

Son plantas que vegetan bien en cualquier tipo de suelo. No precisan gran riego pero si deben tener buen drenaje y se plantan definitivamente en el lugar definitivo sin necesidad de semilleros ni trasplante y son resistentes a plagas y enfermedades (Figura78).



Figuras 78. Diferentes gramíneas.

Plantas alimenticias: Por lo general se usa el grano como alimento molido en forma de harina. Podemos mencionar la Avena, Sorgo, Trigo, el Maíz, el Centeno, etcétera.

Plantas forrajeras: Sirven de pasto para el ganado y entre ellas están *Lolium perenne*, *Bromus unioloides*, *Festuca arundinacea*, *Agropyron elongatum*, *Phleum pratense*, *Phalaris tuberosa*, *Panicum elphantis*, *Avena fatua*, *Avena sativa*, *Panicum miliaceum*, *Phalaris arundinacea*, etcétera (Figuras 79 y 80).



Imágenes 79 y 80.-Gramíneas forrajeras Bromus.

Miscanthus.

Para usos industriales: En perfumería se usa *Cymbopogón citratus*, del que se extrae una esencia llamada citronela. La cebada cervecera, *Hordeum vulgare*, se utiliza para la elaboración de malta, producto indispensable en la elaboración de cerveza, whisky, ginebra, gin y otras bebidas alcohólicas. En Japón se usa el arroz para la elaboración de sake. También se fabrican aceites con granos de maíz. Otro uso es para fabricar cestos y calzado con *Lygeum spartum*, con *Sorghum technicum* se fabrican escobas, con *Aristida pallens* se fabrican cepillos, etcétera (Figuras 81 y 82).



Figuras 81 y 82.- Gramíneas industriales. Cymbopogón citratus

Hordeum vulgare.

Para césped: Se utilizan varias especies de los géneros *Poa*, *Lolium*, *Festuca*, *Axonopus*, *Stenotaphrum* y *Paspalum*, con los cuales se forman céspedes en parques y jardines. El *Agrostis palustris* se utiliza exclusivamente en los “greens” de los campos de golf. La gran mayoría de las cespitosas pertenecen a las poaceas (Figuras 84 y 84).



Figuras 83 y 84.- Gramíneas Cespitosas. Lolium Festuca.

Gramíneas ornamentales: Entre las plantas apropiadas por su alto porte destacan Arundinarias o cañas de bambú, empleándose para setos de semi-sombra, y las Cortaderías para praderas de césped. Para las rocallas se utilizan tapizantes como la Festuca de hojas azules y matas densas y *Hordeum*. Para los macizos se utilizan la Briza de flores en espiga o *Lagurus*. Si se hacen en grupos irán bien los *Phalaris*, que son resistentes a plagas y enfermedades (Figuras 85, 86 y 87).



Figuras 85, 86 y 87.- Gramíneas ornamentales. Arundinaria, Cortaderías y Combinación.

(www.elhogarnatural.com, www.planflor.com, www.semillerojimenito.com.)

4.4.4.- Suelos y sustratos.

Suelo.

Se le llama **Suelo** a la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la alteración física y química de las rocas y los residuos de actividades de seres vivos que se asientan sobre ella. (Wikipedia.)

Estructura: El suelo está estructurado por la distribución de diferentes proporciones que presentan los distintos tamaños en las partículas sólidas que lo conforman, y son:

Materiales finos, como arcillas y limos, de gran abundancia en relación a su volumen, lo que les confiere una gran cantidad de propiedades físicas como cohesión, adherencia, absorción y retención de agua (Cuadro 7).

Materiales medios, Formados por las arenas.

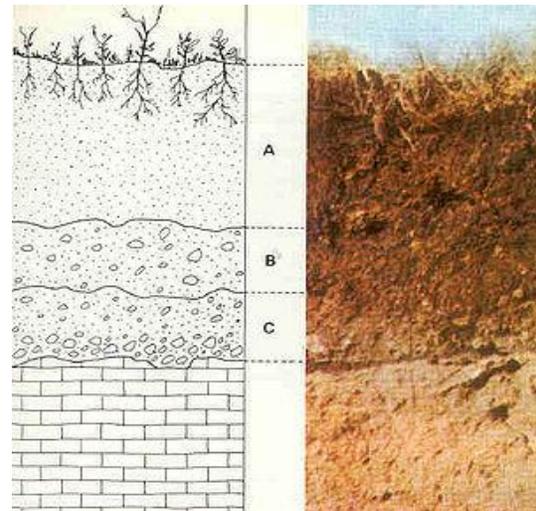
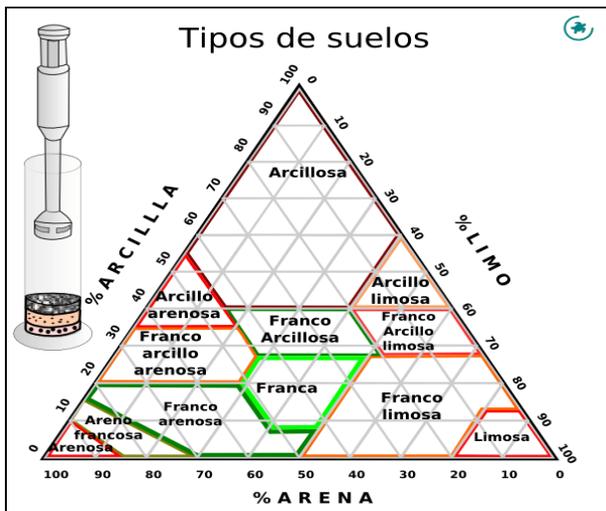
Materiales gruesos, entre los que se encuentran fragmentos de roca madre, aún sin degradar y de tamaño variable.

Los *componentes sólidos* quedan aglutinados por el **Humus o Mantillo** y los complejos *minerales* creando divisiones horizontales llamadas *horizontes del suelo* (Cuadro 8).

Cuando un suelo es ideal para sembrar se dice que es **franco** y debe tener una proporción de 30% de arcilla, 30% de limo, 30% de arena y 10% de materia orgánica (Galindo y Victoria, 2011: 106).

Cuadro 7.- Tipos de suelo.

Cuadro 8.-Perfil de un suelo con horizontes.



Se le llama **horizonte** del suelo a una serie de niveles horizontales que se desarrollan en el interior del mismo y que presentan diferentes características de composición, textura, adherencia, etc. El **perfil del suelo** es la organización vertical de todos los horizontes (Cuadro 8).

Normalmente se distinguen en los suelos completos o evolucionados, tres horizontes fundamentales que desde la superficie hacia abajo son:

- + **Horizonte O**, es la capa superficial del horizonte A.
- + **Horizonte A** o zona de lavado vertical, Es la capa más superficial y en él se enraíza la vegetación superficial.
- + **Horizonte B** o zona de precipitado, carece prácticamente de humus, por lo que su color es más claro, pardo o rojo, en él se depositan los materiales arrastrados desde arriba, principalmente materiales arcillosos, óxidos e hidróxidos metálicos, etcétera, situándose en este nivel los encostramientos calcáreos áridos y las corazas lateríticas tropicales.
- + **Horizonte C** o subsuelo, está constituida por la parte más alta del material rocoso *in situ*, sobre el que se apoya el suelo, más o menos fragmentado por la alteración mecánica y química (casi

inexistente porque en las primeras etapas de formación del suelo no existen colonizaciones orgánicas), pero en él aún pueden reconocerse las características originales del mismo.

+ *Horizonte D*, *Horizonte R*, es la roca madre o material rocoso subyacente que no ha sufrido ninguna alteración química o física significativa.

La profundidad del suelo depende de factores como la inclinación, que permite el arrastre de la tierra por las aguas y la naturaleza del lecho rocoso. La piedra caliza, por ejemplo, se erosiona más que la arenisca, por lo que produce más elementos de descomposición. Pero el factor más importante es el clima y el efecto erosivo de los elementos atmosféricos.

En agronomía, *Suelo* es la capa arable.

Sustrato.

Un **Sustrato** es todo material sólido distinto del suelo, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que una vez colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular de la planta, desempeñando por tanto, un papel de soporte para la planta, el cual puede intervenir o no en el complejo proceso de nutrición de la planta (Web Infoagro.com. 2004).

El término *sustrato* proviene del latín *substratum* entendiéndose como “*extenderlo por debajo de algo*”, o sea, el suelo extendiéndose por debajo de la vegetación, por lo que el sustrato sustituye al suelo en condiciones artificiales. Todo tipo de vegetación, ya sea natural o inducida, debe desarrollarse en un *medio de crecimiento*, el cual puede ser el suelo natural o bien un suelo modificado para desarrollarse fuera de su lugar natural, al cual se le llama sustrato o suelo artificial, esto es, modificado por el hombre y en un contenedor. La implementación de cubiertas vegetales o azoteas verdes es un sistema constructivo absolutamente artificial, en donde todos los elementos que lo integran, incluyendo el sustrato, son diseñados por el hombre (López.2010:47).

Las profundidades del sustrato dependen de cada sistema de naturación que vaya a ser implementado. Según lo indica la Normativa de Construcción de cubiertas ajardinadas NTE-QAA, editada en 1976, indica que una cubierta se dice extensiva cuando su espesor no supera los 12 centímetros, tomando en consideración que en un sustrato menor de 4 centímetros, es inviable el desarrollo de cualquier especie vegetal. Por tanto, los valores de este indicador para cubiertas extensivas es de 4 a 12 centímetros de espesor, pues un mayor espesor de sustrato no correspondería a este tipo de cubierta. Dicho espesor está limitado y diseñado de acuerdo a la variedad vegetal a desarrollarse en la terraza ecológica. Para una cubierta ecológica de Sedum y musgo, el espesor varía de 4 a 8 centímetros, y cuando se emplean especies más vigorosas y de mayor enraizamiento como gramínea y herbáceas, se utilizan sustratos de 8 a 12 centímetros (Briz, 2003: 92).

Las *propiedades físicas* que debe cumplir un sustrato son:

Porosidad

Densidad

Estructura

Granulometría

Las *propiedades químicas* que debe cumplir un sustrato son:

Químicas

Físico-químicas

Bio-químicas

Las *propiedades biológicas* que debe cumplir un sustrato son:

Velocidad de descomposición

Efectos de los productos de descomposición

Actividad reguladora del crecimiento (Agricultura sin suelo. 2010).

Las *propiedades físicas* son:

Porosidad, es el volumen total del medio no ocupado por las partículas sólidas y por tanto, estará ocupado por aire o agua en una cierta proporción. Su valor mínimo no debe ser inferior de 80-85%.

Densidad, que se puede referir a la densidad del material sólido que lo compone y entonces hablamos de *densidad real*, o bien a la densidad calculada considerando el espacio total ocupado por los componentes sólidos más el espacio poroso y se denomina *porosidad aparente*.

Estructura, que puede ser granular como la mayoría de los sustratos minerales o bien, *fibrilar*. La primera no tiene forma estable, acoplándose fácilmente a la forma del contenedor, mientras que la segunda dependerá de las características de las fibras. Si son fijadas por algún tipo de material de cementación, conservan formas rígidas y no se adaptan a la forma del recipiente pero tienen cierta facilidad de cambio de volumen y consistencia cuando cambian de secas a mojadas.

Granulometría, el tamaño de los gránulos o de las fibras condiciona el comportamiento del sustrato, ya que además de su densidad aparente, varía su comportamiento hídrico a causa de su porosidad externa, que aumenta de tamaño de poros conforme mayor sea su granulometría (Figura 88).



Figura 88.- Materiales minerales varios para crear sustratos (Infoagro, com).

Además de las anteriores propiedades, los sustratos deben de cumplir con:

- + Resistencia a la congelación.
- + Estabilidad estructural.
- + Permeabilidad al agua.
- + Capacidad de almacenamiento de agua.
- + Contenido de aire.
- + Valor del pH.
- + Contenido de sal.
- + Contenido de nutrientes.

Normas Internacionales:

FLL, la Sociedad Alemana de Investigación, Desarrollo y Construcción (Forschungsgesellschaft Landsentwicklung Landschaftsbau e.V) en Bonn, Alemania, establece las reglas y normas generales para el planteamiento y ejecución de cubiertas ajardinadas. La primera edición fue en 1982 y la ampliación y normas para cubiertas vegetales extensivas se editó en 1990 y posteriormente se editó NTJ 11 C “*Normas tecnológicas de jardinería y paisajismo*” sobre cubiertas verdes, editada en Enero del 2012.

Según la Empresa de jardinería y sustratos para cubiertas ajardinadas Inter-empresas jardinería, comenta a través de **Burés S.A.U**, empresa española perteneciente al grupo empresarial **BIOT** (Interempresas.net, 2013) ubicado en Segovia, España: La mayor demanda de productos de especialidad para la creación de jardines en cubiertas y azoteas ha sido y es tendencia en los últimos tiempos. El uso de sustratos con características especiales es una garantía de éxito en el ajardinamiento de cubiertas, siendo *poco recomendable la utilización de tierras muy pesadas*, poco

porosas y con una baja capacidad de drenaje. Esta empresa clasifica los sustratos de la siguiente manera:

+ *Sustrato BVM-1*. Sustrato orgánico a base de mantillo vegetal y gravas volcánicas. Uso más ideal: Cubiertas ecológicas extensivas. Ventajas: Alta capacidad de retención de agua, excelente drenaje, elevada porosidad, baja densidad aparente, alta capacidad de cobertura y formación de tapiz verde, frena la aparición de malas hierbas.

+ *Sustrato BVM-2*. Sustrato mineral a base de gravas volcánicas y mantillo vegetal. Uso más ideal: Cubiertas ecológicas extensivas. Ventajas: Rápido drenaje y elevada estabilidad, sustrato muy poroso, muy buen control en la aparición de hierbas no deseadas (malas hierbas). Es aconsejable la instalación de un programa de riego.

+ *Sustrato E-10*. Sustrato orgánico a base de composta vegetal, fibra de coco y gravillas recuperadas. Uso más ideal: Cubiertas ecológicas extensivas. Ventajas: Muy buena capacidad de retención de agua, excelente drenaje, alta capacidad de cobertura y formación de tapiz verde, Frena la aparición de malas yerbas. Producto preparado con materiales respetuosos del medio ambiente.

+ *Sustrato BVT*. Sustrato mixto a base de mantillo vegetal, gravas volcánicas y arcillas. Uso más ideal: Cubiertas intensivas y semi-intensivas. Ventajas: Buena capacidad de soporte y anclaje del sistema radicular en especies de porte medio, muy buena capacidad de retención de agua y rápido drenaje, elevada porosidad y baja densidad aparente (Inter-empresas jardinería, 2013).

El sustrato a utilizar debe ser diseñado idealmente para que sea apto y altamente eficiente en la absorción y retención de agua y al mismo tiempo tener propiedades de libre drenaje así como de absorber, conservar y suministrar los nutrientes a largo tiempo, independientemente de dar soporte y anclaje a las plantas que se van a sembrar en la azotea verde. A menos de que el techo verde sea intensivo, el sustrato debe ser ligero para que el peso impuesto a la estructura sea el mínimo. También es importante en techos naturados que soportan Sedums, alpinas y otras variedades extensivas de origen silvestre, que el suelo tenga algún tipo de orificio o poros, cerca del 20%, para la aireación y que las raíces puedan respirar, asegurando una buena capacidad de retención de humedad y asegurando la aireación de éstas. Si el espacio de los poros está continuamente saturado y sin aireación, entonces el desarrollo de la planta será muy pobre (Dunnett and Kingsbury, 2008:110)

El sustrato y la vegetación deben armonizar entre sí. Para verdeados extensivos con césped pobre y hierbas silvestres, es conveniente que el sustrato no tenga demasiado humus o materia vegetal, utilizando un suelo que no sea demasiado arcilloso. No debe tener más del 20% de arcilla-limo, debiéndose mezclar con materiales livianos como piedra pómez (tepojal), lava, pizarra expandida o piedras volcánicas con granulometría menor de 16 milímetros. El sustrato, principalmente para techos extensivos, debe colocarse para una vegetación de césped pobre para que surja una pradera de pastos silvestres con un porte no mayor de 10 a 20 centímetros, aunque

en excepciones donde el sustrato tiene demasiados nutrientes se pueden encontrar florecimientos aislados que pueden llegar de 30 a 50 centímetros de altura (Minke, 2004:44)

4.4.5.-Sustrato diseñado para experimento de maqueta de naturación.

Contando con el apoyo de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México y con la asesoría de la doctora Graciela Noemí Grenón Cascales, tutor lector de este trabajo, se diseñó el sustrato propuesto para realizar el experimento de naturación para el presente estudio analizando, entre otras variables, los materiales, la proporción, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) la cual depende de la materia orgánica del suelo y del pH y otros factores que señalaremos a detalle.

En la composición de sustratos para el experimento, se diseñaron y analizaron dos sustratos: El *sustrato uno*, diseñado para cactáceas y suculentas, compuesto por 30% de tierra de milpa, 50% de tepojal y 20% de composta y con poca agua. El *sustrato dos*, diseñado para herbáceas y pastos, compuesto de 30% de tierra de milpa, 30% de tepojal, 40% de lombri-humus y con más agua que el primer sustrato. Estos estudios se realizaron personalmente (Figura 95) en el laboratorio de la misma facultad bajo la asesoría y supervisión del jefe de laboratorio, Maestro en Ciencias Isaías Valencia Becerril, cuyos resultados se dan a continuación. Se seleccionaron los materiales (Figuras 89 y 90), se pesaron (Figura 94) y se realizaron las pruebas correspondientes durante un periodo de cinco días, con los resultados que se indican (Cuadros 8 y 9).

En el procedimiento de laboratorio para los sustratos uno y dos, se realizaron los pasos señalados en el **anexo uno** al final de la tesis, los cuales se presentan en las siguientes figuras y cuadros:



Figura 89.- Materiales de sustrato uno.



Figura 90.- Materiales de sustrato dos.

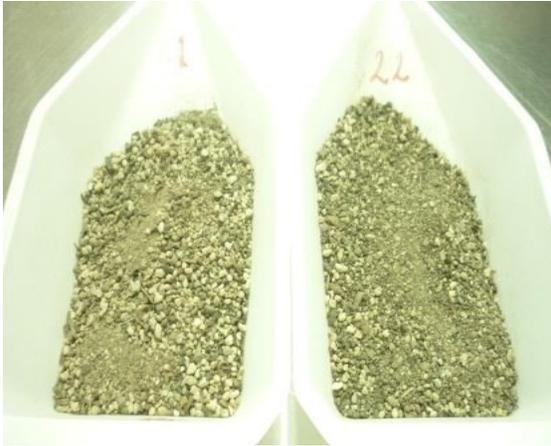


Figura 91.- Muestras uno y dos.



Figura 92.-Prueba de CIC.



Figura 93.- Instrumentos de medición.

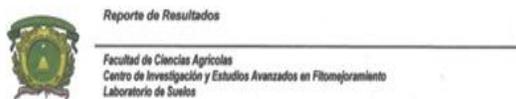


Figura 94.-Peso de muestras.



Figura 95.- El autor trabajando en laboratorio.

Cuadro 9.- Resultados de laboratorio muestra uno Cuadro 10.- Resultados de laboratorio de muestra dos.



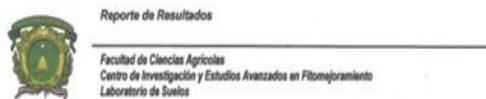
Reporte de Resultados

Facultad de Ciencias Agrícolas
Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fito mejoramiento
Laboratorio de Suelos

Solicitante: José Luis Torres Quintana	
No. Solicitud: Muestra 1	Fecha de reporte: 14 noviembre 2014

Propiedad	Unidad	Resultado
pH		6,80
CIC	Cmol/100 gss	11,3
Carbono orgánico	%	1,95
Materia orgánica	%	3,36
Conductividad eléctrica	mS/cm	0,34
Nitrógeno	%	0,14
Fósforo	ppm	240
Potasio	ppm	64,6
Carbono/Nitrógeno	%	13,9
Calcio	ppm	3,71
Magnesio	ppm	---
Sodio	ppm	49,2
Densidad aparente	g/cm ³	1,03
Densidad real	g/cm ³	2,38

M en C Isaias Valencia Becerril
Responsable de Laboratorio



Reporte de Resultados

Facultad de Ciencias Agrícolas
Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fito mejoramiento
Laboratorio de Suelos

Solicitante: José Luis Torres Quintana	
No. Solicitud: Muestra 1	Fecha de reporte: 14 noviembre 2014

Propiedad	Unidad	Resultado
pH		6,80
CIC	Cmol/100 gss	11,3
Carbono orgánico	%	1,95
Materia orgánica	%	3,36
Conductividad eléctrica	mS/cm	0,34
Nitrógeno	%	0,14
Fósforo	ppm	240
Potasio	ppm	64,6
Carbono/Nitrógeno	%	13,9
Calcio	ppm	3,71
Magnesio	ppm	---
Sodio	ppm	49,2
Densidad aparente	g/cm ³	1,03
Densidad real	g/cm ³	2,38

M en C Isaias Valencia Becerril
Responsable de Laboratorio

La Capacidad de Intercambio Catiónico CIC es la capacidad que tiene el suelo de liberar iones positivos (+) merced a su contenido de arcillas y materia orgánica. Las arcillas están cargadas negativamente por lo que los suelos con mayores concentraciones de arcillas exhiben capacidades de CIC mayores. A mayor contenido de materia orgánica en un suelo, aumenta su capacidad de CIC, la cual se expresa en miligramos equivalentes por 100 gramos de coloide, cuya denominación es abreviada en mili-equivalentes por 100, o sea, meq/100 g. y meq/100 g= ppm del catión (peso equivalente X 10)

4.4.6.- Compostas y Lombricultura.

Composta.

Al resultado de la destrucción o descomposición de una cosa se le conoce como *residuo*, es decir, los restos que quedan de ella, siendo este término mucho más que el de *basura* que usamos de forma común. La basura es todo aquello que ya no tiene ningún uso, presuponiendo el deseo de eliminarlo cuando ya no representa ningún valor para conservarlo.

Existen residuos orgánicos e inorgánicos, siendo los primeros los que interesan a nuestro tema de trabajo. De entre los residuos orgánicos, existen residuos animales y vegetales, considerándose dentro de los animales existen los estiércoles y deyecciones de todo tipo de animales, principalmente los domesticados. Entre los desechos orgánicos vegetales podemos seleccionar a:

- + Residuos de cultivos.
- + Sustrato de champiñones.
- + Residuos forestales, corteza y costera de árbol, aserrín, viruta y cenizas.
- + Residuos de pastos y jardines.
- + Residuos de flores, verduras y hortalizas.
- + Malezas.

Las compostas como abono orgánico han sido utilizadas desde hace mucho tiempo pues nuestros antepasados utilizaban los residuos agrícolas y los excrementos animales para nutrir los terrenos sin utilizar fertilizantes minerales para obtener alimentos sanos y abundantes sin alterar el ecosistema. El composteo consiste en inducir la fermentación a una mezcla de materiales orgánicos, en presencia o ausencia de oxígeno, para transformarla en una mezcla de estructura grumosa, rica en humus y microorganismos, haciendo estos elementos de fácil asimilación para la planta.

El composteo puede ser *aeróbico* o *anaeróbico*. En el proceso *aeróbico* que es el de elaboración de compostas al aire libre, los gases producidos son liberados hacia la atmósfera obteniendo solo en este proceso, la composta. Mientras en la descomposición *anaeróbica* se produce un gas compuesto por metano, gas carbónico, ácido sulfhídrico, y mezcla de otros gases (biogás), una fracción sólida (composta) y el llamado LEDA o líquidos en descomposición (lixiviados).

Las técnicas para la elaboración son variadas, no así los principios, que son:

- + El conjunto de materiales debe situarse a la sombra y resguardado de los vientos dominantes evitando cambios bruscos de temperatura.
- + Se debe ubicar en un terreno permeable y mullido superficialmente para que la mezcla sea lo más homogénea posible.
- + Las materias ricas en Nitrógeno deben mezclarse con materias ricas en Carbono.
- + Los restos vegetales deben estar en pequeños trozos.
- + El montón se debe elaborar directamente en el suelo para permitir la penetración de lombrices y microorganismos del suelo.
- + El montón debe tener suficiente humedad.

- + La temperatura en los primeros 15 días debe alcanzar de 40° a 50°C.
- + Después de subir la temperatura se deben voltear los materiales para mezclarlos y airearlos.

La transformación de compuestos orgánicos a inorgánicos se lleva a cabo por medio de bacterias y hongos tanto aeróbicos como anaeróbicos. Los compuestos más importantes que van a ser transformados son los carbohidratos y las proteínas. Por esto la mezcla destinada a producir una buena composta, debe tener una buena proporción de estas dos sustancias.

Los microorganismos más importantes en una composta son las bacterias, las cuales generan el calor asociado con el composteo preparando los materiales para el siguiente grupo de organismos más grandes que continuarán el trabajo. Las bacterias se reproducen rápidamente bajo condiciones favorables de humedad, oxígeno, balance propicio de carbono y nitrógeno, y una superficie amplia. En la composta existen diferentes tipos de bacterias. Cada tipo crece bajo condiciones especiales y con diferente material orgánico.

El composteo aeróbico requiere de movimiento de aire en el interior de la pila de composta para suministrar oxígeno. Algunos autores consideran que el proceso más eficiente, rápido y composta de mejor calidad, es el aeróbico. La aireación al principio está en función del tamaño de las partículas de material, después estará en función de la frecuencia del volteo.

La relación Carbono- Nitrógeno es muy importante ya que estos elementos los utilizan los microorganismos para su desarrollo, usando la mayoría 30 partes de peso de carbono por una de nitrógeno, lo que indica que la relación 30 a 1 es ideal para un buen composteo. Debido a naturaleza de los diferentes materiales de composta, es necesario hacer mezclas donde la relación sea cercana a 30 a 1. Cuando no se mantiene esa relación, el proceso se detiene o presenta situaciones especiales. A continuación se presenta una gráfica de relación de Carbono-Nitrógeno.

Cuadro 11.-Relación Carbono-nitrógeno. (Dra. Graciela Noemí Grenón Cascales)

Sobras de comida	15:1	
Césped	19:1	Verde
Estiércol	25:1	
	30:1	IDEAL
Tallos de maíz	60:1	
Hojas de árbol	40 a 80:1	
Paja	80:1	Marrones
Papel	170:1	
Aserrín	500:1	

Para elaborar una composta de manera eficiente se deben reunir los materiales en el terreno previamente aflojado para permitir que los microorganismos penetren en el montón. Se coloca primero un material grueso y los demás materiales se van intercalando en franjas de 10 centímetros de grosor agregando humedad a cada capa que esté seca (Figuras 96 y 97). La altura del montón no

debe ser mayor de 1.5 metros y el ancho no más de tres metros, ya que entre más ancho sea, se dificulta la entrada de oxígeno al centro del montón. El largo depende de la cantidad de material con que se cuente.

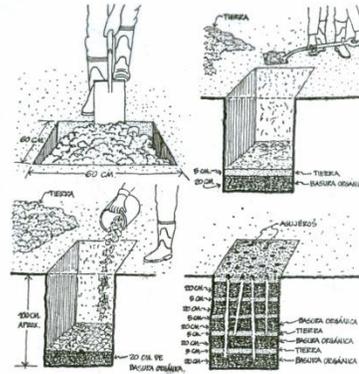
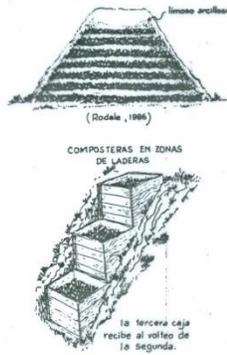
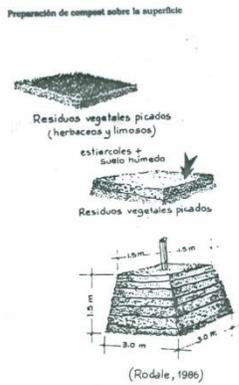


Figura 96.- Formas de composteo.

Figura 97.- Formas de composteo aeróbico.

La madurez de la composta no tiene un grado determinado de optimización ya que el proceso de degradación no se da uniformemente en los diferentes materiales puesto que algunos son más duros que otros. Pero las referencias que se consideran para establecer la madurez son: Reconocer que la mayoría de los materiales que la integran tenga una apariencia similar a la de la tierra, de color oscuro, suelto y desmoronado y con olor a tierra húmeda, y que la temperatura del montón sea igual a la del medio ambiente. El volumen del montón se reduce entre un 30 a 50% del original. Llegado este punto, la composta está lista para utilizarla en cultivos.

La estabilidad de una composta ya madura se determina cuando ha concluido su ciclo de fermentación, es de color marrón oscuro, inodoro y con ligero olor a humus, por ser un producto con vida contiene microorganismos que sintetizan enzimas, vitaminas, hormonas y es un producto que contiene materia orgánica y nutrientes.



Figura 98.- Composteo aeróbico

Figura 99.- Contenedores rústicos para elaborar composta

La composta realizada con residuos domésticos debe dar un grano fino, no llevar materiales inertes, materiales pesados, ni gérmenes patógenos y debe contener, entre otras características, 25% de materia orgánica en peso seco, 1% de Nitrógeno en peso seco, una humedad menor del 40% y el 90% del producto deberá pasar por una malla de 25 milímetros.

Entre los usos y beneficios de la composta aeróbica podemos mencionar que sirve como aporte de nutrientes para el cultivo mejorando la calidad del suelo o sustrato, fomenta la formación de agregados, mejora la estructura, incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC), mejora la capacidad de retención de humedad, favorece la aireación y aumenta las poblaciones de microorganismos.

El empleo de la composta se utiliza de varias formas, siendo las principales

- + Esparciéndose sobre la superficie del suelo y alrededor de las plantas, flores o árboles, colocándose de una a dos pulgadas en la zona de goteo.
- + Para ayudar al césped se criba la composta en una malla de 0.5 pulgadas y se mezcla con arena fina a partes iguales, distribuyéndola sobre el césped.
- + Para enmendar la tierra cultivable antes de sembrar, se tira al boleó o bien se puede tirar sobre la línea de siembra antes de sembrar, para que la semilla quede arriba de la composta.
- + En la preparación de sustratos para plántulas y esquejes para siembra, se recomienda mezclar con otros materiales, ya que sola puede inhibir la germinación de algunas semillas.



Figura 100.- Fotos y artículo proporcionado por la Dra. Graciela Noemí Grenón Cascales.

Lombricultura (Vermicultura).

La *lombricultura* es la actividad centrada en la crianza de lombrices, que serán utilizadas después en diversos fines, entre ellos y tal vez el más importante, es la producción de *humus*, que está directamente ligado al reciclado de residuos, pues las lombrices se alimentan de los desechos y los excretan produciendo humus, transformando un grave problema (acumulación de desechos) en el más rico abono orgánico.

De acuerdo a la literatura universal, existen en el la tierra más de 8,500 especies de lombrices, de las cuales la más conocida es la lombriz de tierra (*Lumbricus terrestris*). Para el manejo de residuos orgánicos se utilizan lombrices especiales que reúnen varios requisitos como la voracidad, alta capacidad reproductiva, fáciles de trabajar y con capacidad de adaptación a condiciones adversas, y que se crían desde 0 hasta 3000 m.s.n.m.

Una de las alternativas de manejo que permiten mejorar las características microbiológicas de los desechos orgánicos es la *lombricultura* o *vermicultura*, actividad que tiene sus inicios en Estados Unidos a fines de los cuarenta y principio de los años cincuenta. En América Latina tiene sus inicios a principios de la década de los ochentas. También es conocido su uso en otros países como Suiza, España, Holanda, Cuba, Canadá y Colombia, siendo de muy reciente su práctica en México.

Los elementos básicos para el desarrollo de la lombricultura son:

- + *El agua*, la cual debe estar limpia y sin contaminantes, también debe estar cerca del lugar del proyecto. La cantidad de agua requerida es mínima y cuando se realicen los riegos con estricto control.
- + *Desechos*, preferentemente los producidos dentro de un sistema productivo, pues la compra de estos, encarece los costos y su uso, pudiendo llegar a no ser rentable.
- + *Espacio o terreno*, el cual está en función de la cantidad de desechos, de los objetivos del productor y de su capital, por lo que es muy variable.
- + *Lombrices*, las cuales para dedicarse a la lombricultura, requieren de determinadas características que se mencionan más adelante. Las lombrices nativas no pueden utilizarse porque tienen un comportamiento muy diferente.

Las *especies de lombrices* utilizadas para la lombricultura son *Eisenia foetida* (Coqueta roja) y *Eisenia andrei* (Lombriz roja de California) las cuales se utilizan en el 80% de los criaderos a nivel mundial. Existen otras especies que pueden sobrevivir en altas concentraciones de desechos, pero presentan algunas preferencias hacia ellos, como la *Lumbricus terrestris*, *Eisenia foetida*, *Eisenia andrei*, *Lumbricus rubellus*, *Perionyx excavatus*, *Bimastus sp* y *Eudrillos eugeniae*.

A continuación se presenta un cuadro diferenciador de lombrices nativas y de composta, no sin antes indicar, que este artículo y sus imágenes fueron proporcionados por la Dra. Graciela Noemí

Grenón Cascales, de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Cuadro 12.-Diferencia entre lombrices nativas y composteras.

Características.	<i>Eisenia foetida</i>	<i>Eisenia andrei</i>	<i>Lombricus terrestris</i>
Color	Rojo pardo (Lombriz tigre)	Rojo fresa	Café oscuro
Tamaño (Cm)	8-10	7-9	30-35
Peso adulta (g)	1.5-2.3	1.5-2.7	4-4.5
Reproducción	Alta	Alta	Baja
Cápsulas, capullos o Cocones	1 cada 7 días	1 cada 5 días	Hasta 12 por año
Número de lombrices por cápsula	De 6 a 8	De 6 a 11	De 1 a 2
Ciclo de vida	De 90 a 100 días	De 80 a 90 días	180 días
Adaptabilidad	De 0 a 3000 m.s.n.m.*	De 0 a 3000 m.s.n.m.*	Zonas tropicales
Voracidad	Alta	Alta	Baja

* Dependiendo de las condiciones de manejo

La *función* que realizan las lombrices es la de pequeños agricultores que excavan el fondo del suelo y a varios metros de profundidad y a lo largo de toda su vida, comen tierra y desechos orgánicos y excretan los fructíferos cúmulos de humus. Estos excrementos de la lombriz de tierra, conocidos como *turrículos*, contienen altas concentraciones de sustancias nutritivas en comparación de la tierra cercana a ellas, de aproximadamente 5 veces más de Nitrógeno (N), 7 veces más de Fósforo (P), 11 veces más de Potasio (K) y 4 veces más de Calcio (Ca).

La *producción de la lombricultura*, que es una biotecnología que utiliza una lombriz domesticada, que al igual que una herramienta de trabajo, recicla todo tipo de materia orgánica y obtiene como fruto de este trabajo, básicamente dos productos:

- + El humus, un abono de primer orden que son las excretas de la lombriz.
- + *La carne roja* de la lombriz que, al igual que la de ganado vacuno, es una fuente de proteína a bajo costo y la cual, manejada con las tecnologías apropiadas, produce una harina con hasta el 73% de proteína, perfectamente utilizable en alimentación animal y humana.

La lombriz *Eisenia andrei* (roja californiana) se caracteriza por vivir en zonas de clima templado, su temperatura corporal oscila entre 19 y 20°C, mide de 6 a 8 centímetros de longitud, con un diámetro de 3 a 5 milímetros, de color rojo oscuro y respira a través de la piel. Está dotada de un sistema circulatorio, nervioso y muscular y es un anélido hermafrodita, cuando llega a la madurez pesa casi un gramo y todos los días ingiere una cantidad de desechos equivalente a su peso, excretando el 60% en forma de humus y el resto lo asimila para su sustento.(Figura 101).

Eisenia fetidia & Eisenia andrei



Figura 101.- Especies de lombriz aptas para el cultivo de lombrí-humus.

Es de importancia considerar las características principales y los sistemas desarrollados en las lombrices, como son:

Características morfológicas, en el cual las lombrices están compuestas por dos tubos, uno dentro del otro, separados por el celoma, mismo que en coordinación con los músculos circulares y longitudinales permiten el movimiento de la lombriz en ambas direcciones, hacia adelante y hacia atrás. Existen también pequeñas estructuras externas presentes en los segmentos conocidos como setas o quetas que le permiten adherirse o fijarse a la superficie e impulsarse.

Sistema Digestivo, el cual inicia en la boca y se conecta a estructuras como la faringe, el buche, la molleja hasta llegar al intestino, el cual termina en el ano. Cada estructura cumple una función importante para poder llenar las necesidades alimenticias de la lombriz. Es importante mencionar que el alimento básico de la lombriz está compuesto por microorganismos, razón por la que solo se alimentan del líquido que los contiene. Al no tener la lombriz dientes ni mandíbula, obtiene sus alimentos por succión al presionar sobre la superficie una pequeña estructura ubicada en su boca conocida como prostomio o lengua. Indistintamente del desecho que consume la lombriz, la cantidad que excreta es del 40 al 60% de lo que come.

Sistema respiratorio, el cual lo realizan por medio de la cutícula, o sea la piel, al no tener un sistema respiratorio organizado. La sangre circula por medio de vasos capilares ubicados junto a la cutícula húmeda de la pared del cuerpo, favoreciendo la absorción de oxígeno y liberación de anhídrido carbónico, razón por la cual, la cutícula debe permanecer siempre húmeda, caso contrario, la lombriz se seca y muere.

Sistema reproductivo, ya que son hermafroditas, presentan ambos sexos en un mismo individuo, sin embargo no son capaces de auto-fecundarse, situación que las obliga al intercambio de

espermas para poder fecundar óvulos. Posteriormente al acoplamiento, se liberan unas pequeñas estructuras en forma de pera conocidas como cápsulas, capullos o cocones, que contienen los pequeños huevecillos fecundados, los cuales tardan en madurar y eclosionar entre tres y cinco semanas después de liberadas, siempre y cuando existan las condiciones apropiadas para ello.

Para cosechar el abono producido por la lombriz, se realiza de la siguiente manera:

- 1.- La cosecha de abono se inicia cuando se observa el desecho fragmentado, con una apariencia semejante al de café molido, el grano es pequeño y suelto además de que la lombriz se observa delgada por la falta de alimento.
- 2.-Para separar la lombriz y poder cosechar el abono, se debe colocar alimento pre-compostado a los lados o sobre la cama de manera que sirva de trampa a la lombriz.
- 3.-Este alimento se coloca directamente cuando son áreas pequeñas o bien sobre mallas plásticas cuando sean mayores.
- 4.-Posteriormente se mueve el abono y se ventila para que pierda humedad y pueda cosecharse.
- 5.-Ya cosechado el abono, se aplica en el menor tiempo posible o bien, se empaca y almacena en un lugar fresco y ventilado.
- 6.-El abono debe empacarse con una humedad máxima del 30%.

Las *ventajas* que ofrece la lombricultura son:

- + Favorece el ambiente al reducir problemas de contaminación generados por desechos orgánicos sólidos.
- + Transforma los desechos orgánicos en productos o co-productos de gran utilidad para el hombre.
- + El abono de lombriz presenta una alta carga microbiana que le permite participar directamente en la regeneración de suelos.
- + Los nutrientes en el abono de lombriz están en forma disponible para las plantas, su contenido respecto a ciertos elementos en particular, varía en función del alimento que consume la lombriz.
- + Acelera la mineralización del suelo.
- + Acelera la descomposición de la materia orgánica.
- + Favorece la aireación y drenaje del suelo.
- + Se usa como mejorador de textura.
- + Contribuye a la formación de agregados.

- + Contribuye en la porosidad del suelo.
- + Favorece la reproducción de bacterias benéficas del suelo.
- + Ayuda a disminuir la fauna patógena.
- + Favorece el crecimiento de las raíces.
- + En suelos compactos, favorece la filtración del agua así como la capacidad de retención hídrica.
- + Liberan en sus excretas elementos como Carbono, Nitrógeno y Azufre.
- + Disminuye la relación Carbono/Nitrógeno C/N (rango de 9 a 13:1) con respecto al valor original, ejerciendo un efecto regulador entre la micro-fauna y la flora del suelo, y consecuentemente la disminución de nemátodos.

Finalmente diremos que su acción combinada permite una asimilación inmediata de nutrientes y un efecto regulador de la nutrición, cuya actividad residual en el suelo llega hasta los cinco años. Es un gran mejorador de la estructura del suelo, haciéndolo permeable al agua y al aire, aumenta la retención de agua y la capacidad de almacenar y liberar nutrientes requeridos por las plantas en forma equilibrada. Tiene una alta carga microbiana (cerca de 40 mil millones por gramo seco) lo que restaurará la carga microbiana del suelo. Es un abono bio-orgánico activo (más del 28% es materia orgánica), mejora las características organo-lépticas de las plantas, flores y frutos. Su pH es neutro (6.7-7.3) y puede aplicarse en cualquier dosis a las plantas sin riesgo de quemarlas, incluso, se puede colocar una semilla sobre él. Su nivel de nitrógeno es superior al 2%.

CONCLUSIONES DEL CAPITULO IV.

+ El estudio de la naturaleza, el medio ambiente, la flora y fauna, desarrollada en un determinado lugar, de acuerdo a su clima y ubicación geográfica, es un tema muy puntual en cuanto a estos factores a tomar en consideración. Para el estudio del desarrollo e implementación de las azoteas verdes, se han implementado, en diversos países pioneros en esta tecnificación, sobre todo los europeos y escandinavos, diversas técnicas desarrolladas a través del estudio y experimentación física del fenómeno, en el cual han desarrollado desde una determinada tipología de azoteas hasta la propuesta de una paleta vegetal, de acuerdo a su situación geográfica y clima. Asimismo han legislado en sus respectivas políticas locales y regionales acerca de la reglamentación, condicionamiento y normatividad del desarrollo de techos verdes para su cada vez mejor acondicionamiento y tecnificación con la firme convicción de que esta tecnología es una de las más avanzadas a nivel mundial para ayudar a salvar el planeta del calentamiento global.

+ Esta disciplina en nuestro continente, y específicamente en Norteamérica, es, relativamente nueva, pues no tiene más de cincuenta o sesenta años que se ha empezado a investigar en ella, debido a que los graves estragos ambientales que se han detectado a partir de la revolución industrial, la urbanización de ciudades medianas y grandes a partir de la migración campo-ciudad en busca de oportunidades de empleo y subsistencia, y por consecuencia, de la urbanización “forzada y sin planeación” que han sufrido las grandes urbes. A esto aunamos el incremento del parque vehicular a nivel mundial desde la creación del motor de cuatro tiempos funcionando a base de gasolina y diesel, combustibles fósiles a base de petróleo, que en su extracción, refinación, traslado, venta y consumo y quema, han contribuido, junto con otros diversos factores, a la depredación del medio ambiente.

+ Si bien es cierto que las azoteas verdes son motivo de un diseño específico, de acuerdo a diversas condicionantes entre las cuales destacan la finalidad para la que va a ser creada, el lugar en que se va a desarrollar que influye en el tipo de vegetación a cultivar, la tecnología ocupada de acuerdo al tipo de edificio, también lo es que, para que sea del todo desarrollada con éxito, se requiere de una legislación local o regional que conlleve a un feliz término su construcción, desarrollo mantenimiento y existencia, pues de no ser así, estaría destinada al fracaso, tomando en consideración que después de su creación, se requiere de un presupuesto y gasto, de acuerdo al tipo de cubierta, para su mantenimiento y existencia, lo que conlleva a promover entre toda la sociedad, incluidos gobiernos, autoridades locales y regionales, propietarios y usuarios y habitantes en general, de una difusión y concientización de lo que esto significa, tarea que en caso de no ser promovida por las mismas autoridades, es difícil que a nivel particular o autónomo, de alguna organización o grupo ecologista, sea posible.

+ Asimismo cada vez es mayor la tecnificación de recubrimientos, tecnología, paleta vegetal, suelos y sustratos naturales y artificiales y el estudio del medio ambiente local, tan cambiante pero ciertamente predecible, para poder desarrollar con éxito la implementación de cubiertas verdes en un determinado lugar.

CAPITULO V: INSTALACION Y MANTENIMIENTO.

5.1.-Biodiversidad y vida silvestre.

La biodiversidad es definida como *la acumulación o variación ocasionada en un ecosistema, humedal, bioma, región climática, continente o planeta* (Dakin et al, 2013: 75-76).

Uno de los beneficios públicos que conlleva la implementación de azoteas verdes es el potencial soporte de vida silvestre y biodiversidad implicado en esta práctica, principalmente en las zonas altamente urbanizadas donde existe mucho espacio natural perdido a nivel del suelo, siendo esto, un punto vital. La fauna que habita este suelo perdido a causa de la urbanización, o cambia su lugar de habitar adaptándose a otras circunstancias o, por lo general, muere. Al ser creada una azotea verde extensiva, esta tendrá la variedad de plantas nativas como líquenes, musgos y plantas y flores, las cuales volverán a alojar las especies de fauna que anteriormente cambió de hábitat o murió.

Un ejemplo de esto está en Basilea, Suiza, donde el Dr. Stephan Brenneisen, con sus ideas y trabajo, ha revolucionado a mucha gente respecto a las azoteas verdes, el cual ha consistido en la recuperación de espacios perdidos por el desarrollo de la construcción, especialmente en los bancos de río y las áreas inundadas del Río Rhine, un lugar especial para los pájaros favorecidos con las terrazas fluviales de grava del río y sus espacios abiertos, así como diversos sitios pos-industriales y lugares abandonados de ferrocarril donde, gracias a la práctica de construir techos verdes, han sido alentado para incrementar y colonizar espontáneamente con vegetación, siendo estudiada con detalle, principalmente los insectos y otros invertebrados.

Se han monitoreado setenta azoteas verdes incluyendo techos con césped y techos con Sedum y otros construidos especialmente para mejorar el paisaje construidos con desechos de sustratos para que se dejen colonizar y cubrir estas capas con suelos y sustratos superiores, quedando dos grupos de invertebrados como indicadores de la buena estructura vegetal monitoreada: Las arañas y los escarabajos de tierra. En el primer periodo de tres años para el estudio, se formaron 78 especies de arañas y 254 de escarabajos. Catorce (18%) de las especies de arañas y 27 (11%) de escarabajos fueron clasificados como especies raras o en peligro de extinción. Los techos verdes viejos tienden a soportar más especies que los recientes (Dunnett and Kingsbury, 2013:46).

La implementación de azoteas verdes ha sido una alternativa aceptable como hábitat para algunas especies, de acuerdo a la ubicación del lugar de implementación, considerando que la urbanización no es una justificación considerable para la destrucción gradual de estos hábitats. En Europa, dos tipos de hábitats en azoteas verdes han sido definidos e implementados como parte de un gran sistema de corredores de vida silvestre en áreas urbanas.

El primero es el hábitat "Paso de piedra" que conecta un desolado hábitat natural con otro. Es importante recordar que esta conexión puede ser solo por aire (Anidación y migración de pájaros, insectos, semillas en vuelo). La segunda es una "isla" habitada por el remanente aislado de un

determinado grado de ocupantes. Este tipo de hábitat pudiera ser el hogar de una seleccionada variedad de plantas cuando las semillas no son esparcidas por el viento o son distancias cortas.

Las azoteas verdes pueden ser también designadas específicamente para imitar sistemas establecidos de hábitats como las praderas de las islas con vegetación del medio oeste de Estados Unidos o las rocosas de la Isla Manitoulin en la región de los grandes lagos de Canadá. Las azoteas verdes extensivas con la falta de intervención humana, pueden proteger más y devolver la habitabilidad a las plantas sensibles que se dañan fácilmente por ser caminadas y las especies de pájaros que solo usan el terreno. Desde el suelo en una inaccesible azotea verde también con alguna pérdida de gusto para ser molestada, el regreso de un hábitat seguro para insectos, es bueno. El asentamiento del suelo o sustrato para una mayor diversidad de insectos en la azotea verde será una buena medida para llegar a este fin (Peck and Kuhn, 2006: 9-10).

El ser humano, los paisajistas, investigadores, diseñadores, biólogos, naturistas, constructores, ecologistas y cualquier persona interesada en la biodiversidad y vida al aire libre o silvestre, tiene la capacidad intelectual para diseñar espacios, azoteas verdes, muros vivos, áreas jardinadas y demás espacios naturados específicos para atraer, proteger, cobijar y ofrecer a la fauna y flora local, un espacio de convivencia y desarrollo apropiadas a las condiciones climáticas del lugar. Existen sitios invaluable para la vida silvestre como las lagunas, bosques, selvas, ríos y montañas. Pero existe la capacidad en personas como el investigador y diseñador de azoteas verdes en Europa Stephan Brennsein, el experto en biodiversidad y azoteas verdes Dusty Gedge y el diseñador y constructor de jardines John Litte de la compañía en Essex Grass Roof Company, en Inglaterra, cuyos trabajos revelan que tienen la capacidad de crear paisajes específicos a gusto de los animales del planeta, imitando y ajustándose al medioambiente y los hábitats de insectos y aves en cada lugar donde se realiza algún proyecto (Dakin et al, 2013: 75).

5.2.- El Agua, la Fotosíntesis y la Transpiración.

Debemos considerar que ambas actividades, Fotosíntesis y Transpiración, son actividades independientes que se realizan en las plantas. La vida está estrechamente ligada al agua, principalmente en su estado líquido y su importancia para los seres vivos es consecuencia de sus propiedades físicas y químicas exclusivas. El agua es la forma en que el átomo de hidrógeno (H), elemento esencial en todas las moléculas orgánicas, es absorbido y posteriormente asimilado durante la **Fotosíntesis**, por lo que ha de considerarse como un nutriente para la planta al igual que el bióxido de Carbono (CO₂), nitratos y otros componentes. La cantidad de agua necesaria para el proceso fotosintético es pequeña, constituyendo cerca del 0.01 % de la cantidad utilizada por la planta. La razón de esta baja utilización es que la mayoría de las funciones en las cuales participa, son de naturaleza física. El agua es un disolvente para para muchas sustancias tales como sales inorgánicas, azúcares y aniones orgánicos, constituyendo un medio en el cual se realizan todas las reacciones bioquímicas.

Las moléculas de agua se absorben en las superficies de las partículas formando capas de hidratación, que influyen en las reacciones físicas y químicas. El agua en su forma líquida, permite la difusión y el flujo masivo de solutos y por esta razón, es esencial para el transporte y distribución de nutrientes y metabolitos en toda la planta. También es importante el agua en las vacuolas de células vegetales al ejercer presión sobre el protoplasma y la pared celular, manteniendo así la turgencia (hinchazón, expansión) entre hojas, raíces y otras partes de las plantas. El agua es el componente mayoritario en la planta, cerca del 80-90% en plantas herbáceas y cerca del 50% en plantas leñosas.

La cohesión de las moléculas de agua hace que se requiera una cantidad de energía muy elevada para provocar la evaporación, razón por la que la transpiración en las hojas tiene un efecto importante de enfriamiento. Es importante mencionar que el empaquetamiento de las moléculas de agua en estado líquido mediante puentes de hidrógeno, es más eficaz que en estado sólido (Hielo). Por esta razón el agua se expande cuando se congela, existiendo riesgo de lesión tisular si se congela el agua celular.

Con la luz solar, las plantas usan el bióxido de carbono del aire para crear almidón y azúcares. En el transcurso de la noche, utilizan el almidón almacenado para mantenerse con vida y seguir creciendo, esto a una velocidad precisa y justa para tener un 5% de reserva al amanecer, cuando empiezan a producir más. Las plantas mismas calculan la cantidad de nutrientes de reserva, según la duración de la noche, sin importar cuantas horas dure, estableciendo por sí mismas, el ritmo al que deben consumirlo. La luz es la fuente primaria para la vida en la tierra. La biósfera en la que vivimos es un sistema cerrado y en equilibrio dinámico constante y siendo un sistema cerrado termodinámicamente significa que no intercambia materia con el exterior pero sí recibe energía, la cual viene del exterior, de afuera del planeta y es esencial para la dinámica, tanto geológica como biológica en nuestro planeta, pues es la base de la vida. El sol es de donde recibimos esa energía “extraterrestre” en su totalidad. La radiación solar que llega a nuestro planeta abarca una amplia franja de espectro electromagnético siendo aproximadamente el 40% de esa radiación a la que llamamos *Luz*.

La radiación solar está compuesta por: rayos gamma (γ), ultravioleta (UV), luminosa (VIS) e infrarroja (IR, calor). El total de energía radiante solar que llega a nuestro planeta es enorme, considerada una constante (constante solar) y normalmente se expresa como energía recibida por unidad de tiempo y por unidad de área. Por ejemplo, se estima que la energía solar total que llega a la tierra en un día (8 horas de radiación en todo el planeta) es equivalente a la energía contenida en 300 millones de toneladas de carbón, o sea, unos 100 000 000 en un año, siendo que el consumo energético mundial anual equivale a 10,000 millones de toneladas de carbón, o sea, es inferior a cuatro órdenes de esa magnitud ($\times 10^4$) a la energía que nos llega del sol (Azcón, 2000:131).

El espectro electromagnético está constituido por ondas electromagnéticas de distinta frecuencia (longitud de onda) y abarca desde las ondas de mayor longitud y menor energía, como las ondas de radio y televisión, hasta las ondas de menor longitud y mayor frecuencia, como los rayos gamma. La radiación luminosa ocupa una pequeña franja del espectro, que va desde los 400 hasta los 700 nm y

se sitúa entre las radiaciones ultravioleta (UV) y las infrarrojas (IR) constituyendo la llamada *radiación fotosintéticamente activa* (PAR). La radiación luminosa también se llama radiación visible (VIS) porque el ojo humano es un órgano sensible foto-detector que nos permite ver esa radiación.

A través del único y complejo proceso fisiológico denominado **Fotosíntesis**, determinados organismos vivos autótrofos, también llamados fotoergónicos o fotosintéticos, son capaces de absorber y utilizar la energía luminosa. Cualquier fuente de luz visible (una lámpara incandescente o fluorescente) sirve a los organismos fotosintéticos para hacer fotosíntesis, por lo cual no nos debe extrañar que el sol los haga crecer. Simplemente están usando la luz, dado que la luz solar con su intensidad, difícil de alcanzar con luz artificial. Entre los organismos fotosintéticos, los vegetales son el grupo principal y más importante. Debido a esto, la fotosíntesis es un proceso distintivo del reino vegetal, que determina en buena parte los rasgos característicos de la estructura y la fisiología de las plantas. La *fotosíntesis* que realizan los vegetales se caracteriza por la formación de oxígeno (O₂) como subproducto desprendido de la atmósfera. A este tipo de fotosíntesis se le denomina *fotosíntesis oxigénica* y no está restringido a las plantas superiores, ya que también ocurre en las algas y organismos procariotas como las cianobacterias (bacteria capaz de realizar fotosíntesis oxigénica). También existe la *fotosíntesis anoxygenica* que realizan algunas bacterias anaeróbicas.

Observando la organización global de los seres vivos en la biósfera, se comprueba que el origen y desarrollo de los sistemas biológicos se sustentan en la existencia de los mencionados organismos autótrofos fotosintéticos por ser los únicos que asimilan la energía radiante solar. Gracias a esta capacidad, los vegetales y sus antepasados en la evolución son los que han fundamentado y permitido el desarrollo de otras vidas no autótrofas. Los organismos fotosintéticos transforman en biomasa la energía solar que absorben y asimilan. Anualmente se almacena en la tierra por fotosíntesis, el equivalente energético a 80,000 millones de toneladas de carbón, lo cual corresponde a la asimilación de aproximadamente 10¹⁰ toneladas de carbono de azúcares y otras y otras fuentes de materia orgánica. De la biomasa vegetal, cerca de la mitad es sintetizada por el ecosistema terrestre, o sea, por cultivos agrícolas, bosques, sabanas y matorrales, mientras que la otra mitad es producida en las capas superiores de lagos y océanos por los ecosistemas acuáticos, como las macrófitas y el fitoplancton. Posteriormente la energía acumulada en esta biomasa, es distribuida de forma directa al resto de los seres vivos.

La **fotosíntesis** es un proceso biológico en el que se pueden observar dos fases bien diferenciadas: La primera consistente en la *absorción y conversión de energía* y la segunda de *toma y asimilación de elementos* constitutivos de la materia orgánica como Carbono (C), Hidrógeno (H), Oxígeno (O), Nitrógeno (N) , Sodio (Na) y otros. Analicemos ambos. La energía luminosa es absorbida por bio-moléculas fotosintéticas y transformada en una energía bioquímica estable. Los elementos constitutivos son tomados de fuentes inorgánicas como el agua, el dióxido de carbono, los sulfatos, los nitratos, etcétera, e incorporados en bio-moléculas orgánicas metabolizables. Ambas fases, tanto la toma de energía como la toma de elementos, están perfectamente coordinadas e interrelacionadas entre sí. Estas dos fases fueron llamadas fase luminosa y fase oscura, pero no debemos confundirnos ya que sabemos que la luz es un elemento esencial en toda

la fotosíntesis como un elemento de regulación y control de ambas fases. Podemos definir que existe una *foto-absorción de energía* y una *foto- asimilación de los elementos esenciales*.

La primera fase, o sea la fase luminosa, es un proceso de conversión de energía luminosa en energía electroquímica. Se inicia con la absorción de la luz por ciertos complejos pigmento-proteína llamados “antenas”, que son en realidad “cosechadores” o captadores de luz y en seguida la canalización de la energía de los fotones hacia los centros de reacción de los fotosistemas, donde la corriente se transforma en una corriente de electrones entre moléculas óxido-reductoras, cuyas reacciones producen, en último término, dos bio-moléculas estables (NADPH y ATP) que se van acumulando y que son útiles como fuente de “energía asimiladora” ya que proporcionan poder de reducción (NADPH) y poder de enlace (ATP) necesarios para la siguiente fase.

En la segunda fase de la fotosíntesis, o sea la fase oscura, suceden una serie de reacciones de asimilación de elementos necesarios para la construcción bio-molecular, carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, sodio, etcétera, donde el elemento esencial y mayoritario en la materia orgánica es el carbono (C) el cual, en la fotosíntesis, es tomado del Dióxido de Carbono (CO₂) del aire, con la subsecuente asimilación y fijación fotosintética del carbono.

Se define como **transpiración**, la pérdida de agua en la planta en forma de vapor. Aunque una pequeña cantidad del vapor de agua se puede perder a través de aperturas pequeñas (llamadas Lenticelas) en la corteza del tallo y ramas jóvenes, la mayor proporción (más del 90%) se escapa por las hojas. El proceso de la transpiración está muy ligado a la anatomía de la planta. Las superficies externas de una hoja típica de planta vascular (que contiene raíz, tallo y hojas) están cubiertas de un depósito céreo dispuesto en varias capas llamado *Cutícula* cuyo componente principal es la *Cutina*, un polímero heterogéneo de ácidos grasos de cadena larga (16 a 18 carbonos), la cual ofrece una resistencia muy elevada a la difusión, tanto del agua líquida como del vapor de agua procedente de las células subyacentes, restringiendo la evaporación del agua de las superficies externas de la células epidérmicas foliares protegiendo éstas y las del mesófilo subyacente de una desecación letal.

Una superficie mojada expuesta al aire, cede tanto más vapor de agua por unidad de tiempo y área cuanto mayor sea la presión de vapor entre la superficie y el aire. Si una radiación intensa calienta la superficie foliar, se origina un gradiente de presión de vapor más acusado, por tanto, las propiedades radiativas de la hoja (especialmente su albedo) desempeñan un papel esencial en la evaporación del agua en el mesófilo (Bacterias aeróbicas cuyo crecimiento óptimo está entre los 15 y 35°C).

A lo largo de la vida de una planta, cerca del 95% del agua absorbida pasa simplemente a través de ella y se pierde por transcripción (Transferencia de la información contenida en la secuencia del ADN hacia la secuencia de proteína utilizando diversos ARN como intermediarios). Sin embargo, es conveniente comentar que la evaporación del agua en las hojas proporciona la mayor parte de la energía para el movimiento del agua ya que establece el gradiente de potencial hídrico de la misma. (Azcón, 2000:37,38, 133,134).

5.3.-Características de los materiales.

Los elementos que constituyen la implementación de una azotea verde, deben satisfacer, por lo menos los siguientes requerimientos:

+ *Estabilidad y Resistencia mecánica.*- La naturación y sus componentes deben ser estables y resistir las acciones consideradas en el cálculo estructural de la edificación, de acuerdo a lo establecido en el reglamento de construcciones para el Distrito Federal y sus Normas técnicas complementarias, garantizando el correcto comportamiento estático y estructural de la construcción en su conjunto.

+ *Impermeabilidad.*- Los sistemas de naturación deben impedir el paso del agua, ya sea de riego y/o pluvial, al interior de la edificación, protegiéndola de los agentes climáticos previsible, garantizando la evacuación total del agua excedente, una vez alcanzado el estado de saturación del sistema.

+ *Resistencia de la acción de las raíces sobre la estructura.*- La naturación debe proyectarse y construirse con los materiales adecuados, garantizando que las raíces de la capa vegetal no penetren la capa impermeabilizante para evitar daños en la estructura de la edificación.

+ *Seguridad civil en maniobras.*- La naturación debe proyectarse y construirse de modo que permita el acceso para los trabajos de mantenimiento, inspección y reparación, tanto de los elementos de la propia superficie a naturar como de las instalaciones que discurren por ella, y debe disponer de los elementos de seguridad adecuados para el personal que realiza estos trabajo (Gaceta oficial Distrito Federal, 2008:16-17).

Veamos por separado algunas características de los materiales para la construcción de azoteas verdes, tomando en consideración sus principales atributos y cualidades.

Drenaje.-Ya que los pastos y la variedad con que generalmente se natura una cubierta ecológica, suculentas, crasuláceas y cactáceas, no soportan el estancamiento del agua, se debe proveer una capa de drenaje que permita encauzar el excedente de agua. En ese caso se utiliza un sustrato en dos capas. La capa superior del sustrato es de un suelo nutritivo que sirva de soporte a la vegetación y anclaje a las raíces, y la capa inferior, que sirve de drenaje para desviar el agua pero, también para el almacenaje de ella. Ambas capas son separadas por una capa de fieltro, el cual impide que el suelo se transforme en barro y escurra por la capa de drenaje.

Existen techos con una inclinación mayor de 5% de pendiente en los cuales esta separación es innecesaria, siendo más sencilla y barata la construcción en una sola capa en la cual, a la capa de soporte de la vegetación se le agregan partículas de mineral poroso como tepojal o tezontle, que haga el efecto del drenaje, siendo muy ventajoso que esta capa de material poroso esté ubicada en la parte inferior de la capa, dejando la parte superior para recibir las raíces y soportar la vegetación con la que vaya a naturalizarse. En azoteas de pasto y hierbas con sustratos hasta de 15 cms. de espesor, se deben mezclar en la parte inferior dos partes de material drenante y una parte de tierra, y en la parte superior a la inversa, una capa de material drenante y dos partes de tierra.

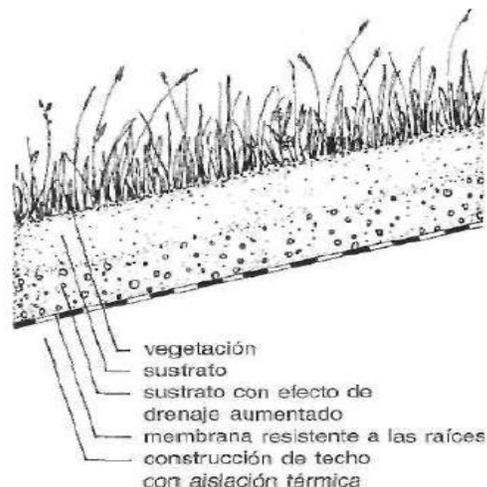
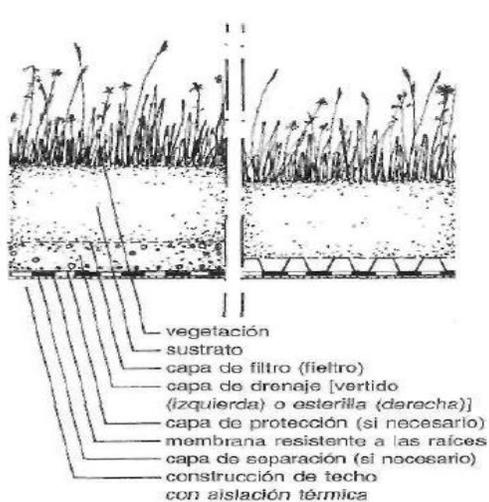


Figura 102.-Enjardinado con sustrato de dos capas.

Figura 103.-Enjardinado con sustrato de una capa.

Aislación térmica.- Una estructura para techo vivo es toda aquella capaz de soportar la carga de la misma. Dependiendo de la ubicación respecto del asoleamiento para la aislación térmica, se pueden clasificar en dos tipos: Techos “fríos” y techos “calientes”. En un “techo frío” se dispone de una capa fina de aire entre la aislación térmica y el techo verde, que sirve de capa de compensación de la presión de vapor y que es obligada en construcciones sin barrera de vapor (Figura 104). Este tipo de techo tiene la desventaja de que los efectos positivos del enfriamiento en verano y la aislación térmica en invierno, no favorecen la habitabilidad bajo este techo, por lo que no es recomendable construir techos verdes bajo en principio de “Techo frío”. En un “techo caliente” se suprime la cámara ventilada de compensación de vapor de manera que los efectos físicos y de construcción del techo de vegetación y pasto produzcan beneficios en las habitaciones ubicadas bajo la techumbre, teniendo en consideración que bajo la aislación térmica debe colocarse una barrera de vapor para evitar que entre vapor de agua a la capa aislante y pueda condensarse ahí. El “techo caliente” (Figura 105), es la opción más efectivamente económica en el desarrollo de una cubierta ajardinada.

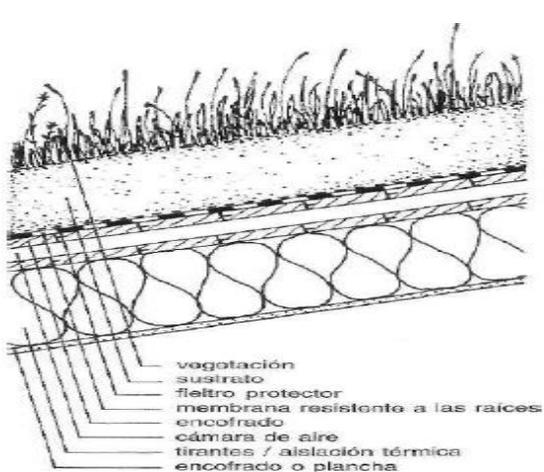


Figura 104.- “Techo frío”

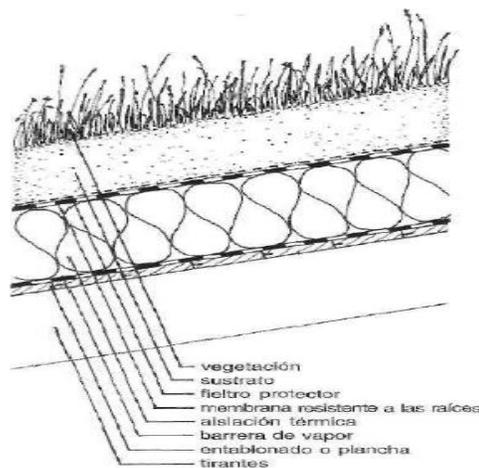


Figura 105.- “Techo caliente”

Membrana protectora contra raíces.- Al aplicar la capa de membrana impermeable se obtienen dos beneficios. Se consigue la hermeticidad de la azotea, o sea, se desvía el agua y se consigue un aislamiento protector contra la perforación de las raíces. Sin embargo, es pertinente reforzar las juntas de las membranas adicionales anexas que van traslapadas, principalmente las construidas con materiales asfálticos. Se ha deducido a través de la experiencia con este tipo de recubrimientos que las impermeabilizaciones a base de materiales pétreos han sido atravesados por raíces de diferentes plantas ya que ciertos microorganismos que viven en la punta de estas, pueden disolver materiales de origen orgánico, incluso en uniones pegadas se han encontrado perforaciones causadas por éstas. Esto nos indica que no siempre en la práctica es posible realizar un sellado hermético perfecto. Si una rendija no está bien sellada o pegada, entra agua capilar y pueden crecer adentro las puntas de raíces con sensores de humedad. Existen plantas cuyas puntas de raíces que cuando captan humedad, se fortalecen para poder atravesar las grietas o juntas a través del almacenaje de cristales de silicato. Por ese motivo, los traslapes de láminas y membranas deben ser siempre soldados con soplete de aire caliente o de alta frecuencia.

Si las membranas del techo no son resistentes a la acción de las raíces, es conveniente colocar sobre ellas una fina capa de polietileno, de las cuales existen de 6 y 8 metros de ancho, previendo un traslape mínimo de 150 centímetros, ya que en el traslape se mantiene mucho tiempo el agua capilar y crecerían adentro, esto se evita colocando debajo de la lámina una capa de fieltro protector de seguridad. También existe la alternativa, sobre todo en los techos de países muy fríos, que sobre la capa asfáltica se extienda una lámina entramada de polietileno de alta densidad, la cual tiene dos metros de ancho y se traslapa 25 centímetros y se pegan las juntas con una masilla especial para este fin. Las membranas soldadas con material asfaltado no son resistentes a las raíces, por lo tanto requieren de una membrana adicional de protección contra la perforación de las mismas.

A continuación mencionaremos algunas de las membranas existentes en el mercado, usadas para este fin:

Membrana polímero-elastómero-bituminosa.- Son elaboradas a base de una mezcla de bitumen con materias sintéticas y generalmente son resistentes a las raíces.

Membranas de PVC.- Son de PVC blando y por lo general, no son resistentes al bitumen, polystrol y productos aceitosos, protectores de madera. Es recomendable para las azoteas, reforzar la trama con una membrana de techo de PVC del tipo del toldo para camionetas llamado "lona" ya que por el refuerzo entramado que poseen, son muy resistentes a las averías, roturas y raíces.

Membrana de polietileno clorado.- Caracterizada por tener una muy alta resistencia, pero no permite hacer uniones muy resistentes a las raíces en obra. En los promontorios deben hacerse traslapes muy grandes para impedir el crecimiento de las raíces a través de ellos.

Membranas de tela con revestimiento de polyolefino.- Ecológicamente son bien aceptadas pues están libres de halógenos, ablandadores y cloro pero, son más caras que las membranas revestidas

de PVC y la soldadura es más dificultosa debiendo hacer este trabajo, empresas especializadas en el ramo.

Membrana de etileno copolimerizado bituminoso (ECB).- Es compatible con el bitumen y de buena forma de trabajo.

Membrana EPDM.- Contiene etileno, propileno, terpolímero y caucho, caracterizado por su alta elasticidad. Lograr uniones herméticas con este material, no es tan sencillo.

Sellados fluidos con poliuretano o con resinas de polyester.- Se colocan en estado líquido y con un grosor suficiente, son resistentes a las raíces.

El material más seguro es para una membrana protectora de raíces, es un tejido de polyester revestido en PVC, recomendándose espesores de 2 milímetros. Por ser un tanto costoso, se puede utilizar un material de menor grosor, como el toldo utilizado en las camionetas que tienen espesor de entre 0.8 y 1.0 milímetro. La soldadura de las uniones y traslapes con lámina de PVC se recomienda realizarla con soldadores de alta frecuencia para garantizar su hermeticidad.

Protección contra daños mecánicos.- Cuando la base para la membrana de protección de raíces es rugosa o desigual, o deben absorberse movimientos específicos del material, se debe colocar bajo la membrana protectora de raíces, un fieltro o una capa de arena, siendo esto innecesario cuando se ocupan membranas impermeables de fibra reforzada de 2 milímetros de espesor ya que éstas sirven simultáneamente como protección contra la perforación de raíces.

Capa de drenaje.- Esta capa tiene como finalidad, tanto dirigir el agua excedente hacia alguna bajada como, hasta cierto grado, almacenar agua. Para esto son muy aptos los materiales livianos, porosos y de grano grueso, como tepojal, tezontle, gravilla de pizarra expandida, lava expandida y residuos de escorias de tabique y ladrillo. La proporción debe ser del rango de 15 al 25% y ser de preferencia, de poros abiertos. En techos planos y poco inclinados, esta capa se cubre con un fieltro tela, evitando con esto que el sustrato se haga lodo y pase a mezclarse con la capa de drenaje. En techos con pendiente más pronunciada, esta medida no surte efecto, ya que debido a la misma pendiente, esta fortalece el efecto de drenaje a través de la inclinación, incluso, la mezcla del sustrato con el material de drenaje tiene otras ventajas, entre ellos de verse disminuido el peligro de deslizamiento del sustrato y también resulta un medio húmedo compensado para las raíces.

Sustrato.- Como se explicó en el capítulo IV, hemos diferenciado que es un suelo y que es un sustrato y los diferentes tipos de sustrato que se pueden diseñar. El sustrato y la vegetación deben armonizar entre sí. Para que la naturación sea verde, sobre todo en el extensivo, a base de césped pobre, hierbas silvestres o endémicas y Sedum, es conveniente que el sustrato no contenga demasiado humus (Materia orgánica). Si utilizamos tierra de suelo o milpa, esta no deberá ser muy arcillosa, o empobrecerla con un poco de arena, no debiendo tener más del 20% de arcilla y limo, con granos de hasta 0.06 milímetros. Para esto es recomendable empobrecer la tierra madre o básica hasta con un 75% de materiales livianos con granulometría de 0 a 16 milímetros, estos puede

ser tepojal, lava, tezontle, pizarra expandida, arcilla expandida y material sobrante de tabique y ladrillos de barro. El sustrato debe colocarse para una vegetación de césped pobre, con la posibilidad de que surja una pradera de pastos silvestres cuyo colchón o masa vegetal no sobrepase los 10-20 centímetros, no sin que en algunos puntos de florecimiento aislado pueda llegar de 30 a 50 centímetros de altura.

Vegetación.- De acuerdo al tipo de techo vivo que diseñemos, la finalidad de su creación, su utilidad, los recursos disponibles, el lugar considerando su altura y orientación, y algunos otros criterios para elegir la paleta vegetal a aplicar, y de acuerdo a su importancia podemos considerar los siguientes:

Criterios:

- Espesor de sustrato y su efectividad de almacenaje de agua.
- Inclinación del techo, pues entre más inclinado sea, mayor debe ser su almacenaje de agua
- Exposición al viento, pues hace que aumente la evaporación.
- Orientación, pues los techos orientados hacia el sol se secan más rápido.
- Sombra, producida ya sea por construcciones aledañas o por árboles circundantes.
- Cuantificación de precipitaciones considerando los lugares donde no llega la precipitación.

Especialmente debemos observar que función y repercusiones tendrá la azotea, pues de esto depende asignarle un determinado grado de importancia:

- Efecto de aislación térmica.
- Efecto de enfriamiento en verano.
- Efecto de aislación acústica.
- Considerar el gasto de mantenimiento.
- Aspectos ópticos y estéticos.

En el diseño, construcción y mantenimiento de un techo vivo no sólo deben obtenerse beneficios estéticos y de paisaje, sino considerar otros factores simultáneos que aumentarán la importancia de la implementación, como son los efectos físico-constructivos como pueden ser la aislación térmica, la protección contra el calor en verano, la aislación acústica y de las corrientes de viento, la limpieza del aire y de captura de partículas suspendidas de polvo, la captación de agua pluvial (Énfasis del trabajo de tesis) así como también los efectos constructivos como son el tener un techo que nos proteja contra la radiación de rayos UV y las variaciones extremas de temperatura, sobre todo, en periodos de tiempo muy cortos. Todo esto se obtiene de una forma sencilla y económica con una azotea extensiva de pastos silvestres, ahora que si deseamos invertir una cantidad mayor de dinero, podemos hacer una mezcla de pastos y hierbas silvestres.

Para la elección de la vegetación a implementar debemos tener en consideración:

- Resistencia a las sequías.
- Resistencia a las heladas, bastante frecuentes en nuestra región.
- Altura de crecimiento, no mayor de 10 a 20 centímetros.
- Puntos de floración no mayores de 40 centímetros.
- Formación densa de colchón con fuerte desarrollo de altura y crecimiento disminuido a lo ancho.

Las formas de aplicación de vegetación pueden ser, entre otras, de las siguientes formas.

- *Semillas* de aplicación, para azoteas con disponibilidad de algún sistema de riego, el cual es utilizado para esparcir la semilla, celulosa, alginatos (polisacárido aniónico) en arcillas o materiales sintéticos emulsionados. La semilla de pastos y hierbas silvestres generalmente tienen la capacidad de germinación y de pureza disminuidas pero, las plantas que producen son muchas veces muy resistentes.
- *Gajos* de colocación, sobre todo en el género *Sedum*, se cultivan en trozos de retoños (partes de la planta cortadas), prenden fácilmente y son resistentes a periodos de sequía. Para el cultivo en gajos se requieren en promedio, 40 retoños por metro cuadrado.
- *Césped listo*, generalmente proporcionado por los viveros en rollos de 0.50 X 1.00 Metro, cuyo espesor de sustrato es de entre 2 a 3 centímetros de espesor.
- *Mantas de vegetación*, armadas con fieltro, redes y mallas de hilo trenzado, y según las exigencias del comprador, contiene diferentes mezclas de musgo, suculentas, pastos, hierbas y plantas de bulbo. El espesor del sustrato es de 1.5 a 3.5 centímetros y las dimensiones de las mantas pueden llegar a 1.00 X 1.00 metros.
- *Panes de césped*, los cuales debido a su tamaño, aproximadamente de 0.40 X 0.40, y para una azotea con pendiente fuerte, pueden apolarse uno sobre otro en la misma superficie, sin que resbalen. Debemos considerar que los pastos resistentes a la sequía densamente crecidos, habían sido podados previamente al corte. La tierra de sustrato de estos panes es de entre 5 a 8 centímetros.

Complementando lo señalado en la página 74 de este documento, referente a las Poaceas (gramíneas), comentaremos que dentro de los pastos de altura se encuentran algunas variedades que logran colchones de vegetación con mayor superficie de hoja verde, logrando beneficios ecológico-ambientales significativos, mejores efectos de aislación térmica y de protección al calor en verano. El espesor mínimo requerido para el cultivo de las gramíneas es de 12 a 18 centímetros de espesor, la finalidad es de jugar el papel de planta cespitosa, las cuales deben de cumplir con los requerimientos de soportar siegas sistemáticas y frecuentes, resistir el pisoteo y arrancamiento y ser capaces de formar un tapiz verde, continuo, compacto y uniforme. La variedad para clima templado puede ser:

- *Festuca rubra commutata.*
- *Festuca rubre genuina.*
- *Festuca glauca.*
- *Festuca ovina.*
- *Festura scorparia.*
- *Poa pratensis.*
- *Poa pratensis angustifolia.*
- *Agrostis tenuis.*
- *Agrostis stolonifera.*
- *Carex digitata.*
- *Carex flacca.*
- *Carex humilis.*
- *Stipa pennata.*
- *Stipa ucrainica.*

Vegetación a base de Sedum y musgo para sustratos no mayores de 5 centímetros.

Existen situaciones en las que, por razones del peso de la naturaleza a desarrollar, esta debe ser menor y muy liviana, en el rango de 30 a 40 K/m², en estado saturado o acuoso, como en el techo estructurado de una fábrica, cubierta de algún deportivo o gimnasio o cualquier estructura metálica ligera, para lo cual ocuparemos algunas mantas prefabricadas de vegetación (Green roofs and garden roofs vegetation blankets) que constan principalmente de musgo y Sedum cuyo espesor es de 3 a 5 centímetros. Estas son difíciles de conseguir en México, pero se exportan de los Estados Unidos, donde existen diferentes empresas dedicadas al cultivo de diferentes mantas y su combinación de ellas, entre las empresas podemos mencionar Sempergreen BV, Bauder, Intercoast buliding solutions, etc. Es obvio señalar que debido a la exportación de este material, su implementación ya resulta cara y costosa, comparada con la fabricación y/o elaboración que pudiera realizarse en nuestros viveros y de acuerdo a la variedad que se pretenda desarrollar.

Estos tipos de vegetación caen en un “sueño de sequía” durante largos periodos secos. Los musgos prefieren los sitios oscuros y húmedos, siendo los Sedums los que prefieren más las áreas bien asoleadas. Los tipos de musgos apropiados para esta naturaleza son:

- *Ceratodon purpurelis.*
- *Campothecium sericeum.*
- *Syntherichia rurales.*
- *Schistidium apocarpum.*
- *Barbula convoluta.*
- *Brachythesium rutabuun.*
- *Bryum argenteum.* (Minke, 2003: 32-51)

5.4.-Riego, poda y fertilización.

Riego.- Este aspecto es un punto muy importante ya que de él depende el desarrollo, crecimiento, mantenimiento o en su caso, la muerte de la planta, ya que la mayoría de las plantas para techos vivos, no soportan el exceso de agua, así como la acumulación de humedad por tiempos prolongados y humedad con demasiado frío, pues tiende a congelarse, ocasionando la muerte de variedades que no soportan climas extremos. Cuando la temperatura sea menor de 10°C no debe de existir riego y en invierno este se limita a una sola vez por semana o cuando el sustrato esté completamente seco pues la mayoría de las plantas están en estado de dormancia. En el caso de azotea extensivas generalmente se deja el riego de acuerdo a como la climatología del lugar lo determine al drenarse solo en temporadas de lluvia, por lo tanto se desarrollarán solo especies capaces de soportar largas temporadas de sequías y condiciones extremas en temporadas prolongadas.

En la naturación de azoteas intensivas, que van a requerir de cuidados más específicos y por cuestiones ecológicas, sobre todo en lugares donde la precipitación es escasa o tarda periodos largos en caer, es conveniente el construir, cisternas o aljibes captadores de agua de lluvia para utilizar el líquido durante estos periodos, esto con su respectivo costo, pero también, con sus beneficios. En la construcción de techos vivos intensivos es muy conveniente instalar un sistema de riego por goteo a base de tubería, ya sea de cobre, P.V.C. o incluso plástico, con llaves de globo para el adecuado control del flujo y tomando control de la capacidad del depósito de donde se alimenta el riego para saber la cantidad regada. El riego ideal se obtiene en muchas ocasiones, a base de experiencia y después del sacrificio de algunas plantas, y depende de varios factores como si recibe más o menos sol, si hace más o menos calor, si llueve mucho o llueve poco, del tipo de sustrato y su permeabilidad y capacidad de campo, etcétera. Es importante dejar secar el sustrato entre riego y riego. Por regla general, es mejor quedarse corto con el agua que pasarse de riego. El pH no debe descender de un pH 4. Veamos en qué consisten los diferentes los diferentes sistemas de riego:

Riego por aspersión.- Consiste e implica una lluvia intensa y uniforme inducida por un sistema de riego sobre una parcela con el objetivo de que el agua se infiltre en el mismo lugar donde cae. El sistema consistente en mangueras, ya sea de plástico, cobre o aluminio (para evitar la corrosión) y emisores que pueden ser aspersores, tuberías perforadas, conectores y “tees” de derivación, controladores de flujo, bomba o gravedad y controladores de flujo.

Riego por goteo.- También conocido por “riego gota a gota” utilizado principalmente en zonas áridas donde el cuidado del líquido es muy importante (debiera serlo siempre) buscando optimizar el uso de agua y abonos. Con este método el riego se infiltra directamente hacia las raíces de la planta irrigando la zona de influencia a través de un sistema de tuberías y emisores o goteros.

Es importante mencionar que la diferencia entre estos dos métodos de riego radica en la magnitud de la presión de riego y la geometría del emisor. En los sistemas de baja presión es muy conveniente el riego nocturno ya que evita menos evaporación, menos viento y coste energético,

pero se debe tener cuidado de no regar por la noche en invierno y temporada fría ya que ocasionaría que el agua de riego se congele junto con las raíces de la planta al presentarse alguna helada. Se debe considerar que entre los inconvenientes del riego por aspersión están las condiciones atmosféricas como pérdida de agua por evaporización y el arrastre y efecto del viento sobre la uniformidad del riego, la cual puede tener una mala uniformidad de riego si se presenta una fuerte acción del viento.

Riego por nebulización.- Es un sistema basado en nebulizadores (boquillas) por los cuales sale agua a presión a través de un orificio de pequeño diámetro estrellándose el chorro producido contra una pared cóncava que los despiden y distribuye en forma nebulizada, requiriendo para ello de presiones relativamente altas, de entre 2 a 4 bares de presión. Este sistema se utiliza principalmente para aumentar la humedad relativa de un invernadero, para refrigerar un invernadero combinado con un sistema de ventilación forzada o inducida, para la aplicación de tratamientos automatizados como como la aplicación de abonos foliares, fitosanitarios o cualquier otro producto soluble en agua y para efectuar el riego por nebulización.

Poda.- En azoteas vivas extensivas, esta práctica es relativamente nula, ya que la finalidad de este tipo de naturación, es precisamente que la vegetación se desarrolle de manera natural y sin ningún tipo de cuidado, ocasionando con ello, que el porte de las mismas sea de alturas superiores a 1.00 metro de altura. Es diferente la situación para las azoteas intensivas ya que en estas, uno de los factores que interfieren en el costo, es el mantenimiento, parte del cual es la poda, desde el césped hasta las plantas Sedum y crásulas, a las cuales si bien no es la poda en sí mismo, pues son de bajo porte, si es importante cortar las hojas y ramas secas que tendrán en cada estación, sobre todo las plantas anuales.

Fertilización.- Las plantas crásulas y suculentas exigen poco mantenimiento pero no deben descuidarse. En verano es recomendable mover las suculentas al interior o cubrirlas de la intemperie. También se puede colocar una capa de guijarros o piedras porosas en el fondo del sustrato, estos almacenarán calor durante el día evitando así el enfriamiento durante la noche. Las suculentas son atacadas normalmente por algunos insectos como los pulgones, las cochinillas o los piojos de la raíz, lo cual se puede combatir con un insecticida de contacto simple. Para combatir los ácaros se debe cubrir el envés de las hojas con un anti-ácaros sistémico debiéndose utilizar un fungicida contra el moho y la roya siendo también eficiente el caldo bordelés (combinación de sulfato cúprico y cal hidratada) y el azufre. Es muy importante detener el riego mientras dure el tratamiento antifúngico. La aportación básica de fertilizante debe ser abundante en Nitrógeno, Fósforo y Potasio, procurando que no se exceda de Nitrógeno, pues esto determinará plantas débiles, en otoño e invierno se debe poner especial atención al aporte de Potasio, elemento nutricional que favorece la formación de capullos florales.

5.5.-Costos.

Ya que la naturación extensiva en azoteas verdes solo requiere de un medio de crecimiento, pues se desarrolla de forma natural, principalmente las especies nativas del lugar, a través de las esporas transportadas por el viento y por las excretas de las aves que se posan en el lugar transportando las semillas que germinarán con la humedad propia del lugar y el agua de lluvia, por lo cual no tiene costo de instalación ni mantenimiento significativo, contrariamente a la naturación intensiva, que tiene, como ya vimos anteriormente, en su diseño, instalación, materiales y mantenimiento, un costo considerable de acuerdo al fin para el que se construirá.

A continuación se presenta una gráfica de costos aproximados de construcción, haciendo mención de que es de tipo general, pues dependiendo del diseño, el lugar, la altura, los materiales, la variedad vegetal a desarrollar y otros factores, variarán en su costo e instalación.

Cuadro 13.- Costos aproximados (Peck and Kuhn, 2005: 15).

Componente	Costo	Notas y variables
A).- Diseño y especificaciones	5-10% del total del costo del proyecto de la techumbre.	El número y tipo de consultores requeridos depende del tamaño y complejidad del proyecto.
B).-Administración del proyecto y revisión del sitio.	2.5-5% del total del costo del proyecto de la techumbre.	El número y tipo de consultores requeridos depende del tamaño y complejidad del proyecto.
C).-Reparación de la azotea con membrana repelente	\$ 1,230.00-\$ 1.970.00 por m ² .	Los factores de costo incluyen el tipo de cubierta existente a ser removida, el tipo del nuevo sistema que se instalará, la facilidad de acceso al techo y la descarga de desperdicios.
D).-Sistema de azotea verde (Contención, capa de drenaje, filtro de tela y medio de cultivo)	\$ 675.00-\$ 1,360.00 por m ² .	Los factores de costo incluyen tipo y profundidad del medio de cultivo, tipo de contención y tamaño del proyecto.
E).- Plantas	\$ 135.00-\$ 395.00 por m ² .	El factor de costo incluye la edad, tipo de planta y tamaño de semilla o esqueje.
F).-Mano de obra de la instalación.	\$ 395.00-\$ 1,060.00 por m ² .	El factor de costo incluye renta de equipo para remover materiales desde el techo (Sin grúa por su costo), el tamaño del proyecto, la complejidad del diseño y la técnica de plantación usada.
G).-Mantenimiento.	\$ 160.00- \$ 260.00 por m ² .	El factor de costo incluye el tamaño del proyecto, tiempo de instalación, sistema de irrigación y tamaño y tipo de plantas usadas.
H).-Irrigación.	\$ 260.00- \$ 530.00 por m ² .	*Opcional, ya que puede hacerse manualmente, incluyendo el tipo de sistema usado.

5.6.-Captación, Control, y manejo de agua pluvial.

Capacidad de campo (C.C): Es el contenido de agua o humedad que es capaz de retener el suelo o sustrato luego de haber sido saturado o haber sido mojado abundantemente y después dejado drenar libremente, evitando pérdida por evapotranspiración hasta que el potencial hídrico del suelo se estabilice, de 24 a 48 horas después de la lluvia o riego. La C.C. está dada por la fórmula:

$$W_{cc} = \frac{W_{sh} - W_{ss}}{W_{ss}} \quad \text{donde:}$$

W_{cc} = Contenido gravimétrico del suelo.

W_{sh} = Peso de la muestra del suelo húmedo sometido a 0.33 bares de presión.

W_{ss} = Peso de la muestra del suelo seca hasta un peso constante a 105 °C.

Los valores de la **C.C.** es cuando el agua retenida puede ser absorbida por las plantas, pero a medida que el agua disminuye, se llega a un punto en que la planta no puede absorberla, estando entonces en **punto de marchitez**. La diferencia entre C.C. y el punto de marchitez representa la fracción de agua útil para el cultivo. Así por ejemplo: Una capacidad de campo de 27% significa que 100gr. de tierra seca retienen 27 gr. de agua, y una marchitez del 12% significa que, cuando alcanza la marchitez la planta, el suelo tiene 12 gr. de agua por 100gr. de tierra seca. Por lo tanto, el agua disponible de la planta sería: 27gr. – 12gr.= 15 gr. de agua disponible por cada 100 gr. de tierra seca. Cuando más fina es la textura, mayores son los porcentajes de agua en el suelo, tanto a la C.C. como en el punto de marchitez.

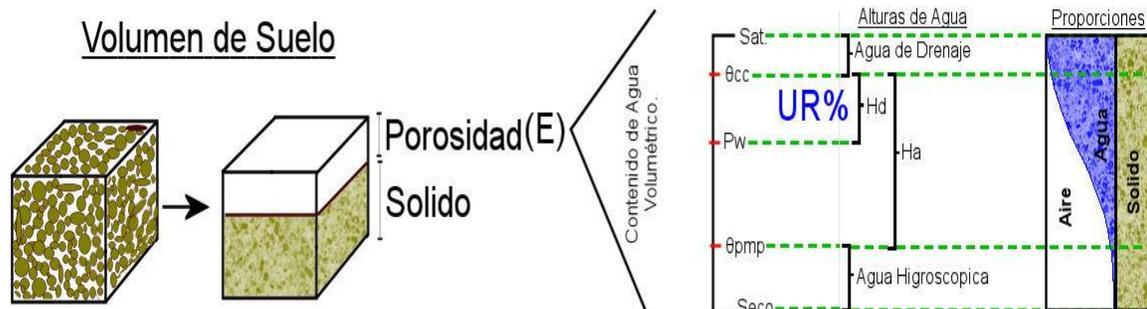


Figura 106.- Capacidad de campo.

Comenta el Ing. Ulises Martínez Gibón, de la empresa Generación verde (<http://generacionverde.mx/>) auspiciada por CONACYT: “Al tener una superficie permeable y absorbente con la utilización de sustratos, el desahogo de agua pluvial a la red hidráulica se retrasa. En ciudades donde predomina el concreto y asfalto existe una saturación del drenaje sobre todo cuando llueve, debido a la falta de áreas permeables capaces de absorber el agua de la lluvia. En este sentido, la incorporación de azoteas verdes resulta positiva gracias a la absorción de lluvia a través de los sustratos y la cobertura de vegetación, reduciendo la saturación del sistema de drenaje”. Otra ventaja de las azoteas verdes es con el gasto que generan las impermeabilizaciones.

La instalación de una azotea verde puede pagarse con la inversión de 20 años de impermeabilización, tiempo en que no se tendrá que hacer ningún gasto de mantenimiento en esta.

Agrega Jorge Escutia: *“Pretendemos que los investigadores visualicen los sistemas de naturación como un modelo para hacer estudios de fertilidad y crecimiento, acoplamiento a sistemas de captación de agua y energía fotovoltaica, utilización y propagación de plantas nativas, permanencia del follaje verde conforme a cada estación climática, compatibilidad de especies, mejora de los sustratos, nutrición vegetal y uso de bio-fertilizantes entre otros”.*

El maestro Escutia explicó también que los sistemas de naturación dan pie para incorporar otras eco-técnicas (tecnologías verdes), las azoteas como filtro de agua y a su vez como un sistema de captación de agua de lluvia. En los muros verdes y azoteas naturadas se puede incorporar agua recirculante para el riego de la vegetación, nutrición a partir de fertilizantes orgánicos, utilización de agua obtenida a partir de cosecha de aguas pluviales y sistemas fotovoltaicos para bombas de riego e iluminación. Con relación a fenómenos atmosféricos como el albedo, energía o cantidad de radiación solar de la tierra hacia el universo, capaz de influir en la regulación de temperatura terrestre, se requiere seguir investigando sobre climatología y ecología urbana para conocer más acerca de la relación que tienen las azoteas verdes y los muros vivos en esta materia.

El costo de mantenimiento de una azotea verde o un muro vivo dependerá del tipo de planta que se introduzca ya que existen unas que se desarrollan más rápido que otras. La azotea y el muro se conservan bien durante los primeros seis meses posteriores a su instalación. Después dependerá del tipo de vegetación, cuantos días y el número de personas que lo atiendan. Como todo ser vivo, requiere de agua, nutrientes y luz, básicamente. Mientras tenga esas condiciones, el jardín podrá conservarse en estado óptimo. Los materiales utilizados son de alta durabilidad, que va desde 10, 15 y hasta 20 años. En caso de plagas, no se puede ser inmune a estas y si no se atienden pronto, dos semanas pueden llegar a ser suficientes para la mortandad de un jardín. Se está investigando la aplicación de fertilizantes orgánicos a fin de no utilizar fertilizantes o insecticidas químicos, concluyó el maestro Jorge Escutia.

Es un hecho que en la ciudad de Toluca, al igual que en muchos lugares templados, cada temporada pluvial, cae mayor cantidad de precipitación en menor cantidad de tiempo, lo que ocasiona que los drenajes municipales se vean saturados y rebasados en un tiempo de caída relativamente corto, reventándose los tubos conductores, las cajas de esquina y los cárcamos de alivio, generando obras de reconstrucción y mantenimiento en obras sobre la línea de captación y conducción del líquido a través de la zona poniente de nuestra ciudad, principalmente en las calles donde se ubicó en algún tiempo el Río Verdiguél, ahora entubado, que corre sobre las calles Morelos, Motolinía, Hidalgo poniente, Quintana Roo, Felipe Villanueva, Lerdo, Av. de los Maestros y Vialidad Adolfo López Mateos, colindante al Rancho La Mora, donde se conduce embovedado con piedra braza.

A continuación se presenta una gráfica con datos proporcionados por el Observatorio Meteorológico “Mariano Bárcena” dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de México, registrando la caída de lluvia en el mes de mayo y el promedio anual, periodo 2000-2015,

observándose el incremento de lluvia anual y el porcentaje de aumento de precipitación comparativa de cada año.

Cuadro 14.-Precipitación pluvial 2000-2015 (Observatorio meteorológico "Mariano Bárcena").

Año	Precipitación en el mes de mayo	% de variación mensual por año	Precipitación Total anual	% de variación anual	% aporte de mayo Respecto al año.
2000	89.50 m. m.		738.70 m. m.		12.1
2001	101.90 m. m.	+ 13.80	872.00 m. m.	+ 119.01	11.6
2002	46.60 m. m.	- 45.7	771.20 m. m.	- 88.44	6.0
2003	15.90 m. m.	- 34	848.70 m. m.	+ 110.0	1.8
2004	101.90 m. m.	+ 640.8	821.50 m. m.	- 96.79	12.4
2005	34.30 m. m.	- 33.6	583.60 m. m.	- 65.5	5.8
2006	77.35 m. m.	+225.5	908.25 m. m.	+ 155.6	8.5
2007	153.32 m. m.	+ 198.2	819.66 m. m.	- 90.2	18.7
2008	55.30 m. m.	- 36.0	642.98 m. m.	- 78.4	8.6
2009	148.42 m. m.	+ 268.30	930.18 m. m.	+ 144.6	15.9
2010	54.88 m. m.	- 36.9	794.08 m. m.	- 85.3	6.9
2011	42.04 m. m.	- 77.2	816.72 m. m.	+ 102.8	5.1
2012	29.62 m. m.	- 70.4	807.60 m. m.	+ 98.8	3.6
2013	40.11 m. m.	+ 135.4	702.88 m. m.	- 87.7	5.7
2014	127.37 m. m.	+ 317.6	715.36 m. m.	+ 101.7	17.8
2015	198.38 m. m.	+ 155.7	974.21 m. m.	+ 136.1	20.3

Como puede apreciarse en el cuadro 14, para el mes de mayo del 2015, en que se realizó la captación de datos, se ha incrementado en 155.7% la caída de precipitación en comparación con el mismo mes del año 2014, pero en comparación con 2013 y años anteriores ha llovido 494% más que en 2013, o sea que este año ha caído casi 5 veces más precipitación que en años anteriores, y sin contar la precipitación venidera en el verano, lo que nos ratifica que, como se indica en líneas

anteriores, en Toluca, como en muchas ciudades del mundo, cada vez cae mayor cantidad de precipitación en menos tiempo de caída pero, en nuestra ciudad se agrava más el problema por el deficiente e insuficiente colector municipal de la ciudad, que conduce tanto agua pluvial como aguas grises y negras. También de los quince años de periodo de investigación, en cinco años, un tercio del rango, las máximas precipitaciones mensuales se han dado en un periodo iniciado en el mayo y que dura hasta septiembre, veamos las siguientes figuras:

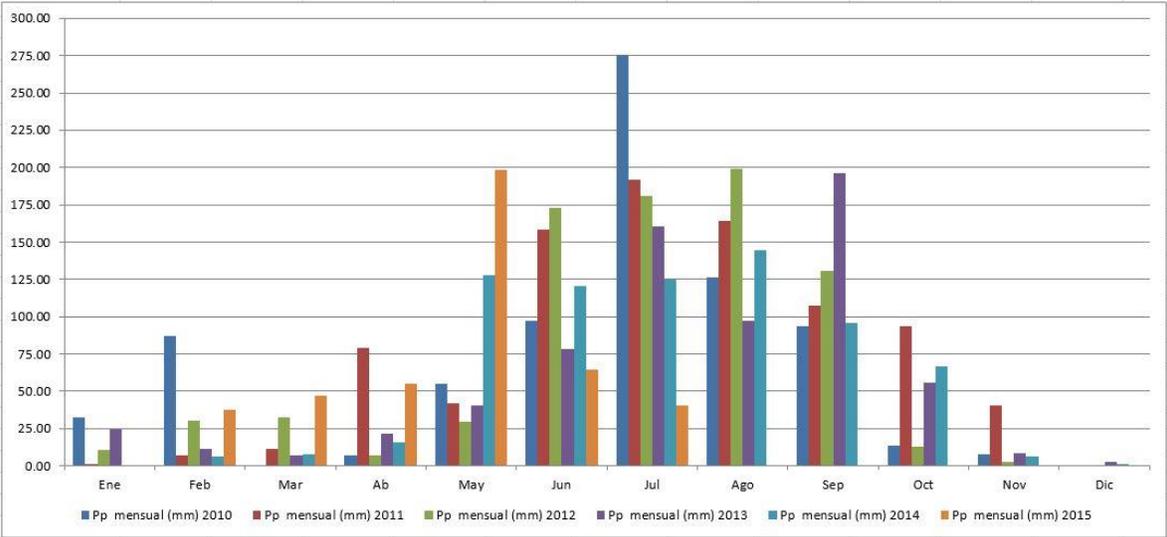


Figura 107.-Promedio mensual de precipitación 2010-2015.

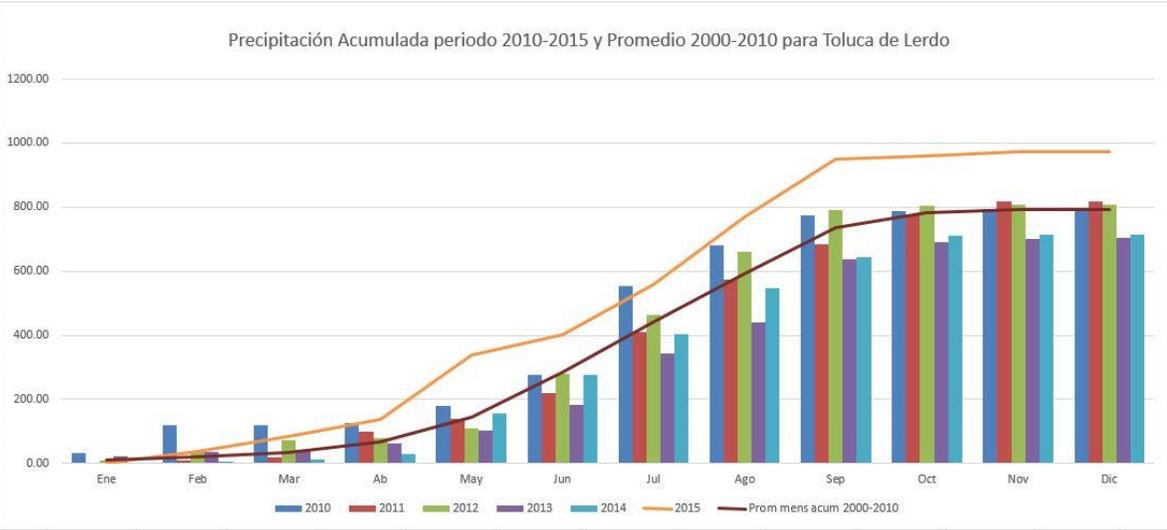


Figura 108.-Precipitación acumulada y promedio anual 2010-2015.

En la figura 108 tenemos representada la precipitación acumulada y promedio anual 2010-2015, en la cual se observa, como lo señalan los indicadores de la séptima a la décima segunda columna pertenecientes a los meses julio-diciembre del año 2015, la precipitación(barra color café) alcanzó a partir del mes de mayo, un registro histórico de 198.38 milímetros, siendo un evento inusual totalmente, pues en lo que va de siglo, no se había registrado una cantidad similar para el mes de mayo, pero si en otros meses, como por ejemplo, la barra azul del mes de julio del 2010 que lo superó, llegando a 275 milímetros, así como los meses de agosto del 2012 y septiembre del 2013 que registraron medidas similares. Lo que más atrae de este registro de mayo del 2015, mes en que se realizó el experimento, es que dicha cantidad con respecto de la lectura anual, corresponde al 20.3% del promedio anual señalado en el cuadro 14, porcentaje extremadamente alto que tampoco se había registrado anteriormente.

Podemos observar que las líneas de configuración de gráfica de color Guinda perteneciente al promedio mensual acumulado del 2010 al 2015 varía en una cantidad determinada, señalada en la cuarta columna del cuadro 14 en la parte de inferior, siendo la lectura para 2014 de 715.36 milímetros y para 2015 una lectura de 974.21, cuya dicha diferencia se señala entre las dos líneas, la cual es significativa, empezándose a disparar a partir de junio y hasta septiembre, siendo julio del 2010 y mayo del 2015 los meses donde las previsiones se vienen abajo.

Un techo verde con 20 centímetros de sustrato de tierra y arcilla expandida puede almacenar 90 milímetros de agua por metro cuadrado. Por su poder de retención de agua, los techos verdes llevan a la disminución de los llamados “picos de agua”. Según la norma alemana DIN 1986, parte 2, el **coeficiente de desagüe de aguas pluviales** para superficies techadas enjardinadas en un sustrato de 10 centímetros, es de 03. Esto significa que solo el 30% de la lluvia precipitada drena y el 70% queda retenida en el techo verde o se evapora. Para techos comunes con más del 3% de pendiente, debe contarse con un desagüe pluvial del 100%. Esto se confirma más adelante, en el proceso de investigación.

En un ensayo del instituto Federado de Baviera se midió que un sustrato de solo 10 centímetros de espesor, para una intensidad de lluvia de 20 lts./m². en un tiempo de 15 minutos, en ese mismo tiempo solo desaguan 5 lts./m². contra 16 litros que desaguan en un sustrato a base de grava. Esto indica que las azoteas verdes mediante su efecto de para-choque y retardo alivian de forma considerada las redes de alcantarillado en la ciudad que siempre deben ser dimensionadas para precipitaciones máximas y si en un centro de población llega a existir suficientes techos verdes y áreas naturadas que permitan la captación y filtración al sub-suelo, podrían separarse y/o suprimirse los drenajes pluviales, en caso de que existieran (Minke, 2004: 20).

5.7.-Experimentación y resultados.

La etapa de experimentación consistió en *tres* fases:

La *primera* fase se centró en el estudio de la captación de agua pluvial en la temporada 2015, su captación, temperatura, filtración, tiempo y cantidad de desalojo y peso, por medio de contenedores

de vidrio, báscula, termómetro y otras herramientas destinadas para este fin. También fueron importantes los datos aportados por el observatorio meteorológico “Mariano Bárcena” dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de México, el cual nos proporcionó información sin condición alguna y de manera muy eficiente.

La *segunda fase* se destinó a construir una maqueta escala 1:1 de 2.40 X 2.40 dividida en cuatro partes y cada una de estas en dos secciones en las cuales sembramos diferentes plantas para estudiar su desarrollo y comportamiento. Esta propuesta fue hecha por el Dr. René L. Sánchez Vértiz Ruiz, tutor principal de esta tesis, para efectos de experimentación. Si bien la experiencia y resultados con esta maqueta, no fueron los deseados, si nos sirvió para determinar los puntos que se debieron atender para su éxito, tales como un sustrato más efectivo, más plantación por esquejes y menos por semilla, pero básicamente lo que más perjudicó el experimento fue el exceso de agua pluvial precipitada entre los meses de abril a agosto del 2015, la cual fue la mayor caída de agua total anual en todo lo que va del nuevo siglo, que fue de **974.21 m. m.**

La *tercera fase* consistió, dados los resultados no tan positivos de la segunda, en la elaboración de ocho tableros (Palets) de 0.40 X 0.40 X 0.06 de profundidad, de madera de pino, forrados interiormente con impermeabilizante base agua y plástico, adicionados con una capa de sustrato combinado de tierra vegetal, tepojal y tierra compostada en una proporción de 40:30:30 respectivamente para posteriormente, a base de sembrado con plántulas y esquejes, naturalar cada uno de los tableros con plantas diversas, la mayoría de ellas crásulas y sedums, cuidados de forma semi-intensiva, los cuales se presentan físicamente dado la ligereza y el poco peso de cada uno. Es importante comentar que las variedades sembradas en estos tableros fue por medio de esquejes y plántulas y en un medio de cultivo diseñado y preparado para tal fin y aún todavía mejorado con una capa de musgo que funciona como retenedor de agua y administrador de esta a la raíz.

5.7.1.- Experimento de captación, control y manejo de agua pluvial. (Primera fase).

Es de sobra sabido y experimentado por todos los habitantes del Valle de Toluca, que en los últimos años se ha incrementado la problemática de la excesiva cantidad de lluvia, en ocasiones torrenciales, que ha caído en nuestra ciudad, ocasionando cada temporada, mayores conflictos y daños ocasionados al único drenaje con que cuenta la ciudad para desahogar, tanto aguas negras y grises como aguas pluviales. Quizá sea esta una de las causas de esta problemática. Probablemente si existieran drenajes independientes para captar aguas negras y grises de las pluviales, habría menor cantidad de obras de desazolve y mantenimiento de la red existente.

La pavimentación, además de evitar la filtración de agua de lluvia al subsuelo, también ocasiona la captación de radiación solar, que aunado a todas las actividades humanas, da como resultado el aumento de temperatura en las ciudades, haciéndolas más secas en cuanto a humedad ambiental, pero también aumenta la concentración de partículas contaminantes facilitando la condensación y sublimación más rápidamente, ocasionando con ello, aguaceros y granizadas más frecuentemente, ocasionando, por la menor infiltración de agua por la pavimentación y lluvias cada vez más

torrenciales, inundaciones y daños mayores al sistema de drenaje municipal así como a pavimentos, guarniciones, banquetas y alcantarillado, por motivo de los escurrimientos (Morales,2008:309).

El agua de lluvia se considera la primera fuente de abastecimiento de agua que tiene el hombre y la cosecha se refiere a la captación y almacenamiento de la misma, debiendo ser los ríos, lagos y acuíferos fuentes secundarias para el suministro del agua. En la actualidad dependemos completamente de estas fuentes secundarias dadas la poca o ninguna cultura de cosechar agua de lluvia. Una gran ventaja de esto es que se cosecha en el mismo lugar que cae, lo que es ventajoso en referencia a las fuentes lejanas de abastecimiento que requieren conducir el líquido por tramos extensos y accidentados, lo que supone una complicada y costosa infraestructura para su operación y mantenimiento.

En la actualidad el agua de lluvia constituye un problema en la gran mayoría de ciudades, donde se requiere un desalojo rápido para evitar inundaciones y daños a la infraestructura y personas, teniendo poco tiempo y menos superficie natural para su filtración al sub-suelo y recargar el acuífero, siendo esto una gran paradoja, porque mientras en algunos países y ciudades sufren por el estrés hídrico que ocasiona la falta de disponibilidad de agua, en otras les urge desalojar a la brevedad posible toda el agua producto de una precipitación enviándola al drenaje afuera de las ciudades, donde, dependiendo del usuario de agua de lluvia, se puede destinar para diferentes usos, entre ellos el doméstico para riego de especies ornamentales, alimenticias, lavado de autos, consumo animal y de mascotas, así como para su potabilización envasado y venta.

Los coeficientes de escorrentía de agua pluvial son muy variables, de acuerdo al lugar donde se realiza la precipitación pero sobre todo a la superficie donde se precipita, ya que el escurrimiento no es el mismo en una carpeta asfáltica tradicional que en adoquín, ado-pasto, pisos de cemento, césped o empedrados con o sin junta de cemento, y también intervienen otros factores como la topografía del lugar, el rebote del agua sobre la superficie, la absorción y evaporación, el clima del lugar, la temperatura de la superficie al momento de la captación, entre otros (López,2010:31-32).

En el experimento se tomaron y clasificaron las siguientes variables (Cuadro 15):

- 1.- Fecha de captación, mayo del 2015.
- 2.- Cantidad de precipitación registrada en milímetros=Litros/m²
- 3.- Peso de precipitación captada en Kg/m²
- 4.- Peso de sustrato seco 9 cm. espesor (50.10Kg/m²) más peso de precipitación en Kg/m²=Peso de sustrato saturado.
- 5.- Cantidad de precipitación filtrada en litros.
- 6.- Peso de precipitación filtrada en Kg.
- 7.-Cantidad (40.8%) de filtración captada.

Cuadro 15.-Datos de captación.

Fecha	m. m.	K/m ²	K/m ² Sustrato húmedo	Litros filtrados	Kg.	Filtración captada
2 mayo	2.82	4.22	54.32	1.17	1.22	0.477
6 mayo	35.20	52.69	102.79	14.65	15.27	5.97
7 mayo	42.38	63.44	113.74	17.64	18.39	7.19
8 mayo	3.76	5.29	55.39	1.56	1.62	0.63
9 mayo	1.30	1.94	52.04	0.54	0.56	0.22
10 mayo	4.21	6.30	56.40	1.75	1.82	0.71
11 mayo	1.20	1.79	51.89	0.49	0.51	0.20
12 mayo	2.09	3.12	53.22	0.87	0.90	0.35
13 mayo	6.81	10.19	60.29	2.83	0.29	1.15
15 mayo	1.97	2.95	53.05	0.82	0.85	0.33
16 mayo	12.51	18.72	68.82	5.20	5.42	2.12
17 mayo	1.32	1.97	52.07	0.54	0.56	0.22
18 mayo	7.53	11.27	61.37	3.13	3.17	1.27
19 mayo	1.57	2.35	52.45	0.65	0.67	0.26
20 mayo	4.32	6.46	56.56	1.79	1.86	0.73
21 mayo	6.41	9.59	59.69	2.66	2.77	1.08
22 mayo	6.36	9.50	59.60	2.64	2.75	1.07
23 mayo	17.50	26.19	76.29	7.28	7.59	2.97
24 mayo	8.65	12.94	63.04	3.60	3.75	1.46
25 mayo	17.90	26.79	76.89	7.45	7.77	3.03
26 mayo	0.87	1.30	51.40	0.36	0.37	0.14
27 mayo	1.47	2.20	52.30	0.61	0.63	0.24
28 mayo	0.54	0.80	50.90	0.22	0.22	0.08
29 mayo	0.15	0.22	50.32	0.06	0.06	0.02
30 mayo	6.18	9.25	59.35	2.57	0.59	1.04
31 mayo	3.37	5.04	55.14	1.40	1.46	0.57
Total /Promedio: 198.39m.m./6.61 11.40 61.43 3.17 3.11						

El Procedimiento de toma de datos y experimentación, se detalla en el **anexo dos** al final de la tesis.

Conclusiones del primer experimento:

+ En los últimos cinco años, para el mes de mayo, que es el mes en que se tomaron las mediciones para nuestro experimento, es el mes que más ha llovido, comparado con los meses de mayo de años anteriores donde, donde a excepción de los meses de agosto del 2012 y julio del 2010 en que cayo mayor precipitación promedio mensual, la cantidad de precipitación recibida ha sido un evento extraordinario, pues estadísticamente, como lo muestra la figura 107, indica que este último año, ha llovido con una intensidad nunca antes registrada, señalado en la línea color café claro de la figura 108, que llega casi a los 1000 milímetros anuales para 2015, esto sin tomar en consideración los datos de mayo a diciembre de ese año.

+ Considerando que el cambio climático seguirá ocasionando cada vez este fenómeno de mayor caída de precipitación en menor tiempo de caída, es de primordial importancia promover y fomentar desde la academia y a los niveles gubernamentales, de las herramientas legales, técnicas y de concientización a la población de esta alternativa de naturación para la solución del problema que se presenta en cada temporada de lluvia. Esto se puede lograr con una adecuada orientación y asesoría técnica de las dependencias encargadas hacia la población interesada, así como incentivar a los propietarios con la aportación de algunas variedades nativas creadas en viveros municipales así como la aportación de sustratos preparados y la exención o reducción de impuesto predial y la revaloración del inmueble una vez implementada la naturación.

+ El peso incrementado de la cantidad de precipitación promedio en mi experimentación es de 11.40 Kg/m² de acuerdo a los registros de precipitación, pero definitivamente este depende de las cantidades de lluvia que cae de un momento a otro, pues existen fenómenos meteorológicos severos e inusuales como “El Niño”, granizadas o aguanieves, tornados o ciclones, que aparecen de forma intempestiva y son verdaderamente ocasionales, o días especiales como los señalados en la conclusión siguiente, que son vistos en muy contadas ocasiones.

+ El peso del sustrato seco inicial es de 50.10 Kg/m², y dependiendo de la última cantidad de precipitación recibida, del tiempo de saturación entre una precipitación y otra y de las condiciones ambientales y climáticas del lugar, más el peso de la masa vegetal, para una azotea de 9-12 centímetros de espesor con una naturación básicamente extensiva, esta se incrementará de acuerdo al promedio en el cuadro 14 de datos, en la columna 4, que es de 61.43 Kg/m² pero insistiendo que esta dependerá de los factores señalados, aun así, nos ofrece una buena posibilidad de implementar la naturación en azoteas planas no diseñadas para recibir esta práctica, pues a excepción de los días 6 y 7 de mayo en que se registraron lluvias históricas, el resto de los días no se registraron caídas que incrementasen el peso en más de 100 Kg/m².

+ Al implementar una azotea verde se debe tener entre las principales consideraciones, el análisis estructural de la techumbre que lo va a soportar y el tipo de azotea y espesor de sustrato propuesto, ya que definitivamente, se incrementa el peso de esta al saturarse el sustrato y permanecer durante

un periodo de tiempo con esa carga mientras drena lentamente y empieza la vaporización y evapotranspiración. Al ver el promedio del sustrato saturado de 9 centímetros, nos podemos dar cuenta que la gran mayoría de losas planas, aún sin haber sido diseñadas estructuralmente para recibir el peso de una azotea verde, están dentro del rango de recibir la naturación de una azotea extensiva con sustrato ligero que no rebase los 100 Kg/ m², sin mayores reforzamientos en la estructura.

+ Se retiene en promedio 72% del agua precipitada la cual, lo óptimo sería que en lugar que saliera lentamente al colector municipal, cumpliendo la finalidad de evitar la descarga en columna al sistema, lo hiciera hacia una cisterna destinada para ese fin y se aprovechara para diferentes usos, entre ellos el riego mismo para la naturación propuesta. De esta forma, el beneficio sería el mayor y tendería a ser más sustentable o al menos, más ecológico.

+ La cantidad de lluvia filtrada comparada con la recibida no varía de forma significativa proporcionalmente, lo que varía es el tiempo de desfogue lento al colector, pues depende del grado de humedad que tenga el sustrato al momento de la precipitación y si es que está saturado o no, así como de su espesor, diseño y componentes variando definitivamente de acuerdo al espesor del sustrato y tipo de azotea que se esté construyendo.

+ En azoteas verdes estamos “verdes”. Esto es que, por más que tengamos previsto determinado comportamiento de nuestra azotea verde, esta es muy susceptible de sufrir cambios o deteriorarse debido a que nos es imposible prever algún evento excepcional en la caída de precipitación, granizada, helada o alguna nevada, la cual puede llegar a ser, según la irregularidad de la caída de estas, de consecuencias graves para el desarrollo de nuestro techo vivo.

+ Una buena solución de ayuda y mejora medio ambiental será la de captar la precipitación, existiendo dos formas de hacerlo: La primera de forma individual en nuestras casas construyendo las caídas y drenaje pluvial independiente del sanitario, a través de filtros y cárcamos para depositarlos en una cisterna para su posterior utilización y la segunda forma de manera colectiva, cosechando la precipitación después de vertida a las superficies duras lo que va a depender en gran parte de su escurrimiento y de existir un colector pluvial que conduzca el agua a un depósito natural para su reutilización.

5.7.2.-Experimento de naturación de plantas en maqueta. (Segunda fase).

Se armó una maqueta en base a tarimas de estiba conformada por cuatro tarimas de 1.20 X 1.20 metros cada una (Figura 109), unidas entre sí y acondicionadas solo en la parte perimetral con vidrio para poder ver el desarrollo de las raíces. Se impermeabilizó y se colocaron salidas de agua (Figura 110) así como una capa de plástico como aislante y una capa filtradora-retenedora de agua. Se colocó el sustrato, dividido en dos partes, sustrato uno y sustrato dos, diseñados anteriormente como se mencionó en el capítulo 4.4.6, en base a las variedades de plantas a experimentar, y dividiendo cada cuarta parte de la maqueta en dos, quedando finalmente, ocho cuartos, utilizados para experimentar con algunas variedades especificadas en el capítulo 4.4.2.



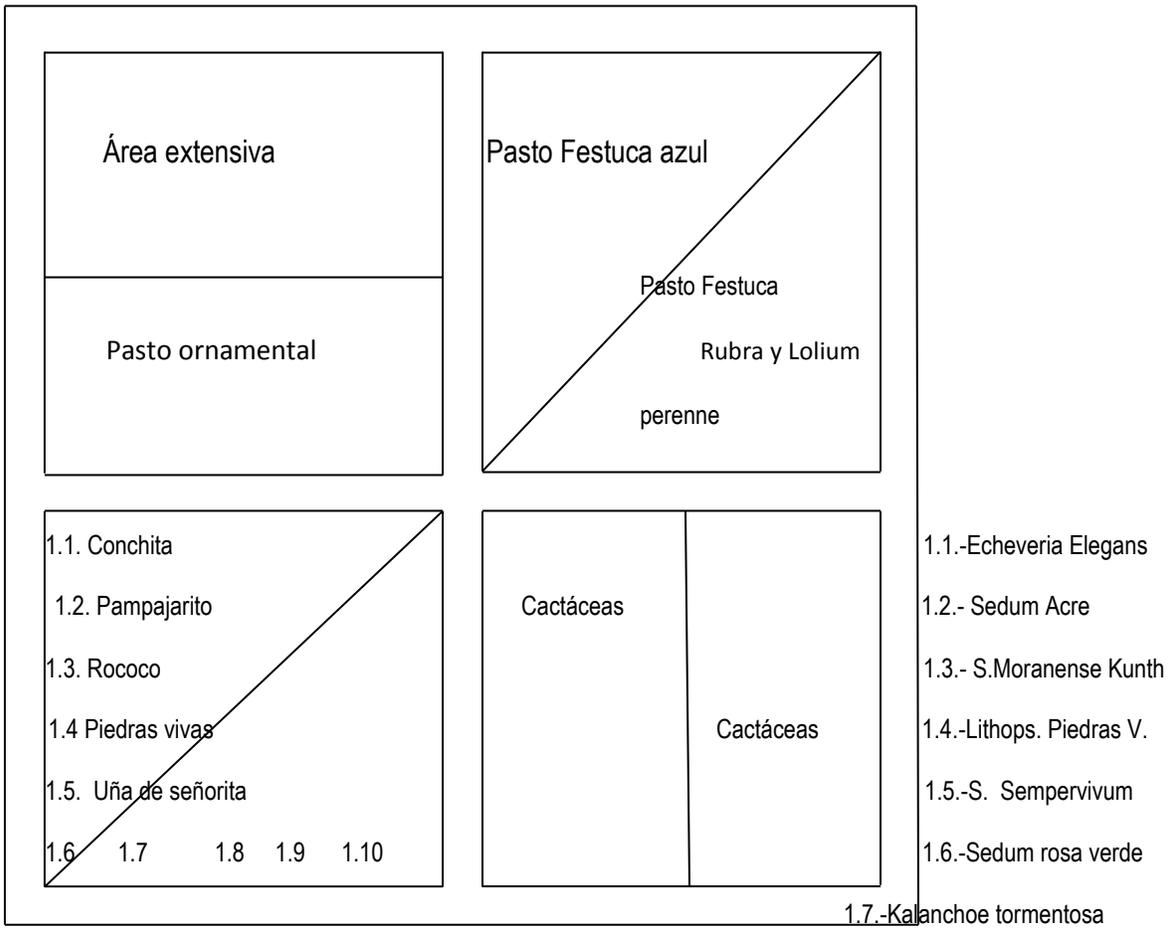
Figura 109.-Tarimas para maqueta con vidrio.



Figura 110.-Salidas de agua.

Cuadro 16.- Maqueta y las variedades a naturar.

Sustrato dos



Sustrato Uno. 1.8.-Sedum Lineare variegatum 1.9.- Sedum Pachiphyllum(Dedos)

1.10.- Sedum Rufescens (Anacamperos).

A base de ser sincero y, básicamente, aprendiendo de mis errores, comento que el experimento no fue del todo satisfactorio o al menos, no obtuve los resultados esperados. Explico porqué: Si bien algunas variedades escogidas se desarrollaron de una buena forma alcanzando su madurez y crecimiento óptimo, otras no lo fueron tanto. Las que se desarrollaron de buena manera fueron varias crasuláceas y pastos, entre ellos:

Echeveria elegans, *Sedum acre* (pampajarito), *Sedum moranense* Kunth (Rococo), *Sedum sempervivum* (Uña de señorita), *Sedum rosa verde*, *Kalanchoe Tormentosa*, *Sedum pachyphyllum*, *Pasto festuca* (A medias), *Pasto lolium perenne*.



Figura 111.- Maqueta con variedades desarrolladas. Figura 112.- Argemone mexicana desarrollada.

De entre las que no se desarrollaron del todo y porque, están:

Lithops (Piedras vivas) Se sembró en semilla.

Sedum lineare variegatum (Exceso de agua)

Sedum rufescens (Anacampseros) Exceso de agua y se sembró en semilla.

Pasto *Festuca* azul (Se sembró en semilla)

De entre las nativas que se desarrollaron en la zona extensiva están:

Pasto *Festuca rubra*, *Argemone mexicana* (Cardosanto o Chicalota) y Calabacilla (Imagen 113), Jarilla, y gramínea *Lolium* (Figura 114).



Figura 113.-Calabacilla



Figura 114.- Pasto Lolium

Conclusiones del segundo experimento.

+ En base a la experiencia, no del todo satisfactoria, pero sí muy ilustrativa, creo que se debió escoger especies del tipo gramíneas y herbáceas de bajo mantenimiento para que resistiesen las condiciones climáticas de la azotea, básicamente las pluviales. Se debió haber sembrado, tanto suculentas y cactáceas como pastos por esquejes, plántulas e hijuelos, no por semilla, ya que con el exceso de humedad de esta temporada, esta se pudrió, independientemente de que las consumieron las aves y pájaros que abundan en la propiedad.

+ Considero que el drenaje de la maqueta no fue el suficiente para filtrar tanta cantidad de precipitación, por lo que el sustrato siempre estuvo húmedo o muy saturado, lo que afectó negativamente el desarrollo de las plantas.

+ En nuestra ciudad se debe considerar la creación de azoteas verdes principalmente para tratar de resolver la problemática de captar y controlar las precipitaciones, problema muy común en nuestra ciudad, antes de pensar en crearlas para fines de ayuda al medioambiente o estéticamente, situación que en preponderancia, pasa a términos posteriores.

5.7.3.-Experimento con tableros (palets). (Tercera fase).

Toda vez que los resultados iniciales no fueron los esperados en las variedades propuestas en la maqueta, me apliqué a la tarea de construir algunos tableros (Palets), ocho en total, para tratar, no de justificar los malos resultados con la naturación de la maqueta, sino más bien demostrar que con un poco de cuidado de forma un tanto intensiva, se puede desarrollar naturación controlada en contenedores, en este caso fabricados de madera de pino de primera, impermeabilizados en su interior, con una capa de sustrato preparado de 3 centímetros y una capa de musgo (moss) de igual espesor en un tablero de 0.30 X 0.30 X 0.06 de fondo, fijados con una malla de gallinero fijada con

grapas a las orillas. La siembra de esquejes y plántulas se realizó a través de los huecos de la malla, perforando la capa superficial de musgo, aplicando un regulador químico de crecimiento vegetal tipo I, Radix 1500.

De las variedades escogidas, se obtuvieron las piezas de plantas revisando cuidadosamente el tipo de raíz, procurando que fuera no profunda, sino más bien extendida, dado el poco espesor del medio de cultivo.



Figura 115.-Sedum rosa verde en raíz.



Figura 116.- Raíces poco profundas.



Figura 117.-Esquejes.



Figura 118.-Variedad de esquejes.



1		2		3
1		4		5
1		2		5
1	6			5
7		8		5
2	9	2	5	5

Figura 119.-Tablero No.1: Variedades: 1.-*Sedum praealtum* 2.-*Sedum helveticum* 3.-*Echeveria pulvinata rubra* 4.-*Echeveria pullidonus* 5.-*Sedum pachyllum* (Uña de gato, sedo, dedos) 6.-*Sedum sempervivum tectorum* 7.- *Echeveria elegans* 8.-*Kalanchoe tormentosa* 9.-*Echeveria pulvinata* (peluda).



1	1	1	1	2	2
1	1	1		3	2
1	1		4	2	2
1	4	4	4	2	2
1	3	4	4	2	2
1	1	1	2	2	2

Figura 120.-Tablero No.2.-Variedades: 1.-*Sedum reflexum* (Rupestre) 2.-*Sedum palmeri* 3.-Variedad de Panoramio 4.-*Sedum sempervivum*.



1	1	1	1	2	2
1	1	1	3	3	4
1	1	1	3	3	5
1	1	3	4	5	5
1	3	5	5	5	5
2	3	5	5	5	5

Figura 121.-Tablero No.3.- Variedades: 1.- *Sedum rubrotinctum* (Sedo rojo, nariz de payaso, nariz de borracho) 2.-*Sedum sempervivum* 3.- *Echeveria pulvinata* 4.-*Kalanchoe tormentosa* 5.- *Sedum reflexum* (rupestre).



1	1	2	3	4	4	4	4
1	1	2	3	4	4	4	4
1	1	2	5	4	4	4	4
1	1	2	3	4	4	4	4
1	1	2	3	4	4	4	4

Figura 122.-Tablero No.4.-Variedades: 1.-*Sempervivum montanum* 2.-*Echeveria elegans* 3.- *Sedum adolphii* 4.- *Ludwigia palustris* 5.-*Echeveria prolifica* (rosa de alabastro).



1	1	1	2	2	2	2
1	1	2	2	2	2	2
1	1	1	4	2	2	2
1	1	4	4	4	2	2
3	4	4	4	4	4	2
4	4	4	4	4	4	4

Figura 123.-Tablero No.5.- Variedades: 1.-*Sedum reflexum* (rupestre) 2.- (Rococo) 3.- *Echeveria Tolucensis* 4.- *Sedum palmeri*.



1	1	2	3	3	3	3
1	1	2	2	3	3	3
1	1	1	2	3	3	3
1	1	1	2	2	3	3
1	1	1	1	1	2	3
1	1	1	1	1	1	2

Figura 124.-Tablero No.6.-Variedades: 1.-*Sedum palmeri* 2.- *Sedum adolphii* 3.- *Sedum rubrotinctum* (Sedo rojo, nariz de payaso, nariz de borracho).



1	2	3	3	3	3
1	4	1	3	3	3
2	5	2	3	3	3
6	6	6	2	7	1
6	6	6	6	2	7

Figura 125.-Tablero No.7.- Variedades: 1.-*Sedum sempervivum* 2.-*Kalanchoe tormentosa* 3.-Combinación de *Sedum rubrotinctum* y *Sedum Pachiphillum* 4.-*Semperivum montanum* 5.-*Echeveria prolífica* (Rosa de alabastro) 6.-*Sedum acre* (pampajarito, pan de cuco) 7.- *Sedum adolphii*



1	1	1	1	1	2	2
3	3	3	3	2	2	2
3	3	3	3	2	2	2
3	3	3	2	2	2	2
3	3	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2

Figura 126.-Tablero No.8.-Variedades: 1.-*Sedum acre* (pampajarito, pan de cuco) 2.-*Ludwigia palustris* 3.-*Sedum sempervivum*.



Figura 127.- Tableros en conjunto.

Conclusiones del tercer experimento.

+ Como se puede observar en las imágenes, la naturación de varias plantas, la mayoría suculentas, se obtuvo en un área limitada, tanto de tamaño como de profundidad de sustrato, el cual no rebasó los 7 centímetros de profundidad, teniendo la combinación de sustrato compuesto con una capa de musgo, el cual resguarda bien la humedad de riego, que en realidad fue pobre, procurando no saturar las plantas ya que los tableros no tienen sistema de perforaciones para drenar el exceso de agua, esto por el material de madera con que están contruidos, utilizando el musgo como retenedor de agua y humedad y aprovechándolo posteriormente en la nutrición de las plantas, evitando la saturación y pudrimiento de las raíces.

+ Aunado a esto y a base de ciertos cuidados y basados en la experiencia de la maqueta del segundo experimento, que se construyó a cielo abierto y recibió las inclemencias del medio ambiente, los tableros fueron movidos en el día a un área asoleada y ventilada y en la noche a un área cubierta, lo que los resguardó de las inclemencias del frío invernal, sobre todo en diciembre y enero.

+ Considerando que de los tres experimentos, dos de ellos fueron satisfactorios y uno de ellos no lo fue tanto pero, es definitivo que, las conclusiones que nos dejó los malos resultados en la maqueta a cielo abierto, son más enriquecedoras respecto a lo que no se debe hacer en la naturación, señaladas al final del segundo experimento.

5.8.- CONCLUSIONES GENERALES DE LA TESIS.

+ Es necesidad de todo ser viviente, el deseo de convivir con la naturaleza que lo rodea, el salir al exterior a disfrutar de las condiciones climáticas, del aire libre, del espacio, de la naturaleza, de las personas con las que convivimos. Por lo tanto, es obligación de todo diseñador y constructor, sea la profesión que ejerza, el procurar una comunión sana entre los espacios de cada habitante con los espacios exteriores, urbanos, paisajísticos, vialidades, áreas y plazas públicas, centros de reunión, etcétera.

+ Es definitivo que dadas las condiciones climáticas de cada zona, se debe naturar de acuerdo a la condición de los medioambientes y entornos locales, aunque este sea cambiante de un momento a otro y se condicione la implementación, condicionando los recursos, herramientas, sustratos, plantas, técnicas a utilizar y medios de todo tipo con que se cuente, adaptándose a las circunstancias, muchas veces adversas, para realizar nuestro trabajo como naturadores, ecologistas y naturistas.

+ Se debe de sembrar en semilla ya sea en invernadero o en un lugar adecuado con humedad, temperatura y luz controladas, para posteriormente trasplantar al lugar que se esté naturando, recordando que las azoteas verdes es una técnica meramente artificial tendiente a lo natural.

- + Si consideramos que el año pasado fue uno de los de más calor y mayor precipitación en lo que va de siglo, lo cual está afectando las condiciones climáticas a nivel global, también se verán afectadas la flora, la fauna, el medio ambiente, los recursos, la climatología y todas sus variables en todas las áreas del planeta, lo cual implica un constante cambio y adaptación de todos los seres vivos para garantizar la subsistencia de la especie. En la naturaleza tan cambiante que estamos viviendo hoy en día, es importante tomar esto en consideración para un mejor desempeño a futuro.
- + Es verdad que existen países que están atendiendo problemas medio ambientales, por ejemplo Francia, en donde en su capital, París, ya estaba reglamentada la naturación parcial de las azoteas verdes en edificaciones nuevas, y a partir del 2015 están legislando acerca de que se nature el 100% de las azoteas de edificios nuevos, es un parte-aguas que México y los países latinos, sobre todo los de Norteamérica, deberían de tomar este ejemplo, como alternativa para una solución parcial y ayudar al cambio climático global que estamos viendo.
- + Es obligación de los seres humanos estar conscientes que, si bien estamos depredando nuestro hogar definitivo, que es el planeta, también debemos ser conscientes de que nosotros, no como dueños de ese hogar sino como ocupantes de él, nos corresponde poner orden, limpiarlo, mantenerlo en condiciones de que nos dure muchísimo años más a nosotros y a las generaciones por venir, para garantizar la supervivencia de la especie. De esto daremos cuenta acertadamente o no, tal vez no lo veremos pero, de que la raza humana dará cuenta de ello, no existe la menor duda.
- + Para ser totalmente concluyentes se necesitan varios años de pruebas con las diferentes variedades de plantas a desarrollarse en cada zona o región, sobre todo hay que trabajar con las especies supervivientes del experimento e investigar la razón por la que el resto de las plantas no pudieron desarrollarse adecuadamente y corregir o adaptar, de ser posible, esas razones.
- + El año 2015 en que me toco realizar mi experimento, fue un año excepcional, que independientemente del año 2010 en promedio, ha sido el año de mayor precipitación en lo que va de siglo, siendo esto un evento único que acaba con todas las predicciones posibles.
- + Ha sido una grata experiencia la realización del presente trabajo de tesis que, definitivamente ha dejado una serie de conocimientos que han de aplicarse en los futuros trabajos a realizar, entendiendo que no en todos los proyectos es posible alcanzar las metas fijadas, ya sea porque existen imponderables en el desarrollo de la obra o porque el medio ambiente seguirá cambiando como la ha hecho en los últimos años pero, decididamente se aplicarán los conocimientos obtenidos en beneficio de lograr el mejor proyecto posible.
- + Si es posible contener mediante la naturación de azoteas, a pesar del constante aumento de superficies duras y del escurrimiento de agua pluvial que estas ocasionan debido a las pendientes existentes, contener o al menos aminorar el flujo de precipitación hacia el drenaje municipal, al retener parte de la precipitación y liberarla de manera lenta al colector municipal.

- + En caso de naturalarse una determinada cantidad de azoteas verdes, ayudaría a prevenir el efecto “isla de calor” que en nuestra ciudad se acentúa en determinadas horas del día, sobre todo en el centro de la ciudad, aunque aún no es grave ni determinante en nuestra ciudad, comparada con otras grandes ciudades como Guadalajara, Monterrey o el Distrito Federal.

- + Definitivamente, la implementación de azoteas verdes trae consigo más beneficios que perjuicios, sobre todo ambientales y de ayuda a la ciudad en época pluvial que en la relación costo-beneficio es de considerar la inversión inicial significativa pero que es amortizable en un determinado tiempo, trayendo consigo los respectivos beneficios no solo a los propietarios y constructores de azoteas verdes sino a la población en general.

BIBLIOGRAFIA.

- ACANMET, Asociación Canaria de meteorología, 2009.
- Agricultura sin suelo. "Suelos y Sustratos". Blog Madrid. Juan José Ibáñez. 2010.
- AMENA, Asociación Mexicana para la Naturación de Azoteas. 2005.
- Azcón- Bieto Joaquín y Talón Manuel. "Fundamentos de Fisiología vegetal". Edit. Mc Graw-Hill interamericana, Universidad de Barcelona. Febrero 2000.
- Briz Julián, 2004: "Naturación urbana: Cubiertas ecológicas y mejora ambiental". Ediciones mundi-prensa. Madrid-Barcelona-México.
- Canovas F. Díaz J.R.1993."Cultivos sin suelo". Curso superior de especialización. Ed. Instituto de estudios Almerienses. Fundación para la investigación agraria en la provincia de Almería.
- CONACYT, agencia informativa. 2014.
- Dunnett, Nigel y Noël Kingsbury, 2008: *Planting Green Roofs and Living Walls*, Londres, Timber Press, Inc.
- Eco-habitar. Revista de Bio-construcción, Permacultura y Transición. Artículo publicado el 10 de septiembre del 2014, 7.03 A.M.)
- www.elicristo.it/es/como_cultivar/sedum
- www.infojardin.com
- Dakin Karla, Lee Benjamin Lisa y Pantiel Mindy, 2013. "The profesional Desin Guide to Green Roofs". Timber Press, Portland/London.
- Europa Press, *Epturismo*, 4 de octubre del 2014.
- Galindo Bianconi Andrés Salvador y Victoria Uribe Ricardo, 2012: "La vegetación como parte de la sustentabilidad urbana: Beneficios, problemáticas y soluciones para el Valle de Toluca. REDALyC. Revista Quivera 2012-1.Facultad de planeación urbana y regional. Universidad Autónoma del Estado de México.
- García Chávez J.R, J.J. Ambríz y H. Romero. "Determinación del umbral de las condiciones de confort higrotérmico y su relación con el movimiento de aire". COTEDI. Confort y eficiencia energética en arquitectura. México D.F. 2005.
- Gobierno del Estado de México. GEM."Programa para mejorar la calidad del aire, Valle de Toluca 2012-2017". 2012. Secretaría del medio ambiente. Conjunto Sedagro.
- Gutiérrez Garza, Esthela."De las teorías del desarrollo al desarrollo sustentable". Revista trayectorias, teoría y debate. Año IX. Núm. 25. Septiembre-diciembre.2007.
- Infoagro.com.
- INECOL. Instituto Nacional de Ecología. Dra. María Luisa Martínez, Dra. Gabriela Vázquez, Dr. José G. García Franco, Dr. Juan B. gallegos Fernández.2014.
- Inter-empresas jardinería. Magazine de jardinería "entorno verde.com". 2013.
- López de Juanbelz, Rocío, 2010: "Naturación de azoteas". Universidad Nacional Autónoma de México, Unigrafic.
- Lovelock James.1969. "La Gaia, modelos científicos de la biósfera".

- Minke Gernot.2004."Techos verdes, planificación, ejecución y consejos prácticos". Editorial Fin de siglo. Uruguay.
- Morales Méndez Carlos Constantino, Madrigal Uribe Delfino, González Becerril Lidia Alejandra." Isla de calor en Toluca, México" 2007.Redalyc.org. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Norma ambiental para el Distrito Federal que establece las "Especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación" , Gaceta oficial del Distrito Federal No. 491 de fecha 24 de diciembre del 2008.
- Observatorio Meteorológico "Mariano Bárcena", Universidad Autónoma del Estado de México.
- O.N.U. Organización de las Naciones Unidas. "Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático" (CMNUCC).2011.
- Peck Steven and Kuhn Mónica. "Design guidelines for Green roofs". 2006. Ontario Association of Architects.
- Rojas Wiesand, Alfonso,"Flora silvestres del Valle de Toluca", Universidad Autónoma del Estado de México.1995.
- Romero Rodríguez, Blanca Iris. "El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental". 2003. Revista Tendencias Tecnológicas, Boletín IIE. Julio-septiembre 2003.
- Urbano-López de Meneses Beatriz, "Naturación urbana, un desafío a la urbanización", Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo México. 2013. (<http://www.redalyc.org/pdf/629/62927563004.pdf>)
- Ruano, Miguel.1998. "Eco-urbanismo. Entornos humanos sostenibles: 60 proyectos". Editorial G.G. Barcelona.
- Sustentator, revista argentina dedicada a la concientización de productos sustentables y consultoría de energías renovables.
- Toledo M. Víctor. "Ecología espiritualidad y conocimiento". 2003. Universidad Iberoamericana.

FIGURAS:

1.- El Modulor, medidas y escalas antropométricas humanas. Le Courbusier, (1943-1954)....	Pág.13
2.- Temperatura promedio anual.....	Pág.34
3.- Temperatura ambiente promedio mensual.....	Pág.34
4.- Precipitación anual 2000-2009.....	Pág.35
5.- Precipitación mensual 2000-2009.....	Pág.35
6.- Precipitación mensual por año.....	Pág.36
7.- Humedad promedio anual.....	Pág.37
8.- Velocidad media anual.....	Pág.37
9.- Indicador de precipitación pluvial.....	Pág.43
10.- Rosa anual de los vientos.....	Pág.44
11.- Arriate.....	Pág.59
12.- Macizo.....	Pág.59
13.- Bordura.....	Pág.59
14.- Tapizante.....	Pág.59
15.- Macetas y contenedores.....	Pág.59
16.- Suculentas.....	Pág.60
17.- Lithops.....	Pág.60
18.- Sedum Hintonii.....	Pág.61
19.- Sedum Bellum.....	Pág.61
20.-Sedum Morgarianum.....	Pág.61
21.- Sedum Pachyllum.....	Pág.61
22.- Sedum Acre.....	Pág.62
23.- Sedum Sempervivum.....	Pág.62
24.-Sedum Anacampseros.....	Pág.62

25.- Sedum Album.....	Pág.62
26.- Sedum Cauticola.....	Pág.62
27.- Sedum Ewersii.....	Pág.62
28.- Sedum Florifelum.....	Pág.62
29.- Sedum Hispánicum.....	Pág.62
30.- Sedum Hybridum.....	Pág.62
31.- Sedum Kamschaticum.....	Pág.62
32.- Sedum Mexicanum.....	Pág.62
33.- Sedum Glacophyllum.....	Pág.62
34.- Sedum Reflectum.....	Pág.62
35.- Sedum Pachyclados.....	Pág.62
36.- Sedum Sexaangulare.....	Pág.62
37.- Sedum Spurium.....	Pág.62
38.- Sedum Sieboldi.....	Pág.62
39.- Sedum Tetractinum.....	Pág.62
40.- Agave Americana.....	Pág.66
41.- Agave Reina Victoria.....	Pág.66
42.- Agave Potatorum.....	Pag.66
43.- Agave Chiapensis.....	Pág.66
44.- Opuntia (Nopal).....	Pág.67
45.- Aworthia Fasciata.....	Pág.67
46.- Bisnaga Roja.....	Pág.67
47.- Arbustivas.....	Pág.67
48.- Corte de césped.....	Pág.67
49.- Jarilla.....	Pág.68

50.- Hoja de Jarilla.....	Pág.68
51.- Diferentes hojas.....	Pág.68
52.-Chicalote amarilla.....	Pág.68
53.-Argemone mexicana.....	Pág.68
54.- Cardo-santo.....	Pág.68
55.- Planta de Mirasol.....	Pág.69
56.- Colores del Mirasol.....	Pág.69
57.- Cosmos.....	Pág.69
58.- Acahual.....	Pág.69
59.- Planta de Acahual.....	Pág.69
60.- Semilla de Acahual.....	Pág.69
61.- Planta de Maravilla.....	Pág.70
62.- Flor de Maravilla.....	Pág.70
63.- Diente de León.....	Pág.70
64.- Calabacilla.....	Pág.70
65.- Echeveria tolucensis.....	Pág.70
66.- Plantas semi-leñosas y suculentas.....	Pág.71
67.- Plantas semi-leñosas y suculentas.....	Pág.71
68.- Plantas semi-leñosas y suculentas.....	Pág.71
69.- Herbáceas anuales.....	Pág.72
70.- Herbáceas anuales.....	Pág.72
71.- Herbáceas bi-anuales.....	Pág.72
72.- Herbáceas bi-anuales.....	Pág.72
73.- Herbáceas viváce.....	Pág.73
74.- Herbáceas viváce.....	Pág.73

75.- Herbácea perenne tulipán.....	Pág.74
76.- Herbácea perenne callavivaz.....	Pág.74
77.- Herbácea perenne roble.....	Pág.74
78.- Diferentes gramíneas.....	Pág.75
79.- Gramínea forrajera Bromus.....	Pág.75
80.- Gramínea forrajera Miscanthus.....	Pág.75
81.- Gramínea industrial Cymbopogón citratus.....	Pág. 76
82.- Hordeum vulgare.....	Pág.76
83.- Gramínea cespitosa Lolium.....	Pág.76
84.- Gramínea cespitosa Festuca.....	Pág.76
85.- Gramínea ornamental Araudinaria.....	Pág.76
86.- Gramínea ornamental Cortaderías.....	Pág.76
87.- Gramínea ornamental combinación.....	Pág.76
88.- Materiales minerales varios para sustratos.....	Pág.80
89.- Materiales de sustrato uno.....	Pág.83
90.- Materiales de sustrato dos.....	Pág.83
91.-Muestras uno y dos.....	Pág.83
92.-Prueba de CIC.....	Pág.83
93.- Instrumentos de medición.....	Pág.83
94.- Peso de muestras.....	Pág.84
95.- El autor trabajando en laboratorio.....	Pág.84
96.- Formas de composteo.....	Pág.84
97.- Formas de composteo aeróbico.....	Pág.84
98.- Composteo aeróbico.....	Pág.88
99.- Contenedores rústicos para elaborar composta.....	Pág.88

100.- Fotos y artículo proporcionados por la Dra. Graciela Noemi Grenón C.....	Pág.89
101.- Especies de lombriz aptas para la producción de lombri-humus.....	Pág.91
102.- Enjardinado con sustrato de dos capas.....	Pág.101
103.- Enjardinado con sustrato de una capa.....	Pág.101
104.- Techo frío.....	Pag.101
105.- Techo caliente.....	Pág.101
106.- Capacidad de campo.....	Pág.109
107.- Promedio mensual de precipitación 2010-2015.....	Pág.113
108.- Precipitación acumulada y promedio anual 2010-10115.....	Pág.113
109.- Tarimas con vidrio para maqueta.....	Pág.120
110.- Salidas de agua.....	Pág.120
111.- Maqueta con variedades desarrolladas.....	Pág.121
112.- Argemone mexicana desarrollada.....	Pág.121
113.- Calabacilla.....	Pág.122
114.- Pasto Lolium.....	Pág.122
115.- Rosa verde en raíz.....	Pág.123
116.-Raíces poco profundas.....	Pág.123
117.- Esquejes.....	Pág.123
118.- Variedad de esquejes.....	Pág.123
119.- Tablero No.1.....	Pág.124
120.- Tablero No. 2.....	Pág.124
121.- Tablero No. 3.....	Pág.124
122.- Tablero No. 4.....	Pág.125
123.- Tablero No. 5.....	Pág.125
124.- Tablero No. 6.....	Pág.125

125.- Tablero No. 7.....	Pág.126
126.- Tablero No. 8.....	Pág.126
127.- Tableros en conjunto.....	Pág126

CUADROS:

1.- Precipitación mensual acumulada 2005-2015.....	Pág.36
2.- Escala de evaluación térmica de Bedford.....	Pág.47
3.- Tabla de evaluación de confort.....	Pág.48
4.-Tabla de vestimenta.....	Pág.49
5.- Tabla comparativa de tipos de azoteas.....	Pág.54
6.- Diagrama de análisis de cargas en azoteas verdes.....	Pág.56
7.- Tipos de suelo.....	Pág.77
8.- Perfil de suelo con horizontes.....	Pág.77
9.- Resultados de laboratorio muestra uno.....	Pág.84
10.- Resultados de laboratorio muestra dos.....	Pág.84
11.- Relación Carbono-Nitrógeno.....	Pág.87
12.- Diferencia entre especies nativas y composteras.....	Pág.90
13.- Costos aproximados.....	Pág.109
14.- Precipitación pluvial 2000-2105.....	Pág.112
15.- Datos de captación.....	Pág.117
16.- Maqueta y las variedades a naturar.....	Pag.120

ANEXOS:

Anexo uno: Ensayos de laboratorio para sustratos uno y dos.

Paso 1. Tamizar. Se colaron o tamizaron ambos sustratos por la malla No. 10.

Paso 2. Densidad y temperatura. Se tomó la densidad y temperatura de partículas, resultando:

	Muestra 1	Muestra 2
Densidad/textura	8	8
Temperatura	19°C	19°C

Paso 3. Porcentaje de hidrógeno. El pH existente para especies vegetales debe ser de un rango de 4 a 7. Si el porcentaje de hidrógeno es menor de 3.5, es ácido y requiere cal o cisco, o sea, polvo de carbón que regula el pH.

	Muestra 1	Muestra 2
Ph.	6.80	6.89

Paso 4. Conductividad eléctrica. Muestra 1

	Muestra 1	Muestra 2
CE	0.34 mS/cm	0.15 mS (Mili-siemens)

Paso 5. Materia orgánica. Después de tamizar en malla No. 60.

MO	Muestra 1	Muestra 2	Blanco/Testigo
	16.6 MI.	16.4 MI.	18.6 MI.

Paso 6. Densidad real.

	Muestra 1	Muestra 2
Peso depósito vacío	49.7 gr.	49.2 gr.
Lleno de agua destilada	148.7 gr.	149.1 gr.
Lleno con material	153.5 gr.	154.8 gr.
DR	2.38	2.32

Paso 7. Densidad aparente. 30 gr. de muestra y 30 golpes.

DAP	Muestra 1	Muestra 2
-----	-----------	-----------

1.03

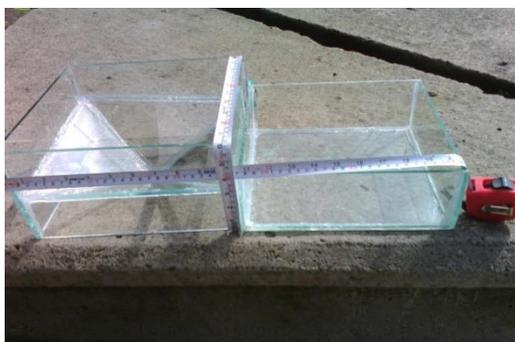
0.88

Paso 8. Capacidad de Intercambio Catiónico. Si es superior a 30 Cmol (centimoles), es bueno.

CIC	Muestra 1	Muestra 2	Blanco
Solución cambio A			
Solución cambio B			
Centrifugado 5 min.	19.8 ml.	16.2 ml.	21.6 ml.
Calcio (Ca)	.042 ml.=3.71	.120 ml.=10.6	
Magnesio (Mg)	.053 ml.	.166 ml.=33.0	
Fósforo (P)	.764 ml.=240 ppm	.860 ml.=270 ppm	
Nitrógeno (N)	0.14%	0.15%	
Sodio (Na)	49.3	47.3	
Potasio (K)	64.6 ppm	71.7 ppm	
Carbono orgánico	1.95%	2.15%	

Anexo dos: Toma de datos y experimentación de captación de precipitación.

Paso 1.- Se construyeron dos Captadores de cristal de 0.25 X 0.25. Dichas medidas corresponden a 1/16avo de un metro cuadrado.



Contenedor uno.



Contenedor dos.

El primer captador de 10 centímetros de altura, sin desfogue, para captar la precipitación.

El segundo captador de 15 centímetros de altura, con un doble fondo en forma de embudo y con desfogue. En el primer fondo se ubica el sustrato y en el segundo fondo una tolva para desfogue y captación del agua filtrada a través del sustrato.

Paso 2.- Se combinó una proporción de sustrato según propuesta de señalada en el capítulo 4.4.6 (Figuras 89 y 90) con proporción de 35% de tierra de monte, 35% de Tezontle y 30% de tierra de composta.

Paso 3.- Se suministró el sustrato al segundo contenedor y se esperó la caída de precipitación. Se tomó la temperatura inicial del sustrato seco con un termómetro marca Browne con escala de -10 a 100°C.



Temperatura inicial.



Temperatura final.

Paso 4.- Después de captar y medir la precipitación en el primer colector, se pesó la precipitación recibida por el segundo contenedor en una báscula con capacidad de 10 Kg. y se le tomó temperatura. Durante la captación de muestras, la diferencia de temperatura inicial del sustrato seco (20.5°C) a la temperatura final (Imagen 78) del sustrato saturado (13.2°C) fue en promedio de 7.3°C de diferencia, la cual tuvo variables de alrededor de 1.2°C que dependieron de la humedad del sustrato, la temperatura ambiental y de la hora en que ocurrió la precipitación, pues esta fue muy variada.



Peso de sustrato.

Paso 5.- Una vez tomados todos los registros, se repitió este procedimiento hasta completar los datos proporcionados en el cuadro 14 de la página 117, en base a la cual, emitiremos algunas conclusiones señaladas en las páginas 118 y 119.

