



Techos Verdes para Mérida

Bases para su Diseño y Construcción

D Arq. Sofía C. Fregoso Lomas



Techos Verdes para Mérida

Bases para su diseño y construcción

D. Arq. Sofía C. Fregoso Lomas



AYUNTAMIENTO DE MÉRIDA



Verde en lo alto
TECHOS VERDES :: MÉRIDA



Mérida, Yuc., México. 2024.

Techos Verdes para Mérida. Bases para su diseño y construcción.

D.R. © 2024, Municipio de Mérida Yucatán, México.

Autora

D Arq. Sofía C. Fregoso Lomas | Verde en lo Alto

Producción

M. en Arq. Alejandra Bolio Rojas | Unidad de Desarrollo Sustentable

Revisión

Arq. María Leticia Roche Cano | Subdirección de Infraestructura Verde

Revisión de estilo

MAPP. Margarita María Negrete Morales

Diseño editorial

LD. Gabriela Oropeza Moreno

Colaboradores

Dr. Jorge Carlos Trejo Torres | Jefe de Arbolado Urbano | Paleta Vegetal
Ana María Rodríguez Ríos | Prácticas Profesionales | Paleta Vegetal

Diseño y elaboración de gráficos

MCC. María Suter Warnholtz

Colaboradores en la elaboración de gráficos

Ignacio Díaz Arriaga
Emmanuel Velasco Ugalde

ISBN: 978-607-8083-36-7

Primera edición, agosto 2024.

Reservados todos los derechos.

Queda prohibido copiar, reproducir, distribuir, publicar, transmitir, difundir o de cualquier otro modo explotar este libro o parte de éste sin la autorización previa por escrito de la autora.



Índice

Introducción	13
Antecedentes	17
1.1 Referencias históricas	19
1.2 Casos de éxito en México	23
2. Servicios ambientales y sus beneficios	25
2.1 Beneficios de los Techos Verdes	28
3. Especificaciones técnicas de proyecto y ejecución para Techos Verdes	33
3.1 Requerimientos mínimos a satisfacer	34
3.2 Estática y seguridad estructural	34
3.3 Parámetros para cada tipo de Techo Verde	36
3.4 Componentes básicos de un Techo Verde	36
4. Fichas Técnicas: Especificaciones para Techos Verdes	53
Techos Verdes Extensivos	54
Techos Verdes Semi-intensivos	56
Techos Verdes Intensivos	58
Techos Verdes Indirectos	60

5. Notas para un Techo Verde exitoso: calidad y sostenibilidad	63
5.1 Claves en el diseño y construcción de un Techo Verde	64
5.2 ¿Qué tan sustentable resulta un Techo Verde?	64
5.3 Los materiales reciclados en la construcción de un Techo Verde	65
5.4 Operación y mantenimiento de un Techo Verde	66
6. Redes, estándares y normas	71
6.1 Legislación sobre Techos Verdes: de lo global a lo local	72
Conclusiones	77
ANEXO: Paleta vegetal	79
Fuentes de consulta	105

Índice de figuras

Figura 1. Escenarios contenedores.	14
Figura 2. Ilustración de algunas variantes tipológicas de Techos Verdes.	21
Figura 3. Servicios ambientales o ecosistémicos de la infraestructura verde.	27
Figura 4. Los Techos Verdes como oportunidad.	30
Figura 5. Detalle de componentes básicos de una azotea naturada.	36
Figura 6. Dispositivos típicos para el drenaje de azotea.	38
Figura 7. Impermeabilización con membrana prefabricada asfáltica.	41
Figura 8. Impermeabilización en puntos de encuentro con elementos emergentes intermedios.	42

Figura 9. Impermeabilización con membrana prefabricada asfáltica en puntos de encuentro con pretilos y elementos emergentes perimetrales.	42
Figura 10. Impermeabilización con láminas de PVC, Hypalon, propileno-etileno o similares en puntos de encuentro con pretilos y elementos emergentes.	43
Figura 11. Impermeabilización y refuerzos en puntos de encuentro con tubos y conductos que penetren desde la cubierta hacia el interior de la edificación.	43
Figura 12. Impermeabilización y refuerzo en puntos de encuentro con BAPs.	44

Índice de tablas

Tabla 1. Carga adicional de acuerdo al tipo de naturación.	34
Tabla 2. Parámetros generales para cada tipo de naturación.	36
Tabla 3. Equivalencias para pendientes de porcentajes a grados.	37
Tabla 4. Resumen de los sistemas impermeabilizantes utilizados en azoteas.	39
Tabla 5. Materiales que funcionan como protección anti-raíz.	40
Tabla 6. Organizaciones Internacionales más destacadas en el ámbito de los Techos Verdes.	73

Presentación

La ejecución de acciones para lograr una ciudad sustentable y resiliente es una prioridad para Mérida, porque las decisiones que tomamos hoy como sociedad a favor del medio ambiente, permitirán tener un municipio más sostenible donde habiten y convivan nuestras generaciones futuras.

A medida que nuestra ciudad crece y se densifica, es crucial encontrar soluciones innovadoras que no solo mitiguen los impactos ambientales negativos, sino que también mejoren la calidad de vida de sus habitantes.

Las buenas prácticas y políticas públicas en materia ambiental que el Ayuntamiento impulsa en Mérida para contribuir a mitigar los efectos del cambio climático, son reconocidas a nivel mundial al cumplir con compromisos estipulados en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) emitidos por la ONU alineados a la Agenda 2030.

Techos Verdes para Mérida: bases para su diseño y construcción, es una guía comprensible que desde el Ayuntamiento hemos diseñado para ayudarte a transformar y construir espacios urbanos generalmente desaprovechados, como son los techos en áreas habitables verdes y sostenibles. Su instalación, además de ofrecer múltiples servicios ambientales, económicos y sociales, se traduce en bienestar y salud.

Un Techo Verde es una cubierta vegetal instalada en cualquier construcción que incorpora cuatro elementos principales: una capa impermeable, un sistema de drenaje, un medio de crecimiento vegetal y la propia vegetación.

Pueden variar en complejidad, desde sistemas extensivos, que requieren poco mantenimiento y tienen una vegetación de baja altura, hasta sistemas intensivos, que pueden incluir árboles y arbustos y requieren acciones más intensivas.

Los Techos Verdes ofrecen una respuesta eficaz y multifacética a los desafíos actuales para las ciudades. Así, el Ayuntamiento, a la vanguardia de nuestro tiempo, pone a disposición de la ciudadanía este documento introductorio para Mérida como una guía práctica y accesible, ofreciendo información detallada sobre la planificación, especificaciones técnicas, fichas técnicas para consultas rápidas, y recomendaciones para la operación y mantenimiento de los Techos Verdes.

Asimismo, es una abierta invitación para explorar el tema y descubrir las posibilidades que ofrece nuestro medio para contribuir a la sostenibilidad urbana y disfrutar de los múltiples beneficios que los Techos Verdes pueden ofrecer al municipio.

Cordialmente.

Lic. Alejandro Iván Ruz Castro
Presidente Municipal de Mérida

Prefacio

Este trabajo, que es una solicitud de la Unidad de Desarrollo Sustentable del Ayuntamiento de Mérida, a través de su Directora, M. en Arq. Alejandra Bolio y de la Subdirectora de Infraestructura Verde, Arq. María Leticia Roche; tiene como objetivo principal difundir los beneficios de los Techos Verdes y fomentar su implementación en la región.

La D Arq. Sofía Fregoso, autora de la publicación, es docente e investigadora en la Escuela de Arquitectura de la Universidad Anáhuac Mayab, cuyo Director, el Arq. Enrique Duarte Aznar, crea un ambiente propicio para abordar profusamente en la enseñanza de la arquitectura, el tema central de este documento. Además de su labor académica, es cofundadora de Verde en lo Alto, empresa especializada en el diseño y construcción de Techos Verdes con sede en Mérida, Yucatán.

La información plasmada en estas páginas se nutre de su experiencia profesional y su compromiso con la sostenibilidad, ofreciendo una visión integral y práctica sobre los Techos Verdes.

Este trabajo, publicado bajo el sello editorial Anáhuac, se espera sea un recurso valioso para estudiantes, profesionales, tomadores de decisiones y público en general interesado en conocer más sobre los Techos Verdes y su potencial para contribuir a un futuro más sostenible.



Foto: Sofia Fregoso

Introducción

Las ciudades, hogar de más de la mitad de la población mundial y responsables de alrededor del 70 % de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, constituyen un elemento central del desafío climático.

A partir de datos de más de 10,000 ciudades de todo el mundo, en un nuevo informe del Banco Mundial (Mukim, 2023), se pone en relieve el papel fundamental que desempeñan las ciudades para lograr que las personas gocen de mayor riqueza, salud y seguridad y para revertir los efectos negativos del cambio climático en la seguridad alimentaria, el abastecimiento de agua y la conservación de la biodiversidad. Asimismo, se examina cómo las ciudades contribuyen al cambio climático a través de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y de qué manera los hogares urbanos se verán afectados por el aumento de la frecuencia y la intensidad de los fenómenos atmosféricos, como las sequías, las inundaciones y los huracanes. Es importante mencionar que la vulnerabilidad al cambio climático, no sólo depende de las condiciones climáticas adversas, sino también de la capacidad de la sociedad de anticiparse, enfrentar, resistir y recuperarse de los impactos asociados a dicho fenómeno (Quiroz, 2018) de aquí se desprenden las acciones de mitigación y adaptación propuestas en el Plan de Acción Climática del Municipio de Mérida PACMUN.

Es de esta última idea donde tiene cabida la noción de infraestructura verde, que de manera general, se puede entender como: *“Toda solución basada en la naturaleza y en la ciencia que mitiga los efectos de la urbanización, ofrece servicios ambientales que contribuyen a reducir los efectos del cambio climático, respaldando el funcionamiento del ecosistema urbano, manteniendo la biodiversidad y aumentando la calidad de vida.”* (Mérida, PMIV, 2023)

En México (Quiroz, 2018) se aborda este concepto en el 2018 en el documento: Implementación de Infraestructura Verde como estrategia para la mitigación y adaptación al cambio climático en ciudades mexicanas, hoja de

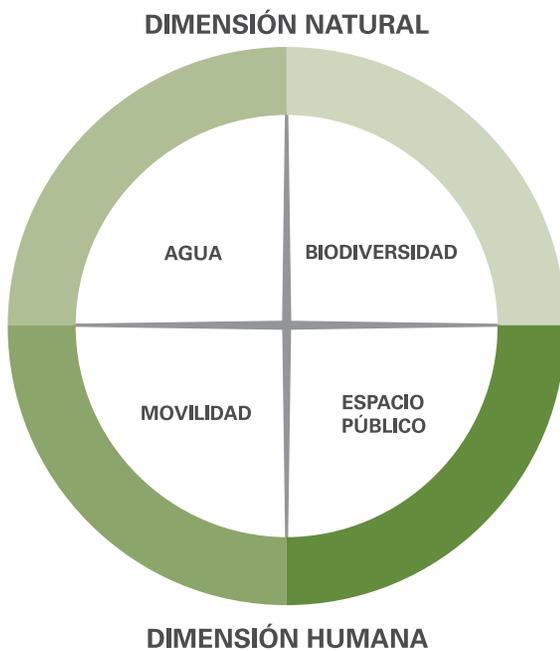


Figura 1

Escenarios contenedores.
(Mérida, PMIV, 2023).

ruta. A partir de ahí los diferentes gobiernos estatales desarrollaron planes específicos desde el conocimiento de su territorio biocultural.

Para Mérida en el año 2016 se implementó el primer Plan Municipal de Infraestructura Verde (PMIV) centrado en el tema del arbolado urbano, lo cual en su momento fue muy pertinente. Posteriormente, se presenta su actualización con el Plan Municipal de Infraestructura Verde 2018-2021, alineado al marco normativo federal, estatal y municipal y en el cual se amplían los alcances y se incorporan dos temáticas nuevas: los servicios ambientales y la infraestructura verde en el espacio público.

En el PMIV 2021-2024, como resultado de las mesas de trabajo, se detectaron áreas de oportunidad para la incorporación de temáticas relevantes que se incluyan como escenarios contenedores: biodiversidad, agua, movilidad y espacio público.

Estos escenarios contenedores (fig. 1) de Infraestructura Verde contienen uno o varios elementos, con los cuales, el hombre genera soluciones basadas en la naturaleza para hacer frente a los problemas actuales de la ciudad.

También sirven de estructura al PMIV 2021-2024 y al cruzarlos y priorizarlos con los 4 ejes estratégicos, 1. Estudios e Indicadores, 2. Programas y Proyectos, 3. Educación y Cultura Ambiental, 4. Política Pública; se establecen 30 acciones concretas y 3 estrategias transversales, entre ellas el Sistema de Infraestructura Verde, escalable y multidisciplinario, el cual pone en relieve la importancia de contar con una visión global y de largo plazo y la necesidad del seguimiento de las acciones que las infraestructuras o soluciones técnicas basadas en la naturaleza requieren. Es decir, hoy en día es importante reconocer en la teoría y en la práctica que todo está ligado y el bienestar y la calidad

de vida en la ciudad dependen de múltiples factores interdependientes.

Entre las acciones propuestas en el PMIV 2021-2024 EJE 1: Estudios e Indicadores, acción 4, se propone la elaboración de un libro guía o manual de Techos Verdes, con el objetivo de que integre las especies de flora locales y las técnicas de construcción de la región, de manera que la ciudadanía cuente con una herramienta de normas técnicas que faciliten su construcción.

En este contexto, siendo éste un documento accesible a todo público hemos elegido utilizar el término coloquial de Techo Verde como se describe en el PMIV 2021-2024 en lugar de la referencia técnica oficial de "cubiertas naturadas".

En la norma técnica oficial las azoteas, fachadas y muros verdes (o naturados) se conocen como Sistemas de Naturación, y se definen como el conjunto de tratamientos técnicos de superficies edificadas horizontales o inclinadas, con el objetivo de crear superficies vegetales inducidas (SEDEMA, 2007), y son reconocidos como estrategias muy eficientes de mitigación y adaptación del espacio urbano arquitectónico a los efectos del cambio climático.

En esta misma idea, con esta publicación buscamos, por un lado, poner en valor dicha tecnología, como estrategia coadyuvante con la calidad del Sistema de Infraestructura Verde Urbana ya sea compensando las áreas verdes que han sido eliminadas a consecuencia del proceso del crecimiento de la mancha urbana, contribuyendo con la interconexión del ecosistema urbano o bien como auxiliar en la eficiencia energética de las edificaciones. Por otro lado, también acercar de manera responsable y accesible el conocimiento básico técnico para la construcción en general de los Techos Verdes en cualquier edificación, pero de manera

particular en la tipología de casa habitación, de tal forma que los ciudadanos puedan aprovechar los incentivos fiscales que el Ayuntamiento de Mérida ofrece para las viviendas de los ciudadanos del Municipio.

Se espera que sea de utilidad para tomar decisiones importantes en la práctica de diseño arquitectónico, especialmente para el bioclima de la Ciudad de Mérida. Sumado a otros esfuerzos de mejoramiento del paisaje urbano, un Techo Verde bien construido puede redundar en beneficios reales y sostenibles.



Foto: Sofia Fregoso

Antecedentes

1

Mérida se encuentra inmersa en un entorno natural rico en biodiversidad y con características climáticas particulares. Ubicada en la región de la Península de Yucatán, experimenta un clima cálido subhúmedo (García, 2004), con una temperatura media anual de 26°C y una marcada estación de lluvias en verano, con una precipitación anual de 1000 mm (Orellana, 2007). Su posición geográfica la expone a fenómenos naturales como huracanes y tormentas tropicales. No obstante, a pesar de estas condiciones especiales, esta región biogeográfica ha sido habitada profusamente durante siglos hasta nuestros días.

Bolio (2011) refiere que en las últimas tres décadas de su historia la zona metropolitana de Mérida –Mérida y sus municipios conurbados– ha experimentado una notable expansión territorial: el área urbana ha crecido en promedio un 80 % desde el inicio de su expansión acelerada en la década de 1980. La superficie conurbada de Mérida aumentó a un ritmo promedio de 4.4 % en 30 años (1980-2010), mientras que la población en la misma área creció a un ritmo menor, del 2.3 % anual, pasando de 487,047 a 1,027,000 habitantes.

Este modelo de urbanización es uno de los fenómenos que representan mayor amenaza a la biodiversidad. Linares (2018) en su artículo sobre la urbanización y su impacto en la variación estacional de las aves de la Ciudad de Mérida, refiere que se realizó un estudio en diferentes áreas verdes de Mérida y se encontraron indicios de que la urbanización está afectando la estacionalidad de las aves residentes y migratorias, ocasionando una reducción y homogeneización en sus patrones mientras más urbanizada sea el área en el que se encuentren.

Sostiene que en Mérida una de las principales amenazas es el crecimiento urbano el cual lleva acelerándose de manera exponencial desde hace más de cuarenta años y una de las comunidades bióticas en las que se puede ver este impacto son las aves. Explica que las aves utilizan como refugio las áreas verdes urbanas, sin embargo, pueden ver afectados muchos de sus patrones biológicos como su estacionalidad.

La pérdida de la frágil cubierta natural del territorio, que afecta la biocapacidad del medio natural, ha generado desafíos significativos a nivel social, económico y ambiental (Mérida, 2017) y motivado fuertemente, tanto al sector público como al privado, a examinar cuidadosamente la factibilidad técnica y económica para recuperar y/o restituir las áreas verdes desplazadas. Una estrategia de restauración y compensación que resulta de especial interés para las autoridades que organizan el territorio, son los Techos Verdes.

Entre las razones para esto, se encuentra el interés en aumentar el valor de las edificaciones y/o complejos con la presencia de áreas ajardinadas, pero sobre todo porque también es una opción viable, llevada de manera correcta, para cumplir con un porcentaje de área verde requerido por el uso de suelo.

Desde el Ayuntamiento como parte del PMIV 2018 –2021, como una estrategia de conservación de la biodiversidad, surge la iniciativa de promover una nueva forma de hacer jardinería silvestre o naturación urbana, en la que la gran variedad de especies de plantas nativas de la selva baja caducifolia, lo que coloquialmente se le conoce como “el monte” pasen a formar parte del diseño paisajístico de la ciudad. Así surge el primer proyecto de jardinería silvestre o nativa el “Agavario de Xoclán” al poniente de la ciudad, como un modelo de área verde pública urbana, que contribuya a un enfoque paisajístico que integre la vegetación nativa al espacio público.

La necesidad de conservar la naturaleza, mejorarla y restaurarla, pero sobre todo de garantizar que dichas acciones efectivamente se lleven a la práctica, y ello se pueda vigilar y sancionar, culmina en la elaboración de leyes, normas, reglamentos, etc. Dichos instrumentos van de lo general a lo específico y técnico. Los Techos Verdes, aunque se mencionan en distintos Planes y Programas de desarrollo como una opción

viable, es hasta el nivel normativo donde podemos observar que son viables técnicamente.

A nivel nacional podemos identificar La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, promulgada en 1988, que establece los principios y mecanismos para la conservación, protección y restauración del medio ambiente en todo el territorio nacional.

Como estrategia de restauración ambiental y con carácter obligatorio solo para la Ciudad de México, en 2017 se publicó la Norma Ambiental para el Distrito Federal (hoy Ciudad de México), NADF-013-RNAT-2017, que establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación (muros y Techos Verdes) en el Distrito Federal (CDMX). (Gaceta CDMX, 17/09/ 2018, 2018)

A nivel estatal y local, el Gobierno de Yucatán y el Ayuntamiento de Mérida han implementado al menos dos iniciativas para incentivar y regular la instalación de sistemas de naturación, específicamente de los Techos Verdes.

La primera en las Normas Técnicas Complementarias para el Proyecto Arquitectónico, en el Artículo 61 del Capítulo II “Restricciones y Normas del Uso del Suelo” donde se señala que el área ajardinada mínima especificada en el programa de desarrollo urbano puede distribuirse hasta en un 50 % mediante el uso de azoteas y muros verdes naturales o tecnologías alternativas similares, siempre y cuando se obtenga un dictamen favorable de la Unidad de Desarrollo Sustentable.

La segunda iniciativa es el Programa de Estímulo a las Acciones ante el Cambio Climático – Azoteas Verdes, mediante un acuerdo autorizado por las autoridades competentes. Este programa incentiva el uso de Azoteas Verdes a los propietarios que cumplan con

los requisitos establecidos en el programa para que puedan acceder a un estímulo del quince por ciento (15 %) sobre el monto principal del impuesto predial correspondiente al ejercicio fiscal 2024. Este acuerdo aplica para uso de suelo habitacional.

Estas normativas, programas y acciones de los PMIV desde el 2015, reflejan el compromiso de las autoridades locales con la promoción de prácticas de naturación y el desarrollo urbano sostenible en México, y en específico en Mérida. Proporcionan un marco legal y de incentivos para la implementación de sistemas de naturación que contribuyan a mejorar la calidad ambiental y la resiliencia de la ciudad ante los desafíos ambientales actuales.

Por último, mencionamos que hay experiencias locales positivas en el campo de la naturación, específicamente hablamos de las cubiertas naturadas (Techos Verdes), los cuales pueden servir de inspiración y guía para futuras iniciativas en la ciudad. (Fregoso, 2016) En los siguientes capítulos, se explorarán en detalle los principios, beneficios y aplicaciones prácticas de los Techos Verdes en el contexto específico de la Ciudad de Mérida.

1.1 Referencias históricas

La práctica de la construcción de los Techos Verdes ha estado presente desde hace siglos en la historia de la arquitectura. Es interesante notar como los usos han sido tan distintos dependiendo de la región bioclimática y cultural en donde se encuentren (fig. 2).

La primera referencia histórica que se tiene de jardines por encima del nivel de piso y construidos por el hombre como Techos Verdes son las estructuras de piedra piramidales Mesopotámicas del año 600 A.C. identificadas con el nombre de Zigurats. El arqueólogo

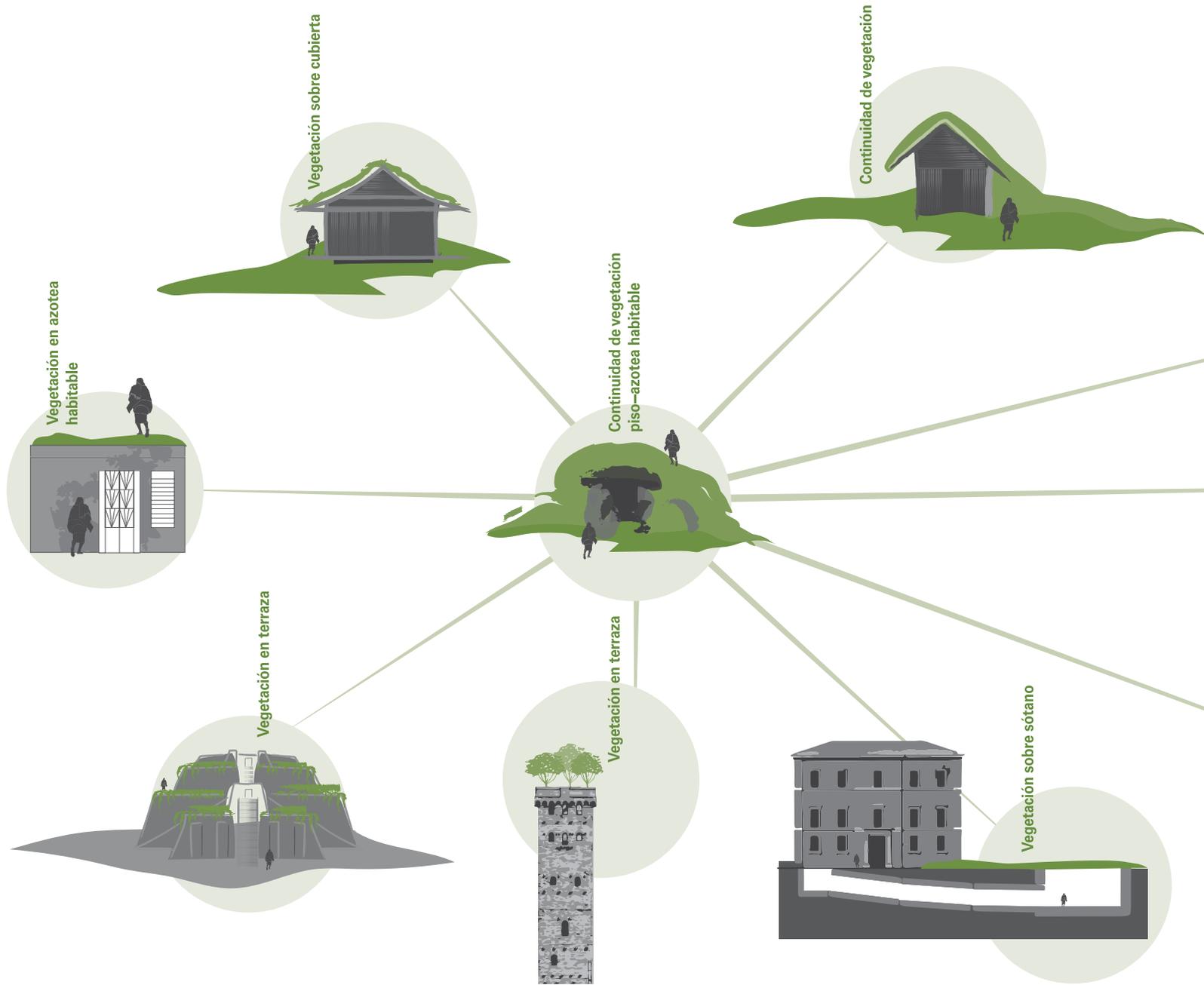
británico Sir Leonard Woolley encontró evidencias de que en los rellanos de estas estructuras escalonadas se plantaban arbustos y árboles, haciendo con ello más amable el ascenso a tales estructuras, y ofreciendo un alivio al calor abrasador de la llanura babilónica (Odmunson, 1999)

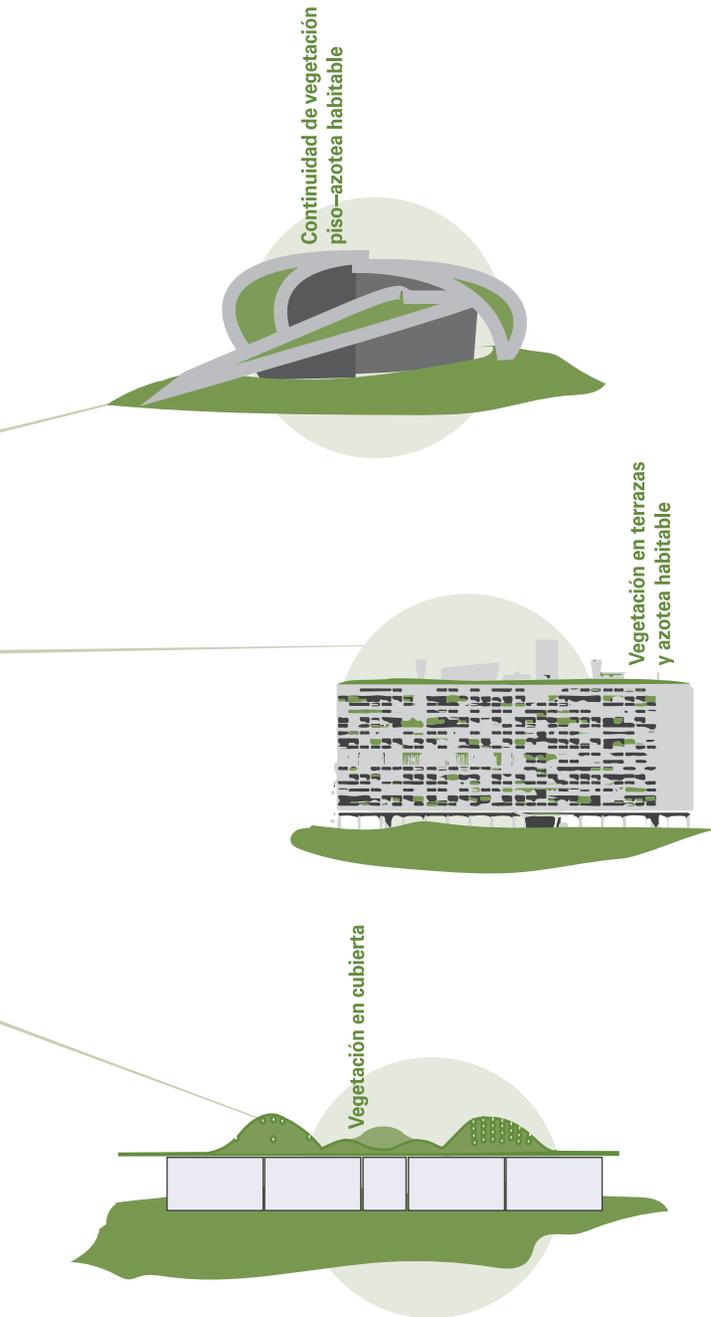
Los Jardines Colgantes de Babilonia, son Techos Verdes más conocidos de todos los tiempos, probablemente construidas durante la reconstrucción de Babilonia por Nabucodonosor II hacia el año 500 a.C., tuvo el propósito, aunque no ha sido del todo probado, de crear un paisaje distinto, con vegetación abundante sobre una estructura en relieve en oposición al paisaje plano del contexto. Se menciona en algunas des-

La práctica de la construcción de los Techos Verdes ha estado presente desde hace siglos en la historia de la arquitectura.

cripciones históricas, la exuberancia de la vegetación que llevaba encima-que con seguridad provocaba una atmósfera fresca y sombreada-y la magnitud de la estructura en contraste con el paisaje árido y plano del contexto. (Odmunson, 1999; GRHC, 2006)

La Villa de los Misterios en Pompeya la cual es una edificación conservada gracias a los 4m de la ceniza que la erupción del Volcán Vesubio depositó sobre las ciudades de Pompeya y Herculano año 79 a.C., muestra evidencias de la construcción de una terraza con





plantas directamente colocadas en tierra, soportada por una columnata con arcos de piedra a lo largo de sus tres lados, y usada principalmente en tiempos de calor para refrescarse y evitar las altas temperaturas. Con técnicas muy especiales de restauración se han conocido los tipos de plantas usados, debido a las raíces que quedaron atrapadas en las cenizas.

Entre los años 800 y 1000 d.C., podemos ubicar estructuras arquitectónicas Vikingas en el Atlántico Norte, las cuales estaban recubiertas los techos y paredes de sus casas con pasto y algas con el objeto de proteger y aislar las edificaciones de los fuertes vientos, de la nieve y de la lluvia (Dunnett, 2008).

La naturación de techos ha sido una característica de la arquitectura vernácula en ciertas regiones geográficas por siglos, y quizás por milenios, notablemente en Escandinavia y Kurdistán, en las áreas de Turquía, Irak, e Irán. El sistema constructivo consistía en cubrir con lodo y tierra los techos de las edificaciones, los cuales poco a poco se habrían de colonizar con pastos de crecimiento espontáneo. La combinación de lodos con vegetación en estos techos vernáculos evita la pérdida de calor en invierno, y reduce la ganancia de calor en verano. Estas técnicas llegaron a Canadá y Estados Unidos traídas por pobladores inmigrantes, quienes las aplicaron a sus viviendas, porque las condiciones climáticas eran similares a sus lugares de origen.

Las casas tradicionales en China o en Japón, dado que fueron construidas con materiales orgánicos de

Figura 2

Ilustración de algunas variantes tipológicas de Techos Verdes en diferentes momentos de la historia de la arquitectura. Sencillas o combinadas, las funciones atienden propósitos específicos en cada caso.

Elaboración: María Suter.

En Italia, el Palazzo Piccolomini en Pienza albergó uno de los mejores Techos Verdes del Renacimiento.

Con sus 5,265 m² de huertos, andadores y una pista semiolímpica, el Techo Verde del INFONAVIT en CDMX, es reconocido como el más grande del continente y el número uno en extensión de Latinoamérica.

sus regiones, retienen humedad y semillas volátiles que terminan por germinar en las cubiertas. Claramente esto es favorable y contribuye con el grosor, duración y consistencia de la cubierta. (Dunnett, 2008, pág. 16)

En Escandinavia, siglos VIII al XI d.C., el sistema constructivo de las cabañas tradicionales conocidas como *hytter* en Noruega, las *cottages* en Finlandia, consistían en cubiertas de distintos materiales que acondicionaban a la estructura para soportar fuertes lluvias y nieve. Se inicia la construcción de la cubierta con troncos de madera, seguido de capas de ramitas y corteza de abedul, terminado con una capa de tierra y pasto, que en conjunto impedían la entrada del agua de lluvia o el deshielo al interior de la edificación. A manera de un sistema de Techos Verdes moderno, la corteza funciona como impermeabilizante, las ramitas como sistema de drenaje y la capa de tierra y pasto como aislante térmico. La vegetación que se plantaba en la capa de tierra eran variedades del género *Sedum* y *Sempervivum*, cuyas raíces sirven para reforzar la capa de tierra. Deliberadamente se plantaban algunas variedades comestibles como el centeno (*Secale cereale*) para reforzar la capa de tierra. (Cantor S., 2008)

Mont-Saint-Michel, en Francia, es un ejemplo destacado de esta práctica. Se construyeron jardines en los techos para aprovechar cualquier espacio disponible dentro del claustro, lo que añadió un agradable ambiente a las audiencias y actividades que se llevaban a cabo en el lugar. En Italia, el Palazzo Piccolomini en Pienza albergó uno de los mejores Techos Verdes del Renacimiento, atribuido al Papa Pio II. Este jardín, sostenido por una robusta estructura de piedra, servía como escenario para prolongadas audiencias, dotándolas de un carácter distintivo.

La Torre de Guinigi en Lucca, Italia, también destaca por su jardín en el último nivel, resaltando por la

presencia de tres grandes robles que proporcionaban sombra y frescor. Otro ejemplo es la Villa Médici en Careggi, Italia, con un jardín renacentista bien conservado, valorado por la diversidad de su vegetación y su meticuloso mantenimiento.

En ciudades antiguas como Tenochtitlán, se construían edificios con azoteas planas que se convertían en espacios útiles para la siembra de árboles y flores, aprovechando la estructura de piedra que delimitaba el perímetro de la azotea. En Passau, Alemania, y en el Kremlin de Rusia, se construyeron terrazas ajardinadas como un lujo para la clase noble, con sistemas de riego y soporte de raíces diseñados para garantizar su estabilidad.

A lo largo del tiempo, la tecnología y los materiales de construcción han evolucionado, permitiendo la construcción de Techos Verdes a gran escala. En el siglo XIX, en Berlín, se construyó un jardín en la azotea de una casa de clase media utilizando una barrera impermeable de cemento vulcanizado. Avances posteriores, como los productos de impermeabilización a base de petróleo y el uso de concreto en los techos, han facilitado la expansión de los Techos Verdes en Europa y América.

Aunque inicialmente asociada a la élite, la tendencia de los Techos Verdes ha evolucionado hacia una estrategia de restauración ambiental más accesible para todos. Figuras como Friedensreich Hundertwasser, con su sistema naturado en Viena, han promovido un enfoque más integrador de la naturaleza en la arquitectura urbana. A pesar de los avances en sistemas intensivos de naturación, la investigación se centra cada vez más en sistemas extensivos, que requieren una menor inversión inicial y un mantenimiento mínimo a largo plazo, revalorizando la sencillez y eficiencia de estos sistemas.

1.2 Casos de éxito en México

En un artículo de revisión sobre el estado de la investigación y desarrollo de techos y muros verdes en México (A. Ávila-Hernández, 2023) se mencionan los siguientes casos emblemáticos hasta el momento y su importancia.

El primero de ellos aparece en 1994 en la Universidad Autónoma de Chapingo, donde se construyeron cuatro techos de 75 m² cada uno para realizar estudios científicos sobre el comportamiento de la vegetación.

Cinco años después, en 2009, se instaló el Techo Verde del Jardín Botánico del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con una superficie de 360 m² y una rica diversidad de flora nativa.

En 2011, el Instituto Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT) inauguró un Techo Verde de más de 5,000 m² en su edificio sede. Este proyecto integral incluye una pista de atletismo, un sistema de captación de agua pluvial y un invernadero para producción de hortalizas, además de albergar 149 especies vegetales nacionales, incluyendo algunas en peligro de extinción. Con sus 5,265 m² de huertos, andadores y una pista semiolímpica para correr, el Techo Verde del INFONAVIT en CDMX, le ha ganado ser reconocida como el más grande del continente y el número uno en extensión de Latinoamérica.

El Centro de Información y Comunicación Ambiental de América del Norte (CICEANA) cuenta con un Techo Verde de 903 m² donde se realiza la conservación y propagación de especies en invernaderos. La vegetación comprende más de 260 especies de suculentas, ornamentales, medicinales y hortalizas.

La Torre HSBC destaca por su área natural de 465 m² compuesta principalmente por sedum y arbustos, y

cuenta con un sistema de almacenamiento de agua pluvial para su reutilización en el edificio.

Un Techo Verde singular se encuentra en el Parque Fundidora, ubicado sobre una estructura metálica circular con secciones triangulares. Su superficie de 1700 m² está cubierta por sedum y pasto nativo.

La Universidad Iberoamericana alberga uno de los Techos Verdes más recientes, desarrollado en 2019 con una superficie de 1350 m². Este espacio alberga alrededor de 29 mil plantas distribuidas en cuatro áreas temáticas: uso productivo, jardín de polinizadores, xerjardín y jardín medicinal.

En la península de Yucatán hay numerosos proyectos privados. En la Ciudad de Mérida, además, hay algunos trabajos experimentales y casos de éxito en instituciones educativas y comerciales tanto públicas como privadas, los cuales están documentados y pueden aportar conocimiento a la tropicalización de la tecnología. (Ordóñez, 2015; Fregoso, 2016; Ordóñez, 2012) Si bien en la ciudad de Mérida existen estos casos, todavía hay una gran área de oportunidad en la materia para su desarrollo e implementación.

En el mundo hoy en día el uso de los Techos Verdes en la arquitectura contemporánea, son cada vez más utilizados. La difusión para su implementación en Mérida puede contribuir a la creación de una ciudad más resiliente, saludable y agradable para vivir.



Foto: Sofia Fregoso

Servicios ambientales y sus beneficios

2

Los servicios ambientales son todos aquellos beneficios que podemos obtener directamente de nuestro entorno natural y que son indispensables para nuestra vida, tales como la provisión de agua, de oxígeno y de alimentos, los cuales contribuyen directamente a la salud y el bienestar de las comunidades.

El objetivo de estos servicios es mantener el equilibrio en la flora y fauna, y la integración del ser humano con su entorno (Earthgonomic, 2020), tema de alta relevancia para los gobiernos actuales que han tenido que hacer frente a diferentes eventos naturales derivados del cambio climático. De ahí la aparición del término de Infraestructura Verde en las políticas públicas, como principal solución a dichos acontecimientos.

Los términos “servicios ambientales” y “beneficios ambientales” se usan indistintamente y a menudo se consideran equivalentes.

Por un lado, los servicios ambientales o ecosistémicos se refieren a las funciones que desempeñan los ecosistemas naturales, las cuales son funciones esenciales para la vida en la Tierra y el bienestar humano y son gratuitos por naturaleza. No obstante conocer su valor fomentará su cuidado y conservación. (SEMARNAT, 2021)

Por otro lado, el término de beneficios, se refiere a las ventajas directas o indirectas que las personas obtienen de los servicios ambientales. Estos pueden ser económicos, sociales o ambientales. Los beneficios económicos incluyen el valor de los productos y servicios que se obtienen de los ecosistemas, como el turismo o la pesca. Los beneficios sociales incluyen la mejora de la salud humana, la recreación y el bienestar. Los beneficios





Servicios de soporte (hábitat)

Los que sostienen a casi todos los otros servicios, como la formación del suelo, los ciclos de los nutrientes y la protección de la biodiversidad.

Servicios de abastecimiento o suministro

Los productos que los ecosistemas proveen, como alimentos, agua y materias primas.

Servicios culturales

Incluyen los beneficios no materiales de los ecosistemas, van desde la recreación, el patrimonio cultural, la inspiración espiritual, hasta la salud física y mental.

Servicios de regulación

Como la calidad del suelo, la regulación del aire, el clima y las enfermedades, la purificación del agua y la polinización.

ambientales incluyen la protección de los ecosistemas y la biodiversidad.

Para poner en valor aquello que damos por sentado de los servicios ecosistémicos o ambientales, tanto cuantitativa como cualitativamente, la ONU creó en 2005 el concepto de la "Evaluación de los Ecosistemas del Milenio", los cuales ponen en claro "los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas", para lo cual clasifican los servicios ambientales por tipo de la siguiente manera:

- 1. Servicios de abastecimiento o suministro.** Los productos que los ecosistemas proveen, como alimentos, agua y materias primas.
- 2. Servicios de regulación.** Como la calidad del suelo, la regulación del aire, el clima y las enfermedades, la purificación del agua y la polinización.
- 3. Servicios de soporte (hábitat).** Los que sostienen a casi todos los otros servicios, como la formación del suelo, los ciclos de los nutrientes y la protección de la biodiversidad.
- 4. Servicios culturales.** Incluyen los beneficios no materiales de los ecosistemas, van desde la recreación, el patrimonio cultural, la inspiración espiritual, hasta la salud física y mental.

Además de esta clasificación, en la literatura encontramos que muchos de los servicios ambientales que puede ofrecer la Infraestructura Verde se agrupan en dos categorías principales, enfocadas en su aplicación

Figura 3

Servicios ambientales o ecosistémicos de la Infraestructura Verde Urbana.

Elaboración: María Suter.

para enfrentar el cambio climático. Esta clasificación es aún más relevante, ya que nos responsabiliza como humanidad a generar estrategias que favorezcan la autorreparación de los ecosistemas o la resiliencia. El diseño y la construcción de la Infraestructura Verde permiten potenciar estos servicios ambientales, contribuyendo de dos maneras complementarias: a mitigar las causas del cambio climático y a adaptarnos a sus efectos.

Algunos ejemplos de servicios ambientales que proporciona la Infraestructura Verde son:

Servicios Ambientales de Mitigación

1. Captura de carbono
2. Promoción de viajes sostenibles
3. Reducción del uso de energía para calefacción y refrigeración
4. Provisión de energía renovable
5. Provisión de materiales de construcción menos intensivos en energía
6. Producción de alimentos próximos a los centros de consumo

Servicios Ambientales de Adaptación

1. Mitigación del efecto de islas de calor en las ciudades
2. Almacenamiento de agua en el subsuelo, lo que reduce el escurrimiento superficial y el riesgo de inundación
3. Reducción de la erosión del suelo

4. Fortalecimiento de la resistencia de los ecosistemas al cambio climático
5. Control de desbordes de ríos

La Infraestructura Verde se presenta como una herramienta invaluable en la lucha contra el cambio climático. Al comprender y aprovechar sus múltiples servicios ambientales, podemos construir un futuro más verde, resiliente y sostenible para todos (fig. 3).

2.1 Beneficios de los Techos Verdes

Los Techos Verdes son conocidos por los beneficios que aportan y los servicios ambientales que ofrecen a dos escalas distintas simultáneamente: a escala doméstica-en el inmueble que lo alberga, o a escala urbana-como elemento potencial de la infraestructura verde urbana (fig. 4).

Por ejemplo, a escala urbana y en conjunto con otros muchos elementos infraestructurales, el uso de Techos Verdes puede ayudar a reducir el efecto de Isla de calor urbana y la concentración de contaminantes en el aire, así como almacenar agua en el sustrato durante los eventos de lluvia, lo que retrasa la escorrentía en las alcantarillas de la ciudad. A escala doméstica, dado que los techos son la parte de la envolvente que con toda certeza recibe la mayor radiación y son la principal fuente de calor hacia el interior del edificio, se consideran una buena opción reducir la temperatura interior. La vegetación además es un excelente biofiltro en conjunto con el sustrato que se diseñe. (Ávila-Hernández et al., 2023).

La siguiente clasificación organiza los beneficios ambientales de los Techos Verdes, es decir, las ventajas directas que el usuario puede recibir al integrar este sistema en su edificación, con el objetivo de favorecer su difusión.

Beneficios ambientales

Los beneficios ambientales –los cuales se derivan de los servicios ecosistémicos de regulación y de soporte– que esperamos de la implementación de los Techos Verdes son:

- **Reducción del efecto isla de calor.** A través de la evapotranspiración, la vegetación proporciona efectos de enfriamiento, lo que resulta en una pérdida de calor que reduce las temperaturas del aire circundante.
- **Promoción de la biodiversidad.** Proporcionan servicios ecosistémicos importantes para la sostenibilidad urbana, principalmente relacionados con el aumento de la biodiversidad y la naturalización de las ciudades. Plantar una variedad diversa de especies vegetales en los Techos Verdes puede contribuir y mejorar la biodiversidad al proporcionar nuevos hábitats urbanos para especies de invertebrados y aves.
- **Mejora de la calidad del aire.** Los Techos Verdes contribuyen a la deposición de contaminantes atmosféricos en áreas verdes, reduciendo así sus concentraciones y purificando el aire, principalmente la concentración de dióxido de carbono (CO₂) debido al menor consumo de energía del edificio a través de la evapotranspiración y también porque la vegetación absorbe cantidades significativas de CO₂ mediante la fotosíntesis.
- **Retención de agua de lluvia y reducción de inundaciones.** Los Techos Verdes vegetados presentan un efecto regulador significativo en el volumen de agua de escorrentía, contribuyendo a la mitigación de inundaciones pluviales, así como a la mejora de la calidad del agua de escorrentía y a la reducción de la presencia de contaminantes en el agua de lluvia urbana, ya que las plantas y

el sustrato del suelo absorben y filtran los contaminantes, actuando como sumideros de nitrato y nitrógeno amoniacal.

Beneficios sociales

Los beneficios sociales, –derivados de los servicios ecosistémicos culturales– que se esperan de la implementación de los Techos Verdes son:

- **Salud y calidad de vida.** Mejoran el nivel de salud de los residentes urbanos al proporcionar servicios ecosistémicos y promover el contacto con la naturaleza. Este contacto tiene efectos restauradores positivos en la salud mental y el bienestar, y también puede ayudar a la reducción del estrés y la ansiedad y la mejora del estado de ánimo y la atención.
- **Mejoras estéticas e incremento del valor de la propiedad.** Los Techos Verdes pueden hacer que un edificio sea más atractivo y ofrecer oportunidades para cultivo de alimentos, recreación, relajación o emprendimientos comerciales.
- **Educación ambiental.** Los Techos Verdes fomentan la educación ambiental al mostrar ejemplos de prácticas sostenibles en entornos urbanos, promoviendo la biodiversidad, la conservación del agua y la reducción de la contaminación.

Beneficios económicos

Los beneficios económicos que aportan los Techos Verdes, se pueden identificar en relación a la edificación que la recibe, y también en relación al contexto inmediato en donde se inserte. Tienen que ver con el énfasis y atención que pongamos en la selección de los componentes del sistema, lo cual impactará en la duración del mismo, en la calidad de los efectos de aislamiento térmico y acústico, en el aumento del

Los servicios ambientales o ecosistémicos son funciones que desempeñan los ecosistemas naturales (funciones esenciales para la vida en la Tierra y el bienestar humano).

*Los Techos Verdes
presentan un efecto regulador
significativo en el volumen
de agua de escorrentía,
contribuyendo a la mitigación
de inundaciones pluviales.*

valor del inmueble, etc. Aquí se presenta una lista con los beneficios económicos más conocidos.

- **Protección de la capa impermeabilizante.** Los Techos Verdes pueden prolongar la vida útil de un techo convencional, protegiendo la capa impermeabilizante de los rayos solares y añadiendo materiales aislantes (vegetación, sustrato y otras capas) para evitar fluctuaciones de temperatura en la superficie del techo.
- **Eficiencia energética.** El aislamiento térmico que proporcionan los Techos Verdes contribuye con la reducción de las fluctuaciones de calor internas y externas de los edificios. Beneficia al confort térmico durante todo el año al evitar la ganancia de calor del exterior hacia el interior en verano, y la pérdida de calor desde el interior hacia el exterior en invierno, disminuyendo el consumo de energía necesario para el acondicionamiento del edificio.
- **Retardante de fuego.** En comparación con los techos convencionales, un Techo Verde puede retardar significativamente la propagación del fuego en un edificio, se añaden cortafuegos, que consisten en franjas no vegetales, adoquines de piedra o baldosas, alrededor de las aberturas de los techos. Se recomiendan las plantas con alta capacidad para retener agua y disminuir el riesgo.
- **Reducción de ruido.** Los Techos Verdes pueden disminuir el nivel de ruido cerca o dentro de un edificio al reducir el impacto de las ondas sonoras difractadas sobre el techo y al minimizar la transmisión del sonido a través de la estructura del techo. (Van-Renterghem, 2008)
- **Ahorro en el impuesto de predial.** El contar con un Techo Verde en algunas regiones del país, se puede obtener descuentos en el pago

del impuesto del predial. Revisar para este punto términos y condiciones según aplique. En el municipio de Mérida actualmente hay un programa de estímulo para incentivar el uso de Techos Verdes en uso de suelo habitacional. (G.M. 22/12/2023, 2023)

- **Aumento y/o compensación del área permeable en un proyecto arquitectónico.** En el municipio de Mérida se puede distribuir el área ajardinada mínima en un 50% mediante el uso de azoteas y muros verdes naturales. (G.M. 05/01/2018, 2018)

Figura 4

Los Techos Verdes son una oportunidad para ampliar y conectar los Beneficios Ambientales de la Infraestructura Verde Urbana a escala doméstica.

Elaboración: María Suter.





Foto: Sofía Fregoso

Especificaciones técnicas de proyecto y ejecución para Techos Verdes

3

Este capítulo está basado en la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2017, que establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación en el Distrito Federal (hoy Ciudad de México) pretende facilitar y agilizar su comprensión, además de aportar algunos elementos para adaptar proyectos de Techos Verdes al entorno bioclimático de la Península de Yucatán. (Gaceta CDMX, 17/09/ 2018, 2018)

Para cumplir con los estándares de calidad y seguridad en un Techo Verde, es necesario apegarse a las siguientes directrices durante las etapas de diseño y ejecución. Estas directrices deben ser gestionadas y supervisadas por el encargado del proyecto y el responsable de la construcción de un Techo Verde, asegurando así su correcta implementación.

Tabla 1. Carga adicional de acuerdo al tipo de naturación

Tipo de sistema de naturación	Carga por m ²
Extensiva	110-200 kg/m ²
Semi-intensiva	> 200 kg/m ² y hasta 350 kg/m ²
Intensiva	> 350 kg/m ²

Fuente. (Gaceta CDMX, 17/09/2018, 2018)

Nota. Los valores indicados corresponden al peso propio del Techo Verde en estado saturado (a capacidad máxima de agua) y por ningún motivo podrán considerarse para el cálculo estructural los pesos de un Techo Verde en seco. Los Techos Verdes deberán tener un peso máximo en estado saturado que sea menor o igual al considerado por el DRO para el cálculo y/o evaluación estructural. En caso de que la edificación no pueda soportar la carga adicional del Techo Verde, deberán realizarse los trabajos de refuerzo estructural necesarios conforme a lo estipulado en el Reglamento de Construcciones y las Normas Técnicas complementarias vigentes en el Municipio. La cubierta deberá contar con pretilos de por lo menos 20 cm en toda la periferia para contener el sistema. En caso de no tener pretilos, deberán construirse antes de iniciar los trabajos de construcción del Techo Verde.

3.1 Requerimientos mínimos a satisfacer

Los siguientes cuatro puntos, son los mínimos requerimientos a tomar en cuenta antes incluso de tomar cualquier decisión de diseño. Si el inmueble que albergará el Techo Verde incumple alguno de estos puntos, ello impactará a mediano plazo en la seguridad del inmueble.

Los Techos Verdes y sus elementos constituyentes deberán satisfacer por lo menos los requerimientos siguientes:

- 1. Estabilidad y resistencia mecánica.** El Techo Verde y sus componentes deben ser estables y capaces de resistir las cargas previstas en el cálculo estructural de acuerdo con las regulaciones locales. Se debe garantizar el correcto comportamiento estático y estructural de la edificación en su totalidad.
- 2. Impermeabilidad.** Los Techos Verdes deben impedir el paso del agua al interior de la edificación protegiéndola de los agentes climáticos previsibles garantizando la evacuación total del agua excedente, una vez alcanzado el estado de saturación del sistema.
- 3. Resistencia a la acción de las raíces sobre la estructura.** La naturación debe usar materiales adecuados para evitar que las raíces penetren la membrana impermeabilizante y causen daños a la estructura de la edificación.
- 4. Seguridad civil en maniobras.** El Techo Verde debe diseñarse con acceso para mantenimiento, inspección y reparación de la superficie y las instalaciones. Además, debe contar con medidas de seguridad para el personal que realiza estas tareas.

Requerimientos previos en edificaciones existentes

En el caso de edificaciones existentes será necesario, en primer lugar, realizar un análisis y evaluación estructural, el cual deberá ser presentado junto con la solicitud de permiso de construcción como modificación al proyecto, observando lo previsto en el Reglamento de Construcciones del Estado y sus Normas Técnicas Complementarias.

Para efectos del cálculo estructural, el peso del Techo Verde será considerado como una carga muerta y el valor a tomar deberá corresponder con el indicado en la tabla 1.

Asimismo, deberá verificarse que los desagües y/o bajadas de aguas funcionen correctamente y tengan la capacidad suficiente para desalojar toda el agua de las precipitaciones sobre la cubierta; en caso de encontrar alguna anomalía o insuficiencia deberán tomarse las medidas correctivas correspondientes.

Requerimientos previos en edificaciones nuevas

Los requerimientos previos para instalar un Techo Verde en una edificación nueva en relación a la seguridad estructural son semejantes a las edificaciones existentes. No obstante, existe una gran ventaja y es que se pueden controlar todos los componentes y el cálculo estructural se hará de inicio contemplando la carga muerta mencionada en la tabla 1.

3.2 Estática y seguridad estructural

Deberán considerarse las cargas de uso cuando el elemento naturado sea transitable, así como las cargas vivas, muertas, transitorias y accidentales de acuerdo

Notas importantes

Respecto a la carga máxima admisible

- Por ningún motivo se podrá rebasar la carga máxima admisible obtenida en el cálculo estructural o en la evaluación estructural de una edificación para un elemento determinado que se desee naturar. Tomar en cuenta los parámetros de diseños estructural en el Reglamento de Construcciones del Municipio de Mérida. (Ayuntamiento de Mérida, 2018).

Para Techos Verdes en edificaciones existentes

- En todos los casos la cubierta deberá contar con rebosaderos con una altura de 5 cm, por arriba del nivel de sustrato.
- Se debe preparar la superficie a naturar de modo que los equipos y las instalaciones que se encuentren sobre la cubierta, no obstaculicen los trabajos; especialmente los de impermeabilización.
- La cubierta deberá contar con chaflanes a 45° de por lo menos 8 cm de altura en todos los puntos de encuentro con elementos verticales.
- En caso de que no se tengan los chaflanes, se deberá proceder a construirlos antes de iniciar los trabajos de naturación.

Para Techos Verdes en edificaciones nuevas

- En edificaciones nuevas se debe incluir el peso del Techo Verde en estado saturado para el cálculo y diseño estructural de las mismas.
- La cubierta a naturar deberá tener una pendiente mínima de 2 %. También deberá contar con pretilas de por lo menos 20 cm y chaflanes a 45° de por lo menos 8 cm de altura en puntos de encuentro con elementos verticales. Las instalaciones que se encuentran en la cubierta deberán estar separadas de la misma por lo menos 40 cm o estar ubicadas a una altura por encima del sustrato para facilitar la colocación del impermeabilizante.
- Por su parte los equipos que se encuentren sobre la cubierta de la edificación tales como tinacos, tanques de gas, etc. deberán colocarse en bases a una altura de por lo menos 15 cm sobre el nivel del sustrato.
- Los desagües y bajadas de agua deberán ser dimensionados y calculados según lo establecido en el Reglamento de Construcciones y sus Normas Técnicas vigentes en el Municipio.
- En todos los casos la cubierta deberá contar con rebosaderos con una altura de 5 cm, por arriba del nivel de sustrato.

Respecto a la seguridad estructural en un Techo Verde

- Para la construcción de un Techo Verde, la carga máxima permitida en un elemento constructivo será aquella determinada en el cálculo estructural de la edificación de acuerdo con lo indicado en el Reglamento de Construcciones y las Normas Técnicas vigentes en el Municipio.
- En estructuras o edificaciones existentes no se podrá sobrepasar la carga máxima permitida, según se estipule en el cálculo estructural del elemento constructivo que se pretenda naturar.
- En estructuras o edificaciones nuevas, se deberá incluir la carga adicional del Techo Verde en estado saturado para la realización del cálculo estructural de la edificación de acuerdo con lo indicado en el Reglamento de Construcciones y sus Normas Técnicas vigentes en el Municipio.
- Deberá considerarse el peso propio de un Techo Verde en estado saturado considerándolo como una carga muerta con los valores que se muestran en la tabla 1 del apartado anterior.

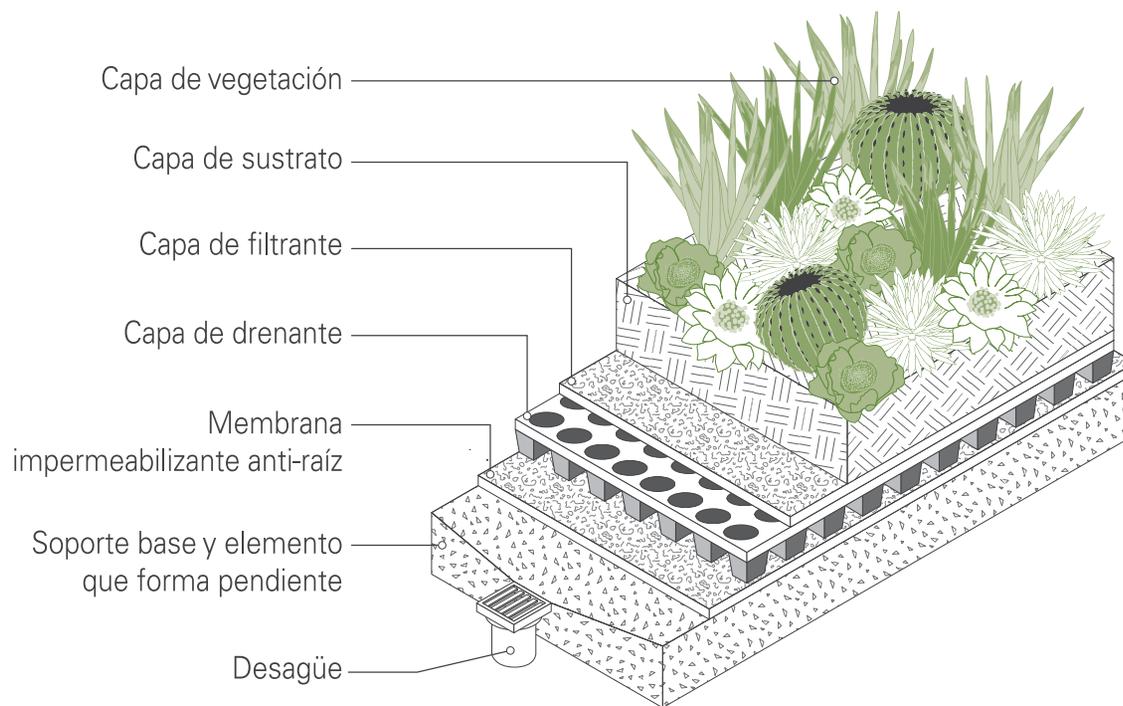


Figura 5

Detalle de componentes básicos de una azotea naturalizada.

Elaboración propia.

Tabla 2. Parámetros generales para cada tipo de naturación

Parámetros del sistema de naturación	Altura del crecimiento de plantas	Diámetro de la copa	Espesor del sustrato	Carga adicional	Tipo de vegetación (*)
Extensiva	5 – 50 cm	No aplica	Hasta 18 cm	110- 200 kg/m ²	Suculentas
Semi-intensiva	5 – 100 cm	No aplica	Hasta 30 cm	> 200 kg/cm ² y hasta 350 kg/m ²	Suculentas, pastos y arbustos
Intensiva	5 – 400 cm	300 cm máximo	> 40 cm	> 350 kg/cm ²	Suculentas, pastos, arbustos y árboles

Fuente. (Gaceta CDMX, 17/09/ 2018, 2018)

* Se sugieren otras especies adecuadas para la región en el capítulo 4.

a lo estipulado en el Reglamento de Construcciones y las Normas Técnicas vigentes en el Municipio, así como tomar muy en cuenta ciertos aspectos en el proceso de diseño.

3.3 Parámetros para cada tipo de Techo Verde

Un Techo Verde deberá ajustarse a alguno de los parámetros siguientes según el tipo de naturación que se desee construir (extensiva, semi-intensiva o intensiva). Ver tabla 2.

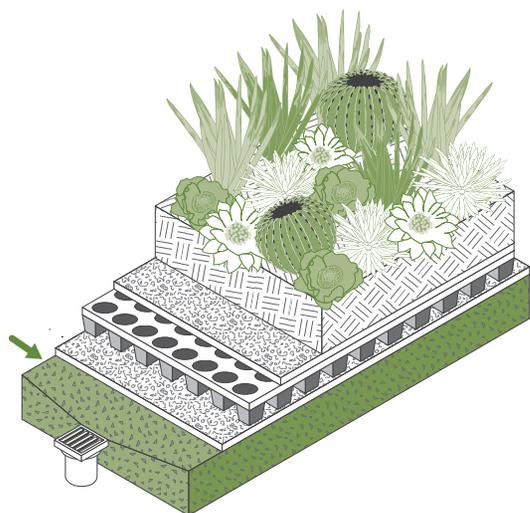
3.4 Componentes básicos de un Techo Verde

Un Techo Verde está compuesto por siete componentes básicos (fig. 5) en el orden del proceso constructivo, desde el soporte estructural como elemento base hasta la capa de vegetación. Es importante destacar que los desagües están intrínsecamente relacionados con el elemento de soporte o base estructural. Es en esta base estructural donde se incorpora el elemento que proporcionará pendiente a la azotea para facilitar el drenaje del agua de lluvia que el sustrato no pueda retener. Este gráfico fue elaborado con referencia a la NADF-013-RNAT-2017. (Gaceta CDMX, 17/09/ 2018, 2018)

Además de los componentes esenciales, existen numerosos componentes opcionales que se utilizan para hacer más habitables los Techos Verdes. La selección de estos componentes depende del alcance del proyecto, de las limitaciones estructurales de la edificación y, en muchas ocasiones, del presupuesto asignado.

En las siguientes páginas encontraremos especificaciones técnicas y detalles constructivos elaborados con base en la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2017. (Gaceta CDMX, 17/09/ 2018, 2018)

3.4.1 Soporte estructural y/o soporte base



Nos referimos al soporte estructural o soporte base del edificio a aquel componente donde se asentará el Techo Verde, y el cual deberá tener la pendiente e impermeabilización adecuadas. En ocasiones, el elemento de soporte estructural puede integrar impermeabilizante integral y algún sistema anti-raíz en su mezcla, para lo cual se recomienda revisar las fichas técnicas de dichos productos, contar con un dictamen técnico de su eficacia y asegurarse de que cumple con las expectativas que tenemos de la durabilidad del sistema.

- **Materiales del soporte base**

La estructura de soporte puede estar compuesta por diversos materiales y combinaciones de ellos, como arcilla expandida, concreto armado, concreto celular, elementos prefabricados, mortero de partículas ligeras, mortero de cemento, placas aislantes térmicas, madera y láminas de cubierta prefabricadas. Los procedimientos constructivos y las características de los materiales deben cumplir con lo estipulado en las

normativas y regulaciones vigentes en cada Estado de la República Mexicana. Para Yucatán el Reglamento de Construcciones del Municipio de Mérida (Ayuntamiento de Mérida, 2018) y sus Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción vigentes.

- **Pendientes de la azotea**

El soporte base de los Techos Verdes debe tener una pendiente mínima del 2 %. Para cubiertas inclinadas con pendiente entre el 36 % y el 58 %, se requieren protecciones contra deslizamientos, elegidas por el responsable del proyecto y la construcción (ver tabla 3).

Estas pueden incluir láminas con receptáculos, mallas tridimensionales, tableros o vigas perpendiculares a la pendiente, y tirantes horizontales entre la capa de sustrato. Para pendientes superiores al 58 %, se deben tomar medidas adicionales para garantizar la estabilidad, como anclajes y análisis estáticos. Se recomienda el uso de sustratos mono capa para pendientes superiores al 5 % y es obligatorio para pendientes superiores al 10 % para evitar deslizamientos. De acuerdo con la NADF-013-RNAT-2017. (Gaceta CDMX, 17/09/ 2018, 2018)

- **Dispositivos para desagüe**

El desagüe de las aguas en Techos Verdes se realiza mediante la capa drenante, la pendiente, los sumideros y las bajadas de agua o desagües. Estos elementos deben asegurar la evacuación completa del agua excedente para evitar su acumulación en la cubierta. Los sumideros deben incluir dispositivos como rejillas o alcachofas para retener los sólidos que puedan obstruir las bajadas de agua, y deben estar ubicados en lugares accesibles para inspección y mantenimiento (ver fig. 6). Los rebosaderos, como medida de seguridad, son indispensables y deben ser considerados como requisitos previos.

Tabla 3. Equivalencias para pendientes de porcentajes a grados

%	grados	%	grados
2 %	1.15 °	50 %	26.57°
5 %	2.86°	55 %	28.81°
10 %	5.71°	60 %	30.96°
15 %	8.53°	65 %	33.02°
20 %	11.31°	70 %	34.99°
25 %	14.04°	75 %	36.87°
30 %	16.70°	80 %	38.66°
35 %	19.29°	85 %	40.36°
40 %	21.80°	90 %	41.99°
45 %	24.23°	95 %	43.53°

Consideraciones respecto al número de bajantes de agua pluvial en azoteas.

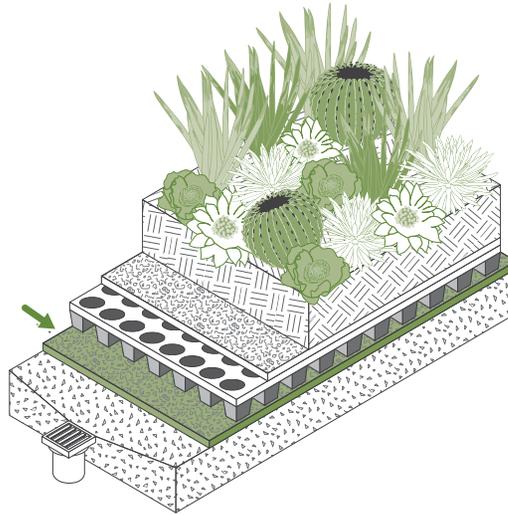
- El Reglamento de Construcciones del Municipio de Mérida menciona las provisiones para el desalojo de las aguas pluviales en su capítulo XXVII pero no establece un número mínimo de bajantes pluviales. (Ayuntamiento de Mérida, 2018)
- La recomendación para un Techo Verde es que el número de bajantes debe ser al menos el doble determinado por las normas correspondientes. Por recomendación de la Asociación Mexicana de Naturación de Azoteas se debe colocar una bajante pluvial con un diámetro mínimo de 4" por cada 45 m² de azotea. Las bajantes deben contar con la capacidad suficiente de desalojo de agua bajo las condiciones climáticas normales y extremas del lugar. (AMENA, 2010)



Figura 6

Dispositivos típicos para el drenaje de azotea.
Imágenes tomadas de <https://helvex.com>

3.4.2 Membrana impermeabilizante anti-raíz



La impermeabilización es crucial para proteger la estructura de un edificio, prolongar su vida útil y crear un ambiente interior saludable y cómodo. Al seleccionar un sistema de impermeabilización para un Techo Verde, es fundamental tener en cuenta su peso significativo, compuesto principalmente por materia orgánica y agua. Por ello, es esencial utilizar una membrana impermeable diseñada para resistir la presión hidrostática¹ durante un tiempo determinado. Dada la diversidad de materiales disponibles, desde aditivos hasta sistemas prefabricados, es vital elegir uno que no solo cumpla su función principal, sino que también se integre efectivamente con el Techo Verde. La membrana impermeabilizante anti-raíz se coloca directamente sobre el sistema estructural siguiendo

¹ La presión hidrostática es la presión ejercida por un líquido en reposo debido a la fuerza de la gravedad. Esta presión aumenta con la profundidad del líquido y depende de la densidad del fluido y de la aceleración debida a la gravedad.

las especificaciones de la ficha técnica del producto seleccionado.

Al seleccionar un sistema de impermeabilización, se deben considerar cuidadosamente ciertos aspectos. A continuación, enumeramos las características que un instalador debe buscar en el producto seleccionado:

- Estabilidad dimensional
- Migración de plastificantes menor al 1 % en volumen
- Resistencia a la perforación por raíces
- Resistencia a la tensión y tracción por movimientos estructurales
- Resistencia a los microorganismos
- Resistencia a la punción.
- Resistencia al choque térmico y variaciones de temperatura ambiental

Las anteriores características deberán verificarse en la ficha técnica del producto en cuestión.

La membrana impermeabilizante puede servir como protección anti-raíz en sistemas de Techos Verdes. La resistencia antirraíces evita la penetración de raíces y el desarrollo de microorganismos en su superficie mediante una barrera física o química. Esta propiedad es esencial y debe ser certificada por un organismo competente, especialmente en membranas que no la poseen por sí mismas.

En las tablas 4 y 5 se presentan los materiales predominantes como impermeabilizantes en Techos Verdes, junto con aquellos que también funcionan como protección contra raíces.

Tabla 4. Resumen de los sistemas impermeabilizantes utilizados en azoteas

Material base	Principales representantes	Método de aplicación	Sistemas típicos de aplicación	Pros	Contras	¿Requiere protección anti-raíz?
Plástico	PVC (cloruro de polivinilo)	Soplete de aire caliente	Flotante	No requiere protección contra la penetración de raíces.	Escaso número de fabricantes. Contiene plastificantes.	No requiere protección contra la penetración de raíces. Membrana de 80 milésimas (2.03 mm) de espesor reforzada.
Caucho	EPDM (etileno propileno dieno monómero)	Adhesión	Integral	Amplia ventana de instalación. Lienzos anchos y menor cantidad de juntas.	Las juntas no cumplen con el estándar FLL. Pobre resistencia al daño físico: membranas delgadas sin refuerzo.	No requiere protección contra la penetración de raíces. Membrana de 60 milésimas (1.25 mm) de espesor mínimo y reforzada. Requiere de refuerzo en los traslapes.
TPO	TPO (poliolefina termoplástica; mezcla de caucho y plástico)	Soplete de aire caliente	Flotante	No requiere protección contra la penetración de raíces. No contiene plastificantes.	Escaso número de fabricantes con experiencia probada.	No requiere protección contra la penetración de raíces. Tiene traslapes reforzados.
Asfalto	SBS (estireno butadieno estireno) APP (polipropileno atáctico)	Soplete de flama abierta	Integral	Buena resistencia al tránsito. Alta resistencia de las juntas. Alta resistencia al punzado. Con certificación no requiere protección contra la penetración de raíces.	Requiere protección contra la penetración de raíces. Uso de flama abierta.	Sí requiere protección antiraíces. Con certificación no requiere protección contra la penetración de raíces. Los traslapes deben ser de 10 cm.
Poliuretano	Espuma de Poliuretano	Apersión	Integral	Sin juntas. Alta resistencia a la humedad.	Requiere equipo especial. Uniformidad de la capa. La calidad depende de la mano de obra. Requiere protección antiraíces.	Sí requiere protección antiraíces. El espesor (en seco) mínimo es de 60 milésimas (1.52 mm).

Fuente. (AMENA, 2010)

Los siguientes son **tipos de materiales usados en la construcción de membranas impermeabilizantes**, ordenados de mayor a menor huella de carbono².

Con base en la Asociación Mexicana de Naturación de Azoteas. (AMENA, 2010, pág. 21), se hace una descripción general de estos. El material presentado puede servir de orientación preliminar, y no sustituye la

² La huella de carbono es una medida que evalúa la cantidad total de gases de efecto invernadero, expresada en equivalentes de dióxido de carbono (CO₂e), liberados durante el ciclo de vida de un producto o proceso. Esta medida incluye las emisiones de gases de efecto invernadero desde la extracción de materias primas, la producción, el transporte, el uso y hasta el final de su vida útil.

necesaria revisión de las fichas técnicas del producto para conocer a fondo sus características.

Tabla 5. Materiales que funcionan como protección anti-raíz

Material	Condiciones mínimas de aplicación	Observaciones
Polietileno de alta densidad (HDPE)	20 milésimas (0.51 cm) de espesor mínimo. Las juntas deberán ser termofusionadas.	La instalación requiere condiciones de humedad ambiental relativa mínima.
Polietileno	20 milésimas (0.51 cm) de espesor mínimo y traslapes sin soldar de 1.5 m o traslapes soldados de 30 cm mínimo.	

Fuente. (AMENA, 2010)

1. Cloruro de polivinilo (PVC)

El PVC es un polímero sintético termoplástico fabricado en formas rígidas o flexibles con plastificantes y estabilizadores. Se produce en láminas de 1.9 a 3.0 m de ancho y un espesor de 1.02 a 2.29 mm, con longitudes de hasta 30 m. Las membranas gruesas, de al menos 2.03 mm, son ideales para Techos Verdes y deben adherirse completamente sin fijaciones mecánicas. Resiste altos niveles de pH, microorganismos, algas y penetración de raíces. Se instala sobre concreto, acero o madera, con traslapes mínimos de 76 mm y tapajuntas de 100 mm, fusionados con calor o adhesivos químicos.

2. Asfalto modificado

El asfalto es utilizado en pavimentos y su desempeño óptimo se encuentra en un rango de temperatura entre 10°C y 60°C. Fuera de este rango, puede volverse demasiado blando o rígido, lo que puede causar fallas en el pavimento. Se emplean aditivos poliméricos, como el estireno-butadieno-estireno (SBS) y el polipropileno atáctico (APP), para mejorar su flexibilidad en diferentes condiciones climáticas. Las membranas de asfalto modificado, utilizadas en Europa por más de 100 años, están compuestas por asfalto, polímeros modificadores y aditivos, y se presentan en rollos de diferentes tamaños. Estas membranas pueden instalarse en una, dos o tres capas, con acabados de arena o gravilla para adaptarse a diferentes niveles de tráfico y condiciones climáticas.

3. Poliuretano

Las membranas impermeables aplicadas en frío, como el poliuretano, han ganado popularidad en la última década. Además del poliuretano,

existen otras tecnologías, como las membranas de dos componentes a base de látex y caucho vulcanizado. Los productos de un solo componente se aplican con un espesor en húmedo que se reduce al secarse, mientras que los de dos componentes mantienen el mismo espesor. Requieren mezclado en el sitio y tienen un tiempo limitado de uso tras la mezcla. Se aplican en espesores de 1.52 a 3.05 mm, que se reducen al secarse. Todos los sistemas anti-raíz deben protegerse contra los rayos UV en toda la superficie, incluidas las áreas expuestas y las uniones.

4. Etileno propileno dieno monómero (EPDM)

El EPDM se fabrica laminando dos capas de elastómeros sintéticos, sin o con refuerzo, en una autoclave para vulcanizarlas. Al igual que el TPO, no es compatible con productos derivados del petróleo. Las láminas reforzadas, ideales para Techos Verdes, tienen 3 m de ancho y 30 m de largo, con espesores de 45 a 90 milésimas (1.14 a 2.27 mm). Pueden tener un lienzo en la parte posterior para instalarse con uretano, adhesivos a base de agua o asfalto modificado. Se recomienda un espesor mínimo de 1.55 mm con refuerzo y adhesión integral, sin fijaciones mecánicas. Las juntas deben traslaparse al menos 100 mm y cubrirse con tiras adicionales.

5. Poliolefina termoplástica (TPO)

El TPO es un material relativamente nuevo. Al inicio de los 80 del siglo pasado, la industria automotriz comenzó a utilizarlo para reemplazar el pvc de diferentes piezas y accesorios. En los 90 se inició su uso en azoteas, y desde hace diez años se aplica en Techos Verdes. El tpo está disponible en anchos de hasta 3.7 m, en espesores de 1.14 a 2.03 mm y puede ser reforzado con poliéster, en cuyo caso deberá contar con al menos un espesor de polímero de 20 milésimas por arriba del refuerzo. Idealmente, la membrana

para Techos Verdes debería tener un mínimo de 1.52 mm de espesor, por ser reforzada e ir adherida a toda la superficie (integral), así como llevar refuerzo en todas las juntas.

Si decidimos que seleccionaremos una membrana impermeabilizante anti-raíz para un Techo Verde, el producto deberá cumplir con las siguientes condiciones:

- Estabilidad dimensional
- Migración de plastificantes menor al 1% en volumen
- Resistencia a la perforación por raíces
- Resistencia a la tensión y tracción de los movimientos estructurales
- Resistencia a microorganismos
- Resistencia al choque térmico y variaciones de temperatura ambiental
- Resistencia al punzonamiento

De acuerdo con la NADF-013-RNAT-2017. (Gaceta CDMX, 17/09/ 2018, 2018), el proceso de impermeabilización en Techos Verdes demanda cuidado especial.

Las membranas deben ser certificadas como resistentes a las raíces y protegidas contra rayos UV. Un eficiente impermeabilizante prefabricado sería el de bitumen modificado con polímero SBS, soldable con soplete y con espesor mínimo de 4 mm y refuerzo de poliéster de al menos 180 g/m².

Para otros materiales como PVC o Hypalon, el espesor mínimo sería de 1.2 mm, con resistencia al punzonamiento. Previamente a la instalación, se deben

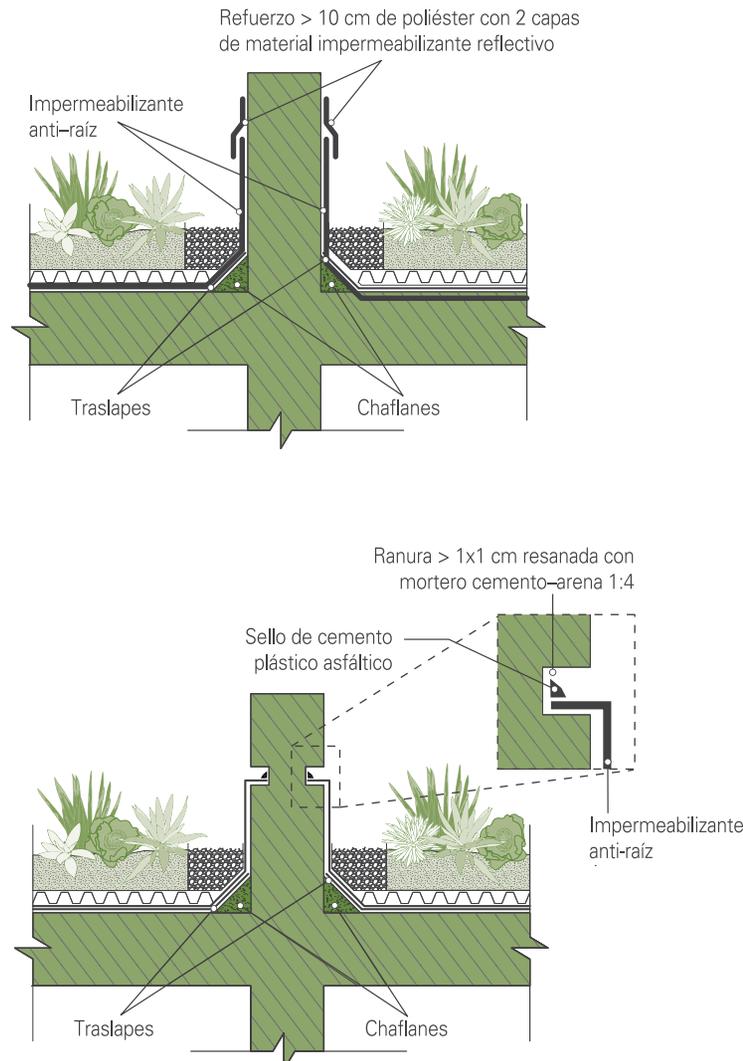


Figura 7

Impermeabilización con membrana prefabricada asfáltica, en puntos de encuentro con elementos emergentes intermedios (los sellos deberán ser de materiales impermeables como el silicón o poliuretano).

Fuente. (Gaceta CDMX, 17/09/ 2018, 2018)

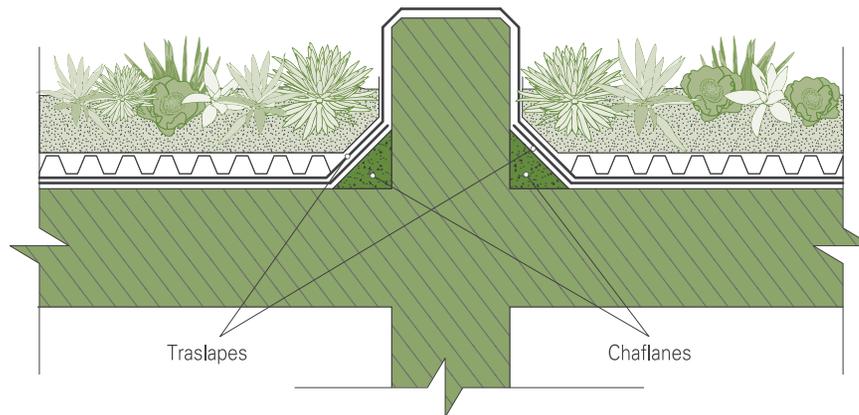


Figura 8

Impermeabilización en puntos de encuentro con elementos emergentes intermedios por debajo del nivel del sustrato o de altura menor a 10 cm sobre el nivel del mismo.

Fuente. (Gaceta CDMX, 17/09/ 2018, 2018)

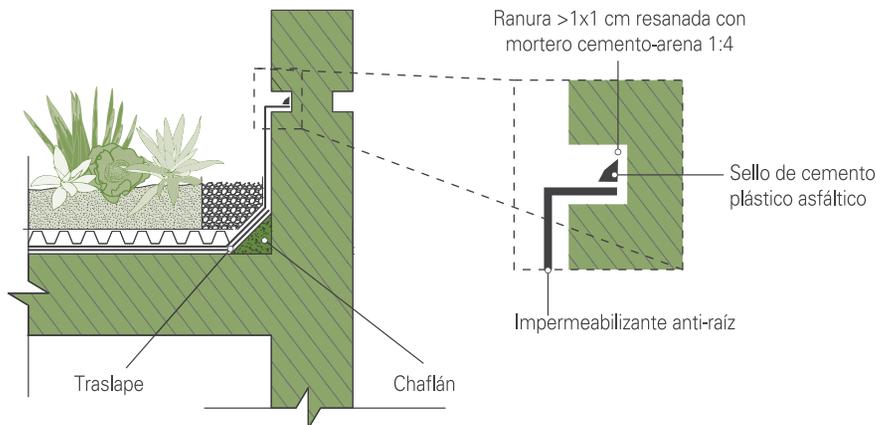


Figura 9

Impermeabilización con membrana prefabricada asfáltica en puntos de encuentro con pretilas y elementos emergentes perimetrales.

Fuente. (Gaceta CDMX, 17/09/ 2018, 2018)

preparar las juntas y puntos de penetración para asegurar un sellado completo.

Los elementos emergentes deben tener un chaflán o bisel de 45 grados y altura mínima de 8 cm. La membrana debe cubrir al menos 10 cm por encima de la protección pesada de la cubierta o capa de sustrato, garantizando así una adecuada protección y evacuación del agua.

Asimismo, deberá tener un refuerzo con traslape de por lo menos 10 cm sobre el chaflán, y el remate de la impermeabilización deberá de realizarse como se muestra en la fig. 7.

En caso de que la membrana sobresalga menos de 10 cm por encima de la protección pesada de la cubierta o capa de sustrato, se deberá continuar con la impermeabilización cubriendo el elemento emergente intermedio y descendiendo del lado contrario. Ambos lados del elemento emergente deberán tener un chaflán a 45° de por lo menos 8 cm de altura, y la membrana deberá tener un refuerzo con traslape de por lo menos 10 cm sobre los chaflanes (fig 8).

En los puntos de encuentro con pretilas u otro tipo de elementos emergentes perimetrales, éstos deberán contar con un chaflán a 45° y de al menos 8 cm de altura. La membrana impermeabilizante anti-raíz deberá tener un refuerzo con traslape de por lo menos 10 cm sobre el chaflán y el remate de la impermeabilización deberá de realizarse como se muestra en las figs. 9 y 10.

El tratamiento en puntos de encuentro con tubos y conductos que penetren desde la cubierta hacia el interior de la edificación deberá ser conforme a lo indicado en la fig.11.

En los puntos de encuentro con bajadas de agua, la membrana impermeabilizante anti-raíz deberá contar

con un refuerzo (fig. 12). Tanto el refuerzo como el impermeabilizante deberán cortarse en forma de estrella en todo el diámetro de la sección circular de la bajada de agua, y las pestañas se unirán a la losa de tal forma que se complementen y cubran la totalidad de la sección circular del desnivel de la bajada de agua.

La colocación del impermeabilizante anti-raíz deberá ser continua en toda la superficie, incluidas las áreas bajo equipos existentes.

Estanquidad de la membrana

Antes de proceder con la instalación de las capas adicionales en un Techo Verde para cubiertas, es crucial verificar la estanquidad de la membrana impermeabilizante anti-raíz, la cual consiste en taponar los desagües y aplicar una columna de agua de 10 cm de altura por 48 hr. Cualquier defecto detectado se comunicará por escrito al responsable de la instalación para que tome las medidas correctivas necesarias. En caso de no realizarse estas acciones, se correrá el riesgo de comprometer la efectividad del sistema.

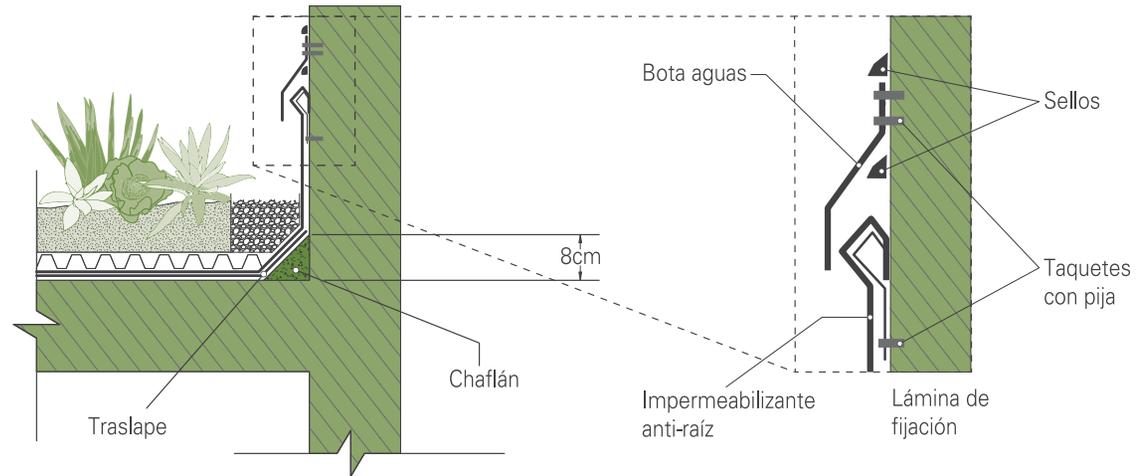
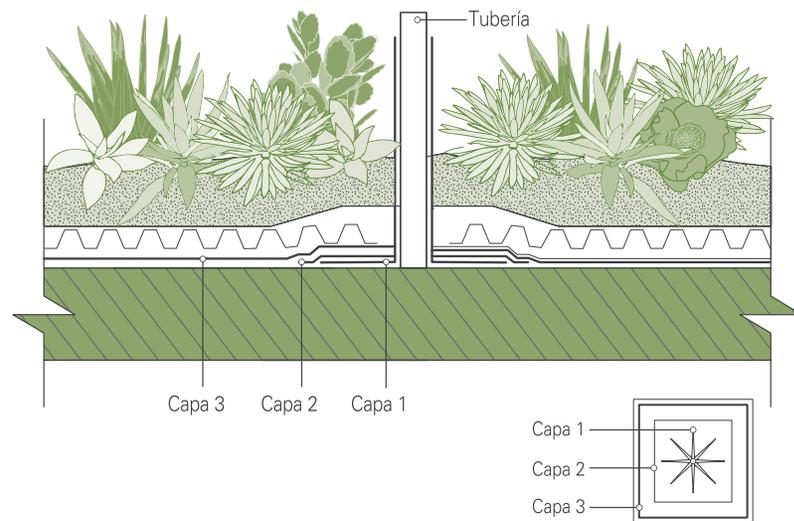


Figura 10

Impermeabilización con láminas de PVC, Hypalon, propileno-etileno o similares en puntos de encuentro con pretilas y elementos emergentes.

Fuente. (Gaceta CDMX, 17/09/ 2018, 2018)



Descripción.

Capa 1. Se debe cortar en forma de estrella cuidando que no se desprendan las pestañas sobrantes; estas pestañas se pegan al tubo de modo que lo forren y la estrella queda unida directamente sobre la losa (ver la vista en planta).

Capa 2. Se corta un cuadro de impermeabilizante anti-raíz de dimensiones suficientes para cubrir la capa 1; se le hace el corte necesario para que pase el tubo y se une a la losa cubriendo la capa 1.

Capa 3. Es la capa de impermeabilizante anti-raíz que cubre toda la superficie de la cubierta, y se debe colocar de modo que rodee la tubería lo más pegado posible y cubra las capas 1 y 2.

Nota: Todas las capas deberán ser del mismo tipo de impermeabilizante anti-raíz.

Figura 11

Impermeabilización y refuerzos en puntos de encuentro con tubos y conductos que penetren desde la cubierta hacia el interior de la edificación.

Fuente. (Gaceta CDMX, 17/09/ 2018, 2018)

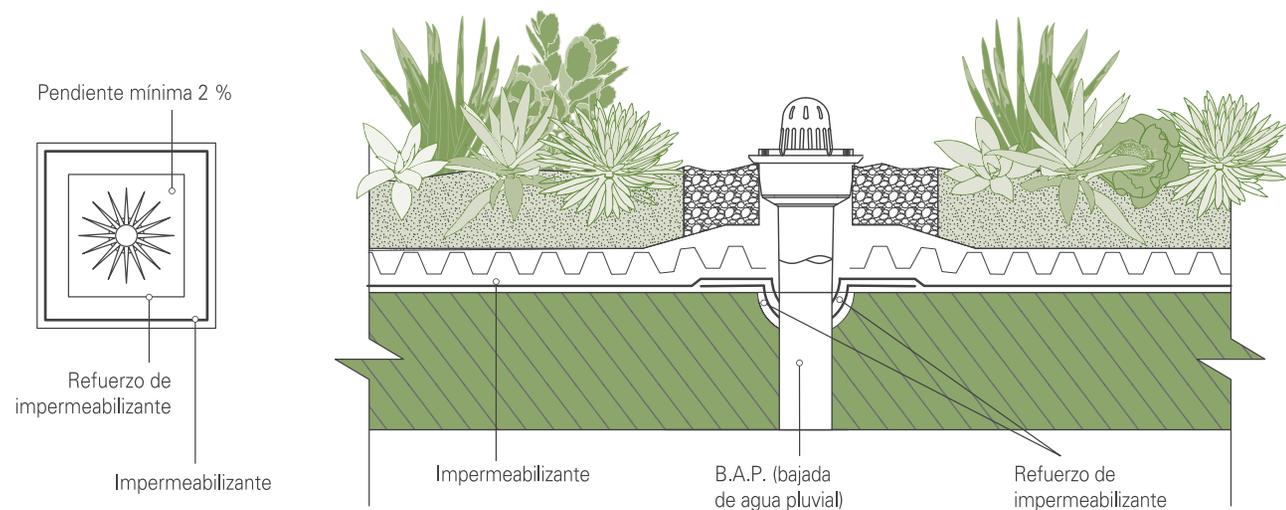
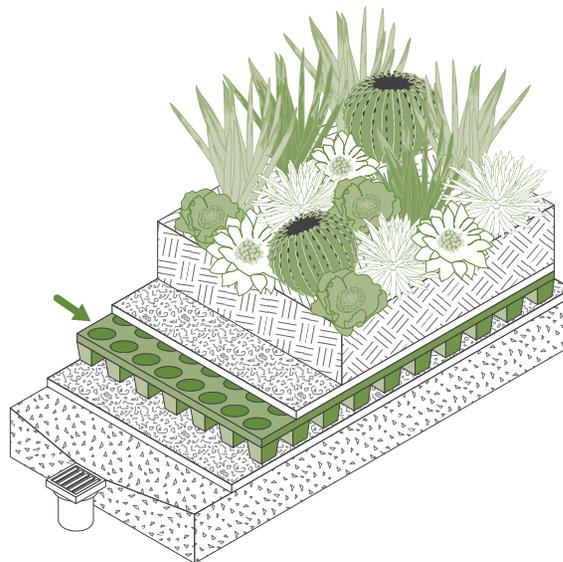


Figura 12

Impermeabilización y refuerzo en puntos de encuentro con bajantes de agua pluvial (BAPs).

Fuente. (Gaceta CDMX, 17/09/ 2018, 2018)

3.4.3 Capa drenante



La capa drenante se coloca entre la membrana impermeabilizante anti-raíz y la capa filtrante. Su función es recibir las precipitaciones excedentes en toda la superficie y conducir las hacia los desagües de la cubierta; además funciona como protección mecánica de la cubierta. Esta capa sirve también como espacio útil para las raíces y puede servir para almacenar agua.

La capa drenante debe seleccionarse de tal manera que pueda desalojar al menos una pluviometría de 2 l/min/m² (300 l/seg/ha), para ello se consideraran el tipo de Techo Verde, la superficie total que cubren los desagües, la pendiente de la cubierta y la pluviometría de la zona.

En los Techos Verdes desprovistos de capa drenante, la capa de sustrato deberá ser suficientemente

permeable al agua y la cubierta deberá tener la inclinación suficiente para permitir el drenado del agua excedente.

Materiales y características para la capa drenante

Para la conformación de la capa drenante se deberá emplear alguno de los siguientes elementos:

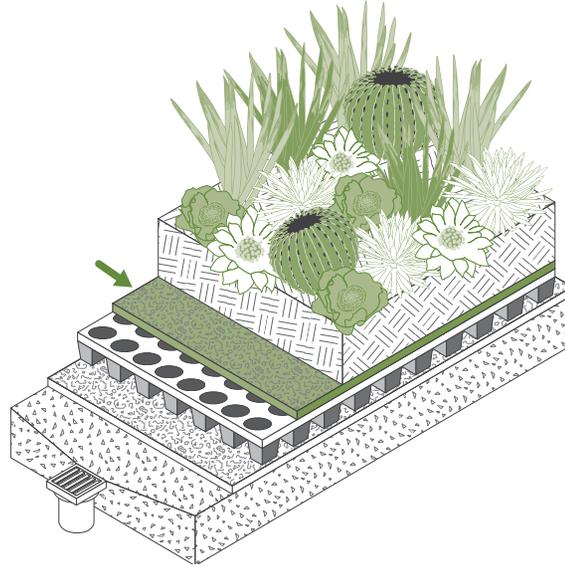
- Láminas de fibras sintéticas, polipropileno.
- Mallas plásticas con lámina filtrante.
- Placas drenantes de fibras textiles recicladas.
- Placas drenantes de polietileno
- Placas drenantes de poliestireno.

O cualquier otro que demuestre cumplir con las características descritas en este apartado.

Para la capa drenante se utilizarán materiales con las características siguientes:

- Inocuo para la vegetación (contenido en sales y en carbonatos solubles).
- Con estructura duradera y estable.
- Estabilidad de forma y función
- Lo más ligeros posibles.
- Química y físicamente estables.

3.4.4 Capa filtrante



En los Techos Verdes para cubiertas que deban llevar capa drenante, se deberá colocar una capa filtrante entre el dren y el sustrato para evitar el paso de las partículas finas de este; las cuales podrían tapan la capa drenante.

Esta capa debe colocarse sobre la superficie total de la capa drenante con un traslape mínimo de 15 cm. La capa filtrante, para efectos de conformación de las distintas áreas, deberá sobresalir mínimo 10 cm por encima de la superficie del sustrato o banda lateral en el borde de la cubierta y en su encuentro con elementos emergentes. Una vez concluidos los trabajos de plantación, deberá recortarse la capa filtrante al nivel del sustrato.

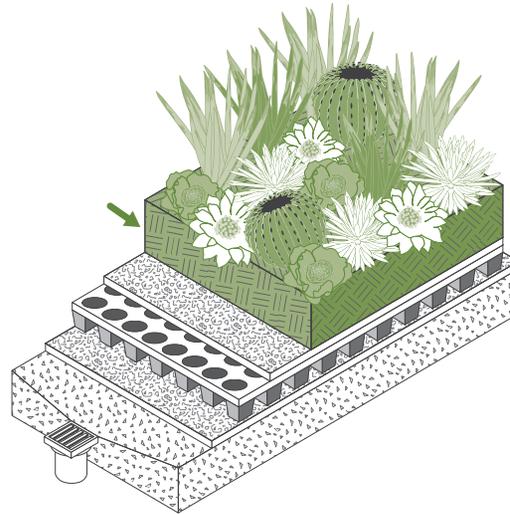
Características de la capa filtrante:

- Compatible con los materiales con que esté en contacto.

- Con permeabilidad al agua 10 veces superior a la del sustrato.
- De estructura duradera, estable e imputrescible.
- Permisible al crecimiento de raíces.
- Resistente a la tensión y compresión.
- Resistente a la intemperie, a microorganismos y a pH elevados.

La capa filtrante deberá ser siempre permeable en ambos sentidos, permitiendo el paso de agua al menos en 2 l/min/m² y tener un peso mínimo de 200 g/m². En los desagües se debe utilizar una capa de menor peso, pero no inferior a los 120 g/m².

3.4.5 Capa de sustrato



La capa de sustrato de los Techos Verdes tiene como función servir de soporte físico a la capa de

vegetación, suministrándole los nutrientes, el agua y el oxígeno necesarios, además es en donde se desarrollan las raíces de las plantas.

El espesor de esta capa está directamente relacionado con las necesidades del volumen radicular de las especies seleccionadas y con las condiciones microclimáticas de la zona, particularmente con la demanda de evapotranspiración, y debe ser de 10 cm como mínimo, excepto para el caso de Techos Verdes muy ligeros.

Materiales y características para la capa de sustrato

Los materiales adecuados para la conformación de la capa de sustrato son.

- Mezcla de partículas minerales con o sin materia orgánica.
- Partículas minerales de estructura porosa (piedra volcánica, piedra pómez, arcilla expandida, etc.).
- Placas de tejidos industriales (lana de roca mineral).

Para mejorar alguna característica de la mezcla de sustrato, se pueden utilizar los siguientes materiales adicionales.

- Acolchados de materia orgánica.
- Fertilizantes orgánicos y minerales de liberación lenta.
- Partículas minerales porosas de alta estabilidad.
- Productos fijadores y retenedores de agua.

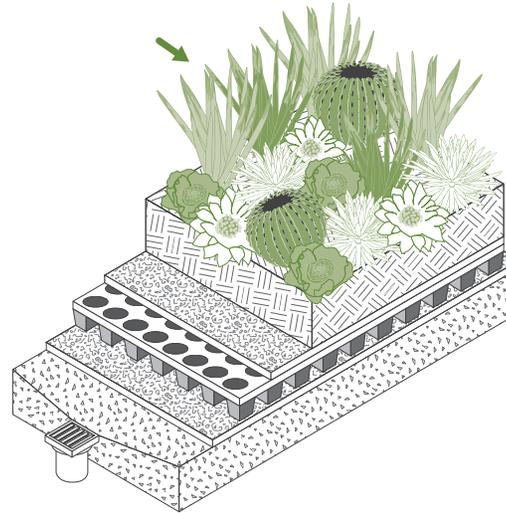
La capa de sustrato deberá proporcionar a la planta el soporte y los nutrientes necesarios, según el sistema y la vegetación seleccionados, considerando para ello las siguientes características de los elementos de la mezcla.

- a. Alcalinidad y salinidad.
- b. Capacidad de intercambio catiónico.
- c. Contenido de material mineral y de materia orgánica de origen natural.
- d. Combustibilidad.
- e. Capacidad de compactación.
- f. Contenido de caliza activa.
- g. Capacidad de rehumectación adecuada (en relación a las necesidades de la vegetación).
- h. Capacidad de retención de agua adecuada (en relación a las necesidades de la vegetación).
- i. Estabilidad de sus propiedades.
- j. Homogeneidad.
- k. Libre de fitotoxicidad residual y de patógenos vegetales.

La capa de sustrato debe ser ligera pero adecuada para las necesidades de la vegetación, principalmente inorgánica para minimizar la descomposición y compactación. En sistemas extensivos, al menos el 70 % debe ser poroso con un diámetro predominante de 3.2 mm; en sistemas intensivos, al menos el 50 %; y en semi intensivos, entre el 60 % y el 90 %. En áreas expuestas a vientos fuertes, se debe proteger contra la erosión hasta que esté cubierta por la vegetación.

Los residuos deben manejarse según las normas vigentes después de la instalación del sustrato.

3.4.6 Capa de vegetación



La capa de vegetación es la última capa exterior de un Techo Verde conformada de plantas adaptadas a las condiciones físicas y climáticas de la zona, destinadas a dar a la edificación un acabado vegetal.

También es importante mencionar que la vegetación se selecciona de acuerdo al tipo de Techo Verde en cuestión: extensivo, semintensivo o intensivo.

- a. Techo Verde extensivo.** Cubierta de una edificación con acabado vegetal de tratamiento extensivo creado por medio de añadir capas de medio de crecimiento y vegetación sobre un sistema de cubierta tradicional con requerimientos de mantenimiento muy bajos o casi nulos cuya capa de sustrato no debe ser mayor de 18 cm y en la cual el peso de la capa de sustrato y vegetación (en estado saturado) es de entre 110 y 140 kg/m².

b. Techo Verde intensivo. Cubierta de una edificación con acabado vegetal de tratamiento intensivo creado por medio de añadir capas de medio de crecimiento y vegetación sobre un sistema de cubierta tradicional con requerimientos de mantenimiento normales o frecuentes cuya capa de sustrato es de 20 cm como mínimo y en la cual el peso de la capa de sustrato y vegetación (en estado saturado) es superior a los 250 kg/m².

c. Techo Verde semi-intensivo. Cubierta de una edificación con acabado vegetal de tratamiento semi-intensivo creado por medio de añadir capas de medio de crecimiento y vegetación sobre un sistema de cubierta tradicional con requerimientos de mantenimiento normales cuya capa de sustrato es de 15 cm como mínimo y en la cual el peso de la capa de sustrato y vegetación (en estado saturado) generalmente es de 250 kg/m².

En los Techos Verdes extensivos, es necesario colocar una variedad de plantas que requieran poco mantenimiento, que puedan adaptarse a las condiciones extremas del lugar de plantación y que permitan obtener una cobertura de vegetación rápida y duradera. Las condiciones generales que deberá soportar la vegetación en este sistema son:

- Alta radiación solar (cuando la vegetación esté dispuesta horizontalmente u orientada hacia el sol).
- Escaso volumen de suelo (predominantemente mineral).
- Largos periodos de sequía y temperaturas extremas.
- Condiciones de nulo mantenimiento.

Para que la capa de vegetación pueda soportar estas condiciones deberán usarse agrupaciones vegetales

cuyas condiciones se asemejen a las anteriormente descritas y que se encuentren adaptadas a las condiciones físicas y climáticas de la zona.

Capa de vegetación en Techos Verdes extensivos

La vegetación utilizada en los Techos Verdes extensivos deberá tener sistemas radicales de poca profundidad, con buena capacidad de regeneración y con una altura de crecimiento menor a 50 cm. Las especies vegetales deberán cumplir con el máximo posible de los requerimientos siguientes.

- Con un desarrollo tapizante rápido y duradero.
- Resistentes a la acción del viento.
- Resistentes a las temperaturas extremas de la zona, a largos periodos de sequía y a radiaciones solares elevadas.
- Resistentes a los niveles de contaminación de la zona urbana.

Con fines orientativos y no restrictivos se enlistan a continuación algunos grupos de vegetación que suelen adaptarse adecuadamente a estas condiciones (Gaceta CDMX, 17/09/ 2018, 2018):

- Césped y pastos silvestres.
- Plantas C-4.
- Plantas CAM "Crasulacean Acid Metabolism"
- Plantas Cespitosas.
- Plantas Herbáceas Perennifolias.
- Plantas Subarbuscivas.

- Plantas Suculentas.
- Plantas Vivaces.

Nota importante a tomar en cuenta para la selección de la paleta vegetal:

No se podrá usar una sola especie vegetal en este sistema, sino agrupaciones vegetales adaptadas a cada biotipo y a las condiciones particulares de cada edificación. Deberán considerarse diferentes agrupaciones de vegetación a fin de favorecer la viabilidad y la biodiversidad del sistema.

Capa de vegetación en Techos Verdes semi-intensivos

Para los Techos Verdes semi-intensivos la vegetación que es apta incluye una gran variedad de especies y presenta características intermedias entre los Techos Verdes extensivos y los intensivos. En términos generales se puede decir que un Techo Verde semi-intensivo puede incluir crasuláceas, pastos y arbustos dependiendo del nivel de cuidados que se pretenda dar a la vegetación. Sin embargo, no es factible incluir árboles en este tipo de sistemas.

Capa de vegetación en Techos Verdes intensivos

En los Techos Verdes de tipo intensivo se considera que es posible utilizar cualquier tipo de vegetación siempre y cuando no sea nociva para la salud humana o de reproducción restringida. Se pueden incluir plantas utilizadas en Techos Verdes extensivos, así como plantas que requieran mantenimiento y cuidados constantes; por ejemplo, plantas de ornato, pastos, arbustos, subarbustos y árboles entre otros.

Sin embargo, se obtendrán mejores resultados en el Techo Verde si la vegetación seleccionada cumple con las características siguientes:

- Con un desarrollo rápido.
- Resistentes a la acción del viento.
- Resistentes a las temperaturas extremas de la zona.
- Resistentes a radiaciones solares elevadas.
- Resistentes a los niveles de contaminación de la zona urbana.
- Adaptada al clima y microclima de la zona.

Una condicionante que deberá atenderse para escoger la vegetación que se utilizará en un Techo Verde intensivo, es que la altura de crecimiento de la vegetación no podrá exceder los 400 cm y que en caso de que la vegetación seleccionada tienda a exceder la altura mencionada, se deberá controlar su crecimiento con podas periódicas.

Suministro y plantación

Para el establecimiento de la capa de vegetación, se podrán utilizar algunos de los siguientes materiales vegetativos:

- Plántulas
- Propágulos vegetativos
- Semillas
- Tapices vegetales pre cultivados
- Plantas, arbustos y árboles

Asimismo, deberán tenerse en cuenta las siguientes características de la vegetación a plantar:

- Planta visiblemente vigorosa.
- Follaje del color característico para la especie sin pigmentación artificial.
- Sistema radicular bien desarrollado, con un cepellón estabilizado y compacto.
- La raíz no deberá presentar daños o malformaciones.
- Las plantas deberán tener por lo menos 1.5 meses de desarrollo.
- La planta que presente daño en el sistema radicular o que venga con la raíz desnuda no podrá ser sujeto de plantación.



Foto: Sofia Fregoso

Fichas Técnicas

Especificaciones para Techos Verdes

4

Los Techos Verdes son un Sistema de Naturación –de Azoteas– con gran potencial para mitigar y adaptarnos desde y con nuestras edificaciones, a los efectos del cambio climático.

Naturar significa incorporar elementos vegetales en edificios –o en cualquier otro espacio dentro de la ciudad– mediante el tratamiento técnico de una superficie, horizontal o inclinada, con el objetivo de crear áreas vegetales inducidas (SEDEMA, 2007).

Para que cumpla con los Servicios Ambientales de un área verde convencional, y sea sostenible, debemos tomar en cuenta los aspectos técnicos en la instalación de cada uno de sus componentes. En este apartado se abordarán cuatro variantes de Techos Verdes. Se presentan detalles constructivos que facilitarán el diseño de un Techo Verde compatible con los sistemas constructivos que actualmente predominan en Mérida. Estos son: Techos Verdes Extensivos, Semi-intensivos, Intensivos e Indirectos (modulares).

Techos Verdes Extensivos



Fotos: Sofía Fregoso

Descripción general

Los sistemas de naturación de cubiertas tipo extensivo, son adecuados para colocarse sobre una cubierta (estructura) tradicional, siempre que cumpla los requerimientos de carga adicional y que los requerimientos de mantenimiento sean muy bajos (una vez a la semana).

Parámetros específicos*

- Espesor del sustrato: Hasta 18 cm
- Carga adicional: 110 – 200 kg/m²
- Tipo de vegetación**: suculentas y cubresuelos***
- Altura del crecimiento de las plantas: 5 – 50 cm
- Diámetro de copa: no aplica
- Pendiente mínima de la losa: 2 %
- Bajantes de agua pluvial 1 c/45m² mínimo 3" de diámetro.

* Fuente (Gaceta CDMX, 17/09/ 2018, 2018)

** Ver paleta ampliada en el ANEXO Paleta vegetal.

*** Los cubresuelos son plantas que se caracterizan por crecer a ras de suelo, alcanzar poca altura y tener un hábito de crecimiento tapizante. La mayoría son perennes.

Conformación del sustrato

La capa de sustrato deberá estar conformada por lo menos en un 70 % por material poroso (partículas minerales porosas de alta estabilidad) con un diámetro preponderante de 3.2 mm. El otro 30 % deberá conformarse de materia orgánica o la mezcla seleccionada para proporcionar el sustento y los nutrientes a la capa de vegetación.

Beneficios particulares

Mayor variedad vegetal, más capacidad de retención de agua de lluvia, peso ligero, mismos servicios ambientales.

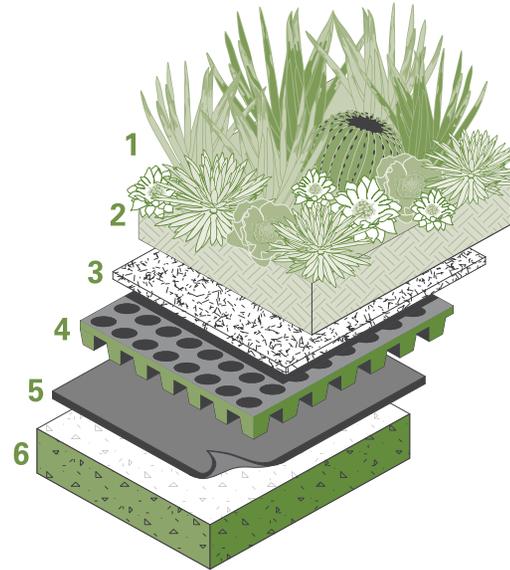
Notas para la zona biogeográfica y el clima cálido sub húmedo

La profundidad de la capa de sustrato de este tipo de sistemas requiere de riegos de apoyo durante la época de estiaje que garanticen la sobrevivencia de la vegetación. Requiere mantenimiento y vigilancia específica para evitar la proliferación de hongos.

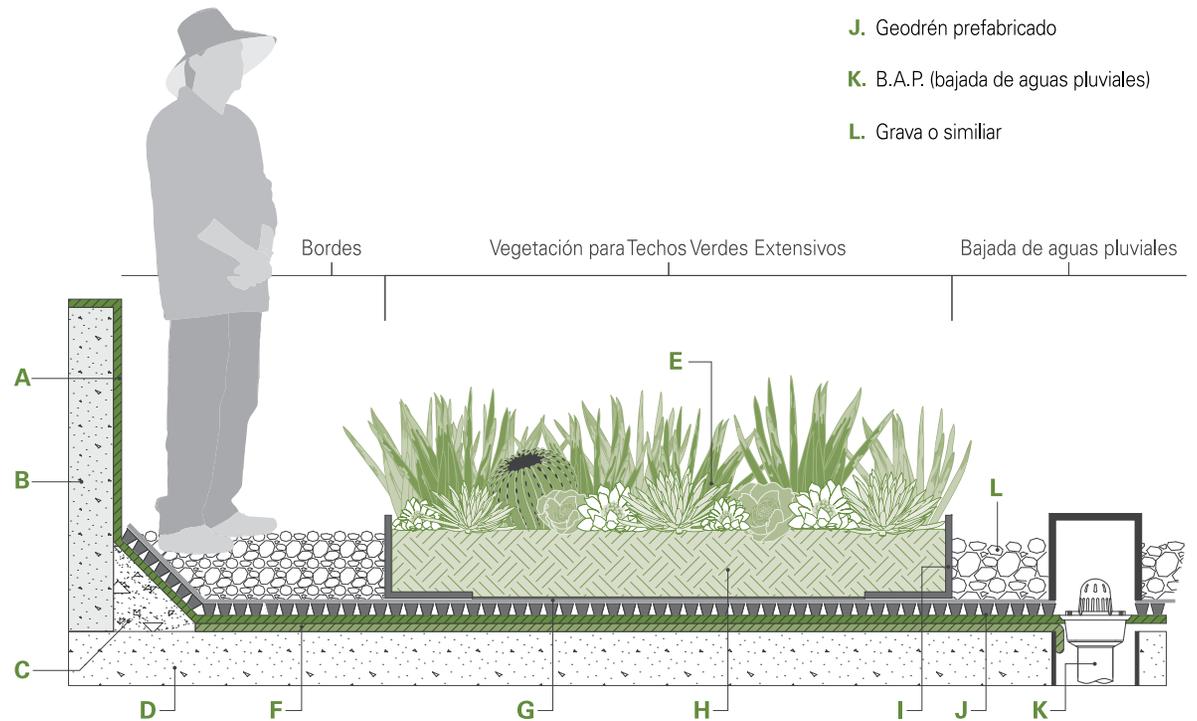
El sistema puede estar expuesto a vientos y lluvias intensas (tormentas tropicales y huracanes), por lo que la capa de sustrato deberá protegerse contra la erosión hasta que quede cubierta totalmente por la vegetación.

Localización y función de los componentes de los Techos Verdes Extensivos

1. **Capa de vegetal.** Estabiliza el sistema mediante una cobertura compuesta de 3 a 5 especies de cubresuelos y/o suculentas con bajo requerimiento de agua y excelente tolerancia a temperatura y humedad.
2. **Capa de sustrato.** Otorga nutrición y soporte para la vegetación.
3. **Capa filtrante.** Minimiza el deslave de los sustratos, reteniendo las partículas más finas. Se sugiere un dren prefabricado con geotextil adherido.
4. **Capa drenante.** Permite el paso del agua a través del sistema y hacia las coladeras y bajantes de agua. Se sugiere un dren prefabricado con geotextil adherido.
5. **Capa impermeable anti-raíz.** Capa simple de impermeabilizante. Se sugiere una capa única de impermeabilizante prefabricado APP aditivado para la protección total contra la penetración de raíces, soldable con soplete y de alto desempeño.
6. **Losa estructural.** Soporte estructural o base donde se asentará el Techo Verde, el cual deberá tener pendiente e impermeabilización adecuadas.



- A. Impermeabilización en pretil
- B. Pretil de azotea
- C. Chafalán 45°
- D. Losa de azotea
- E. Vegetación
- F. Impermeabilizante asfáltico con anti-raíz
- G. Geotextil negro
- H. Sustrato especial
- I. Zoclo metálico divisor
- J. Geodrén prefabricado
- K. B.A.P. (bajada de aguas pluviales)
- L. Grava o similar



Techos Verdes Semi-intensivos



Fotos: Sofía Fregoso

Descripción general

Los sistemas de naturación de cubiertas tipo semi-intensivo son adecuados para colocarse sobre una cubierta (estructura) tradicional, siempre que cumpla los requerimientos de carga adicional, y que los requerimientos de mantenimiento sean dos o tres veces por semana.

Parámetros específicos*

- Espesor del sustrato: Hasta 30 cm
- Carga adicional: 200 y hasta 350 kg/m²
- Tipo de vegetación: suculentas, pastos, arbustos y cubresuelos**
- Altura del crecimiento de las plantas: 5 –100 cm
- Diámetro de copa: no aplica
- Pendiente mínima de la losa: 2 %
- Bajantes de agua pluvial 1 c/45 m² mínimo 3" de diámetro

Conformación del sustrato

* Fuente (Gaceta CDMX, 17/09/ 2018, 2018)

** Los cubresuelos son plantas que se caracterizan por crecer a ras de suelo, alcanzar poca altura y tener un hábito de crecimiento tapizante. La mayoría son perennes.

La capa de sustrato deberá estar conformada entre un 60 % y 90 % de material poroso (partículas minerales porosas de alta estabilidad) con un diámetro preponderante de 3.2 mm. El resto deberá conformarse de materia orgánica o la mezcla seleccionada para proporcionar el sustento y los nutrientes a la capa de vegetación.

Vegetación recomendada

Tradescantias, kalanchoes, sanseverias, agavaceas, cactáceas de talla mediana, pastos y pequeños arbustos***.

Beneficios particulares

Mayor variedad vegetal, más capacidad de retención de agua de lluvia, peso mediano, mismos servicios ambientales.

Notas para la zona biogeográfica y el clima cálido sub húmedo

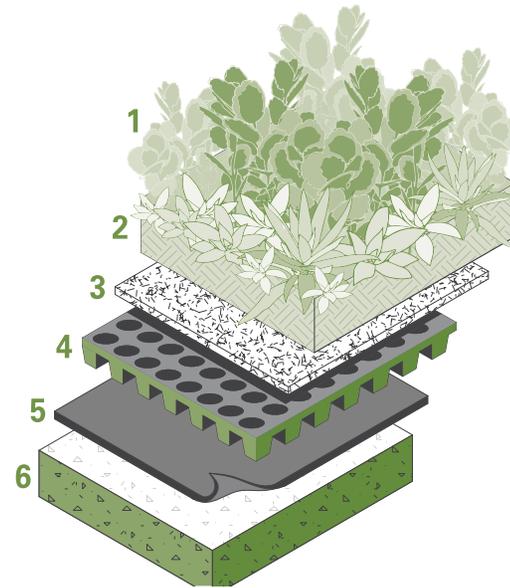
La profundidad de la capa de sustrato de este tipo de sistemas requiere de riegos de apoyo durante la época de estiaje que garanticen la sobrevivencia de la vegetación. Requiere mantenimiento y vigilancia específica para evitar la proliferación de hongos.

*** Ver paleta ampliada en el ANEXO Paleta vegetal.

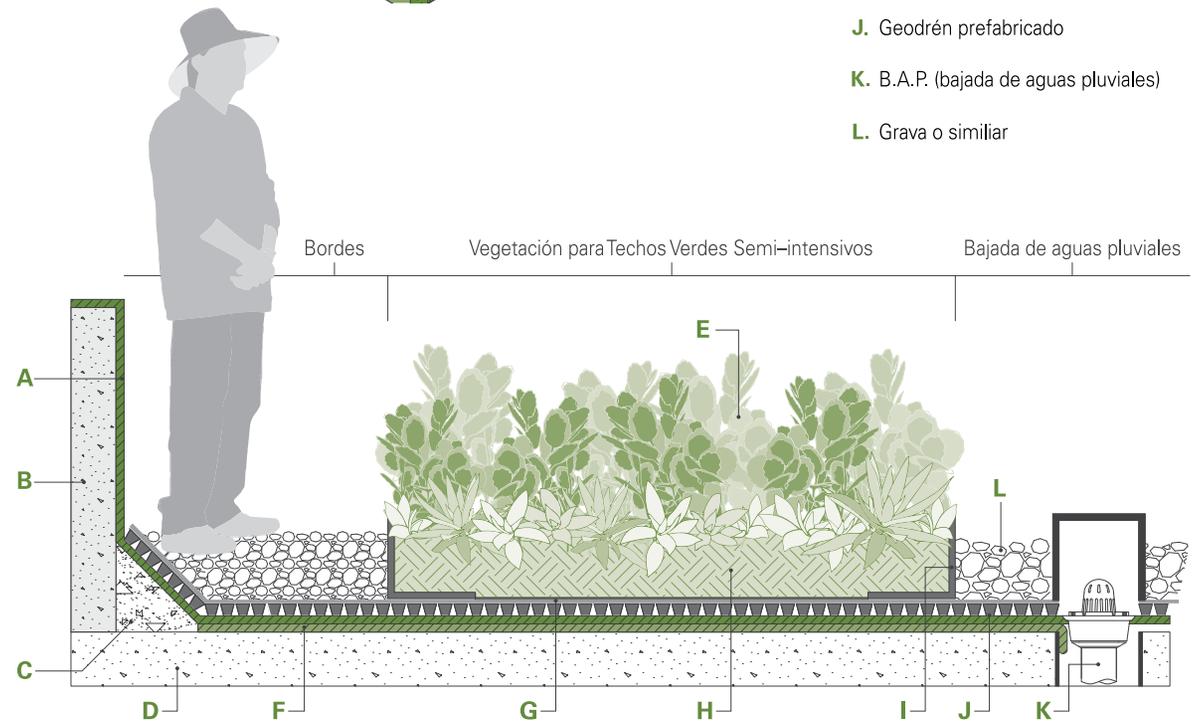
El sistema puede estar expuesto a vientos y lluvias intensas (tormentas tropicales y huracanes), por lo que la capa de sustrato deberá protegerse contra la erosión hasta que quede cubierta totalmente por la vegetación.

Localización y función de los componentes de los Techos Verdes Semi-intensivos****

1. **Capa de vegetal.** Estabiliza el sistema mediante una cobertura compuesta de 5 a 7 especies de cubresuelos y/o suculentas con bajo requerimiento de agua y excelente tolerancia a temperatura y humedad.
2. **Capa de sustrato.** Otorga nutrición y soporte para la vegetación.
3. **Capa filtrante.** Minimiza el deslave de los sustratos, reteniendo las partículas más finas. Se sugiere un dren prefabricado con geotextil adherido.
4. **Capa drenante.** Permite el paso del agua a través del sistema y hacia las coladeras y bajantes de agua. Se sugiere un dren prefabricado con geotextil adherido.
5. **Capa impermeable anti-raíz.** Capa simple de impermeabilizante. Se sugiere una capa única de impermeabilizante prefabricado APP aditivado para la protección total contra la penetración de raíces, soldable con soplete y de alto desempeño.
6. **Losa estructural.** Soporte estructural o base donde se asentará el Techo Verde, el cual deberá tener pendiente e impermeabilización adecuadas.



- A. Impermeabilización en pretil
- B. Pretil de azotea
- C. Chafalán 45°
- D. Losa de azotea
- E. Vegetación
- F. Impermeabilizante asfáltico con anti-raíz
- G. Geotextil negro
- H. Sustrato especial
- I. Zoclo metálico divisor
- J. Geodrén prefabricado
- K. B.A.P. (bajada de aguas pluviales)
- L. Grava o similar



****Fuente. (Gaceta CDMX, 17/09/ 2018, 2018).

Techos Verdes Intensivos



Foto del Banco HSBC, CDMX.



Foto del Banco INFONAVIT, CDMX.

Descripción general

Los sistemas de naturación tipo intensivo, son adecuados para colocarse sobre una cubierta con estructura tradicional siempre que cumpla los requerimientos de carga adicional. Es frecuente que integre actividades de recreación ligera en su diseño paisajístico. Se debe asumir que requiere un mantenimiento frecuente (cinco días a la semana).

Parámetros específicos*

- Espesor del sustrato: Mayor a 40 cm
- Carga adicional: Mayor a 350 kg/m²
- Tipo de vegetación**: suculentas, pastos, arbustos y árboles.
- Altura del crecimiento de las plantas: 5–400 cm
- Diámetro de copa: 300 cm máximo
- Pendiente mínima de la losa: 2 %
- Bajantes de agua pluvial 1 c/45m² mínimo 3" de diámetro.

Conformación del sustrato

En los sistemas intensivos el material poroso deberá constituir mínimamente el 50 % de la mezcla (partículas minerales porosas de alta estabilidad) con un

* Fuente (Gaceta CDMX, 17/09/ 2018, 2018)

**Ver paleta ampliada en el ANEXO Paleta vegetal.

diámetro preponderante de 3.2 mm. El resto deberá conformarse de materia orgánica o la mezcla seleccionada para proporcionar el sustento y los nutrientes a la capa de vegetación.

Vegetación recomendada

Tradescantias, kalanchoes, sanseverias, agavaceas, cactáceas, de talla mediana. Pastos y pequeños árboles de porte pequeño y arbustos.

En algunos casos puede incorporarse zonas productivas de vegetales comestibles.

Beneficios particulares

Mayor variedad vegetal, más capacidad de retención de agua de lluvia, peso mediano, mismos servicios ambientales. Usos recreativos

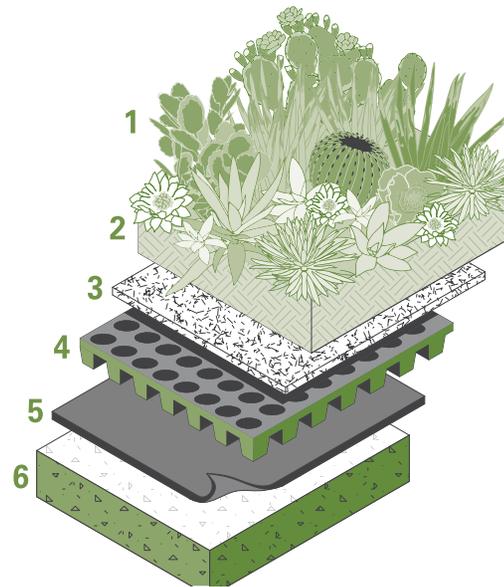
Notas para la zona biogeográfica y el clima cálido sub húmedo

La profundidad de la capa de sustrato de este tipo de sistemas requiere de riegos de apoyo durante la época de estiaje que garanticen la sobrevivencia de la vegetación. Requiere mantenimiento y vigilancia específica para evitar la proliferación de hongos.

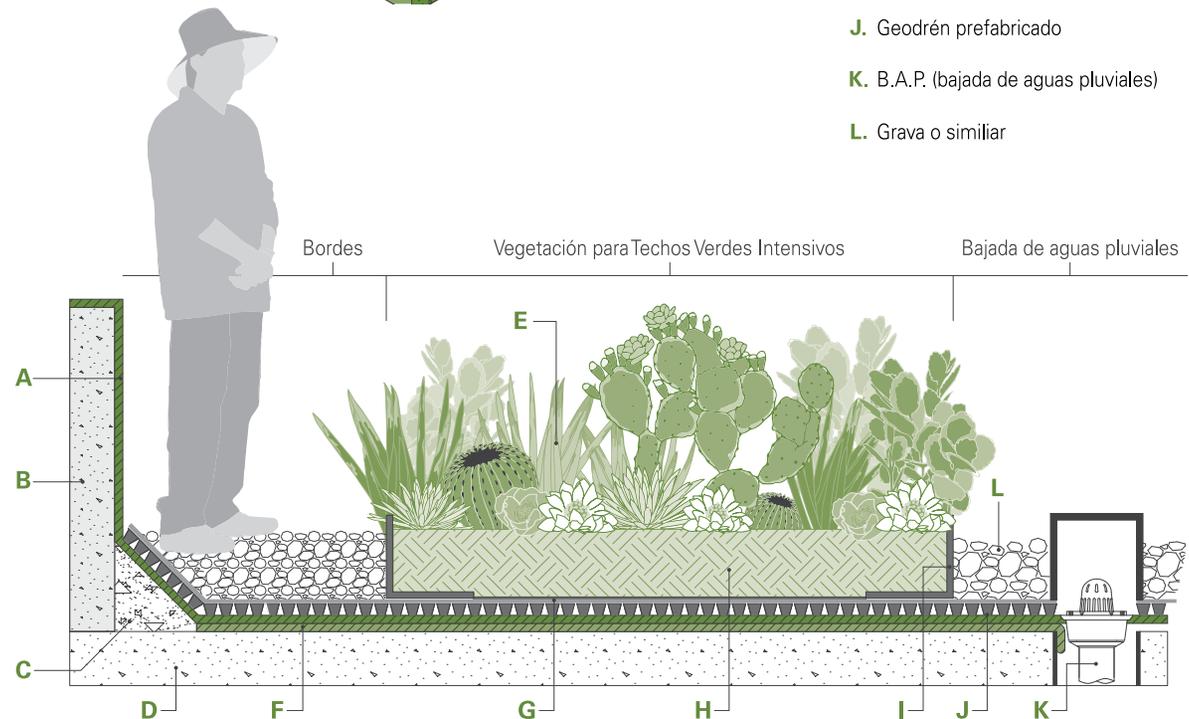
El sistema puede estar expuesto a vientos y lluvias intensas (tormentas tropicales y huracanes), por lo que la capa de sustrato deberá protegerse contra la erosión hasta que quede cubierta totalmente por la vegetación.

Localización y función de los componentes de los Techos Verdes Intensivos*

- 1. Capa de vegetal.** Estabiliza el sistema mediante una cobertura compuesta de más de 20 especies vegetales de sedum, opuntias, agaváceas, arbustos y árboles, todas ellas de bajo requerimiento de agua y alta resistencia de la insolación.
- 2. Capa de sustrato.** Otorga nutrición y soporte para la vegetación.
- 3. Capa filtrante.** Minimiza el deslave de los sustratos, reteniendo las partículas más finas. Se sugiere un dren prefabricado con geotextil adherido.
- 4. Capa drenante.** Permite el paso del agua ha través del sistema y hacia las coladeras y bajantes de sistema y hacia las coladeras y bajantes de agua. Se sugiere un dren prefabricado con geotextil adherido.
- 5. Capa impermeable anti-raíz.** Capa simple de impermeabilizante. Se sugiere una capa única de impermeabilizante prefabricado APP aditivado para la protección total contra la penetración de raíces, soldable con soplete y de alto desempeño.
- 6. Losa estructural.** Soporte estructural o base donde se asentará el Techo Verde, el cual deberá tener pendiente e impermeabilización adecuadas.



- A.** Impermeabilización en pretil
- B.** Pretil de azotea
- C.** Chafalán 45°
- D.** Losa de azotea
- E.** Vegetación
- F.** Impermeabilizante asfáltico con anti-raíz
- G.** Geotextil negro
- H.** Sustrato especial
- I.** Zoclo metálico divisor
- J.** Geodrén prefabricado
- K.** B.A.P. (bajada de aguas pluviales)
- L.** Grava o similar



Techos Verdes Indirectos



Fotos: Sofia Fregoso

Descripción general

Los sistemas de naturación tipo indirecta adecuados para colocarse sobre una cubierta (estructura) tradicional, siendo una solución ideal para quienes buscan una solución rápida y simple, dado que la naturación se realiza por medio de contenedores modulares previamente cultivados. No necesita preparación especial en la azotea. El mantenimiento es de normal a frecuente.

Los contenedores modulares del mercado son de diversos materiales, y los más adecuados contemplan que estén bien integradas las funciones de drenaje y portabilidad en los módulos.

Hay múltiples diseños y tipos, dentro de los que destacan los hidromaceteros o los módulos portátiles de diferentes materiales. Generalmente están elaborados de materiales plásticos como el polipropileno 100 % reciclado con protección UV. Usualmente cuentan con patas o soportes integrados a su diseño para tener menor contacto con la superficie de la azotea.

No se recomienda el uso de materiales o contenedores de madera, ni macetas convencionales para este tipo de naturación, como cubetas, llantas, macetas convencionales de barro, plástico o madera, cajones de madera fabricados in situ, macetas de concreto, etc.

Parámetros específicos*

- Espesor del sustrato^{**}: Hasta 30 cm
- Carga adicional^{**}: 200 y hasta 350 kg/m²
- Tipo de vegetación^{***}: suculentas, pastos, sanseverias, agavaceas
- Altura del crecimiento de las plantas: 5 – 100 cm
- Diámetro de copa: no aplica
- Pendiente mínima de la losa: 2 %
- Bajantes de agua pluvial 1 c/45m² mínimo 3" de diámetro

Conformación del sustrato

En los sistemas modulares se recomienda una mezcla constituida de material poroso mínimamente del 50 % (partículas minerales porosas de alta estabilidad) con un diámetro preponderante de 3.2 mm. El resto

* Fuente (Gaceta CDMX, 17/09/ 2018, 2018)

** Igual a los sistemas de naturación tipo semi-intensivos, pero se recomienda verificar la ficha técnica del producto.

*** Ver paleta ampliada en el ANEXO Paleta vegetal.

deberá conformarse de materia orgánica o la mezcla seleccionada para proporcionar el sustento y los nutrientes a la capa de vegetación.

Vegetación recomendada***

Suculentas, pastos, sanseverias, agaváceas. En algunos casos puede incorporarse zonas productivas de vegetales comestibles.

Beneficios particulares

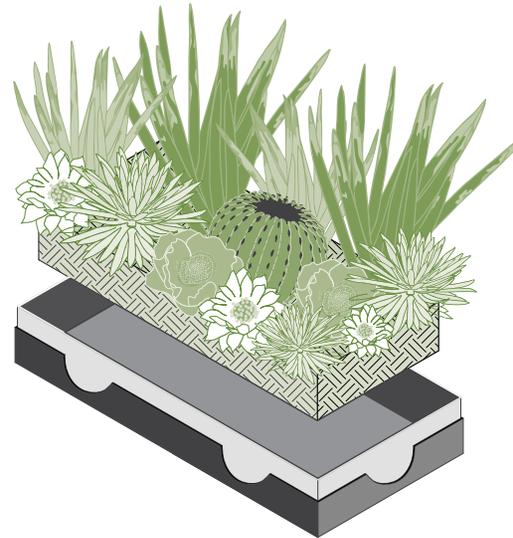
Mayor variedad vegetal, más capacidad de retención de agua de lluvia, peso mediano, mismos servicios ambientales. Es fácilmente removible.

Notas para la zona biogeográfica y el clima cálido sub húmedo

La profundidad de la capa de sustrato de este tipo de sistemas requiere de riegos de apoyo durante la época de estiaje que garanticen la sobrevivencia de la vegetación. Requiere mantenimiento y vigilancia específica para la proliferación de hongos.

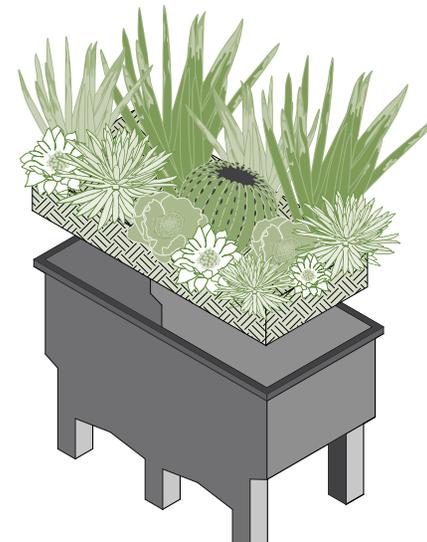
El sistema puede estar expuesto a vientos y lluvias intensas (tormentas tropicales y huracanes), por lo que la capa de sustrato deberá protegerse contra la erosión hasta que quede cubierta totalmente por la vegetación.

En especial en esta zona biogeográfica los sistemas modulares deben asegurarse entre sí y con la azotea previendo la presencia de huracanes, tormentas tropicales.



Los contenedores modulares son presembrados:

1. Los contenedores se cultivan en vivero durante el tiempo necesario para la correcta adaptación de la planta.
2. Se verifica que la pendiente de la zona sea adecuada para un desagüe correcto y se revisa el estado del impermeabilizante.
3. Los contenedores son transportados al sitio de instalación y colocados conforme al diseño de paisaje propuesto.
4. Una vez terminada la instalación, se llevan a cabo tareas de mantenimiento y revisión de manera periódica.



Notas:

1. Aprovechamiento del agua más eficientemente, por lo que se reduce significativamente el mantenimiento.
2. Los hidromaceteros pueden colocarse en una azotea preparada sólo con un impermeabilizante anti-raíz.



Foto: Sofía Fregoso

Notas para un Techo Verde exitoso: calidad y sostenibilidad

5

En este capítulo, abordaremos las claves para lograr un Techo Verde sostenible y de alta calidad, destacando la importancia de la calidad técnica en la construcción del sistema, enfatizando su impacto en la durabilidad y vida útil del mismo.

5.1 Claves en el diseño y construcción de un Techo Verde

Todo proceso constructivo requiere una vigilancia meticulosa tanto de los procedimientos como de la calidad de los materiales, con el objetivo primordial de prolongar la vida útil de las edificaciones. Esta estrecha supervisión busca:

1. Garantía de seguridad estructural

Vigilando los procedimientos y la calidad de los materiales, se asegura que la estructura cumpla con los estándares de seguridad necesarios para proteger a los ocupantes de posibles colapsos o fallos estructurales.

2. Durabilidad y resistencia

Al asegurar la calidad de los materiales, se garantiza que la construcción sea duradera y resistente a condiciones ambientales adversas que podrían degradarla con el tiempo.

3. Reducción de costos a largo plazo

Una supervisión cuidadosa durante la construcción y la elección de materiales de calidad pueden reducir los costos de mantenimiento y reparación a largo plazo.

4. Cumplimiento de normativas y estándares

La vigilancia durante el proceso constructivo garantiza el cumplimiento de las normativas y estándares de construcción, esenciales para asegurar el uso seguro y adecuado de la edificación.

5. Sostenibilidad y responsabilidad ambiental

Utilizar materiales de alta calidad y supervisar los procesos constructivos adecuadamente contribuye a la sostenibilidad ambiental al reducir la generación de residuos y el impacto ambiental asociado con la construcción y demolición de edificaciones.

5.2 ¿Qué tan sustentable resulta un Techo Verde?

A pesar de sus múltiples beneficios, los Techos Verdes requieren recursos adicionales para su construcción, ya que la cantidad de materiales utilizados es mayor que la utilizada en las cubiertas convencionales, así como el uso de materias primas no renovables. Además, es necesario un alto consumo de energía para producir algunos materiales de capa, como los materiales poliméricos, que generalmente se utilizan para todas las capas, excepto para el sustrato (Chenani, 2015) Por lo tanto, es esencial evaluar el desempeño ambiental de los Techos Verdes para saber si dichos sistemas de techos son más sostenibles que los convencionales.

Piccinini Scolaro en un artículo de investigación (2022) señala que el análisis del ciclo de vida (ACV) es una herramienta adecuada que se ha utilizado para obtener los posibles impactos ambientales asociados a los techos verde a lo largo de su ciclo de vida. Hace una revisión de la literatura relacionada con el ACV de los Techos Verdes, lo que sugiere que es una técnica de uso frecuente para este tipo de análisis.

En la literatura revisada se pudieron identificar los materiales que se usan más frecuentemente en los Techos Verdes y, gracias a esto, fue posible evaluar y comparar el impacto ambiental de una cubierta convencional contra un Techo Verde.

Bianchini, en una publicación (2012) ocupa el ACV para evaluar materiales para Techos Verdes. En ese estudio se señala que la nueva tecnología permitió el uso de materiales de polietileno y polipropileno (polímeros) de baja densidad con peso reducido y se evalúan los beneficios ambientales de los Techos Verdes comparando las emisiones de NO_2 , SO_2 , O_3 y PM_{10} en el proceso de fabricación de materiales como polímeros, con la capacidad de eliminación de

contaminación. El análisis demostró que los Techos Verdes son productos sostenibles a largo plazo.

En general, la contaminación del aire debida al proceso de producción de polímeros puede compensarse con Techos Verdes en 13 a 32 años. Sin embargo, el proceso de fabricación de polietileno y polipropileno de baja densidad tiene muchos otros impactos negativos para el medio ambiente además de la contaminación del aire.

En este sentido, el análisis del ciclo de vida (ACV) es una técnica robusta para obtener los impactos ambientales asociados a productos o sistemas a lo largo de su ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas hasta el final de su vida lo que contribuye con el objetivo de crear sistemas industriales que sean más eficientes, sostenibles y resilientes, imitando los ciclos y procesos que se encuentran en los ecosistemas naturales.

5.3 Los materiales reciclados en la construcción de un Techo Verde

En la construcción, especialmente en la autoconstrucción, se suelen incorporar materiales provenientes de ámbitos ajenos a esta actividad. Esto se hace con el objetivo genuino de reducir los gastos en materiales de construcción y de dar cabida a ciertos residuos sólidos urbanos para extender su vida útil, entre otros propósitos.

Específicamente en el caso de los Techos Verdes se requiere una gran cantidad de material primario, especialmente para la construcción de la capa de sustrato. Además, por supuesto de los diferentes materiales compuestos como el de las capas que integran un sistema de Techo Verde.

En un estudio donde se busca poner a prueba el concepto de economía circular, se integran materiales residuales de otros procesos en un sistema de Techos Verdes experimentales. Se integraron materiales residuales de demolición, como escombros de construcción triturados reciclados y biocarbón elaborado a partir de lodos de depuradora en este estudio. Se afirma que estas opciones podrían ser una opción potencialmente útil para reducir el consumo de materiales menos sostenibles. Sin embargo, queremos subrayar que este tipo de estudios se encuentran en una fase exploratoria, y que descontextualizados pueden generar problemas y terminar en resultados no satisfactorios debido a la negligencia y/o al desconocimiento por parte del constructor.

Tomar decisiones no informadas puede redundar en gastos no planeados y desacreditar con los resultados negativos, una tecnología tan noble como la de los Techos Verdes bien construidos.

Con este panorama, es crucial observar las siguientes recomendaciones para garantizar el correcto funcionamiento y mantenimiento a largo plazo del sistema:

A pesar de sus múltiples beneficios, los Techos Verdes requieren recursos adicionales para su construcción, así como el uso de materias primas no renovables.

- **Selección cuidadosa de materiales**
Elegir materiales alternativos que sean adecuados en términos de resistencia estructural, durabilidad y compatibilidad con el entorno.
- **Evaluación de la calidad**
Verificar la calidad y la integridad de los materiales reciclados o reutilizados para asegurar su idoneidad para la aplicación prevista.
- **Consideración de la toxicidad**
Realizar pruebas para detectar la presencia de sustancias tóxicas o contaminantes en los materiales alternativos, evitando así riesgos para la salud y el medio ambiente.
- **Análisis de resistencia a la intemperie**
Evaluar la capacidad de los materiales para resistir condiciones climáticas adversas, como lluvias intensas, radiación solar y vientos fuertes, garantizando la longevidad del sistema.
- **Mantenimiento adecuado**
Establecer un plan de mantenimiento regular que considere las características específicas de los materiales alternativos utilizados, para asegurar su buen estado y funcionalidad a lo largo del tiempo.

5.4 Operación y mantenimiento de un Techo Verde

Para garantizar el correcto funcionamiento de un Techo Verde y la máxima vida útil del mismo, una vez construido, se deben realizar trabajos de inspección y mantenimiento periódicos. Para la realización de dichos trabajos es recomendable establecer un plan y un calendario de trabajo que considere los siguientes rubros. Los contenidos del siguiente apartado están referidos a la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2017 (Gaceta CDMX, 17/09/2018, 2018)

Operación y mantenimiento de elementos constructivos

Los trabajos de supervisión y mantenimiento de los elementos constructivos deberán realizarse por lo menos dos veces al año para los sistemas de Techo Verde y en ellos se deberán llevar a cabo las operaciones siguientes:

- Revisión y limpieza de los sumideros, bajadas de aguas y/o desagües relacionados con el sistema de desalojo de agua del Techo Verde.
- Revisión de los elementos de albañilería relacionados con el sistema de desalojo de agua del Techo Verde.
- Revisión visual del estado del soporte estructural y los elementos portantes.
- Revisión visual de la no existencia de filtraciones de agua al interior de la edificación.

Estos trabajos deben programarse dos semanas antes de la época de lluvias para la primera visita y al finalizar la temporada de lluvias para la segunda visita.

La superficie naturada deberá ser accesible para la realización de estos trabajos y para permitir el traslado de materiales hasta la superficie naturada.

Si se encuentra alguna anomalía de los elementos mencionados se deberá proceder de inmediato a la aplicación de las medidas correctivas correspondientes que garanticen el correcto funcionamiento del Techo Verde. Dichas medidas correctivas deberán ser realizadas por personal calificado y deberán cubrir las medidas de seguridad establecidas en la legislación, las normas y normas oficiales relativas a seguridad, protección civil, salud y demás disposiciones aplicables en materia de prevención de accidentes.

Mantenimiento y monitoreo de la vegetación

Es crucial mantener una vigilancia constante sobre la aparición de plantas intrusas (no deseadas) especialmente durante los primeros meses posteriores a la instalación del Techo Verde. Estas malezas deben eliminarse manualmente para evitar que compitan con la vegetación deseada. Sin embargo, es importante considerar que algunas especies intrusas pueden contribuir a la diversidad florística del sistema y, en estos casos, se recomienda conservarlas.

Una vez que la cobertura vegetal alcanza el 85% tras la fase de plantación, las visitas de mantenimiento se reducen a dos por año como mínimo. Estas visitas permiten evaluar el estado general del Techo Verde y detectar cualquier anomalía.

En caso de pérdida de vegetación, se deben realizar trabajos de replantación, preferiblemente al inicio de la temporada de lluvias para aprovechar las condiciones

En los Techos Verdes es crucial mantener una vigilancia constante sobre la aparición de plantas intrusas, especialmente durante los primeros meses posteriores a la instalación.

de humedad favorables para la germinación y el crecimiento de las nuevas plantas.

Si la vegetación seleccionada para el Techo Verde excede el crecimiento deseado o permitido, se deben realizar podas controladas para mantenerla dentro de los límites establecidos. Los restos de la poda no deben desecharse, ya que pueden ser utilizados como cobertura orgánica para mejorar la retención de humedad y la calidad del sustrato, favoreciendo así la repoblación natural del Techo Verde.

Recomendaciones de operación y mantenimiento

- Control de malezas: Supervisar la aparición de plantas adventicias no deseadas, especialmente en los primeros meses.
- Eliminar manualmente las malezas no deseadas.
- Conservar algunas especies adventicias que incrementan la diversidad florística.
- Dos visitas al año como mínimo cuando la cobertura vegetal supera el 85%.
- Realizar trabajos de replantación en caso de pérdida de vegetación, preferiblemente al inicio de la temporada de lluvia.
- Podar la vegetación cuando exceda el crecimiento deseado o permitido.
- Los restos de la poda pueden ayudar a la repoblación del Techo Verde al mejorar la germinación de semillas y plantas.

Para una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes por la vegetación, se recomienda emplear abonos de liberación lenta.

Riego de Techos Verdes: un enfoque suave y sostenible

Para asegurar un riego adecuado de los Techos Verdes, es fundamental emplear métodos que imiten la lluvia natural o utilizar sistemas de micro aspersión. La cantidad de agua debe ajustarse a la capacidad de absorción del sustrato para evitar la escorrentía superficial.

En inmuebles con sistemas de captación de agua pluvial, agua tratada o plantas de tratamiento de aguas, se recomienda priorizar el uso de estas fuentes para el riego. Tras la plantación, es necesario realizar un riego inicial, cuya cantidad variará según las características del sustrato y la época del año.

Durante la época de estiaje, se recomienda regar la superficie vegetal cada tercer día hasta alcanzar el 85% de cobertura vegetal. Una vez alcanzada esta cobertura, la frecuencia de riego dependerá del tipo de Techo Verde:

- Techos Verdes extensivos. Limitar el riego a dos veces por año durante la época de sequía, salvo en casos excepcionales donde la vegetación requiera más agua para sobrevivir.
- Techos Verdes intensivos y semi-intensivos. Determinar la frecuencia de riego en función del tipo de sustrato y la vegetación elegida.

Recomendaciones generales

- Riego suave y adaptado: Evitar la escorrentía y ajustar la cantidad de agua al sustrato.
- Aprovechar fuentes sostenibles: Priorizar el uso de agua de lluvia, agua tratada o plantas de tratamiento de aguas.

Abonado y adición de sustrato

En el caso del abonado, para una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes por la vegetación, se recomienda emplear abonos de liberación lenta. En Techos Verdes con una capa de sustrato poco profunda, es necesario aplicar el abono en solución para asegurar una distribución uniforme y evitar la pérdida de nutrientes por lixiviación. Una vez alcanzada una cobertura vegetal del 85%, el abonado debe suspenderse, salvo en situaciones excepcionales donde la vegetación requiera un aporte adicional de nutrientes.

En cuanto a la adición de sustrato en general, solo se justifica si la vegetación lo demanda o si se ha producido una pérdida significativa de la capa original debido a factores climáticos como viento o lluvias intensas. Cabe destacar que esta situación es poco probable tras alcanzar una cobertura vegetal superior al 85%. Queda estrictamente prohibida la adición de sustrato que exceda las cargas consideradas en el análisis o cálculo estructural para evitar riesgos de sobrecarga en la estructura del Techo Verde.

Recomendaciones de Abonado

- Nutrientes: Asegurar niveles adecuados de fósforo, magnesio, potasio y micro elementos en todo el sustrato con vegetación.
- Tipo de abono: Usar abonos de liberación lenta.
- Aplicación: En sistemas con poca profundidad de sustrato, aplicar el abono en solución.
- Frecuencia: Detener el abonado al alcanzar el 85% de cobertura vegetal, salvo excepciones.
- Recomendación para la adición de sustrato: Generalmente no se requiere.

- Casos excepcionales: Añadir sustrato si la vegetación lo necesita o si se pierde por viento o lluvia intensa (poco probable tras el 85 % de cobertura).
- Prohibido añadir sustrato que supere las cargas permitidas derivado del análisis estructural.

Control de plagas y enfermedades

Para los casos en que se requieran realizar trabajos de control de plagas y enfermedades en el Techo Verde, deberá recurrirse a un técnico con licencia sanitaria de la Secretaría de Salud, para la aplicación de plaguicidas, conforme a lo estipulado en la Ley de Salud. Así mismo, durante la ejecución de los trabajos de control de plagas y enfermedades en áreas verdes, se colocarán letreros informativos visibles en las zonas donde se estén aplicando los agroquímicos con la leyenda: "ÁREA VERDE EN TRATAMIENTO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES". El texto deberá ser claro, conciso y de fácil lectura.



Foto: Sofia Fregoso

Redes, estándares y normas

6

En el ámbito global, numerosas organizaciones se dedican a difundir y conectar las iniciativas de Techos Verde (tanto públicas como privadas) que se llevan a cabo en todo el mundo. Estas plataformas sirven como espacios de intercambio de conocimiento entre expertos, donde se comparten noticias sobre los últimos avances científicos y tecnológicos en el campo, y se promueve la importancia de los Techos Verde en entornos urbanos como herramienta fundamental para la mitigación y adaptación al cambio climático.

En este capítulo se hará mención de algunas de las organizaciones internacionales más destacadas en la actualidad.

6.1 Legislación sobre Techos Verdes: de lo global a lo local

A nivel global, Alemania es conocida como líder en esta tecnología ya que en sus ciudades se comenzaron a instalar Techos Verdes en 1970. El primer reglamento alemán fue publicado en 1990 por la Sociedad de Investigación sobre el Desarrollo del Paisaje y el Paisajismo (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau E.V. - FLL). El FLL ha sido utilizado como referencia para el diseño de cubiertas verdes y la creación de otras normas en todo el mundo, como la norma en Suiza (SIA 312-SN 564312, 2013), Italia (UNI 11235:2015), Austria (ÖNORM L 1131: 2010 06 01), en Malta (SM 3700:2017), en Países Bajos (NTA 8292: 2016) y Noruega (NS 3840:2015) (Catalano, 2018)

En el caso particular de México, las regulaciones aún no son claras. A nivel nacional, la regulación sobre la implementación y el cuidado de la infraestructura verde es inexistente. En cuanto a los Techos Verdes las regulaciones son aún más difusas y escasas. Se menciona en algunos instrumentos legales de manera general y uno de manera específica.

Uno de los primeros decretos en los que se menciona en el país el uso de Techos Verdes es en la Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal (1996), donde se indica la naturación de techos es adecuada incluso por encima de los niveles de naturación especificados en la Ley de desarrollo urbano del Distrito Federal (1996). Posteriormente se creó la Ley Ambiental para la Protección de Tierras en el Distrito Federal (2000). Su propósito es conservar y restablecer el equilibrio ecológico, en el cual se establece la dotación de área verde obligatoria por habitante de 9 m² y la cual se puede incrementar con alternativas para la creación de nuevas áreas verdes como: Techos Verdes, áreas verdes verticales, jardinerías en las calles o la retirada de asfalto innecesario en explanadas y camellones.

Además, el artículo 88 BIS 5 establece que las autoridades locales instalarán, en la medida de lo posible, Techos Verdes en los edificios de su propiedad.

Con el objetivo de motivar a la población a instalar Techos Verdes, el gobierno de la Ciudad de México impulsa acciones para incrementar la superficie actual de áreas verdes urbanas. De esta manera, el Código Fiscal del Distrito Federal establece que los propietarios de inmuebles destinados a uso residencial tendrán derecho a una reducción del 10 % en el impuesto predial si realizan la naturación del techo de la vivienda siempre que el Techo Verde ocupe un tercio del área total y cumple con lo establecido en la norma NADF-013-RNAT-2017 emitida por la Secretaría del Medio Ambiente (Gaceta CDMX, 17/09/ 2018, 2018)

Otro programa que incentiva el uso de eco tecnologías es la "Hipoteca Verde" que ofrece el INFONAVIT (2021), en el cual se otorga un monto adicional a todos los créditos del instituto para comprar, construir o remodelar una casa donde se incorporen una o varias eco tecnologías para reducir el consumo de agua, electricidad y gas. Es importante mencionar que dentro de las eco tecnologías para techos de este programa no se especifica el uso de Techos Verdes, pero sí el uso de materiales aislantes térmicos. Es un programa que apoya el uso eficiente y racional de los recursos naturales y el cuidado del medio ambiente.

En el país está la norma NADF-013-RNAT-2017, que establece las especificaciones técnicas, parámetros y criterios mínimos de calidad y seguridad estructural aplicables en la instalación de sistemas de naturaleza. La norma es de cumplimiento obligatorio para empresas que se dedican al diseño de sistemas de saturación y para personas que quieran instalar un Techo Verde en cualquier edificio de la Ciudad de México. (Gaceta CDMX, 17/09/ 2018, 2018)

Tabla 6. Organizaciones Internacionales más destacadas en el ámbito de los Techos Verdes

Organismo	País de Origen	Objetivo	Liga Actualizada
Asociación Internacional de Techos Verdes (International Green Roof Association- IGRA)	Alemania	Promueve la adopción de Techos Verdes a nivel mundial, ofreciendo recursos, capacitación y certificaciones.	https://efb-greenroof.eu/members-2/germany/
Asociación Americana de Techos Verdes (Green Roof Alliance- GRA)	Estados Unidos	Lidera el desarrollo de Techos Verdes en los Estados Unidos, abogando por políticas públicas y ofreciendo recursos.	https://www.greenroofsny.com/about-grra
Asociación Canadiense de Construcción Ecológica (Canadian Green Building Council- CaGBC)	Canadá	Integra los Techos Verdes en su enfoque holístico de la construcción sostenible, con estándares LEED reconocidos.	https://www.cagbc.org/
Asociación Alemana de Techos Verdes (Fachverband Dachbegrünung – FDB)	Alemania	Representa a un mercado maduro de Techos Verdes, ofreciendo directrices técnicas, capacitación y contribuyendo a la investigación.	https://shop.fil.de/de/dachbegruenungsrichtlinien-richtlinien-fuer-die-planung-bau-und-instandhaltungen-von-dachbegruenungen-2018-broschuere.html
Asociación Británica de Techos Verdes (British Green Roof Society – BGRA)	Reino Unido	Impulsa la adopción de Techos Verdes en el Reino Unido, ofreciendo recursos educativos, eventos y abogando por políticas públicas.	https://www.greenrooforganisation.org/
Asociación Australiana de Techos Verdes (Australian Green Roof Association- AGRA)	Australia	Contribuye al desarrollo del mercado de Techos Verdes en Australia, ofreciendo recursos, eventos y conectando a la industria con la investigación.	https://greenroofsaustralasia.com.au/
Green Roofs for Healthy Cities (GRHC)	Múltiple (Internacional)	Promueve los Techos Verdes como una estrategia para mejorar la salud pública en las ciudades, apoyando la investigación y la sensibilización.	https://greenroofs.org/

Fuente. Elaboración propia.

El programa Hipoteca Verde del INFONAVIT incentiva el uso de eco tecnologías.

Esta normativa se enfoca principalmente en los Techos Verdes, dejando sin atención a los muros verdes, a pesar de que estos representan beneficios térmicos cruciales en edificios de gran altura. Una pared verde puede impactar positivamente en varios pisos, mientras que el efecto de un Techo Verde se limita al piso inmediatamente inferior. (A. Ávila-Hernández, 2023)

Esta falta de cobertura regulatoria para los muros verdes y, en general, para la infraestructura verde en su conjunto, es una brecha que debe cerrarse con urgencia. La ausencia de leyes y regulaciones a nivel nacional impide el desarrollo y uso óptimo de estas tecnologías, privando a la sociedad de sus beneficios ambientales y sociales.

Para el Municipio de Mérida encontramos instrumentos normativos que incentiven, conserven y apoyen estas iniciativas de recuperación. A nivel estatal y local, el Gobierno de Yucatán y el Ayuntamiento de Mérida han implementado al menos dos iniciativas para incentivar y regular la instalación de Techos Verdes, específicamente las Techos Verdes:

La primera en las Normas Técnicas Complementarias para el Proyecto Arquitectónico, en el Artículo 61 del Capítulo II "Restricciones y Normas del Uso del Suelo" donde se señala que el área ajardinada mínima especificada en el programa de desarrollo urbano puede distribuirse hasta en un 50 % mediante el uso de azoteas y muros verdes naturales o tecnologías alternativas similares, siempre y cuando se obtenga un dictamen favorable de la Unidad de Desarrollo Sustentable (G.M. 05/01/2018, 2018)

La segunda iniciativa es el Programa de Estímulo a las Acciones ante el Cambio Climático – Azoteas Verdes, mediante un acuerdo autorizado por las autoridades competentes. Este programa incentiva el uso de Azoteas Verdes a los propietarios que cumplan con los requisitos establecidos en el programa para que

pueden acceder a un estímulo del quince por ciento (15%) sobre el monto principal del impuesto predial correspondiente al ejercicio fiscal 2024. (G.M. 22/12/2023, 2023)

Estas normativas y programas reflejan el compromiso de las autoridades locales con la promoción de los Techos Verdes en México, y en específico en Mérida. Proporcionan un marco legal y de incentivos para la implementación de Techos Verdes que contribuyan a mejorar la calidad ambiental y la resiliencia de la ciudad ante los desafíos ambientales actuales.



Foto: Sofía Fregoso

Conclusiones

Las ciudades son centros cruciales para abordar el cambio climático debido a su alta concentración de actividad humana y emisiones de gases de efecto invernadero, lo que resulta en impactos como temperaturas extremas, estrés y escasez de agua. Es esencial implementar medidas de mitigación para proteger la salud y la resiliencia de las poblaciones urbanas.

La industria de la construcción, que consume el 50 % de los recursos mundiales, enfrenta el desafío de volverse más sostenible. La dependencia de los edificios en nuestra vida cotidiana destaca la necesidad de adoptar prácticas constructivas que minimicen el impacto ambiental y maximicen la eficiencia de recursos.

Los Techos Verdes emergen como una estrategia fundamental para abordar múltiples desafíos urbanos, como el control térmico, la biodiversidad y la gestión del agua de lluvia. Este enfoque innovador en la construcción ofrece soluciones duraderas y accesibles para mejorar la calidad de vida en las ciudades y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

La implementación de Techos Verdes, junto con otras iniciativas de mejora del paisaje urbano, puede tener impactos positivos duraderos en la calidad del aire, la biodiversidad y la eficiencia energética. Estos esfuerzos colectivos pueden conducir a beneficios sostenibles a largo plazo para Mérida y otras ciudades en todo el mundo.

Techos Verdes para Mérida: bases para su diseño y construcción, es un libro guía que representa un paso significativo hacia la adopción de prácticas arquitectónicas más responsables y sostenibles en la región. Al proporcionar información detallada y accesible, busca empoderar a los profesionales y ciudadanos para tomar decisiones informadas y contribuir a la creación de entornos urbanos más saludables y resilientes.



Foto: Sofía Fregoso

ANEXO: Paleta vegetal

La selección de especies vegetales para los techos verdes en Mérida se basa en criterios específicos establecidos por la norma NADF-013-RNAT-2017.

Según esta norma, los Techos Verdes deben integrar:

- a) Vegetación adaptada a las condiciones físicas y climáticas de la zona.
- b) Vegetación nativa de México adaptada a las condiciones físicas y climáticas de la zona.

La paleta no es limitativa, sin embargo, si quiere integrarse otra planta, deberán tomarse en cuenta las recomendaciones que la norma indica de acuerdo al tipo de naturación que se diseñe.

Las especies están agrupadas de acuerdo a los tres tipos o sistemas de Techos Verdes. Y cada planta está acompañada de una descripción y datos o recomendaciones para poder seleccionarla y /o combinarla con otras especies.

Conceptos

Altura

Tamaño que puede alcanzar una planta, generalmente medido desde la base hasta el punto más alto.

Descripción

Características físicas y distintivas de una planta, incluyendo forma, color, y tipo de hojas, flores y frutos.

Distribución

Área geográfica donde una planta se encuentra de manera natural.

Hábito

Forma de crecimiento y estructura general de una planta (por ejemplo, árbol, arbusto, hierba).

Nombre científico

Denominación en latín usada universalmente para identificar una especie de planta o animal, compuesta por el género y la especie.

Nombre común

Denominación coloquial utilizada por la gente para referirse a una planta o animal en una región específica.

Nutrición

Necesidades de nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de una planta.

Observaciones generales

Información adicional relevante, como posibles plagas, enfermedades, o consideraciones especiales de manejo y cuidado.

Preferencia de sustrato

Tipo de suelo o medio de cultivo que favorece el crecimiento óptimo de una planta.

Recomendaciones de riego

Indicaciones sobre la cantidad y frecuencia de agua necesarias para mantener una planta saludable.

Vegetación adaptada

Se refiere a las plantas que, aunque no son originarias de una región específica, han sido introducidas y se han aclimatado con éxito a las condiciones locales. Estas plantas han demostrado ser capaces de sobrevivir y prosperar en un nuevo entorno diferente al de su lugar de origen.

Vegetación endémica*

Se refiere a las plantas que se encuentran exclusivamente en una región geográfica específica y no de forma natural en ningún otro lugar del mundo. Estas especies han evolucionado y se han adaptado a las condiciones únicas de su entorno local, desarrollando características que las hacen especialmente adecuadas para ese hábitat específico.

Vegetación nativa*

Se refiere a las plantas que son originarias de una región específica y que han evolucionado naturalmente en ese entorno a lo largo de miles de años. Estas plantas están perfectamente adaptadas a las condiciones climáticas, del suelo y a otros factores ecológicos de la región.

(*)Todas las especies endémicas son nativas, pero no todas las especies nativas son endémicas. Las **especies endémicas** tienen una distribución mucho más restringida en comparación con las nativas.

Nomenclatura de la Paleta Vegetal

Tipo de sistema

- SE ⇒ Sistema Extensivo
- SI ⇒ Sistema Intensivo
- SSI ⇒ Sistema Semi-intensivo

Distribución de la especie

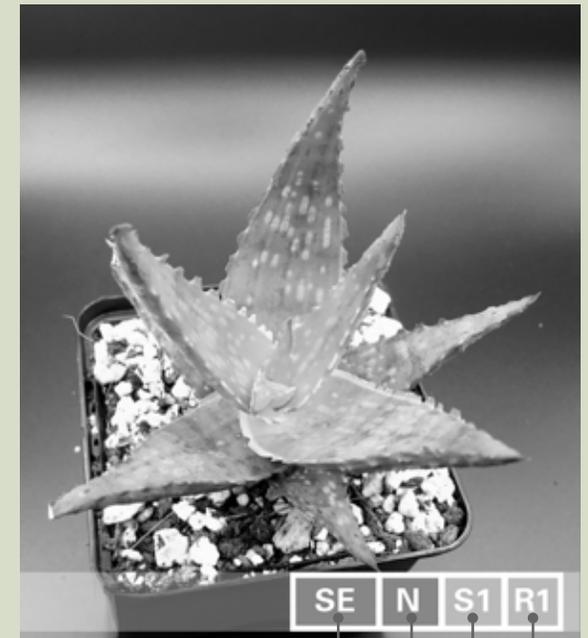
- C ⇒ Cultivada
- N ⇒ Nativa
- E ⇒ Endémica

Recomendaciones de sustrato

- S1 ⇒ 20 % a 30 % materia orgánica (humus, tierra negra, peat moss, fibra de coco, etc).
70 % a 80% materia inorgánica ligera (argolita, vermiculita, perlita).
- S2 ⇒ 50 % materia orgánica (humus, tierra negra, peat moss, fibra de coco, etc).
5% materia inorgánica ligera (agrolita, vermiculita, perlita).

Recomendaciones de riego

- R1 ⇒ Sólo en temporada de secas (meses de noviembre a mayo).
- R2 ⇒ Mínimo riego. La planta es muy tolerante a la sequía.
- R3 ⇒ Riego moderado tras plantación; posteriormente, bajo, ajustando en temporada de secas.



Tipo de sistema ←
Distribución de la especie ←
Recomendaciones de sustrato ←
Recomendaciones de riego ←

R4 ⇒ Riego regular durante la temporada de crecimiento para mantener su follaje vibrante.

R5 ⇒ Riego moderado, especialmente durante el calor extremo para mantener la floración



SE C S1 R1

Nombre científico	<i>Aptenia cordifolia</i>
Nombre común	Rocío, Escarcha, Aptenia

Hábito	Hierba perenne suculenta
Altura	25 a 30 cm

Descripción

Aptenia cordifolia es una planta suculenta, rastrera y perenne, originaria de África y perteneciente a la familia Aizoaceae. Se caracteriza por crecer en grupos planos sobre el suelo a partir de una base leñosa. Sus hojas son de color verde brillante, carnosas y generalmente tienen forma de corazón. Las flores varían en tonos, desde el rosa hasta el púrpura, mientras que el fruto se presenta en forma de cápsula con semillas tuberculadas de color pardo. Tolerante a la sequía y a las altas temperaturas.

Observaciones

Ninguna.

Nutrición

Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son adecuados. Raramente necesita suplementos adicionales.



SE N S1 R1

Nombre científico	<i>Aloe fragilis</i>
Nombre común	Sábila Enana

Hábito	Hierba arrosetada perenne
Altura	15 cm

Descripción

Aloe fragilis es una especie suculenta originaria de Madagascar que forma rosetas en pequeños grupos. A diferencia de otros aloes, esta especie tiende a crecer en dimensiones más pequeñas. Sus hojas son lanceoladas, de color verde oscuro con manchas blancas a verde claro. Cuando se expone al sol, los bordes de las hojas desarrollan una serración de color cobrizo. Las flores de *Aloe fragilis* se disponen en una inflorescencia en forma de espiga conocida como racimo, que se encuentra en un tallo floral de hasta 60 cm de alto. Estas flores son tubulares y de color rojo pálido. La especie prefiere la exposición al sol directo y requiere un suelo bien drenado.

Observaciones

Ninguna.

Nutrición

Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son adecuados. Raramente necesita suplementos adicionales.



SE N S1 R1

Nombre científico	<i>Agave parviflora</i>	Hábito	Hierba arrosetada perenne
Nombre común	Amole, Magey, Sóbari	Altura	10 a 25 cm
Descripción		Observaciones	Categoría en la Nom 59 A: Amenazada. Puede desaparecer en corto o mediano plazo.
<p><i>Agave parviflora</i> es una de las especies más pequeñas del género <i>Agave</i>, forma una roseta de 10 a 25 cm de altura y 15 a 20 cm de ancho. Sus hojas, son delgadas, afiladas y muy rígidas, miden de 6 a 20 cm de largo y de 0.8 a 2 cm de ancho, de color verde oscuro con un recubrimiento ceroso y marcados dibujos blancos en ambas superficies y márgenes, con pelos blancos y curvados que se desprenden con pequeños dientes cerca de la base de la hoja. Las flores son de color amarillo pálido o crema y se disponen a lo largo de un tallo verde a rojizo de 1 a 2,5 m de altura. Es tolerante a la sequía y soporta altas temperaturas.</p>		Nutrición	Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son adecuados. Raramente necesita suplementos adicionales.



SE C S1 R1

Nombre científico	<i>Crassula capitella</i>	Hábito	Hierba arrosetada perenne
Nombre común	Campfire	Altura	15 a 40 cm
Descripción		Observaciones	Ninguna.
<p><i>Crassula capitella</i> es una pequeña hierba perenne originaria del sur de África. Crece hojas carnosas en forma de hélice que maduran desde un verde lima brillante hasta un rojo intenso. Puede crecer erguida o extendida, alcanza alturas de 15 a 40 cm y forma esteras de hasta 1 m de diámetro. Produce diminutas flores blancas en forma de estrella. Al igual que todas las crasas, posee un metabolismo conocido como Metabolismo Ácido de las Crasuláceas o CAM, que le permite fotosintetizar sin perder mucha agua a través de sus hojas, lo que le permite sobrevivir y prosperar en condiciones de sequía. Prefiere suelos bien drenados y crece mejor a pleno sol.</p>		Nutrición	Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son adecuados. Raramente necesita suplementos adicionales.



Nombre científico	<i>Callisia fragrans</i>	Hábito	Hierba arrosetada perenne
Nombre común	Canasta.	Altura	15 a 25 cm
Descripción		Observaciones	Ninguna.
<p><i>Callisia fragrans</i> es una planta herbácea rastrera con forma de roseta. Sus hojas son oblongas o alargadas, sin vello y con puntas afiladas, agrupadas en disposición espiral y pueden variar de tonalidad verde o verde purpúreo. Sus tallos carnosos se propagan y dan lugar a nuevas plantas, mientras que las flores se encuentran en grupos en la parte superior de tallos largos erguidos y tienen pétalos blancos. El sol intenso puede quemar sus hojas, aunque es tolerante a la sequía. Florece desde noviembre hasta marzo.</p>		Nutrición	Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son adecuados. Raramente necesita suplementos adicionales.



Nombre científico	<i>Echinocactus grusonii</i>	Hábito	Cactácea globular perenne
Nombre común	Asiento de suegra, biznaga dorada.	Altura	50 cm
Descripción		Observaciones	Categoría en la NOM 59 P: Peligro. Área disminuyendo drásticamente.
<p><i>Echinocactus grusonii</i>, nativo del centro de México, se destaca por su forma globosa, tallos de color verde brillante y espinas doradas. En primavera, produce llamativas flores amarillas en la parte superior, seguidas de frutos. El cactus crece lentamente hasta alcanzar aproximadamente 50 cm de altura y unos 60 cm de ancho. Es resistente a la sequía y prefiere suelos bien drenados y plena exposición al sol.</p>		Nutrición	Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son adecuados. Raramente necesita suplementos adicionales.



Nombre científico	<i>Echeveria pallida</i>	Hábito	Hierba arrosetada perenne
Nombre común	Siempre viva	Altura	15 cm
Descripción		Observaciones	Ninguna.
<p><i>Echeveria pallida</i> es una planta herbácea suculenta que forma rosetas grandes en un tallo, que puede crecer hasta 15 cm de altura. Sus hojas se presentan en forma de cuchara y son de color verde lima, pueden llegar a medir hasta 15 cm de largo y 9 cm de ancho. Las flores son de un tono escarlata a rosado y aparecen en una inflorescencia que puede alcanzar hasta 90 cm de altura.</p>		Nutrición	Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son adecuados. Raramente necesita suplementos adicionales.



Nombre científico	<i>Graptopetalum macdougallii</i>	Hábito	Hierba suculenta perenne
Nombre común	Marmolito de Oaxaca	Altura	6 cm
Descripción		Observaciones	Ninguna.
<p><i>Graptopetalum macdougallii</i> es una suculenta nativa de Oaxaca, caracterizada por formar una pequeña roseta de color verde-azulado que adquiere tonos rosados a rojos con pleno sol. Esta planta produce nuevos brotes en largos estolones y puede extenderse más de un metro. Durante la primavera, produce hermosas flores en forma de estrella que van del color rosa brillante al rojo. Es fácil de propagar por esquejes.</p>		Nutrición	Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son adecuados. Raramente necesita suplementos adicionales.



SE N S1 R1

Nombre científico *Kalanchoe fedtschenkoi*

Nombre común Calanchoe

Hábito Arbusto herbáceo suculento

Altura 25 a 50 cm

Descripción

Kalanchoe fedtschenkoi, es una suculenta originaria de Madagascar que forma matas con hojas carnosas cubiertas de una capa cerosa glaucescente de color morado y densamente dispuestas en tallos delgados, ramificados. Los tallos son inicialmente postrados, rastreros y de fácil enraizamiento, mientras que los márgenes de las hojas suelen ser de color rojo púrpura. Sus flores son péndulas, en forma de campana, de hasta 2 cm de largo. Puede crecer hasta 50 cm de altura y es muy fácil de propagar con esquejes de tallo o de hoja.

Observaciones

Ninguna.

Nutrición

Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son adecuados. Raramente necesita suplementos adicionales.



SE N S1 R1

Nombre científico *Kalanchoe gastonis-bonnieri*

Nombre común Orejas de burro

Hábito Arbusto herbáceo suculento

Altura 25 a 50 cm

Descripción

Kalanchoe gastonis-bonnieri es una suculenta perenne, nativa de Madagascar, que puede alcanzar hasta 50 cm de altura. Presenta tallos leñosos erectos y hojas carnosas de color verde a azul verdoso, de forma ovalada a lanceolada, con el borde dentado, generalmente con bordes rojos y a veces con manchas marrones o rojizas. Las flores son tubulares y colgantes, de color rojizo a anaranjado rosado en la base con puntas amarillas. Esta suculenta atrae a abejas y mariposas, y es tolerante a la humedad y a la sequía. Se propaga fácilmente mediante esquejes de tallo o de hoja. La luz solar intensa puede quemar las puntas de las hojas.

Observaciones

Ninguna.

Nutrición

Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son adecuados. Raramente necesita suplementos adicionales.



SE N S1 R1

Nombre científico	<i>Kalanchoe laxiflora</i>	Hábito	Arbusto heráceo suculento
Nombre común	Calanchoe	Altura	25 a 50 cm
Descripción		Observaciones	Ninguna.
<p><i>Kalanchoe laxiflora</i>, nativa de Madagascar, es un arbusto suculento con tallos leñosos erectos y hojas carnosas de color verde a verde-azulado, que generalmente presentan bordes rojos y ocasionalmente manchas marrones o rojas. Puede crecer hasta una altura de 50 cm, ramificándose desde la base. Las hojas son de forma ovalada, oscuras y gruesas, con una textura cerosa, y pueden presentar hasta 26 pétalos en una sola flor. Las flores son péndulas y tubulares, y pueden ser de color rojo-púrpuro, rojo, rosa, rojo-naranja, amarillo-anaranjado o amarillo pálido.</p>		Nutrición	Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son adecuados. Raramente necesita suplementos adicionales.



SE N S1 R1

Nombre científico	<i>Kalanchoe pinnata</i>	Hábito	Arbusto heráceo suculento
Nombre común	Tsitsalxiw	Altura	25 a 50 cm
Descripción		Observaciones	Ninguna.
<p><i>Kalanchoe pinnata</i> es una hierba suculenta originaria de Madagascar. Sus hojas son oblongas o elípticas con bordes crenados o serrados, de color verde a verde-azulado, presentando una base asimétrica y venación reticulada. La inflorescencia es paniculada con flores péndulas en tonos rojizos a púrpuras. Es una planta de bajo mantenimiento y se adapta bien a diversos tipos de suelo, siempre que estén bien drenados. Se reproduce fácilmente a partir de esquejes. El jugo o infusión de la planta se utiliza para tratar diversas afecciones como cólera, migrañas, infecciones urinarias y heridas.</p>		Nutrición	Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son adecuados. Raramente necesita suplementos adicionales.



SE N S1 R1

Nombre científico	<i>Mammillaria bombycina</i>
Nombre común	Biznaga de seda

Hábito	Cactácea globular perenne
Altura	20 cm

Descripción

Mammillaria bombycina es un pequeño cactus que se desarrolla en agrupaciones cespitosas, con tallos globosos de color verde brillante a gris verdoso, y espinas radiales de aspecto vítreo, blancas a amarillentas, con espinas centrales amarillas y con puntas oscuras o marrón anaranjado. Sus tallos exhiben protuberancias cilíndricas o cónicas sin punta, las cuales están envueltas en una densa capa de pelo en las axilas. Las flores, pequeñas y de tonos color carmesí claro, rosa o blanco, brotan en la parte superior del cactus formando una especie de corona. Los frutos, de tonalidad blanquecina, contienen diminutas semillas negras. Se propaga fácilmente por hijuelos o semillas.

Observaciones

Categoría en la NOM 59 Pr: Protección especial. Puede convertirse en amenazada.

Nutrición

Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son adecuados. Raramente necesita suplementos adicionales.



SE E S1 R1

Nombre científico	<i>Mammillaria colombiana ssp yucatanensis</i>
Nombre común	Biznaga de Yucatán

Hábito	Cactácea globular perenne
Altura	15 cm

Descripción

Mammillaria colombiana ssp yucatanensis es una especie de cactus enano que forma agrupaciones con pequeños tallos cilíndricos verdes adornados con espinas blancas prominentes. Durante la temporada de floración, produce flores diminutas en tonos rosa a magenta. Esta especie es notablemente resistente a la sequía y se adapta bien a condiciones áridas. Prefiere la exposición al pleno sol y requiere un excelente drenaje. Se reproduce por semillas o brotes.

Observaciones

Categoría en la NOM 59 Pr: Protección especial. Puede convertirse en amenazada.

Nutrición

Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son adecuados. Raramente necesita suplementos adicionales.



SE E S1 R1

Nombre científico	<i>Mammillaria gaumeri</i>
Nombre común	k'iix pak' am, pool miis

Descripción

Mammillaria gaumeri es una especie endémica de la región mexicana que comprende la PBCY (Provincia Biótica Península de Yucatán). Tiende a habitar en la zona de transición entre los manglares y el terreno árido del norte de Yucatán. Sus tallos, que pueden tener una forma esférica o cilíndrica, exhiben una tonalidad verde y pueden alcanzar alturas de hasta 20 cm, con un diámetro que varía entre los 4 y 12 cm. Las flores, de color blanco cremoso, muestran venas centrales más oscuras que forman un patrón anular en relación con el crecimiento del año anterior. Las espinas radiales son blancas con extremos marrones, mientras que la espina central suele tener un tono marrón-amarillento. Los frutos son de color púrpura claro. Florece desde abril hasta julio. Esta especie se adapta bien a diversos tipos de suelo, pero requiere un buen drenaje para su desarrollo óptimo. Puede propagarse mediante semillas o retoños.

Hábito	Cactácea globular perenne
Altura	20 cm

Observaciones

Categoría en la NOM 59 P: Peligro. Área disminuyendo drásticamente.

Nutrición

Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son adecuados. Raramente necesita suplementos adicionales.



SE N S1 R1

Nombre científico	<i>Portulaca grandiflora</i>
Nombre común	Mañanita, flor de seda

Descripción

Portulaca grandiflora es una planta anual suculenta que típicamente crece de 15 a 20 centímetros de alto y se extiende a 30 centímetros de ancho o más. Sus hojas cilíndricas, carnosas y de color verde medio, de hasta 2.5 centímetros de largo, aparecen en grupos a lo largo de tallos rojizos, formando una alfombra. Esta planta se utiliza comúnmente como borde o cobertura del suelo. Sus flores crecen en formas simples, semi-dobles o dobles en colores que incluyen rojo, rosa, naranja, amarillo, blanco y tonos pastel. Posee una alta tolerancia a la sequía y al calor, y prefiere suelos bien drenados.

Hábito	Hierba suculenta perenne
Altura	15 a 20 cm

Observaciones

Ninguna.

Nutrición

Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son adecuados. Raramente necesita suplementos adicionales.



Nombre científico	<i>Portulaca pilosa</i>
Nombre común	Mañanita, Xanab, Mukuy

Hábito	Hierba suculenta perenne
Altura	5 a 25 cm

Descripción

Portulaca pilosa es una planta rastrera, con ramas que pueden ser rastreras o ligeramente erectas, y con una densa pilosidad en las axilas de las hojas. Las puntas de las ramas apuntan hacia arriba y todas las ramitas surgen del extremo de la raíz. Sus hojas son gruesas y cilíndricas, a veces ligeramente aplanadas. Las flores, de un color rosa intenso, se asemejan a pequeñas rosas y emergen entre las hojas. La planta puede tener un ciclo de vida anual o perenne.

Observaciones

Ninguna.

Nutrición

Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son adecuados. Raramente necesita suplementos adicionales.



Nombre científico	<i>Portulaca rubricaulis</i>
Nombre común	Sak jaway, Xúukul

Hábito	Hierba suculenta anual
Altura	15 a 30 cm

Descripción

Portulaca rubricaulis es una hierba de naturaleza suculenta, con tallos ramosos que crecen de manera erecta. Presenta hojas alternas con ápices agudos, y sus tallos están adornados con pelos simples axilares de color blanco. Produce de 1 a 3 flores solitarias de color amarillo, compuestas por 5 a 6 pétalos cada una. Las semillas, diminutas, son de un color que varía entre tonos cafés y negros. Frecuentemente se halla en áreas perturbadas o terrenos rocosos. Se emplea para la cicatrización de heridas.

Observaciones

Ninguna.

Nutrición

Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son adecuados. Raramente necesita suplementos adicionales.



SE N S1 R1

Nombre científico	<i>Sedum dendroideum ssp.</i>	Hábito	Hierba suculenta perenne
Nombre común	Siempre viva	Altura	30 a 50 cm
Descripción		Observaciones	Ninguna.
<p><i>Sedum dendroideum ssp.</i> es un arbusto suculento, perenne, con un tallo muy ramificado y grueso que puede alcanzar alrededor de 30 a 50 cm de altura, formando densas masas. Sus hojas son grandes y espatuladas, con un follaje ondulado y muescas en las puntas que adquieren un tono rojizo en respuesta a la luz solar directa. Se desarrolla bien en suelos pobres y en sombra ligera, y es tolerante a la sequía, aunque necesita un buen drenaje. El jugo de esta planta es astringente y se utiliza como tratamiento para diversas afecciones, como la periodontitis, hemorroides, sabañones, disentería, entre otros. Se propaga fácilmente por semilla o división por esquejes.</p>		Nutrición	Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son adecuados. Raramente necesita suplementos adicionales.



SE N S1 R1

Nombre científico	<i>Sedum griseum</i>	Hábito	Hierba suculenta perenne
Nombre común	Miranda	Altura	15 a 50 cm
Descripción		Observaciones	Ninguna.
<p><i>Sedum griseum</i> es un subarbusto suculento nativo de México, pertenece a la familia Crassulaceae. Los tallos son delgados, de hasta 50 cm de largo, con una corteza que tiende a ser gris-verdosa y se despegan en pequeñas escamas, mientras que las ramitas son papilosas y de color verde pálido o marrón grisáceo. Las hojas son verdes, a menudo con un tono subglaucoso, que pueden volverse rojizas cuando están expuestas al pleno sol, y tienen una forma lineal o lanceolada-lineal. Las hojas jóvenes están cubiertas con una pruina, lo que le da a la planta un aspecto helado. Las flores son estrelladas, con pétalos blancos y anteras amarillas.</p>		Nutrición	Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son adecuados. Raramente necesita suplementos adicionales.



Nombre científico	<i>Sedum rubrotinctum</i>	Hábito	Hierba suculenta perenne
Nombre común	Dedo de Dios, Sedo rojo	Altura	15 a 20 cm
Descripción		Observaciones	Ninguna.
<p><i>Sedum rubrotinctum</i>, perteneciente a la familia Crassulaceae y originario de México, es conocido por sus hojas en forma de frijol, las cuales son verdes pero pueden volverse rojas con la exposición al sol. Pueden crecer hasta 20 centímetros de altura y ocasionalmente producen flores que van desde el amarillo hasta el rojo. Las hojas, dispuestas en espiral alrededor de los tallos carnosos, son ovaladas y de color verde-rojizo brillante. Prefiere sustratos neutros a ligeramente alcalinos, ya que los ácidos pueden alargar los entrenudos y hacer que la planta crezca de forma alargada. Se propaga fácilmente mediante esquejes de hojas o tallos. La especie 'rubrotinctum' significa 'teñido de rojo', describiendo cómo las hojas se vuelven rojas bajo la luz solar directa.</p>		Nutrición	Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son adecuados. Raramente necesita suplementos adicionales.



Nombre científico	<i>Agave angustifolia 'marginata'</i>	Hábito	Hierba arrosetada perenne
Nombre común	Chelem	Altura	90 cm
Descripción		Servicios ecosistémicos	Ayuda en la captura de CO ₂ y puede servir como barrera para el control de erosión.
<p><i>Agave angustifolia 'marginata'</i> es una planta suculenta que forma densas rosetas en la parte superior de un tronco corto, alcanzando un diámetro de hasta 1.2 m. Sus hojas son rígidas, en forma de lanza, cóncavas hacia el centro, con tonalidades que van desde el verde grisáceo hasta el gris azulado, presentando una banda central de verde claro y bordes blancos cremosos, a veces con un leve tono rosado. Cuando florece, una vez que la planta tiene al menos diez años, produce un tallo con una panícula bien ramificada que lleva flores de color verde blanquecino y puede alcanzar hasta 3 m de altura. Es tolerante a la sequía y prefiere suelos bien drenados.</p>		Nutrición	Requiere muy poca fertilización. Suelos pobres y bien drenados son ideales.



SI N S2 R2

Nombre científico	<i>Agave desmettiana</i>
Nombre común	Agave liso

Hábito	Hierba arrosetada perenne
Altura	60 a 80 cm

Descripción

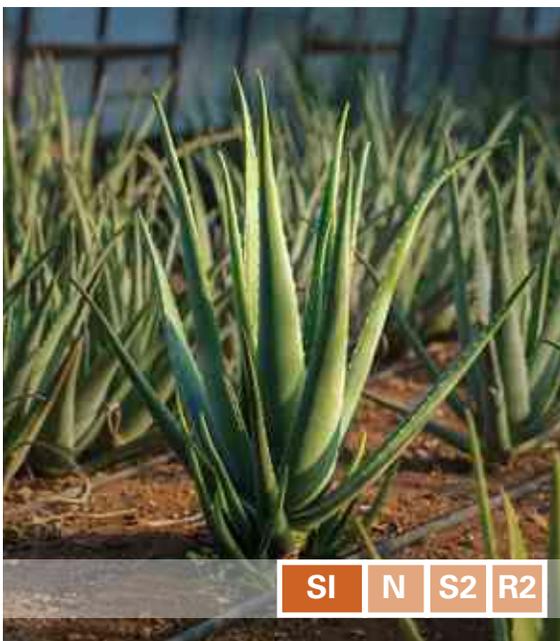
Agave desmettiana es una suculenta perenne perteneciente a la familia Asparagaceae, nativa del sureste de México (Oaxaca, Yucatán y Veracruz). Es conocida por sus atractivas hojas gruesas, rígidas y carnosas de color verde azul oscuro, que forman rosetas. Produce espectaculares espigas de flores cuando la planta tiene unos 8–10 años. La planta solo florece una vez y muere poco después, dejando sus hijuelos. Tolera la sequía y prefiere suelos con buen drenaje.

Servicios ecosistémicos

Ayuda en la captura de CO₂ y puede servir como barrera para el control de erosión.

Nutrición

Requiere muy poca fertilización. Suelos pobres y bien drenados son ideales.



SI N S2 R2

Nombre científico	<i>Aloe vera</i>
Nombre común	Sábila

Hábito	Hierba arrosetada perenne
Altura	60 a 100 cm

Descripción

Aloe vera es una planta suculenta de la familia Asphodelaceae, originaria de la península arábiga y ahora distribuida en climas cálidos a nivel mundial. Las hojas del Aloe vera son gruesas, carnosas y verdes, con bordes espinosos. Dentro contienen un gel transparente que es ampliamente conocido por sus propiedades medicinales. Las flores del *Aloe vera* aparecen en un racimo en forma de espiga que surge de un tallo que se eleva por encima de las hojas.

Servicios ecosistémicos

Mejora la calidad del aire absorbiendo CO₂ y liberando oxígeno, además de tener usos medicinales.

Nutrición

Necesita poco fertilizante. Suelos bien drenados con materia orgánica ocasional son suficientes para un buen crecimiento.



SI N S2 R3

Nombre científico	<i>Angelonia angustifolia Benth</i>
Nombre común	Ya'ax xiiw

Hábito	Arbusto perenne
Altura	30 a 100 cm

Descripción

Angelonia angustifolia Benth es un arbusto herbáceo perenne miembro de la familia Plantaginaceae, originario de México y Sudamérica. Sus hojas son lineales con márgenes serrados, y las flores son de color azul violáceo, con un diámetro de 2–3 cm, producidas en racimos erectos en las axilas de las hojas, las cuales duran unos días en la planta. Es relativamente tolerante a la sequía y prefiere suelos bien drenados. Se propaga por esquejes de la punta del tallo o semillas. Las flores son polinizadas por abejorros y florecen todo el año. Se recomienda podar las plantas una vez al año para fomentar una forma más compacta y una floración vigorosa.

Servicios ecosistémicos

Atrae polinizadores como mariposas y abejas.

Nutrición

Prefiere suelos ricos en materia orgánica y beneficiarse de fertilización moderada durante la temporada activa para promover un crecimiento vigoroso.



SI N S2 R3

Nombre científico	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>
Nombre común	Chaksik'in

Hábito	Arbusto caducifolio
Altura	3 m

Descripción

Caesalpinia pulcherrima, conocida como Chaksik'in, pertenece a la familia Fabaceae y es originaria de las regiones tropicales y subtropicales de América. Este pequeño árbol o arbusto destaca por sus hojas bipinnadas y sus llamativas flores anaranjadas-rojas con estambres largos que florecen en inflorescencias tipo paraguas. Alcanza hasta 4 metros de altura bajo condiciones óptimas. Prospera a pleno sol y en suelos bien drenados, requiriendo un mantenimiento mínimo una vez establecida.

Servicios ecosistémicos

Atrae polinizadores como mariposas y abejas.

Nutrición

Prefiere suelos ricos y bien drenados. Fertilizar moderadamente durante la temporada de crecimiento puede promover una floración más abundante.



SI N S2 R3

Nombre científico	<i>Dicliptera sexangularis</i>	Hábito	Hierba anual
Nombre común	Pensamiento, k'u wech	Altura	60 a 90 cm
Descripción		Servicios ecosistémicos	Atrae polinizadores como mariposas y abejas.
<p><i>Dicliptera sexangularis</i> es una planta herbácea de la familia Acanthaceae, originaria de América Central y del Sur. Sus hojas son ovaladas o lanceoladas, de un verde intenso y textura suave. Sus flores son pequeñas, tubulares y de color rojo vibrante, agrupadas en inflorescencias que brotan de los nodos donde se unen las hojas al tallo. Estas flores son muy atractivas para los colibríes. La planta es resistente y crece bien en suelos bien drenados, floreciendo casi todo el año.</p>		Nutrición	Prefiere suelos ricos en materia orgánica y beneficiarse de fertilización moderada durante la temporada activa para promover un crecimiento vigoroso.



SI N S2 R2

Nombre científico	<i>Euphorbia antisyphilitica</i>	Hábito	Hierba suculenta perenne
Nombre común	Candelilla	Altura	60 a 90 cm
Descripción		Servicios ecosistémicos	Proporciona cobertura y hábitat para pequeños insectos y fauna.
<p><i>Euphorbia antisyphilitica</i>, también conocida como candelilla, es una planta suculenta nativa del norte de México y el suroeste de Estados Unidos. Es particularmente conocida por su cera, que se extrae y utiliza en diversas aplicaciones industriales y cosméticas. La planta tiene un aspecto de arbusto bajo con tallos numerosos y delgados que pueden parecer cera. Produce pequeñas flores rosas agrupadas en inflorescencias llamadas ciatios.</p>		Nutrición	Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son adecuados. Raramente necesita suplementos adicionales.



SI N S2 R3

Nombre científico	<i>Opuntia stricta</i>	Hábito	Arbusto perenne
Nombre común	Nopal serrano, tsakam	Altura	1 a 2 m
Descripción		Servicios ecosistémicos	Provee refugio y alimento para aves y algunos mamíferos; también actúa como barrera natural.
<p><i>Opuntia stricta</i>, perteneciente a la familia Cactaceae, es un cactus nativo de América pero también se encuentra en Australia y África del Sur debido a su naturalización. Esta especie se caracteriza por sus segmentos de tallo planos y ovalados, conocidos como cladodios, cubiertos con pequeñas espinas. Florece en primavera, produciendo flores amarillas que luego dan paso a frutos rojos comestibles. Adaptada a sustratos áridos, <i>Opuntia stricta</i> requiere poca agua y suelos bien drenados.</p>		Nutrición	Requiere muy poca fertilización. Suelos pobres y bien drenados son ideales.



SI N S2 R2

Nombre científico	<i>Ruellia inundata Kunth</i>	Hábito	Hierba perenne
Nombre común	Me'ex chivo	Altura	Sin información
Descripción		Servicios ecosistémicos	Atrae polinizadores como mariposas y abejas.
<p><i>Ruellia inundata Kunth</i> es una planta herbácea que puede alcanzar hasta un metro de altura. Posee tallos erguidos y hojas lanceoladas, que pueden medir hasta 15 cm de largo. Produce flores vistosas, generalmente de color púrpura o azul, que aparecen en racimos. Prefiere suelos bien drenados pero es capaz de adaptarse a diferentes tipos de suelo.</p>		Nutrición	Necesita poco fertilizante. Suelos bien drenados con materia orgánica ocasional son suficientes para un buen crecimiento.



Nombre científico	<i>Sansevieria cylindrica 'Spaghetti'</i>	Hábito	Hierba perenne
Nombre común	Spagueti	Altura	90 a 150 cm
Descripción		Servicios ecosistémicos	Purifica el aire eliminando toxinas como el benceno y el formaldehído.
<p><i>Sansevieria cylindrica</i> es una suculenta perenne originaria de África occidental y es miembro de la familia Asparagaceae. Desarrolla hojas rígidas en forma de varilla desde una roseta basal. Las hojas son redondeadas y puntiagudas, pudiendo alcanzar hasta 1.5 metros de altura. Son de color verde grisáceo con bandas verdes oscuras que crean un patrón rayado. Tolera la sequía y prefiere un suelo arenoso que tenga un excelente drenaje. La planta se propaga mediante rizomas.</p>		Nutrición	Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son adecuados. Raramente necesita suplementos adicionales.



Nombre científico	<i>Tradescantia spathacea</i>	Hábito	Hierba perenne
Nombre común	Roeo, Chak tsam, Ej pets'	Altura	15 a 30 cm
Descripción		Servicios ecosistémicos	Ayuda a mejorar la calidad del aire y atrae pequeños polinizadores.
<p><i>Tradescantia spathacea</i> es una planta herbácea semi-epífita que crece en forma de roseta. Sus hojas son largas y en forma de espada, de color verde azulado oscuro en la parte superior y de un morado vívido en el envés. Las flores son pequeñas, blancas, y están encajadas en brácteas púrpuras en forma de barco en las axilas de las hojas. Prefiere un sustrato con buen drenaje y es resistente a la sequía. Se propaga fácilmente mediante esquejes de tallo, semillas o división.</p>		Nutrición	Necesita poco fertilizante. Suelos bien drenados con materia orgánica ocasional son suficientes para un buen crecimiento.



SI N S2 R2

Nombre científico *Tradescantia spathacea variegata*

Nombre común Rooe, Chak tsam, Ej pets'

Descripción

Tradescantia spathacea variegata es una planta herbácea que crece en forma de roseta. Sus hojas son en forma de espada, dispuestas de manera compacta a lo largo del tallo. La parte superior de la hoja es verde, variegada con franjas blancas, mientras que el envés de la hoja es de color púrpura claro. Se propaga mediante la división de sus rizomas. Es tolerante a la sequía una vez establecida y prefiere suelos limosos con buen drenaje.

Hábito Hierba perenne

Altura 25 a 30 cm

Servicios ecosistémicos Ayuda a mejorar la calidad del aire y atrae pequeños polinizadores.

Nutrición Necesita poco fertilizante. Suelos bien drenados con materia orgánica ocasional son suficientes para un buen crecimiento.



SSI N S2 R3

Nombre científico *Asclepias curassavica*

Nombre común Cancerina (xpol-kuts).

Descripción

Asclepias curassavica es una planta herbácea perenne erecta que puede alcanzar hasta 30 a 160 cm de altura. Sus hojas son simples, opuestas, lanceoladas, de color verde opaco y contienen una savia lechosa blanca y venenosa si se ingiere. Prefiere condiciones soleadas y suelos bien drenados. Requiere poco mantenimiento y es resistente a la sequía una vez establecida. Produce inflorescencias axilares y terminales en umbelas de color rojo, naranja y amarillo. Se propaga fácilmente por semillas o brotes. Florece y fructifica todo el año.

Hábito Hierba anual

Altura 30 a 160 cm

Servicios ecosistémicos Atrae polinizadores como mariposas y abejas.

Nutrición Prefiere suelos ricos en materia orgánica y beneficiarse de fertilización moderada durante la temporada activa para promover un crecimiento vigoroso.



SSI N S2 R1

Nombre científico	<i>Bromelia karatas L</i>	Hábito	Hierba arrosetada perenne
Nombre común	Piñuela (chak ch'om)	Altura	1 a 3 m
Descripción		Servicios ecosistémicos	Captura agua de lluvia y sirve como microhábitat ofreciendo refugio a pequeños insectos.
<p><i>Bromelia karatas L</i> es una planta perenne perteneciente a la familia Bromeliaceae. Sus hojas largas pueden alcanzar entre 1.5 y 3 metros de longitud, con un crecimiento rápido. Tienen un color verde brillante en el haz y verde grisáceo en el envés, con numerosas espinas de color café oscuro en los márgenes. En la base de la inflorescencia, las hojas pueden adquirir un color rojo brillante. Las flores tienen pétalos rosados con una base blanca. Las inflorescencias muy jóvenes se consumen como vegetales, mientras que el fruto, una baya agrídulce y jugosa también llamada piñuela, se utiliza en la preparación de la bebida atole. Prospera en diversos tipos de suelo, siempre que estén bien drenados. Florece en julio y fructifica jul-nov.</p>		Nutrición	Necesita poco fertilizante. Suelos bien drenados con materia orgánica ocasional son suficientes para un buen crecimiento.



SSI N S2 R1

Nombre científico	<i>Bromelia pinguin L</i>	Hábito	Hierba arrosetada perenne
Nombre común	Piñuela	Altura	2 m
Descripción		Servicios ecosistémicos	Captura agua de lluvia y sirve como microhábitat ofreciendo refugio a pequeños insectos.
<p><i>Bromelia pinguin L</i> es una planta herbácea arbustiva de la familia Bromeliaceae que generalmente crece en colonias. Sus hojas son de color verde oscuro y tienen forma de espada, con espinas a lo largo de sus bordes. Son rígidas y lineales, dispuestas en una roseta. Las flores se encuentran en una inflorescencia de forma piramidal que mide aproximadamente 30 cm de largo. Los pétalos de las flores son rojos con márgenes blancos. Los frutos son bayas elípticas que se vuelven amarillas cuando maduran, y aunque son comestibles, son altamente ácidas. Florece y fructifica todo el año. Se propaga mediante brotes de estolones.</p>		Nutrición	Necesita poco fertilizante. Suelos bien drenados con materia orgánica ocasional son suficientes para un buen crecimiento.



SSI N S2 R3

Nombre científico	<i>Hamelia patens Jacq</i>	Hábito	Arbusto o árbol perennifolio
Nombre común	Coralillo (xkanan)	Altura	1 a 7 m
Descripción		Servicios ecosistémicos	Atrae polinizadores como mariposas y abejas.
<p><i>Hamelia patens Jacq</i>, también conocida como "coralillo", es un arbusto semileñoso que puede alcanzar hasta los 7 metros de altura y se encuentra típicamente en entornos perturbados por la actividad humana. Las hojas jóvenes de esta planta están cubiertas de pelos lanosos rojos que desaparecen a medida que las hojas maduran. Esta especie florece abundantemente, con sus llamativas flores rojo-anaranjadas dispuestas en cimas. Cada flor presenta lóbulos pequeños y triangulares en un tubo estrecho. Sus flores son especialmente atractivas para mariposas y colibríes, mientras que los frutos resultan atractivos para otras aves. Florece y fructifica todo el año.</p>		Nutrición	Prefiere suelos ricos en materia orgánica y beneficiarse de fertilización moderada durante la temporada activa para promover un crecimiento vigoroso.



SSI E S2 R1

Nombre científico	<i>Hechtia schottii</i>	Hábito	Hierba arrosetada perenne
Nombre común	Pool boox	Altura	Más de 50 cm
Descripción		Servicios ecosistémicos	Captura agua de lluvia y sirve como microhábitat ofreciendo refugio a pequeños insectos.
<p><i>Hechtia schottii</i> es una planta suculenta terrestre endémica de la porción mexicana de la PBPY. Se caracteriza por formar rosetas terrestres o litofíticas, con hojas armadas con espinas o serruladas. Las hojas pueden tener desde 20 cm hasta 1.5 m de longitud. Las inflorescencias son laterales o terminales, y pueden alcanzar alturas desde 50 cm hasta 3 m, con flores pequeñas, mayormente con pétalos blancos, aunque pueden presentar pétalos azulados, lilas, verdes, rojos o amarillentos. Florece principalmente durante la temporada seca (noviembre a abril) y dispersa sus semillas durante la temporada de lluvias (mayo a octubre). Durante la floración, las flores son visitadas por varias especies de insectos, especialmente abejas.</p>		Nutrición	Necesita poco fertilizante. Suelos bien drenados con materia orgánica ocasional son suficientes para un buen crecimiento.



SSI N S2 R3

Nombre científico	<i>Lantana camara L</i>	Hábito	Arbusto caducifolio
Nombre común	Siete colores (mo'ol peek)	Altura	1 a 3 m
Descripción		Servicios ecosistémicos	Atrae polinizadores como mariposas y abejas.
<p><i>Lantana camara L</i> es un arbusto espinoso, erecto o semitrepador, que alcanza hasta 1.5 metros de altura. Sus hojas son ásperas y peludas, de color verde claro a amarillento, y emiten un olor penetrante cuando se aplastan o se frota. Las flores, también olorosas, pueden ser de color rojo, naranja, amarillo o blanco, dependiendo de la madurez de la planta. Los frutos son drupas pequeñas y carnosas, que varían en color del verde al azul. En la medicina china, se utiliza una decocción de la planta como baño para tratar la sarna y la lepra; mientras que en Indochina, las hojas se emplean como estimulante, para expulsar lombrices intestinales y para aumentar el flujo menstrual. Florece y fructifica todo el año.</p>		Nutrición	Prefiere suelos ricos en materia orgánica y beneficiarse de fertilización moderada durante la temporada activa para promover un crecimiento vigoroso.



SSI E S2 R1

Nombre científico	<i>Manfreda paniculata L</i> Hern., R. A. Orellana & Carnevali	Hábito	Hierba arrosetada perenne
Nombre común	Kabal ch'elem, Junpets' k'iinil	Altura	25 a 40 cm
Descripción		Servicios ecosistémicos	Ayuda a conservar la humedad del suelo y atrae a polinizadores nocturnos.
<p><i>Manfreda paniculata L</i> es una planta herbácea perenne que se reproduce formando grupos de rosetas con tallos cortos de hasta 40 cm, que emergen de un grueso rizoma suculento. Las rosetas maduras producen entre 20 y 70 hojas de 20 a 55 cm de largo, y de 2 a 10 cm de ancho. Bajo la exposición solar desarrolla tonos azules y morados. Los tallos florales pueden alcanzar alturas de 1.75 a 3m de altura. La planta es semiperenne, con la mayoría de sus hojas muriendo durante la temporada seca. Florece entre ene-abr, nov-dic, y fructifica ene-jun. Las hojas de <i>Manfreda paniculata</i> son utilizadas en el tratamiento de dolores de cabeza y también para tratar piojos.</p>		Nutrición	Necesita poco fertilizante. Suelos bien drenados con materia orgánica ocasional son suficientes para un buen crecimiento.



SSI E S2 R1

Nombre científico	<i>Manfreda</i> R. A. Orellana, L. Hern. & Carnevali	Hábito	Hierba arrosetada perenne
Nombre común	Junpets' k'iinil	Altura	25 a 30 cm
Descripción		Servicios ecosistémicos	Ayuda a conservar la humedad del suelo y atrae a polinizadores nocturnos.
<p><i>Manfreda petskinil</i> es una planta suculenta que tiene hojas largas y estrechas de color verde grisáceo con márgenes ligeramente dentados. Las hojas están cubiertas de manchas verdes más oscuras o rojizas. Las inflorescencias se desarrollan en racimos. Prefiere la exposición al sol pleno y un suelo bien drenado. Florece entre ene-abr, nov-dic, y fructifica ene-jun. Entre sus aplicaciones medicinales, se emplea para tratar la migraña.</p>		Nutrición	Necesita poco fertilizante. Suelos bien drenados con materia orgánica ocasional son suficientes para un buen crecimiento.



SSI E S2 R1

Nombre científico	<i>Pilosocereus gaumeri</i>	Hábito	Cactácea arbustiva columnar perenne
Nombre común	Nej kisin	Altura	6 m
Descripción		Servicios ecosistémicos	Provee refugio y alimento para aves y algunos mamíferos; también actúa como barrera natural. Además, sus flores nocturnas son importantes para los polinizadores nocturnos como ciertas especies de murciélagos y polillas.
<p><i>Pilosocereus gaumeri</i> es un cactus arbustivo endémico de la porción mexicana de la PBPY, perteneciente a la familia de las Cactáceas. Sus tallos varían en coloración de verde a verde-amarillento, con entre 8 y 13 costillas y espinas que pueden llegar hasta los 5 cm de longitud. Las espinas son rígidas y de color amarillo a marrón en su juventud. Asimismo, presenta pelos sedosos que pueden alcanzar hasta los 2 cm de longitud. Los tépalos internos varían en color desde el blanco hasta el verde-amarillento, mientras que los tépalos externos tienen un tono verdoso-rojizo.</p>		Nutrición	Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son ideales.



SSI N S2 R5

Nombre científico *Salvia coccinea* Buc'hoz ex Etl.

Nombre común T'uup k'iini

Descripción

Salvia coccinea Buc'hoz ex Etl., es una herbácea perteneciente de la familia Lamiaceae, que alcanza una altura de 30 a 90 cm. Su nombre deriva del latín "salvare", que se refiere a curación, destacando sus cualidades anti-sépticas. Las flores tienen forma tubular, de color rojo y textura aterciopelada, y son muy atractivas para colibríes y mariposas. Crece mejor a pleno sol o en sombra parcial en suelos arenosos y fértiles, sin embargo tolera suelos arcillosos con buen drenaje. Es resistente a la sequía pero florecerá más abundantemente con riego durante períodos secos. Se propaga fácilmente por semilla.

Hábito Hierba arbustiva anual o perenne

Altura 30 a 90 cm

Servicios ecosistémicos

Atrae colibríes y mariposas.

Nutrición

Prefiere suelos ricos en materia orgánica y beneficiarse de fertilización moderada durante la temporada activa para promover un crecimiento vigoroso.



SSI N S2 R1

Nombre científico *Stenocereus laevigatus*

Nombre común Pitayo yucateco (kuluub)

Descripción

Stenocereus laevigatus es un cactus columnar arborescente que habita en la selva baja caducifolia. Puede alcanzar alturas de 5 a 7 m y hasta 4 m de ancho. Presenta un tronco bien definido y numerosos tallos erectos de color verde a verde grisáceo, con 8-10 costillas redondeadas y onduladas. Las areolas están espaciadas hasta 2.5 cm y llevan 1 espina central gris y 8 espinas radiales grisáceas. La floración es nocturna, continuando por la mañana siguiente, con flores blancas en forma de embudo de hasta 8 cm de largo. Florece entre mar-abr, y fructifica entre may-jun.

Hábito Cactácea arborescente

Altura 5 a 7 m

Servicios ecosistémicos

Provee refugio y alimento para aves y algunos mamíferos; también actúa como barrera natural.

Nutrición

Requiere mínima fertilización. Suelos pobres y bien drenados son ideales.



Foto: Sofia Fregoso

Fuentes de consulta

- A. Ávila-Hernández, E. S. P.** (2023). Research and development of green roofs and green walls in Mexico: A review. *Science of The Total Environment*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158978>.
- AMENA.** (2010). Manual de curso. Introducción a los sistemas constructivos y normatividad para naturación de azoteas. Congreso Internacional de Azoteas Verdes. Asociación Mexicana de Naturación de Azoteas.
- Ayuntamiento de Mérida.** (2018). Reglamento de Construcciones del Municipio de Mérida. Mérida, Yucatán: Ayuntamiento de Mérida. Obtenido de https://isla.merida.gob.mx/serviciosinternet/normatividad/files/Reglamentos/CONSTRUCCIONES_2018.pdf Consultado el 27/05/2024
- Bianchini, F.** (2012). How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. *Building and Environment*.
- Bolio, O. J.** (2011). Programa Integral de Desarrollo Metropolitano de Mérida–PIDEM. Mérida, Yucatán: Fundación Plan Estratégico de Mérida.
- Cantor, S.** (2008). *Green Roofs in sustainable landscape design*. Singapur: Norton.
- Chenani, S. B.** (2015). Life cycle assessment of layers of green roofs. *Journal of Cleaner Production*.
- Dunnett, N.** (2008). *Planting Green Roofs and living walls*. Portland, Londres: Timber Press.
- Earthgonomic.** (2020). Obtenido de <https://www.earthgonomic.com/home>.

- Fregoso, L. S.** (2016). Prácticas para el mejoramiento del paisaje urbano de Mérida. Mérida, Yucatán, México: Universidad Anáhuac.
- Gaceta CDMX, 410.** (17/09/2018). Norma Ambiental para el Distrito Federal PROY-NADF-013-RNAT-2017. (2017). Recuperado de https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/porta_old/uploads/gacetas/99671f9166f21e34c109c-79949d8aaaf.pdf
- García, E.** (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Academia.edu. Obtenido de https://www.academia.edu/12911044/Modificaciones_al_sistema_de_clasificaci%C3%B3n_clim%C3%A1tica_de_K%C3%B6ppen_para_adaptarlo_a_las_condiciones_de_la_Rep%C3%BAblica_Mexicana_2004_Enriqueta_Garc%C3%ADa
- G.M. 05/01/2018.** (2018). Gaceta Municipal 932. Anexo “Normas Técnicas Complementarias para el Proyecto Arquitectónico”. Mérida, Ayuntamiento de Mérida.
- G.M. 22/12/2023.** (2023). Gaceta Municipal 2239. Acuerdo por el cual se autoriza crear el Programa de Estímulo a las Acciones ante el ante el CC. Azoteas V. Mérida, Ayuntamiento de Mérida GRHC. (2006). Green Roof Design 101: Introductory course. Vancouver, Canadá: Green Roof for Healthy Cities.
- GRHC.** (2006). Green Roof Design 101: Introductory course. Vancouver, Canadá: Green Roof for Healthy Cities.
- GRHC.** (2008). Green Roof Plants and Growing Medium 401. Participant Manual. Vancouver, Canadá: Green Roof for Healthy Cities.
- Linares Hernández, G. I., Euan, A. D., & Feldman, R. E.** (2018). La urbanización y su impacto en la variación estacional de las aves de la Ciudad de Mérida. Mérida, Yucatán, México: Unidad de Recursos Naturales, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
- Mérida, A. D.** (2017). PMDUM. Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Mérida.
- Mérida, A. D.** (2023). PMIV. Plan Municipal de Infraestructura Verde. Mérida 2021–2024. Obtenido de <https://www.merida.gob.mx/sustentable/contenidos/doc/PlanInfraestructuraVerde2023.pdf> Consultado el 27/05/2024
- Mukim, M. A.** (2023). Thriving: Making Cities Green, Resilient, and Inclusive in a Changing Climate. The World Bank. Obtenido de <https://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/978-1-4648-1935-3>
- Odmunson, T.** (1999). Roof Gardens. Design and History. W. W. Norton & Company.
- Ordóñez, L. E.** (2012). Sobrevivencia y cobertura de plantas en techos verdes durante el estiaje en Yucatán. Ingeniería, Revista Académica de la FI–UADY, 16–2, pp 93–107, ISSN 1665–529-X.

- Ordóñez, L. E.** (2015). Comparación del desempeño térmico de techos verdes y techos blancos mediante técnicas IR. *Acta Universitaria*, 25(5), 11–19. doi: 10.15174/ au.2015.782.
- Orellana, R.** (2007). Árboles recomendados para las ciudades de la península de Yucatán. Mérida, Yucatán, México: Centro de Investigación Científica de Yucatán.
- Piccinini, S. T. & Ghisi, A. E.** (2022). Life cycle assessment of green roofs: A literature review of layers materials and purposes. *Science of The Total Environment*.
- Quiroz, B. D. E.** (2018). Implementación de infraestructura verde como estrategia para la mitigación y adaptación al cambio climático en ciudades mexicanas, hoja de ruta. Ciudad de México: SEDATU, SEMARNAT, GIZ.
- Scholz–Barth, K.** (2001). Green roofs: Storm Water Management from the top down. *Environmental Design and Construction*, enero–febrero.
- SEDEMA.** (2007). NADF-013-RNAT-2007. Especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturaleza. Ciudad de México, México: Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal.
- SEMARNAT.** (2021). Obtenido de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: <https://www.gob.mx/semarnat/es/articulos/servicios-ambientales-o-ecosistemas-essenciales-para-la-vida?idiom=es> Consultado el 27/05/2024
- Van–Renterghem, T.** (2008). *Green Roofs for Acoustic Insulation and Noise Reduction*. Elsevier eBooks. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812150-4.00016-1>

Fuentes de consulta del Anexo: Paleta vegetal

Extensivo

Agave parviflora. Fuente: tucson-gardener.com. <https://worldofsucculents.com/agave-parviflora-smallflower-century-plant/>

Aloe fragilis. Autor: Djinnrickey. Fuente: <https://identify.plantnet.org/es/k-world-flora/observations/1020381089>

Aptenia cordiflora. Fuente: Wikimedia/JJ Harrison. <https://cg.facilísimo.com/dsk/2467482.html?fba&c=plantas>

Callisia fragans. Autor: Tony Rodd. <https://www.epicgardening.com/callisia-fragans/>

Crassula capitella. Autor: Eduardo Moya. <https://todoparatuhuerta.com/suculentas/crassula-capitella/>

Echeveria pallida. Fuente: <https://desertscapecsucculent.com/es/products/echeveria-pallida>

Echinocactus grusonii. Autor: conservatoire.brest. https://www.picturethisai.com/es/wiki/Echinocactus_grusonii.html

Graptopetalum macdougallii. Autor: Eduardo Moya. <https://todoparatuhuerta.com/suculentas/graptopetalum-macdougallii/>

Kalanchoe fedtschenkoi. Fuente: <https://mountaincrestgardens.com/kalanchoe-fedtschenkoi-marginata/>

Kalanchoe gastonis-bonnieri. Fuente: <https://terranostra-terranostra.blogspot.com/2010/02/kalanchoe-gastonis-kalanchoe-gastonis.html>

Kalanchoe Laxiflora. Autor: Eduardo Moya. <https://todoparatuhuerta.com/suculentas/kalanchoe-laxiflora/>

Mammillaria bombycina. Fuente: <https://www.amazon.in/Cactus-Mammillaria-Schumanii-Bombycina-Boumii/dp/B07NTL7MBZ>

Mammillaria columbiana ssp. yucatanensis Autor: cactuseriasur. https://www.instagram.com/cactuseriasur/p/C5LmU5GrJv6/?locale=us&img_index=2

Portulaca grandiflora. Autor: Ulla Roths Schuh Osorio. <https://www.ecologiaverde.com/portulaca-grandiflora-cuidados-y-reproduccion-4531.html>

Portulaca pilosa. Autor: Green Deane. <https://www.eattheweeds.com/newsletter-23-september-2014/>

Portulaca rubricaulis. Fuente: https://enciclovida.mx/busquedas/resultados?nivel=%3D&cat=7000&busqueda=avanzada&id=135669&por_pagina=50&solo_categoria=19

Sedum rubrotinctum. Fuente: https://www.picturethisai.com/es/wiki/Sedum_%C3%97_rubrotinctum.html

Sedum griseum. Fuente: https://mobbestsm.pics/product_details/48282557.html

Sedum dendroideum. Fuente: <https://mountaincrestgardens.com/sedum-dendroideum-tree-stonecrop/>

Intensivo

Agave angustifolia. Autor: Ana María Rodríguez Ríos

Agave desmettiana. Fuente: <https://suculentaszitya.com/productos/agave-desmettiana/>

Aloe vera. Fuente: <https://akdenizaloevera.com/en/product/aloe-vera-fidan-1000-adet-20-30-cm/>

Angelonia angustifolia Benth. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Angelonia_angustifolia

Caesalpinia pulcherrima. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Caesalpinia_pulcherrima

Dicliptera sexangularis. Autor: John Brush – algunos derechos reservados (CC BY-NC). <https://panama.inaturalist.org/taxa/161829-Dicliptera-sexangularis>

Euphorbia antisiphilitica. Fuente: <https://www.public.asu.edu/~camartin/plants/Plant%20html%20files/euphorbiaantisiphilitica.html>

Hamelia patens. Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hamelia_patens_11zz.jpg

Opuntia stricta. Autor: Keith Bradley. <http://www.namethatplant.net/plantdetail.shtml?plant=2687>

Ruellia simplex. Fuente: https://en.wikipedia.org/wiki/Ruellia_simplex

Sansevieria cylindrica. Fuente: <https://www.shootgardening.com/plants/sansevieria-cylindrica>

Tradescantia spathacea. Autor: Miguel A. Marmolejo. <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/apmtm/termino.php?l=3&t=zopitoler>

Tradescantia spathacea variegata. Fuente: <https://www.amazon.de/-/en/Tradescantia-spathacea-Variegata-Beautiful-Non-Seeds/dp/B07L12PSQC>

Semi-intensivo

Asclepias curassavica. Autor: Ana Maria Rodríguez Ríos

Bromelia karatas. Fuente: CICY https://www.cicy.mx/sitios/flora%20digital/ficha_virtual.php?especie=174

Bromelia pinguin. Fuente: <https://enciclovida.mx/especies/156358-bromelia-pinguin>

Hamelia patens. Fuente: <https://www.flickr.com/photos/helicongus/8259790753>

Hechtia schottii. Fuente: <https://www.inaturalist.org/taxa/283624-Hechtia-schottii>

Lantana camara. Autor: Ana Maria Rodríguez Ríos

Manfreda petskinil. Fuente: <https://orders.fairchildgarden.org/products/manfreda-petskinil>

Manfreda paniculata. Fuente: <https://orders.fairchildgarden.org/products/manfreda-petskinil>

Pennisetum setaceum rubrum. Fuente: <https://www.gardenia.net/plant/pennisetum-setaceum-rubrum>

Pilosocereus gaumeri. Fuente: Mauricio Soto David. <https://mexico.inaturalist.org/observations/39742419>

Stenocereus laevigatus. Fuente: Ad Konings. <https://ecuador.inaturalist.org/photos/85157907>

Salvia coccinea. Fuente: <https://atlas.borbonica.re/espece/639087>

Imágenes de las Fichas Técnicas

Azotea verde del INFONAVIT. <https://www.mexicodesconocido.com.mx/un-tesoro-desconocido-la-azotea-verde-del-infonavit.html>

Techo Verde HSBC, CDMX. Fuente: <https://permaculturaes154184814.wordpress.com/techos-verdes-una-realidad-en-mexico/>



ISBN: 978-607-8083-36-7



9 786078 083367