



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**HIDROSIEMBRA PARA LA NATURACIÓN
VERTICAL DE ZONAS URBANAS**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
B I Ó L O G O
P R E S E N T A:
FABIÁN ALEJANDRO CASTILLO MARTÍNEZ

DIRECTOR DE TESIS:

M. en C. ARMANDO CERVANTES SANDOVAL

MÉXICO, D.F.

MARZO 2014



"El ser humano moldea, lo que la naturaleza crea"

F.A.C.M.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

“ZARAGOZA”

DIRECCIÓN

JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
P R E S E N T E.

Comunico a usted que el alumno **CASTILLO MARTÍNEZ FABIÁN ALEJANDRO**, con número de cuenta **407083448**, de la carrera de Biología, se le ha fijado el día **25** del mes de **marzo** de 2014 a las **12:00 hrs.**, para presentar examen profesional, el cual tendrá lugar en esta Facultad con el siguiente jurado:

- PRESIDENTE** DR. ARCADIO MONROY ATA
- VOCAL** M. en C. ARMANDO CERVANTES SANDOVAL
- SECRETARIO** M. en C. ALEJANDRO TECPA JIMÉNEZ
- SUPLENTE** DR. GERARDO CRUZ FLORES
- SUPLENTE** M. en C. FLORENCIA BECERRIL CRUZ

El título de la tesis que presenta es: **Hidrosiembra para la naturación vertical de zonas urbanas.**

Opción de titulación: tesis.

Agradeceré por anticipado su aceptación y hago propia la ocasión para saludarle.

ATENTAMENTE
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

México, D. F., 11 de febrero de 2014

DR. VÍCTOR MANUEL MENDOZA NÚÑEZ

DIRECTOR
ZARAGOZA

DIRECCION

RECIBÍ
OFICINA DE EXÁMENES
PROFESIONALES Y DE GRADO

VO. BO.
M. en C. ARMANDO CERVANTES SANDOVAL
JEFE DE CARRERA

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos:

A mi mamá porque siempre ha confiado en mí y quien siempre procuró darme lo mejor que pudo. Gracias por ser tú y no alguien más. Espero que sientas este logro también como tuyo.

A mi papá, me has apoyado tanto y siempre lo has hecho con gusto, gracias por apoyarme día a día, muchas gracias por estar siempre allí. Este logro también es tuyo.

A mis hermanos, porque ahora entiendo que ellos han sido mis mejores amigos y nunca me han dado la espalda, gracias Faby y Marco.

A mi prometida:

Irene, tus consejos, palabras y tu compañía fue lo mejor de este trabajo, gracias por ser una persona tan valiosa en mi vida.

A mis amigos y profesores:

A todos mis amigos, en quienes encontré amistad, empatía y mucha diversión, gracias a todos por esos momentos.

A todas las personas que me ayudaron a ser mejor, de mala o buena manera, siempre hay algo que aprender día con día.

A mi maestro y asesor: Armando Cervantes Sandoval, gracias por todo el apoyo y por su forma de ser, la cual me enseñó a ser más humilde.

A los maestros que me enseñaron más que el valor de la educación, a mí maestro y amigo, el Dr. Antonio Valencia H., el Dr. Ernesto Mendoza, La Dra. Catalina Machuca R., la Bióloga Elvia García S., y a mis sinodales, gracias por todo su apoyo.

ÍNDICE

Contenido	Página
1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. MARCO TEÓRICO	4
3.1. LA URBE Y EL COMIENZO DE LA NATURACIÓN	4
3.2. NATURACIÓN URBANA Y CONCEPTO DE NATURACIÓN.....	5
3.2.1. NATURACIÓN URBANA EN MÉXICO	5
3.2.2. TIPOS DE NATURACIÓN	7
3.2.2.1. Cubiertas intensivas.....	7
3.2.2.2. Cubiertas semi- intensivas	7
3.2.2.3. Cubiertas extensivas	7
3.2.3. ÁREAS VERDES	7
3.2.3.1. Áreas verdes por habitante	8
3.2.3.2. Impacto social relacionado a las áreas verdes.....	10
3.2.3.3. Por qué es importante la generación de áreas verdes	11
3.2.3.4. Beneficios de las áreas verdes	11
3.2.3.5. Efectos nocivos en zonas urbanas ante la falta de áreas verdes	13
3.2.4. EL AIRE QUE SE RESPIRA	14
3.2.4.1. Mejora en la calidad del aire	14
3.2.4.2. Captura de contaminantes con vegetación	15
3.3. JARDINES VERTICALES	16
3.3.1. TÉCNICAS Y TIPOS DE JARDINES VERTICALES.....	16
3.3.2. TROPISMO	17
3.3.3. ¿GRAVITROPISMO O GEOTROPISMO?	17
3.3.4. GRAVITROPISMO	18
3.4. ¿QUÉ ES UNA ECOTÉCNIA?.....	19
3.4.1. OBJETIVOS Y CARACTERÍSTICAS DE LAS ECOTÉCNIAS	19
3.4.2. EJEMPLOS DE ECOTÉCNIAS.....	20
3.4.3. FACTORES A CONSIDERAR PARA LLEVAR A CABO UNA ECOTÉCNIA	21
3.4.4. ALGUNAS VENTAJAS DE LAS ECOTÉCNIAS	21
3.5. HIDROSIEMBRA COMO OPCIÓN PARA NATURAR ÁREAS URBANAS	22
3.5.1. CONCEPTO DE HIDROSIEMBRA	22
3.5.2. ANTECEDENTES.....	22
3.5.3. BENEFICIOS Y APLICACIONES DE LA HIDROSIEMBRA	23
3.5.4. JARDINES VERTICALES HIDROSEMBRADOS	23
3.5.5. COBERTURA VEGETAL.....	23
3.5.5.1. Medición de la cobertura vegetal	24
3.5.5.2. Medición de cobertura vegetal con el método fotográfico.....	24

4. OBJETIVOS	26
OBJETIVO PRINCIPAL	26
OBJETIVOS PARTICULARES.....	26
5. MATERIAL Y MÉTODOS	27
5.1. DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPERMEABILIZACIÓN DE LOS PÁNELES VERTICALES	27
5.2. DISEÑO E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO	29
5.3. NUTRIMENTOS.....	29
5.4. ABASTECIMIENTO DE AGUA PLUVIAL.....	31
5.5. ENERGÍA FOTOVOLTAICA.....	32
5.6. SUSTRATO.....	34
5.6.1. Baltic peat.....	34
5.6.2. Fibra de coco	35
5.6.3. Agrolita	36
5.7. MONTAJE Y CONTENCIÓN DEL SUSTRATO.....	36
5.8. HIDROSIEMBRA	37
5.9. ESPECIES UTILIZADAS; LAS GRAMÍNEAS Y SU IMPORTANCIA	38
5.9.1. <i>Cynodon dactylon</i>	39
5.9.2. <i>Festuca rubra</i>	40
5.9.3. <i>Lolium multiflorum</i>	41
5.10. APLICACIÓN DE LA HIDROSIEMBRA	42
5.11. PORCENTAJE DE GERMINACIÓN	43
5.12. PORCENTAJE DE COBERTURA.....	43
5.13. VALORES DE PH	44
5.14. TEMPERATURA.....	44
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
6.1. PÁNELES VERTICALES.....	46
6.2. SISTEMA DE RIEGO	46
6.3. ENERGÍA FOTOVOLTAICA.....	48
6.4. SUSTRATO.....	49
6.5. CONTENCIÓN DEL SUSTRATO.....	50
6.6. HIDROSIEMBRA EXPERIMENTAL	51
6.7. DESARROLLO DE LA CUBIERTA VEGETAL.....	56
6.8. MICROCLIMA Y FAUNA EDÁFICA PRESENTE EN LA CUBIERTA VEGETAL.....	59
6.9. PORCENTAJE DE GERMINACIÓN.....	60
6.10. GRAVITROPISMO VEGETAL.....	61
6.11. VALORES DE PH	61
6.12. TEMPERATURA.....	62
6.13. PORCENTAJE DE COBERTURA.....	64
6.14. COSTOS	66
6.15. MANTENIMIENTO DE LA CUBIERTA VEGETAL.....	67
6.16. PROGRAMACIÓN DE PODAS	68
7. CONCLUSIONES	69
8. RECOMENDACIONES	71
9. ANEXO	72
10. REFERENCIAS	73

ÍNDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Características químicas de la solución nutritiva.</i>	30
<i>Cuadro 2. Componentes del sistema de energía fotovoltaica.</i>	32
<i>Cuadro 3. Características físicas del sustrato baltic peat.</i>	34
<i>Cuadro 4. Características químicas del sustrato baltic peat.</i>	35
<i>Cuadro 5. Nutrientes solubles disponibles del sustrato baltic peat.</i>	35
<i>Cuadro 6. Características químicas de la fibra de coco.</i>	35
<i>Cuadro 7. Número de semillas promedio para la cubierta vegetal.</i>	42
<i>Cuadro 8. Composición porcentual del sustrato para cada panel vertical.</i>	49
<i>Cuadro 9. Capacidad de retención de agua por el sustrato compuesto.</i>	49
<i>Cuadro 10. Calendarización del desarrollo de la cubierta vegetal, a partir del hidrosembado.</i>	55
<i>Cuadro 11. Prueba de germinación de la mezcla de pastos.</i>	60
<i>Cuadro 12. Resultados de pH del sustrato y la hidrosiembra aplicada a ambos paneles verticales.</i>	62
<i>Cuadro 13. Valores de temperatura registrados en la azotea del gimnasio de la FES Zaragoza, Campo 2, UNAM.</i>	62
<i>Cuadro 14. Porcentaje de cobertura obtenido con el programa CobCal v1.0 durante los primeros tres meses del desarrollo vegetal de la cubierta.</i>	65
<i>Cuadro 15. Costos comparativos de la hidrosiembra experimental contra tres tipos de hidrosiembras comerciales.</i>	66
<i>Cuadro 16. Programación de podas para la cubierta vegetal después de tres meses del hidrosembado.</i>	68

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Diseño preliminar de los paneles verticales.</i>	28
<i>Figura 2. (a) Colocación de la primera capa de hule para impermeabilizar ambos paneles. (b) Bastidor con la segunda capa de hule y con soportes para el anclaje de la malla de contención.</i>	28
<i>Figura 3. Conexión para el suministro del agua de riego a ambos paneles.</i>	28
<i>Figura 4. Diseño del sistema de riego en circuito cerrado para ambos paneles verticales.</i>	29
<i>Figura 5. (a) Solución nutritiva para forraje verde hidropónico (FVH). (b) Vista aérea del contenedor de 120 L. de agua con solución nutritiva disuelta.</i>	30
<i>Figura 6. Diseño del sistema de riego.</i>	31
<i>Figura 7. Vista lateral del tambo con manguera para el llenado del mismo (1) y manguera de salida, para el riego de ambos paneles verticales (2).</i>	31
<i>Figura 8. Diseño del sistema de energía fotovoltaica para la propulsión del agua de riego.</i>	33
<i>Figura 9. (a) Celda fotovoltaica ubicada en la azotea del edificio del gimnasio de la FES Zaragoza C - 2 (UNAM), (b) Temporizador digital.</i>	33
<i>Figura 10. (a) Se ejemplifica el montaje del sustrato en ambos paneles. (b) Se ejemplifica el uso de malla para contener el sustrato en posición vertical.</i>	36
<i>Figura 11. Componentes de la hidrosiembra experimental. (a) Nopales. (b) Hidrogel. (c) Aserrín. (d) Fibra de coco. (e) Mezcla de las variedades de semillas de pasto.</i>	37
<i>Figura 12. Cynodon dactylon.</i>	39
<i>Figura 13. Semillas de Cynodon dactylon.</i>	39
<i>Figura 14. Festuca rubra.</i>	40
<i>Figura 15. Semillas de Festuca rubra.</i>	40
<i>Figura 16. Lolium multiflorum.</i>	41

<i>Figura 17. Semillas de Lolium multiflorum.</i>	41
<i>Figura 18. Se ejemplifica la aplicación de la hidrosiembra experimental con ayuda de una espátula.</i>	42
<i>Figura 19 Resultados de Martín Ferrari de la comparación entre el método tradicional (cuadrados a campo) de cobertura vegetal contra el uso del programa CobCal.</i>	43
<i>Figura 20. Termómetro digital para interiores y exteriores.</i>	44
<i>Figura 21. (a) Páneos verticales con un ángulo de 76°. (b) Vista posterior de ambos páneos terminados.</i>	46
<i>Figura 22. (a) Vista anterior de uno de los páneos verticales, en donde se aprecia el sistema de riego conectado en circuito cerrado. (b y c) Conexiones del sistema tipo "T" y "C". (d) Acercamiento de uno de los nebulizadores del sistema.</i>	47
<i>Figura 23. (a) Vista de la conexión en "Y" para el suministro del agua de riego a ambos páneos.</i>	47
<i>Figura 24. (a) Componentes eléctricos del sistema de riego dentro de su caja; 1.- Regulador de carga, 2 - Batería solar y 3 Bomba solar. (b) Temporizador digital dentro de su caja.</i>	48
<i>Figura 25. (a) Espesor del sustrato utilizado en ambos páneos. (b y c) Fotografías que muestran diferentes ángulos del espesor del sustrato ya montado en los páneos verticales.</i>	50
<i>Figura 26. Páneos verticales sólo con el sustrato montado y compactado.</i>	51
<i>Figura 27. Páneos verticales con la malla de contención clavada al marco de los bastidores.</i>	51
<i>Figura 28. Apariencia física de la hidrosiembra experimental terminada.</i>	53
<i>Figura 29. Aplicación en vertical de la hidrosiembra experimental con ayuda de una espátula.</i>	53
<i>Figura 30. Páneos verticales hidrosebrados.</i>	53
<i>Figura 31. Colocación de la tela de yute a ambos páneos, previamente hidrosebrados.</i>	54
<i>Figura 32. Colocación de la malla sombra a ambos páneos.</i>	54
<i>Figura 33. (a y b) Una semana después del hidrosebrado es posible apreciar las hojas primarias desplegadas de algunas semillas de pasto, (c) Retiro de la tela de yute.</i>	56
<i>Figura 34. (a y b) Dos semanas después del hidrosebrado, ya es posible apreciar las hojas secundarias desplegadas, incluso ya es visiblemente apreciable la cobertura vegetal.</i>	56
<i>Figura 35. (a y b) Tres semanas después del hidrosebrado, la cobertura vegetal es más evidente y más densa.</i>	57
<i>Figura 36. Páneos verticales a un mes después del hidrosebrado con la malla sombra retirada.</i>	57
<i>Figura 37. Páneos verticales a dos meses después del hidrosebrado.</i>	58
<i>Figura 38. Páneos verticales a tres meses después del hidrosebrado.</i>	58
<i>Figura 39. (a, b, c y d) Insectos presentes en la cubierta vegetal.</i>	59
<i>Figura 40. Presencia de moho (círculo) sobre la hidrosiembra en el tercer día después del hidrosebrado.</i>	59
<i>Figura 41. (a y b) Gravitropismo presente en la cubierta vegetal de gramíneas.</i>	61
<i>Figura 42. Oscilación de la temperatura en la azotea del gimnasio en días soleados</i>	63
<i>Figura 43. Oscilación de la temperatura en la azotea del gimnasio en días nublados.</i>	63
<i>Figura 44. Imagen muestra del resultado de porcentaje de cobertura con el programa CobCal v1.0. Se obtiene el porcentaje de cobertura, la superficie cubierta, la fecha y hora de procesamiento.</i>	64
<i>Figura 45. Porcentaje de cobertura para ambos páneos en un periodo de tres meses.</i>	65
<i>Figura 46. Molécula de acrilamida.</i>	72

1. RESUMEN

Este trabajo, hace referencia al desarrollo de una ecotécnica para la naturación vertical con hidrosiembra de nopal y se presenta como una alternativa más para contrarrestar los efectos dañinos que tienen la contaminación y el exceso de calor en las zonas urbanas. La metodología consistió en construir un par de paneles (contenedores), de madera los cuales fueron impermeabilizados para soportar la intemperie, con una pendiente de 76°, estos paneles contienen un sustrato a base de turba de Sphagnum, capaz de retener humedad por largos periodos de tiempo y un sistema de riego automatizado de agua de lluvia que funciona con energía fotovoltaica. La técnica se aplicó sobre la azotea del gimnasio de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Campo II (UNAM). Cumpliendo con todos los parámetros de una ecotécnica, esta técnica de hidrosiembra se vale en su mayoría de productos orgánicos como: nopal (*Opuntia ficus-indica*), fibra de coco, aserrín, hidrogel y una resistente mezcla de semillas de pasto, Todos estos elementos no contribuyen con el agotamiento de los recursos no renovables y pueden ser adquiridos local y económicamente, además la técnica es de fácil preparación y aplicación sobre cualquier área vertical u horizontal, acondicionada para este propósito. Con esta técnica se asegura la generación de una cubierta vegetal de tipo semi-intensiva con una mezcla de gramíneas adaptadas a zonas cálidas, la cual llega a alcanzar porcentajes de cobertura superiores al 90 %, como cualquier hidrosiembra comercial. Ésta cubierta vegetal tiene la capacidad de contrarrestar el efecto “Isla de calor”, amortiguando hasta 16 grados centígrados la temperatura en días soleados, con respecto a áreas desprovistas de vegetación sobre la misma azotea. Esta ecotécnica atrae beneficios tanto en la salud física, como psicológica de los seres humanos, ya que un metro cuadrado de pasto proporciona el oxígeno suficiente para una persona durante todo un año, además de incorporar energías limpias. Y en cuanto a costos se refiere, esta hidrosiembra a base de nopal, tiene un precio accesible por metro cuadrado, con la versatilidad de poder hidrosiembrar cualquier área pequeña, en comparación a contratar un servicio de este tipo que estima como mínima a hidrosiembrar, un área de 200m².

2. INTRODUCCIÓN

La reducción de áreas verdes en las zonas urbanas representa un problema de tipo social, cultural y de salud. La concentración de gases contaminantes, el calor excesivo de las ciudades, así como los problemas de estrés y enfermedades adscritas a las zonas urbanas repercuten directamente sobre la población en general. Para contrarrestar algunos de estos problemas es posible ayudarse de ecotécnicas, las cuales son un conjunto de herramientas que implican el uso de materiales locales, es decir, que se encuentran disponibles en la localidad en donde se llevará a cabo la ecotécnica, y el uso de estos materiales no agota los recursos no renovables. Estas técnicas deben ser llevadas a cabo por las personas que viven en la misma localidad y el producto final de las ecotécnicas debe satisfacer necesidades de las comunidades en aspectos como salud, alimentación, educación, vivienda o cualquier beneficio que haga más independientes a las comunidades del exterior.

La naturación vertical, al principio, surgió como una ecotécnica, por la necesidad de disponer de más y nuevas áreas verdes que beneficien aspectos tales como: regulación de la temperatura, aislamiento de ruidos, mitigación de problemas relacionados con el estrés, reforzamiento de una cultura en donde sean contempladas las áreas verdes como necesarias en cualquier tipo de construcción, la renovación de las masas de aire, ayudar a contrarrestar los problemas ocasionados por la contaminación atmosférica y decorar el entorno visual. Además de la oportunidad de poder hacer uso de energías limpias como es la energía fotovoltaica y la reutilización de agua de lluvia.

En la actualidad existen diversas formas de naturar espacios verticales con vegetación. Las técnicas van desde colocar macetas en disposición vertical, capas de fieltro para ayudar a uniformizar el riego, en las cuales se introducen las especies vegetales en forma de estaca o esqueje, inclusive arbustos pequeños, hasta técnicas que comprenden módulos fabricados a partir de plástico con cavidades para introducir cualquier tipo de especie. Todas estas técnicas presentan la utilización de plantas ya establecidas, es decir, no están generando nuevas áreas verdes simultáneas a la creación de un jardín vertical, sino que solamente generan una reubicación de las mismas.

Por el contrario, existe una técnica llamada: hidrosiembra, la cual sí permite la creación de nuevas áreas verdes ya que implica el uso de semillas que conformarán una cubierta vegetal. Anteriormente ésta técnica solamente era utilizada para el control de la erosión de suelos, pero ahora, con este trabajo es posible dar otro uso a la hidrosiembra en su aplicación para jardines verticales hidrosebrados. En contraparte a las hidrosiembras comerciales, elaboradas a base de componentes de tipo inorgánico (polímeros) para la retención de humedad y garantizar el establecimiento de la cubierta vegetal, se ha desarrollado e implementado una hidrosiembra con base orgánica, utilizando como principal componente el nopal y una mezcla de semillas de pasto, de esta forma, una vez establecida la cubierta vegetal, el nopal pasará a ser parte del sustrato sin alterar los procesos naturales del suelo.

Estas nuevas áreas verdes se desarrollan en periodos relativamente cortos (tres meses), y de forma económica, ya que los componentes son accesibles y de uso común. La aplicación de esta técnica no se limita a exteriores, sino que también puede ser empleada en interiores. En este trabajo se construyeron dos paneles en donde se aplicó la hidrosiembra, aunque puede aplicarse directamente sobre la pared, previamente acondicionada. Los jardines que se desarrollan con esta ecotécnica de hidrosiembra, se recomiendan principalmente para uso doméstico, es decir para áreas con una extensión no mayor a 8 m² debido a que se utiliza un producto de tipo alimenticio, el nopal (*Opuntia ficus-indica*). Algunos lugares propicios para hacer uso de esta ecotécnica son: interior de departamentos que conforman unidades habitacionales, bibliotecas, oficinas, casa habitación, escuelas y cualquier azotea, por ejemplo.

El éxito de las hidrosiembras es medido con el porcentaje de cobertura que llegan a cubrir las especies vegetales, las cuales aportan beneficios estéticos, sociales, psicológicos, de salud y ambientales. Aportando oxígeno, filtrando masas de aire y captando partículas suspendidas en el ambiente. Además de que son capaces de amortiguar el ruido y regular la temperatura del área en donde se encuentran. El resultado de esta ecotécnica, son sistemas integrales, beneficiando tanto a las personas como al ambiente. Esta ecotécnica no se plantea como el sustituto de otras técnicas de hidrosembado, sino que se presenta como una opción para quienes no poseen lugares horizontales o mucho espacio en donde colocar plantas para aprovechar espacios verticales y generar nuevas áreas verdes.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. LA URBE Y EL COMIENZO DE LA NATURACIÓN

La urbe se define como un área formada por uno o varios municipios adyacentes que tienen al menos un municipio con 20,000 habitantes, o más, y que su población total es mayor o igual a 50,000 habitantes (Ruíz, 2001).

Según datos del INEGI, una zona urbana o semiurbana se identifica de acuerdo al indicador de población llamado: Porcentaje de población según tamaño de la localidad ya sea urbana, semiurbana y rural (INEE, 2005):

- Urbana: Una localidad es urbana si su población es de 15,000 o más habitantes.
- Semiurbana: Una localidad es semiurbana si su población es de 2,500 a 14,999 habitantes.
- Rural: Una localidad es rural si su población es de 1 a 2,499 habitantes.

El Distrito Federal ocupa el segundo lugar a nivel nacional por su número de habitantes, la última estadística del INEGI resolvió que en el 2010 tan solo en el Distrito Federal vivían 8,851.080 habitantes (INEGI, 2014)

Al principio del siglo pasado, un grupo de arquitectos y paisajistas realizaron la reunión del Congreso Internacional de Arquitectura Moderna (CIAM) en el castillo de la Sarraz en Suiza (1928). El eje central de la reunión fue discutir cómo se podría mejorar el mundo mediante el diseño de nuevos edificios y del urbanismo. En esta congregación histórica, coordinada por el célebre arquitecto francés Le Corbusier, se retomó el concepto sobre la eficiencia energética de los edificios, proyectando así ciudades coronadas por azoteas con jardines accesibles en la parte superior, que permiten generar un nuevo ambiente urbano de confort y amigable al ambiente. Este innovador concepto urbanista, retomado en la reunión del CIAM, fue producto del análisis y discusión de muchos casos, entre los cuales destacan; la arquitectura de los Jardines Colgantes de Babilonia del siglo VI a.C., y las técnicas de construcción empleadas por las culturas ancestrales de los países nórdicos en los techos con pasto. (Verduzco, 2012). Esto quiere decir que la aplicación de técnicas para mejorar el ambiente por medio de especies vegetales ha estado presente desde hace más de un siglo. Sin embargo, por alguna razón se les restó importancia a estas aplicaciones. Hoy en día la naturación urbana se ha diversificado, dando lugar a distintas técnicas que implican el uso de plantas para mejorar la salud y el aspecto de las ciudades, tales como: Azoteas verdes, terrazas naturadas, huertos urbanos y jardines verticales entre otros. Estos últimos partieron de una ecotécnica para reciclar envases, utilizar espacios desaprovechados y brindar un mejor aspecto físico y aunque ahora esta técnica se ha mejorado considerablemente, aún es posible generar nuevas propuestas para la creación de jardines verticales con bases eco-tecnológicas.

3.2. NATURACIÓN URBANA Y CONCEPTO DE NATURACIÓN

La palabra “naturación” está basada en la terminología latina “natura” que en un amplio sentido, significa naturaleza (Briz, 1999). Por definición, es la implementación de técnicas que comprendan especies vegetales totalmente adaptadas a superficies verticales, horizontales o en pendiente, individuales o agrupadas, con la finalidad de transformarlas en biotopos interrelacionados por su proximidad (Briz, 1999).

Dicho de manera simplificada, la naturación es la incorporación de vegetación en superficies edificadas a través de un tratamiento técnico especializado (AMENA, 2005). Las técnicas de naturación son ideas que datan de siglos atrás, con los jardines colgantes de Babilonia, construcciones medievales y palacios, aunque con un sentido puramente paisajista (Briz, 1999). Hoy en día, el sentido principal que genera éstas prácticas es, en su mayoría, un sentido ambiental, aunque aún se mantiene el sentido lúdico o paisajista de las mismas.

3.2.1. NATURACIÓN URBANA EN MÉXICO

Por primera vez, la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal ha implantado este sistema en la Ciudad de México como un proyecto y una estrategia del Plan verde, que representa una alternativa viable para mejorar la calidad del aire, con resultados realmente favorables. Se trata de un nuevo concepto, de una mejora a través de una vuelta a la naturaleza que implica un cambio de actitud, un interés auténtico y un alto grado de conciencia entre sus habitantes. En este contexto, se han obtenido resultados verdaderamente apreciables, como es el caso de naturación de azoteas gubernamentales y hospitales, así como naturación a nivel de suelo, en sitios como:

- El edificio del INFONAVIT, con 2,500 m². El cual a partir de junio de 2011 se transformó en la azotea verde más grande de América Latina, con certificación de edificio sustentable y grado de excelencia, otorgada por el gobierno capitalino.
- El museo de Historia Natural de la ciudad de México.
- La glorieta de Insurgentes, Distrito Federal.
- La escuela Preparatoria Iztacalco Felipe Carrillo Puerto, ubicada en calle Oriente 237 No. 39, Colonia Agrícola Oriental, Delegación Iztacalco con una superficie de 1,477.85 m².
- La escuela Preparatoria Coyoacán Ricardo Flores Magón, ubicada en Calzada de Tlalpan No. 3463, esquina Calzada Acoxta, Colonia Viejo Ejido de Santa Úrsula, Delegación Coyoacán con una superficie de 2222.8 m².

- El Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América (CICEANA). Ubicado en Avenida Progreso No. 3, Colonia del Carmen, Coyoacán, con una superficie de 530 m².
- El jardín Botánico de la UNAM, ubicado en el Circuito exterior, Ciudad Universitaria con una superficie de 315 m².
- La escuela Preparatoria Ex Cárcel de Mujeres ubicada en la Calle Ermita Iztapalapa Colonia Santa Martha Acatitla con una superficie de 980 m².
- El hospital de Especialidades Dr. Belisario Domínguez, ubicado en la Avenida Tláhuac No. 4866 esq. Zacatán, Colonia San Lorenzo Tezonco, C.P. 09790, Delegación Iztapalapa con una superficie de 971 m².
- El museo de Historia Natural, ubicado en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec, Delegación Miguel Hidalgo, con una superficie de 60 m².
- La escuela Secundaria Técnica No. 14 Cinco de Mayo, ubicada en Ángel Urraza s/n esquina Avenida Coyoacán. Colonia. Del Valle Centro, Delegación Benito Juárez con una superficie de 320 m².
- El Cendi para los trabajadores del metro, ubicado en la calle Delicias No. 67, Colonia Centro, Delegación Cuauhtémoc con una superficie de 1189.56 m².

Actualmente, la Secretaría del Medio Ambiente, en coordinación con la Secretaría de Finanzas, otorga un beneficio fiscal del 10% en la reducción del impuesto predial, a las personas físicas que acrediten ser propietarias de inmuebles destinados a uso habitacional y que instalen voluntariamente una azotea verde en sus viviendas.

La instalación de un sistema de naturación deberá contemplar los requisitos, especificaciones técnicas, condiciones, parámetros y criterios mínimos de calidad y seguridad, aplicables a los materiales y procedimientos constructivos según lo establece la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007, publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 24 de diciembre de 2008 (SMA, 2013).

Este descuento tiene por objeto (SMA, 2013):

- Incrementar la superficie actual de las áreas verdes urbanas en el Distrito Federal.
- Contribuir y compensar la pérdida de áreas verdes asociada al proceso de construcción de edificaciones en la ciudad representa.
- Inducir el aumento de áreas verdes urbanas.
- Brindar a los habitantes de la Ciudad de México, además del embellecimiento paisajístico de las edificaciones, los beneficios ambientales que conlleva un área naturada.

3.2.2. TIPOS DE NATURACIÓN

Las medidas para reducir efectos ambientales nocivos, son de dos tipos: Preventivas y Correctivas. En las de tipo correctivo se incluyen todas las acciones que traten de favorecer el medio urbano. En este grupo se puede incluir lo concerniente a la naturación de construcciones urbanas, dentro de la naturación urbana, existe una nueva clasificación: las cubiertas de tipo intensivo, semi - intensivo y extensivo.

3.2.2.1. CUBIERTAS INTENSIVAS

Se clasifican así porque, una vez instaladas las especies vegetales, estas se someten a cuidados intensivos, la acción de riego y el uso de fertilizantes. Estas cubiertas llegan a ser jardines verdaderos que disponen de todo tipo de plantas, incluso árboles, las cuales son principalmente estéticas y recreativas. (Briz, 1999).

3.2.2.2. CUBIERTAS SEMI- INTENSIVAS

Estos sistemas se consideran intermedios, debido a que el espesor del sustrato oscila entre los 12 y 30 cm, lo que disminuye la selección de especies vegetales en comparación con el sistema intensivo, aunque brinda más posibilidades que el sistema extensivo y requieren un mantenimiento regular (Zielinski, 2012). El tipo de cubierta realizada en este trabajo es una naturación de tipo semi - intensiva ya que solo se utilizan especies de pasto y el sustrato no excede los 15 cm. de espesor.

3.2.2.3. CUBIERTAS EXTENSIVAS

Se llama así porque una vez instaladas y consolidadas las especies vegetales, no se someten a uso de riego, tratamientos con agroquímicos u otro tipo de cuidados manuales o mecánicos (Briz, 1999).

3.2.3. ÁREAS VERDES

La naturación en zonas urbanas, ayuda a contrarrestar los efectos negativos de la pérdida de áreas verdes, como el efecto "isla de calor", que se refiere a la diferencia hasta de 10 °C en las temperaturas de sitios ubicados a la misma altitud, pero con condiciones sociales y ambientales distintas (SMA, 2013), y aportar una mejora en la calidad del aire del área urbana. Con esto se propicia la renovación de las masas de aire, el incremento en la calidad del mismo, la regulación de la temperatura y humedad en las zonas urbanas (AMENA, 2005). "La creación de muros vegetales brinda una oportunidad para mejorar el espacio en donde vivimos". Resultando siempre en un beneficio, así mismo la implementación de ecotécnicas en zonas urbanas representa una alternativa para la mitigación de diversos problemas ambientales e incluso para problemas socio-culturales. "El contacto con la naturaleza tiene efectos tranquilizantes y consoladores que se aprecian mejor en los momentos de diversión y descanso" (OMS, 1965).

Cualquier superficie vertical provista de vegetación, puede ser comparada o percibida como un cultivo de tipo aromático ante la noción resultante de un bienestar ya sea por la difusión de dicho perfume, o como en este caso, el estímulo visual de los jardines verticales, el cual es realmente perceptible por los espectadores (Daures, 2011). A través de la observación de la vegetación, los hombres se encuentran buscando el bienestar, “El deseo de los ciudadanos es tener buenas condiciones ambientales” (Briz, 1999). Logrando dominar el crecimiento de las plantas y combinándolas con arquitectura, en donde desempeñan un papel funcional. “La arquitectura y la vegetación coexisten, convirtiéndose ésta, en una expresión de compañía que tenemos con ella” (Daures, 2011).

“La brecha entre investigación y aplicación y entre ciencia y práctica, en el ámbito de zonas verdes urbanas, tiene que ser conjugada por una amalgama entre las ideas y la comunicación” (Jim, 2004). Siendo así que los espacios libres o verdes constituyen un capital viviente que es transmitido a través de las generaciones y lo convierte en patrimonio de toda la humanidad, por ello es importante no malgastar ese patrimonio por imprevisión o solo por la falta de conciencia de su valor (OMS, 1965).

3.2.3.1. ÁREAS VERDES POR HABITANTE

El reverdecimiento de las ciudades es un problema ambiental común, si no universal, merece más atención y apoyo de recursos, con el fortalecimiento tanto de políticas como de prácticas. “La civilización implica el derecho a las actividades recreativas y el disfrute de los medios correspondientes” (OMS, 1965). Si se compara el número de espacios verdes con los espacios desarrollados para zonas de ciudades compactas (zonas urbanas y semiurbanas), los espacios verdes se enfrentan a más restricciones y tensiones, resultando más susceptibles a la degradación y la pérdida (Jim, 2004).

Las áreas verdes públicas que ocupan espacios urbanos y semiurbanos corresponden principalmente a parques, árboles en los camellones de las avenidas, jardineras en banquetas y especies vegetales que adornan algún establecimiento. Las áreas verdes privadas o de casa habitación, son principalmente plantas en macetas ya sea a nivel del suelo, en balcones o en las azoteas y el espacio destinado a un jardín provisto de césped ha sido ya en muchos de los casos remplazado por el espacio que ocupa el automóvil.

Hasta el momento las intervenciones de tipo público, privado, de grupos sociales así como del ciudadano común han estado marcadas por el desinterés improvisación y falta de coordinación en la administración,

ya que desde hace varios sexenios las prácticas correspondientes a espacios verdes tienen una dirección casi nula a programas y acciones de políticas públicas en materia de planeación sustentable y en su lugar, los espacios verdes se han conceptualizado como obstáculos y frecuentemente son destruidos o deteriorados por prácticas inconscientes (Torres, 2005).

De acuerdo a diversos organismos internacionales en materia de salud, se han expuesto índices mínimos de áreas verdes por habitante para zonas urbanas y semiurbanas, tales índices se encuentran expresados en metros cuadrados (m^2), ejemplificando algunos de estos se encuentran: la Organización Mundial de la Salud (OMS) propone un mínimo de $9 m^2/habitante$, el Programa de Hábitat de las Naciones Unidas propone $12 m^2/habitante$ y las Directivas de la Unión Europea (UE) establecen un índice entre 10 y $20 m^2/habitante$ (Pagaza, 2009).

Antes del 2003 en el Distrito Federal, se decía tener un promedio de $5.6 m^2$ por habitante; este dato se obtenía por medio de las delegaciones, las cuales remitían a la Secretaría del Medio Ambiente, la información de las áreas verdes bajo su jurisdicción y ésta a su vez elaboraba un resumen que arrojaba un dato promedio para todo el Distrito Federal.

A partir del 2003 se buscó uniformizar esa información con base a imágenes satelitales, así como haciendo uso de tecnología digital más avanzada, el centro GEO de la UNAM desarrolló un proyecto, el cual está orientado a la creación de una propuesta de plan de manejo a través de una metodología de análisis espacial de las áreas verdes del Distrito Federal, con la cual se desarrolla un inventario general con especificaciones para cada una de sus 16 delegaciones. Básicamente es la formación de un modelo teórico-conceptual y una clasificación de la vegetación para construir un sistema de información geográfica para las áreas verdes urbanas (Torres, 2005). Con la llegada de estas nuevas tecnologías, el indicador de áreas verdes por habitante en el Distrito Federal ascendió a $15.1 m^2$. Esta diferencia se produce debido a que en este estudio se encuentran integrados todos los espacios verdes, es decir, áreas privadas, federales y delegacionales, barrancas y otras áreas sin ningún tipo de manejo, comprendiendo también las Áreas de Valor Ambiental y las Áreas Naturales Protegidas. Esto sugeriría que los habitantes del Distrito Federal sobrepasan el promedio de metros cuadrados (m^2) de áreas verdes que recomiendan todos los organismos internacionales en materia de salud, aunque la realidad es que este indicador solo es un dato numérico y no señala el potencial de dichas áreas para tener un impacto que mejore la calidad de vida de las personas, ya que muchas de estas áreas verdes se encuentran en un estado deficiente de salud y su mantenimiento no son los adecuados para incorporarlos en modelos de manejo a fin de lograr mejorar sus beneficios ambientales.

Según datos recientes del Plan de Acción Climática Municipal PACMUN. Proyecto impulsado en México por el Consejo Internacional para las Iniciativas Ambientales Locales, "ICLEI-Gobiernos locales por la sustentabilidad", el cual cuenta con el respaldo técnico del Instituto Nacional de Ecología (INE), de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), tan solo en el Estado de México habitan 15 millones de mexiquenses, población equivalente a 12 estados de la república, de los cuales 10 millones de ellos viven en la Zona Metropolitana del Valle de México, población igual a la de Suiza. Por consiguiente, la Ciudad de México sólo cuenta con un área verde de 2.2 metros cuadrados por habitante (PACMUN, 2011).

3.2.3.2. IMPACTO SOCIAL RELACIONADO A LAS ÁREAS VERDES

Aunque hoy en día ya es posible visualizar espacios verdes, esta categoría incluye a todos los espacios verdes existentes, principalmente situados a nivel del suelo, provistos por el gobierno y el sector privado, con o sin acceso al público y espacios verdes remanentes dejados por "defecto" debido a las limitaciones físicas topográficas o geotécnicas de la región (Jim, 1989).

Lo que deja inexistente la presencia de espacios verdes en renovación y/o la creación de nuevos espacios verdes destinados puramente para cubrir con una necesidad de salud real que tienen todos los habitantes de las ciudades.

En este trabajo se plantean áreas verdes comunes, como jardines públicos o privados así como de carácter escénico, implementando una técnica que conjunte los beneficios físicos y escénicos de cualquier jardín en disposición vertical e integrarla como una ecotécnica para naturar azoteas o cualquier espacio vertical en zonas urbanas. Socialmente existe una indicación sustancial de que el entorno natural le importa a las personas, sin embargo, no son los escenarios naturales la discusión principal, sino el enfoque en sí de la naturaleza en las zonas urbanas, y de cómo el entorno natural urbano puede proveer de un escenario para diversas experiencias. Kaplan (1983), menciona experiencias de restauración, sin embargo, en el entorno urbano es posible practicar también la creación de "Tramas verdes" o áreas verdes inexistentes, en espacios nuevos (Briz, 1999). Una ciudad con espacios verdes personifica una adecuada planificación y gestión, un medio sano para las poblaciones humanas, la vegetación y la fauna (Adams, 1987). Dado estos antecedentes, en el entorno natural e incluso en el entorno urbano / natural, no solo se intentan generar los espacios verdes que las ciudades han reducido, sino la relación del ser humano con la naturaleza, Kaplan también menciona, que la fascinación que algunos escenarios naturales ofrecen, se pueden encontrar en los patrones que inculquen dramáticamente diferentes reacciones, como la emoción en las tormentas, por ejemplo (Kaplan, 1984).

3.2.3.3. POR QUÉ ES IMPORTANTE LA GENERACIÓN DE ÁREAS VERDES

Las organizaciones, los estudios de carácter ambiental e inclusive la perspectiva común de las personas señalan esa importancia intrínseca que las áreas verdes poseen además de las funciones vitales de las plantas en la oxigenación del aire y absorción del gas carbónico, tienen importancia en otros aspectos tales como la protección, fungen como barreras vivientes ante ruidos, gases, polvo y humo, así como contra el viento, el frío y el calor excesivos, además de otro factor muy importante adscrito a las áreas verdes, su importancia recreativa (OMS, 1965).

3.2.3.4. BENEFICIOS DE LAS ÁREAS VERDES

En todas partes del mundo se estudian los beneficios de las áreas verdes y numerosos estudios los han cuantificado. Sin embargo, la multitud de variables que determinan el desempeño de cada sistema impide dar una respuesta definitiva. Algunos de los beneficios de las áreas verdes se enlistan a continuación (Zielinski, 2012).

- Manejo de agua de lluvia

Los estudios de Wong (2003); Carter y Keeler, (2008) demuestran que las cubiertas verdes tienen la capacidad de absorber, filtrar, retener y almacenar entre 40 y 80 por ciento de la precipitación anual que cae sobre ellas, lo que ayuda a reducir la tasa de flujo y el volumen del agua en el sistema de alcantarillado.

- Regulación de la temperatura y ahorro de electricidad

La vegetación sobre las cubiertas tiene un alto efecto de aislamiento térmico, ya que la capa de sustrato funciona como un colchón que no permite el sobrecalentamiento de la construcción. En efecto, los techos verdes reducen el consumo de electricidad por el sistema de aire acondicionado hasta en un 50%. Además de tener la función de aislar, las cubiertas verdes reducen la temperatura del ambiente por medio de procesos fisiológicos de la vegetación como son la evapotranspiración, la fotosíntesis y la capacidad de almacenar calor de su propia agua.

- Prolongación de la vida útil de la cubierta

Los sistemas de naturación ayudan a proteger las cubiertas de fluctuaciones extremas de temperatura, lo que aumenta la durabilidad estructural de la cubierta. Con las cubiertas verdes, se puede extender la vida de un techo a 40 años, que es el doble de una cubierta tradicional.

- Reducción del efecto de isla de calor

El efecto de isla de calor, es el aumento de la temperatura en zonas urbanas, en relación con los alrededores. La Ciudad de México es un ejemplo específico que alcanza los 9° C de diferencia, debido a que las zonas urbanas cuentan con extensas áreas de superficie dura que absorben radiación solar y reflejan este calor de nuevo hacia la atmósfera. La vegetación, debido a su comportamiento térmico y físico, absorbe el calor y lo utiliza a través del proceso de evapotranspiración, reduciendo la temperatura urbana y el efecto de smog.

- Creación de hábitats

Las áreas verdes pueden convertirse en hábitat de fauna menor, contribuyendo a la conservación de la biodiversidad en áreas urbanas. Desde 1997 se han realizado estudios sobre la relación entre los techos verdes y la biodiversidad. Como resultado, se ha comprobado la utilidad de las cubiertas verdes para los voladores pequeños.

- Reducción de ruido

La combinación de sustrato, plantas y capas de aire dentro del sistema de naturación actúa como una barrera de sonido y proporciona una reducción significativa del ruido en el interior del edificio. En las cubiertas verdes, una parte de la onda es absorbida por las plantas y el sustrato, y otra parte es reflejada y desviada (Zielinski, 2012). Un techo vegetal con un sustrato de 12 cm. puede reducir el sonido en 40 decibeles, y uno con 20 cm. reducirá el sonido entre 46 y 50 decibeles (Monterrubio, 2013).

- Beneficios físicos y psicológicos

Los techos verdes proporcionan beneficios psicológicos y físicos relacionados con relajación, regeneración, reducción de estrés y provisión del aire más limpio. Samangoei (2006) identifica multitud de casos que demuestran la relación positiva entre las cubiertas verdes y los beneficios psicológicos y físicos para las personas (Zielinski, 2012).

- Beneficios sociales

Los beneficios sociales incluyen la integración del edificio a entornos naturales, las variadas posibilidades de diseño y la utilización del espacio para descanso y esparcimiento.

- Reconocimiento y responsabilidad ambiental

Los techos verdes son fácilmente reconocibles, ya que los edificios que implementan esta tecnología difieren significativamente de los demás edificios en las áreas urbanas. Por lo tanto, las edificaciones de este tipo reciben un cierto reconocimiento, especialmente en aquellas ciudades donde apenas se están implementando por primera vez.

- Incremento del valor comercial

La popularidad de los espacios verdes también se refleja en los valores inmobiliarios. Hoy, existen muchas experiencias documentadas, especialmente en Europa, donde las cubiertas verdes proporcionan un valor agregado, aumentando el precio comercial de los edificios, en la mayoría de uso residencial, oficinas, hoteles, edificios para la recreación y el esparcimiento.

- Favorecen a la conservación de la biodiversidad

Las áreas verdes son el hogar de insectos y aves, sobre todo aquellas diseñadas para tener poco mantenimiento, ya que será un lugar por el que las personas transitarán muy poco.

- Ventajas relativas a la salud

Las personas que viven en áreas altamente desarrolladas pueden presentar menos susceptibilidad a las enfermedades si cuentan con áreas verdes cercanas a ellas. Esto sucede, en parte, debido al oxígeno adicional, a la filtración del aire y al control de la humedad que suministran las plantas, además de los beneficios terapéuticos que resultan del contacto cercano con las áreas verdes.

- Descuento en impuesto predial (10%)

La Dirección General de Bosques Urbanos y Educación Ambiental, de la Secretaría de Medio Ambiente ofrece un documento para obtener un descuento del 25 % de impuesto predial a los propietarios de casas que cuenten con árboles adultos y unidos a la tierra o con áreas verdes que ocupen la tercera parte de la superficie de su predio.

3.2.3.5. EFECTOS NOCIVOS EN ZONAS URBANAS ANTE LA FALTA DE ÁREAS VERDES

Particularmente, en la Ciudad de México ha sido necesario proyectar un mayor número de construcciones y vías de acceso, fabricadas de concreto y asfalto, por el acelerado crecimiento de la población. Estos materiales generan un exceso de calor en el ambiente, ya que las superficies absorben grandes cantidades de energía solar, provocando un sobrecalentamiento.

Lo anterior, combinado con el aumento de la contaminación y la cantidad de partículas suspendidas en el aire, ha contribuido a crear un ambiente poco saludable, donde las alergias, así como todo tipo de enfermedades respiratorias, son cosa de todos los días (SMA, 2013). Al mirar el entorno y más que visualizarlo tal cual es a medida de que se va transformando, es preciso analizar los problemas que se le están ocasionando, ya que mientras se ha llevado a cabo la reducción de áreas verdes y el reemplazo de árboles por construcciones modernas, se han estado generado graves consecuencias para el ambiente que repercuten sobre la población en general. En algunas ciudades altamente desarrolladas, (p.e., Londres y los Angeles) estas consecuencias han inducido modificaciones al microclima de las mismas, acompañadas de variaciones en la temperatura y la higrometría. Incluso con el desarrollo social que esto representa, se observan frecuentemente signos que sugieren la existencia de patologías urbanas, así como cambios característicos en la morbilidad causados principalmente por cardiopatías isquémicas, cáncer y hepatitis. La vida en las zonas urbanas determina una saturación de factores tanto positivos como negativos acompañados de aspectos nocivos para la salud (OMS, 1963). Ya que además de lo anterior, muchas de las construcciones actuales dependen de sistemas artificiales para controlar el ambiente interior y son grandes consumidores energéticos, principalmente en sistemas de acondicionamiento (Briz, 1999).

3.2.4. EL AIRE QUE SE RESPIRA

Más de la mitad de la población mundial se concentra en las ciudades y ésta concentración se convierte en una amenaza para la salud, por lo cual se han desarrollado técnicas que dan solución a la problemática, Una respuesta a éstas problemáticas ha sido proporcionada por la ciencia y las nuevas tecnologías, soluciones relativamente simples, como el incremento de la cobertura de áreas verdes (Zielinski, 2012). Las cuales brindan beneficios en contra de los factores contaminantes del ambiente y por tanto aportan una mejoría en la calidad del aire.

3.2.4.1. MEJORA EN LA CALIDAD DEL AIRE

Los techos vegetales ofrecen una variedad de ventajas sobre los techos tradicionales. Sin embargo, esta clasificación no debe ser tomada con precisión, ya que todas ellas están relacionadas entre sí, y muchas veces una es consecuencia de otra (Monterrubio, 2013).

- Un metro cuadrado de cubierta vegetal en las azoteas genera el oxígeno que necesita una persona durante un año (Verduzco, 2012).
- Captura agua de lluvia que puede ser reutilizada en las edificaciones.

- Filtran el aire que circula a través de la cubierta vegetal, capturando el polvo y las partículas suspendidas, reduciendo su distribución.
- Un metro cuadrado de césped, puede remover anualmente 0.2 kg de partículas suspendidas.
- Un metro cuadrado de plantas con follaje puede evaporar más de medio litro de agua en un día caliente y hasta 700 litros de agua anualmente.

Los estudios demuestran que la vegetación puede contribuir significativamente a la reducción de la contaminación del aire en las ciudades. La vegetación retiene polvo y partículas contaminantes presentes en el aire por medio de la adhesión y gracias al efecto de microclima. Además de filtrar las partículas del aire, las plantas captan CO₂ y liberan oxígeno (Zielinski, 2012).

3.2.4.2. CAPTURA DE CONTAMINANTES CON VEGETACIÓN

Se considera contaminante atmosférico tanto a sustancias químicas como a las formas de energía que alteran la composición y/o propiedades del aire causando efectos perjudiciales en los seres vivos y en su hábitat” (Briz, 1999). De modo que la disminución en la calidad del aire en zonas urbanas es producto de un conjunto de factores, tales como las actividades productivas y las condiciones meteorológicas (locales y globales) y fisiográficas que van modificando la química atmosférica. De acuerdo con el inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México, SEMARNAP 1998, ahora SEMARNAT, (INE-Semarnat, 2012), esta zona emite a la atmósfera anualmente aproximadamente 2.5 millones de toneladas de contaminantes, de los cuales aproximadamente el 19% (475 mil toneladas) son hidrocarburos (González, 2003)

Los contaminantes aéreos como el NO₂, SO₂, CO₂, partículas de polvo, contaminantes del suelo e incluso la contaminación auditiva, se reducen con la presencia de especies vegetales en la urbe. Este efecto es la llamada fitorremediación. De este modo, incorporando especies vegetales adaptadas a las condiciones de las zonas urbanas y mediante un tratamiento técnico es posible ganar nuevas superficies verdes que ayuden a controlar la contaminación en la ciudad (Escriva, 2011).

La velocidad de absorción y eliminación de contaminantes gaseosos por parte de las plantas aumenta hasta diez veces cuando la superficie de estas se encuentra completamente mojada, así como con suficiente luz, la cual también juega un papel muy importante en la actividad fisiológica de las hojas y en la apertura de los estomas. En condiciones adecuadas de humedad si los estomas se encuentran abiertos al máximo, la captura de contaminantes por parte de las plantas puede ser más elevada que si se encontraran bajo estrés hídrico, ya que al limitarse la apertura, también se restringe la absorción (Briz, 1999).

3.3. JARDINES VERTICALES

Jardín vertical o muro vegetal es un término que se comenzó a utilizar en el año de 1988, acuñado por el botánico francés Patrick Blanc, quien se conoce como el creador de esta técnica. El primer jardín vertical fue registrado en el año 2001 y construido en el hotel Pershing Hall de París.

El término “Jardín vertical”, se aplica a cualquier dispositivo que permita todos los tipos de plantas (perennes y hierbas) o pequeños arbustos para que logren crecer y establecerse verticalmente.

Por lo general, la técnica con la que se construyen los muros vegetales implica la aplicación de una o más capas no tejidas de fieltro sobre placas de PVC. Estas se mantienen húmedas por medio de una continua ferti-irrigación automatizada (Daures, 2011). En la práctica, esto resulta ser un jardín vertical hidropónico, ya que las especies vegetales son fertilizadas con soluciones nutritivas y crecen sobre un sustrato sólido.

3.3.1. TÉCNICAS Y TIPOS DE JARDINES VERTICALES

Los muros vegetales son, por sí mismos, una ecotécnica diseñada para disminuir problemas de tipo ambiental, de salud, social y cultural en las urbes: A menudo estos jardines son charolas de vegetación sembradas en monocultivo para lograr visualmente algún tipo de diseño. Otro tipo de muros vegetales se consiguen por medio de placas de plástico con varias cavidades en donde es posible colocar las especies vegetales, o bien, en líneas de macetas yuxtapuestas sobre fibra de coco, por ejemplo (Daures, 2011). La técnica utilizada por Patrick Blanc se basa en la superposición de tres componentes; Estructura metálica, placa de espuma de PVC y mantel de riego. La estructura metálica consiste en un cuadro de metal empotrado en un muro, creando un colchón de aire entre las plantas y el muro, aislando contra el frío en invierno y del calor en el verano. El segundo componente, un marco metálico con placas de PVC que asegura el sellado, la rigidez y homogeneidad de la superficie con vegetación y el tercer componente corresponde al mantel de riego el cual es un fieltro de poliamida, el mantel de riego también comprende a las especies vegetales. El riego se realiza con agua corriente y existen horarios programados automáticamente para llevarlo a cabo. Por último, las plantas se instalan ya sea como semillas o esquejes de plantas adultas en toda la cobertura del mantel de riego con una densidad de no más de treinta plantas por metro cuadrado. Al final, todo esto no excede treinta kilogramos por metro cuadrado (Blanc, 2000).

En la mayoría de los casos, estos jardines considerados obras de arte, no se ajustan a los criterios de eco-construcción, a pesar de su apariencia con vegetación (Daures, 2011). En contraste, este tipo de técnicas pueden ser clasificadas con el término de "Paisaje cultural" (Torres, 2005), en donde concuerdan con las recomendaciones más actualizadas de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación y la Cultura, en relación con la protección y conservación del patrimonio natural y cultural, y ofrece perspectivas alentadoras para realizar una tipología de las áreas verdes urbanas.

La experiencia ha demostrado que es posible combinar la función estética y la social, proporcionando jardines de desarrollo social agradables de contemplar, compartiendo espacios próximos a varias personas que compartan la misma perspectiva para cumplir objetivos sociales, ecológicos y/o educativos (Daures, 2011).

3.3.2. TROPISMO

Tropismo, del griego tropé, "volverse" (Salisbury, 1994). Hablar de jardines verticales es hablar de un tipo de tropismo, el cual se define como una respuesta de crecimiento, que implica la curvatura de una parte de la planta, provocada por un estímulo externo que determina la dirección del movimiento, es decir, que la parte de la planta se dirija hacia el estímulo o que se aleje de él. Si la respuesta trópica es hacia el estímulo se dice que es positiva, si es en sentido contrario es negativa (Raven, 1992).

3.3.3. ¿GRAVITROPISMO O GEOTROPISMO?

El término geotropismo estuvo consagrado por un largo uso, y se define como; La orientación de los diferentes órganos de las plantas multicelulares determinadas por la acción de la gravedad (Córdoba, 1976). También se ha definido como una "respuesta trópica a la tierra". Como en realidad la respuesta es a una fuerza gravitacional (o alguna aceleracional), gravitropismo es un mejor término, tal como hace varias décadas fototropismo, (respuesta general a la dirección de la luz) reemplazó al término heliotropismo, respuesta al sol (Salisbury, 1994).

3.3.4. GRAVITROPISMO

Este efecto es una respuesta a la gravedad. Las plántulas manifiestan un gravitropismo muy notorio. Si se tumba una plántula, sus raíces crecerán hacia abajo, gravitropismo positivo y su brote crecerá hacia arriba, gravitropismo negativo (Raven, 1992). El estudio de estas respuestas, condujo al conocimiento de que el crecimiento de las plantas está influenciado por hormonas (auxinas), un concepto que ha contribuido mucho para explicar cómo las plantas regulan y controlan su desarrollo. Cómo la luz o la gravedad ocasionan el transporte lateral de las hormonas, es un problema cuya explicación todavía se escapa casi por completo (Ray, 1981).

En general, las raíces son positivamente gravitrópicas y las raíces primarias se orientan de manera más vertical que las secundarias, las cuales crecen a veces en ángulos más bien constantes, casi horizontales. Los tallos y los pies de las flores son de manera característica negativamente gravitrópicas, pero la respuesta es muy variable (Salisbury, 1994). Este efecto se puede apreciar en cualquier planta colocada en un jardín vertical, ya sean arbustos o hierbas y en el caso de este trabajo ocurre lo mismo, ya que el pasto de la cubierta vegetal presenta gravitropismo en el segundo mes de su desarrollo.

3.4. ¿QUÉ ES UNA ECOTÉCNIA?

La palabra ecotécnia o ecotecnología es la combinación de tres voces griegas: **oikos** que significa casa, **teknos** es el conjunto de procedimientos de los que se sirve una ciencia para conseguir un objetivo y **logos** que significa tratado (Barbosa, 2013).

En la Cumbre de la Tierra de 1992, la Carta de Río estableció que las ecotécnicas son una herramienta para el crecimiento económico sustentable, dado que reducen la contaminación y ayudan a descontaminar, moderan el consumo de energía y materias primas, brindan productos con mínimo o nulo impacto, reutilizan y reciclan elementos y permiten una coexistencia entre la naturaleza y el desarrollo. Es decir, las tecnologías ecológicas "No son meramente tecnologías aisladas, sino sistemas integrales que incluyen conocimientos técnicos, procedimientos, bienes, servicios y equipos, al igual que procedimientos de organización y gestión" (CIMA, 2013). Dicho de otra manera, una ecotécnia es un instrumento desarrollado para aprovechar sostenible y eficientemente los recursos naturales y materiales, y permitir la elaboración de productos (CDI, 2006).

3.4.1. OBJETIVOS Y CARACTERÍSTICAS DE LAS ECOTÉCNIAS

Actualmente existe un gran número de ecotécnicas, pero, ¿Cuáles son las características que describen e identifican a una ecotécnia? y ¿Que hace a estas técnicas diferentes de otras? Para establecer una nueva técnica como ecotécnia, se pueden hacer las siguientes preguntas (Lengen, 2002).

¿Hace a las comunidades o poblaciones, más independientes de las industrias de fuera?

¿La nueva técnica dará satisfacción a las necesidades básicas de las personas, como abrigo, alimentación, educación o salud?

¿Se está utilizando la mano de obra local y los materiales de la región para su construcción?

¿En la aplicación de esta técnica, participan muchas personas de la zona, bajo su propia dirección e iniciativa?

¿Los valores tradicionales de la comunidad forman parte de esta nueva técnica?

¿La técnica es sencilla y se presta para la participación creativa de las personas?

¿La técnica no provoca la desaparición de materiales o la contaminación del ambiente?

¿Con esta técnica se mejora el aspecto de las edificaciones y del medio que lo rodea?

Aunque estas son sólo algunas de las preguntas que debe satisfacer una ecotécnica, son preguntas clave, además de preguntas básicas que se deben de incluir para la conformación de una ecotécnica.

3.4.2. EJEMPLOS DE ECOTÉCNICAS

Una de las características de cualquier ecotécnica es la sencillez, para que cualquier persona sea capaz de llevarla a cabo y de esta manera elegir las ecotécnicas que mejor atiendan sus necesidades y se adapten a su entorno, usos y costumbres, así como a los materiales disponibles en su comunidad (CDI, 2006).

Algunos ejemplos comunes de ecotécnicas son (CDI, 2006; Loyola, 2006; Careaga, 2009; HT, 2009; Litvin, 2010).

- Estufa solar
- Calentador solar
- Azoteas verdes
- Jardines verticales
- Deshidratador solar
- Captación de agua de lluvia
- Sistemas ahorradores de agua
- Cisterna de ferrocemento
- Compostaje
- Lombricomposta
- Baños secos
- Pintura de nopal
- Trampa de calor
- Impermeabilizante de nopal
- Biodigestores
- Estufas de aserrín
- Chinampas
- Terrazas naturadas
- Huertos familiares
- Bomba de mecate
- Hidroponia
- Organoponia
- Saneamiento ecológico
- Cama biointensiva de hortalizas
- Lavaderos eco-comunitarios
- Reciclaje de aguas grises
- Fabricación de adobes
- Biofiltros
- Biomateriales para la construcción (PET)

3.4.3. FACTORES A CONSIDERAR PARA LLEVAR A CABO UNA ECOTÉCNIA

Antes de llevar a cabo una ecotécnia se deben considerar distintos factores para asegurar el éxito de la misma, como son: ¿A cuántas personas beneficiará la técnica?, ¿Qué alcance tendrá? y las posibilidades para llevarla a cabo. A continuación se muestran distintos puntos que pueden ayudar a llevar a cabo una mejor implementación de las ecotécnicas (Lengen, 2002).

- El uso que se le dará. Puede ser de tipo productivo (hidroponia u organoponia) o para mejorar el aspecto de algún área en específico (naturación).
- La disponibilidad de materiales o el dinero para adquirirlos.
- La forma de construcción.
- La imaginación y creatividad.
- El clima de la región.
- Las costumbres del uso de los espacios de la región.
- Las condiciones de terreno.

3.4.4. ALGUNAS VENTAJAS DE LAS ECOTÉCNIAS

Conociendo las tecnologías que garanticen una operación limpia, económica y ecológica en la generación de bienes y servicios necesarios para el desarrollo de la vida diaria, las personas que se beneficien de alguna ecotécnia podrán elegir las que mejor atiendan sus necesidades (CDI, 2006).

- Brindan beneficios a las comunidades en donde son aplicadas, como: abrigo, alimentación, educación o salud.
- Limitan el impacto humano sobre la biósfera.
- Mantienen el patrimonio biológico.
- Utilizan racionalmente los recursos naturales no renovables.
- Hay reciclaje y manejo de desechos de forma adecuada.
- Ahorran agua y energía.
- Integran a las personas con la naturaleza.
- Sustituyen tecnologías obsoletas y contaminantes.

3.5. HIDROSIEMBRA COMO OPCIÓN PARA NATURAR ÁREAS URBANAS

La forma de revegetar o naturalizar espacios, ya sea destinado al esparcimiento, para dotarlos de belleza escénica o para cumplir con aspectos derivados de la industria de la construcción puede realizarse utilizando distintas técnicas y una de ellas es la hidrosiembra. En este trabajo, se aborda la propuesta de una ecotécnica de jardines verticales hidrosemebrados en azoteas o muros de zonas urbanas.

3.5.1. CONCEPTO DE HIDROSIEMBRA

Por definición, la hidrosiembra es un método mediante el cual se mezclan semilla, agua, abono, hormona y celulosa (mulch; agregado orgánico que protege y nutre a la semilla); estos componentes se colocan directamente sobre el suelo por medio de un equipo especial y costoso que consiste en proyectar la mezcla a distancia y vía aspersión sobre terrenos con declives, colocando una cubierta homogénea de 5 a 50 mm de espesor (Roger F., 1991). De esta manera se siembra, abona y se cubre el suelo. Para evaluar el éxito de la aplicación de esta técnica, se utiliza tradicionalmente la cobertura, y se considera un éxito cuando ésta supera el 90% (De Rodas, 2004).

3.5.2. ANTECEDENTES

La hidrosiembra es una técnica de siembra que surgió en el año de 1953 en Estados Unidos de Norte América (MAGRAMA, 2008). Para poblar los taludes que dejaba a su paso la construcción del mayor sistema de carreteras que gestó la administración del presidente Dwight Eisenhower (Torres, 2011).

La hidrosiembra es una práctica de conservación de suelos frente a la erosión, así como una medida de estabilización de laderas. Hoy, cincuenta años después de su invención, la hidrosiembra se ha utilizado de diversas formas, sus aplicaciones ya no son sólo las de recubrir terrenos erosionados. Con esta técnica también es posible cubrir los tejados de las casas, para proveer de una cubierta vegetal. La hidrosiembra se incluye dentro de las técnicas para restauración del paisaje, creación de suelo y revegetación (MAGRAMA, 2008). Además, esta técnica se considera como una de las herramientas más eficaces para controlar y prevenir la erosión y la sedimentación en terraplenes, cortes de caminos, basureros, botaderos de material de desperdicio y otras intervenciones que se generan producto de la construcción y desarrollo de diferentes obras civiles (Roads, 2010).

3.5.3. BENEFICIOS Y APLICACIONES DE LA HIDROSIEMBRA

Esta técnica ofrece beneficios en cuanto a una mayor germinación de las semillas por los fertilizantes de la mezcla y de sus otros componentes que son capaces de retener hasta diez veces su peso en agua, por lo que las semillas se mantienen húmedas para una germinación más rápida y efectiva, así como una cobertura uniforme. También ofrece beneficios por la versatilidad con la que son sembradas áreas complicadas tales como terrenos irregulares, terrenos en pendiente, bermas, zanjas y franjas angostas. Esta técnica tiene pocas exigencias de suelo, clima y mantenimiento y, mientras transcurre el desarrollo vegetal, el “mulch o cubierta” se convierte en humus y pasa a ser una parte integral de los suelos (Roads, 2010).

3.5.4. JARDINES VERTICALES HIDROSEMBRADOS

Si bien se conocen las diversas formas que ha tenido la hidrosiembra a lo largo de su historia, pocas veces se ha oído hablar de jardines verticales hidrosembados. Esto es porque existen diversos factores que tanto la hidrosiembra como los jardines verticales poseen individualmente para cumplir con cada uno de sus objetivos. Por un lado la hidrosiembra sólo provee de especies de tipo césped, es decir que generan algún tipo de cobertura rasante sobre el terreno al que se aplica. Por otra parte, los jardines verticales se han diseñado principalmente para brindar belleza escénica al lugar en donde se instalan, mostrando algún arreglo de especies más vistosas, variadas y grandes que cualquier gramínea de la hidrosiembra. Aunque precisamente ese es el tema que se aborda, ya que con esta nueva ecotécnica no solo se dispone de una hidrosiembra orgánica, de fácil preparación y accesible económicamente, sino que a su vez se genera un jardín vertical que brinda todos los beneficios de cualquier área verde.

3.5.5. COBERTURA VEGETAL

Existen varias formas de definir lo que se llama cobertura vegetal, una de esas formas es la siguiente; “capa de material de origen vegetal, ya sea vivo o muerto que se encuentra directamente sobre el suelo y que lo aísla de la atmósfera” (Heuveloop, 1986). Cabe mencionar que existen dos tipos de cobertura, la cobertura aérea o total y la cobertura basal.

Cobertura aérea o total – Es “La proyección vertical, hacia abajo o partes superiores de las plantas sobre el suelo”, también definida como “La proporción del suelo ocupado por la parte aérea de la plantas” (Sánchez, 2008).

Cobertura basal – “El área del suelo ocupada por la corona de los zacates, tallos de hierbas de hoja ancha y tallo de árboles y arbustos” (Sánchez, 2008).

La importancia de la cobertura vegetal radica en las características que infiere y proporciona al suelo y a la atmósfera, ya que la cobertura modifica las características caloríficas del suelo, debido a que intercepta la radiación y reduce la evaporación, lo que implica que se mantenga una mayor humedad en

el suelo (Heuveldop, 1986). Además de eso la medición de la cobertura tiene otras aplicaciones, tales como:

- Indicador de impacto de pastoreo
- Indicador de protección del suelo
- Indicador de productividad

3.5.5.1. MEDICIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL

Existen gran variedad de técnicas para medir la cobertura vegetal, las cuales se diferencian en la facilidad con que se aplican. Entre las técnicas de medición de cobertura existen ciertas dificultades que limitan su aplicación, aunque siempre hay una técnica que se populariza debido a su sencillez, precisión y fácil entendimiento al registrar la información en campo (Sánchez, 2008). Según SAGARPA (2004), establece que la forma más apropiada de medir la cobertura vegetal es mediante la técnica de Línea Canfield, la cual consiste en tender sobre la vegetación una línea de 15 a 30 m de longitud, esto se logra con la ayuda de una cinta métrica, cordel o alambre, sobre la cual se mide la longitud de segmentos que son interceptados por el follaje o parte basal de las especies vegetales individuales. Con las mediciones individuales para cada especie vegetal y con la longitud total utilizada se puede calcular la cobertura vegetal total o basal por especie, mientras que con la longitud interceptada por el follaje de la vegetación y la longitud total usada se calcula la cobertura vegetal total (Sánchez, 2008).

3.5.5.2. MEDICIÓN DE COBERTURA VEGETAL CON EL MÉTODO FOTOGRÁFICO

(Ferrari, 2005) Utilizó el programa CobCal para medir la cobertura vegetal por medio de fotografías digitales, el cálculo del área es semiautomático. El usuario debe proveer al programa de cierta información inicial para que pueda llegar al resultado, indicando:

- Una o más imágenes a ser procesadas.
- El área circular relevante de la imagen que se va a procesar.
- Uno o más colores representativos (llamados positivos) correspondientes al cultivo (por ejemplo, dos tonos de verde para las hojas, o un verde y un amarillo para las hojas y flores respectivamente) y un color (llamado negativo) que indica el color del suelo o del área que no debe ser tomada en cuenta para el cálculo. Aunque este color es opcional, es recomendable su uso para obtener los mejores resultados.
- Nivel de precisión - Esta opción le indica la cantidad de puntos (píxeles) a muestrear. El nivel "alto" tiene en cuenta todos los píxeles del círculo.
- Modo de escaneo - Indica al programa si debe usar el modo HSL (que define al color de los píxeles según sus valores de saturación y luminancia) o el modo RGB (que define al color de los píxeles en diferentes intensidades de rojo, verde y azul)

La precisión del software fue contrastada mediante comparaciones realizadas con el método tradicional de cuadrados a campo de Campbell y Arnold (1973). La prueba en paralelo se realizó sobre el desarrollo vegetativo de un cultivo de colza, en él, se seleccionaron al azar 10 muestras de cuatro metros cuadrados en donde se aplicaron dos tratamientos, (A) Porcentaje de cobertura vegetal según el método tradicional de cuadrados, (B) Porcentaje de cobertura vegetal utilizando fotos digitales analizadas con CobCal. Las fotografías digitales utilizadas en el tratamiento "B", se sacaron en el mismo lugar y momento en donde se analizaron las muestras para el tratamiento "A" (Ferrari, 2006). El funcionamiento de este programa se basa en un algoritmo especialmente diseñado para el procesamiento de imágenes digitales, el cual en esta prueba, los autores antes referidos obtuvieron como resultados que no existen diferencias significativas con el método tradicional utilizado, concluyendo que el software provee de forma más rápida, sencilla y eficaz los porcentajes de cobertura, así como la superficie cubierta por el cultivo (Sánchez, 2008).

4. OBJETIVOS

OBJETIVO PRINCIPAL

Desarrollar un prototipo de ecotécnica, para la generación de áreas verdes nuevas, en módulos de jardines verticales hidrosembados, que brinden beneficios estéticos en zonas urbanas, haciendo uso de una hidrosiembra con base orgánica, que pueda ser llevada a cabo por cualquier persona y que integre la reutilización de agua de lluvia y energía fotovoltaica.

OBJETIVOS PARTICULARES

Desarrollar un contenedor en disposición vertical, que sea funcional para el desarrollo radical de la cubierta vegetal, así como la instalación del sistema de riego y la contención del sustrato.

Instalar un sistema de energía fotovoltaica para automatizar el riego de la cubierta vegetal y hacer uso de una energía limpia.

Diseñar un sistema de riego por aspersión de aguas pluviales, que aporte un nivel de humedad adecuado para la instalación, desarrollo y permanencia de la cubierta vegetal.

Desarrollar una hidrosiembra experimental orgánica, que retenga la humedad para promover la germinación de las semillas utilizadas, y, evite que las plántulas mueran por deshidratación. De esta manera obtener un porcentaje de cobertura superior al 90%.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

La técnica desarrollada en este trabajo se plantea partiendo de otros sistemas empleados en la construcción de jardines verticales, como la utilización de macetas en disposición vertical, estructuras forradas con telas sintéticas que ayudan a dispersar el riego y provistas de espacios destinados a las especies vegetales, placas de fibra de vidrio con canaletas, “Macetas y otras bandejas suspendidas” (Blanc, 2000). Estos métodos implican intrínsecamente el uso de macetas y/o dispositivos en posición vertical, a lo que deberían de ser llamados “Maceteros verticales” en vez de jardines verticales, además de que estos jardines obtienen la cobertura total cuando las especies que los conforman alcanzan su máximo desarrollo.

Este trabajo aborda el tema de cómo generar jardines verticales hidrosebrados en las azoteas o muros de las zonas urbanas para contrarrestar las altas temperaturas y cubrir una necesidad de salud, en cuanto a la generación de áreas verdes, para lo cual se realizó una cubierta semi-intensiva con un solo tratamiento y su éxito depende de las mediciones de cobertura de la cubierta vegetal.

Para la generación de estos jardines se dio paso a la realización de sus distintos componentes.

5.1. DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPERMEABILIZACIÓN DE LOS PÁNELES VERTICALES

Se construyeron dos contenedores a partir de madera, los cuales están conformados por dos marcos de 1.22 m de alto por 1.22 m de ancho por 5 cm de espesor, así mismo se les agregó un cuadro de triplay de 1.22 m de lado para concluir el bastidor y para mantener la pendiente se adjuntó un soporte de madera con un ángulo de 76° grados (Figura 1). Estos contenedores se denominarán: “Páneles verticales”. Posteriormente, a modo de impermeabilización, se colocó hule de invernadero. La primera cubierta de hule entre el bastidor y el triplay (Figura 2a), y, la segunda, sobre el bastidor ya terminado (Figura 2b). Esto para evitar que la humedad del riego deteriore la madera en un plazo de tiempo relativamente corto, además a cada panel se les anexaron cuatro cuadros de madera de 5 x 5 cm para fijar la malla mosquitera y evitar que el sustrato se escurra. Para la entrada de alimentación del riego se realizó una perforación de 2 cm de diámetro en el triplay de ambos páneles, esto fue, por la parte trasera de los bastidores (Figura 3).

Esta técnica también está enfocada a brindar belleza escénica, así que, se les colocó a ambos paneles una moldura de madera en el contorno del marco y el acabado se realizó con pintura de color blanco.

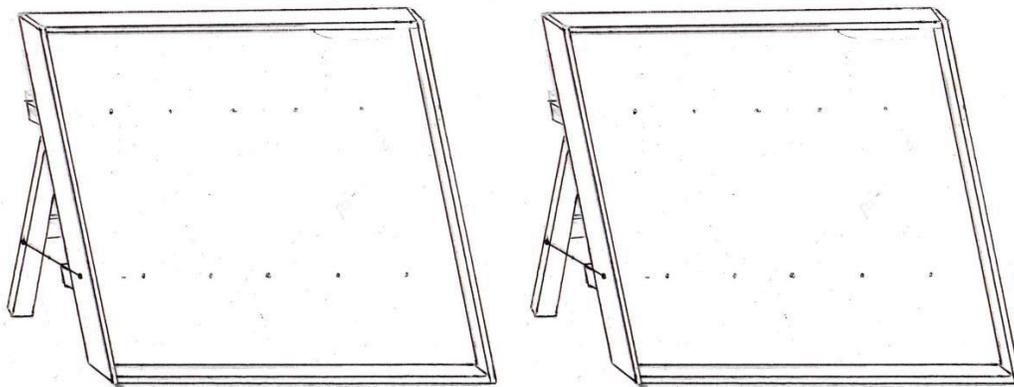


Figura 1. Diseño preliminar de los paneles verticales.



Figura 2. (a) Colocación de la primera capa de hule para impermeabilizar ambos paneles. (b) Bastidor con la segunda capa de hule y con soportes para el anclaje de la malla de contención.



Figura 3. Conexión para el suministro del agua de riego a ambos paneles.

5.2. DISEÑO E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO

El sistema de riego se realizó por nebulización, para esto se diseñó un sistema de riego individual en circuito cerrado para cada panel, (Figura 4), aunque ambos páneces son irrigados por una sola toma de agua. El sistema se colocó dentro de los páneces, cubierto por el sustrato y conformado por mangueras de tubo de PE (polietileno de alta densidad), 32 nebulizadores de 2 galones y 9 nebulizadores de 1 galón por hora (GPH) a distancias de 5, 10 y 15 cm.

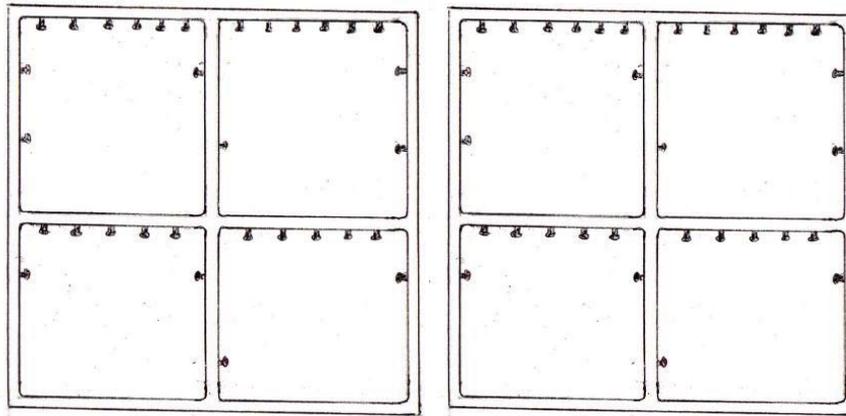


Figura 4. Diseño del sistema de riego en circuito cerrado para ambos páneces verticales.

5.3. NUTRIMENTOS

La cubierta de tipo semi - intensiva que se realizó en ambos páneces se fertilizó con una solución nutritiva utilizada para la producción de forraje verde hidropónico (Figura 5a), con pH de 6.0, la cual es de tipo químico (Cuadro 1), y está compuesta por sales de macro y micronutrientes solubles en agua (Rivera, 2010). El suministro de los nutrientes se realizó dos meses después del hidrosembado, debido a que en este tiempo las raíces de las especies vegetales ya se han anclado al sustrato y pueden aprovechar los nutrientes. La solución nutritiva se encuentra disuelta en un contenedor de 120 L (Figura 5b) del cual se realiza el riego de los páneces.

Cuadro 1. Características químicas de la solución nutritiva.

Macro y Micronutriente	Porcentaje (%)
Nitrógeno Total (N)	8.3
Fosforo asimilable (P_2O_5)	5.9
Potasio asimilable (K_2O)	11.7
Calcio (Ca)	7.5
Azufre nutricional (S)	5.6
Magnesio (Mg)	3.7
Boro (B)	0.03
Zinc (Zn)	0.003
Cobre (Cu)	0.002
Manganeso (Mn)	0.03
Hierro (Fe)	0.16

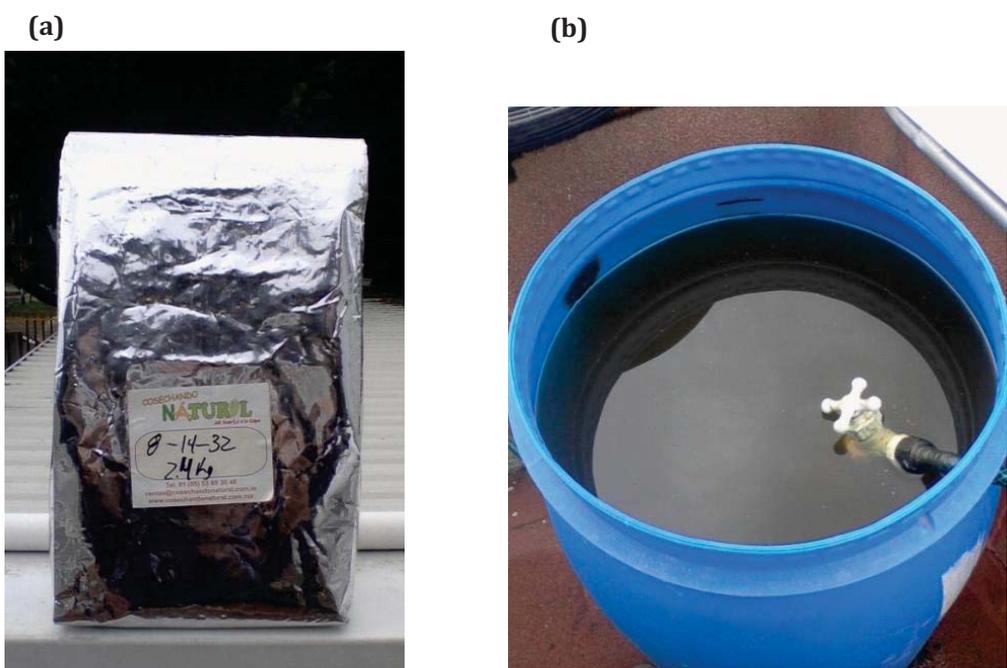


Figura 5. (a) Solución nutritiva para forraje verde hidropónico (FVH). (b) Vista aérea del contenedor de 120 L. de agua con solución nutritiva disuelta.

5.4. ABASTECIMIENTO DE AGUA PLUVIAL

La captación de agua de lluvia de la azotea del edificio A-5, de la FES Zaragoza, campo 2, permite la reutilización de este recurso. El agua pluvial de la azotea se filtra y capta previamente por una cisterna, la cual posteriormente se bombea hacia un tinaco de 450 L ubicado en la azotea del edificio del gimnasio, para que finalmente se utilice para llenar el tambo contenedor de 120 L (Figura 6), y, se realice el riego de ambos páneles por medio de la bomba que extrae el agua del tambo (Figura 7).

- i. Tinaco que almacena el agua de lluvia utilizada en la azotea
- ii. Contenedor de la solución nutritiva
- iii. Bombeo de la solución nutritiva

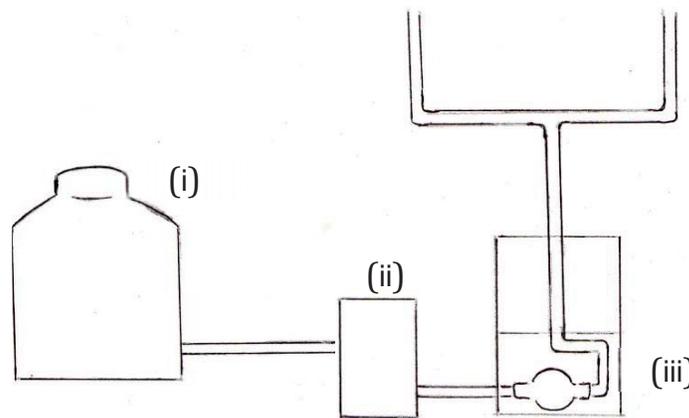


Figura 6. Diseño del sistema de riego.

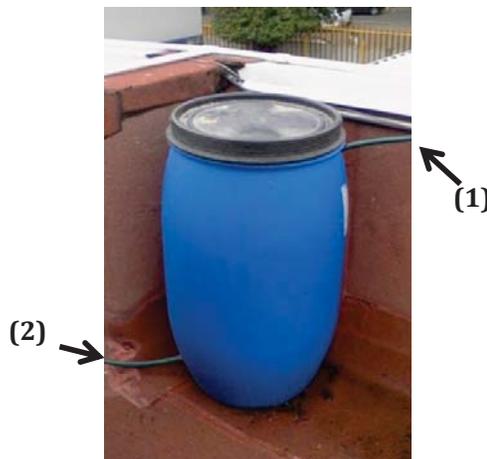


Figura 7. Vista lateral del tambo con manguera para el llenado del mismo (1) y manguera de salida, para el riego de ambos páneles verticales (2).

5.5. ENERGÍA FOTOVOLTAICA

El sistema de energía fotovoltaica (Cuadro 2) con el cual se realiza la propulsión del agua de riego está compuesto por un panel de 24 voltios colocado en la azotea del gimnasio (Figura 9a), la cual alimenta una batería solar de 12 voltios conectada a un regulador de carga de 12/24 V, y, una bomba solar conectada a un temporizador digital de 12 voltios (Figura 8). El temporizador regula el encendido de la bomba y el tiempo de riego (Figura 9b). Debido a que la temperatura de la azotea del gimnasio alcanza los 40°C, el sustrato está propenso a la deshidratación continua, por ello el temporizador se programó para que se realice un sólo riego (4.7 litros) en intervalo de un minuto, programado cada 24 horas. Esto es de las 11:00 a las 11:01 am, para mantener hidratado al sustrato diariamente durante la etapa de germinación.

Al cabo de dos meses, el temporizador digital se re-programará para que se realicen tres riegos al día (14.1 litros), a las 11:00 am, 3:00 pm y 8:00 pm con un intervalo de un minuto cada uno. Esto será cuando la cubierta vegetal haya alcanzado los dos meses de desarrollo y pueda aprovechar la mayor cantidad de agua y nutrimentos.

Cuadro 2. Componentes del sistema de energía fotovoltaica.

Componente	Marca	Modelo	Capacidad
Celda fotovoltaica	Ecoener	QRP6-60/12	24 vdc
Batería solar	Energía Solar	UN12-12	12 V 12 Ah
Regulador de carga	ENESOL	SMC15	12/24V, 15A
Temporizador	Digital Time Switch	Cn101 A	12 vdc
Relevador de corriente	-----	PBT-GF20	3070 B1
Bomba solar	SHURFLo	8002-793-238	12 vdc, 1.7 GPM y 100 PSI.

- i. Carga de la batería solar
- ii. Programación de los tiempos de riego
- iii. Encendido y apagado automático de la bomba solar
- iv. Riego automatizado

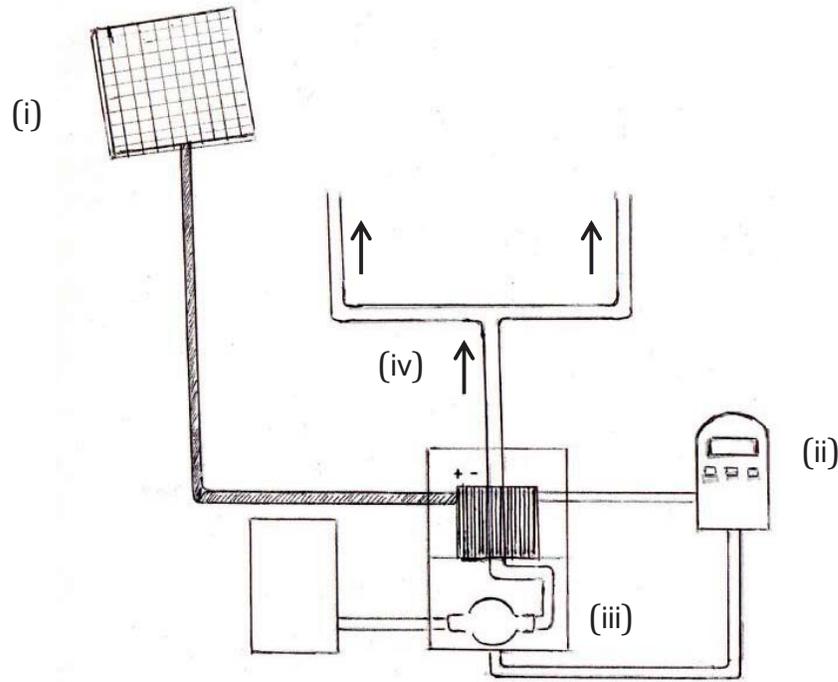


Figura 8. Diseño del sistema de energía fotovoltaica para la propulsión del agua de riego.

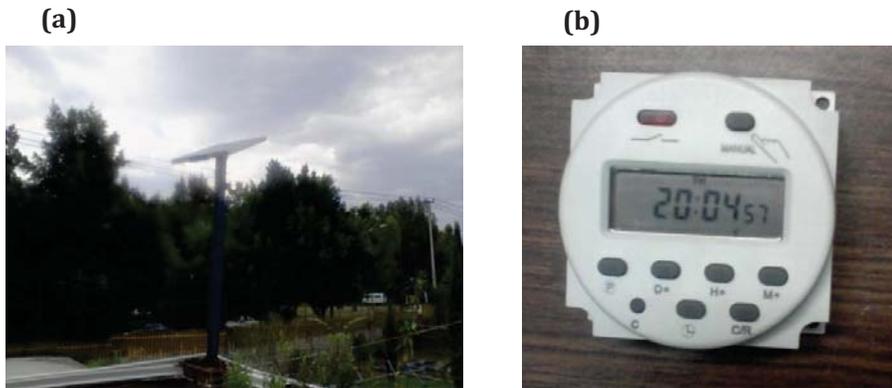


Figura 9. (a) Celda fotovoltaica ubicada en la azotea del edificio del gimnasio de la FES Zaragoza C - 2 (UNAM), (b) Temporizador digital.

5.6. SUSTRATO

Una de las propiedades de importancia que debe de cumplir el sustrato es la retención de humedad. Debido a su alto contenido en materia orgánica, el material orgánico utilizado abundantemente es la turba (Briz, 1999). Por esa razón se compuso un sustrato porcentual a base de Baltic peat, además de agrolita, fibra de coco y polvillo de coco para conservar la humedad por un tiempo más prolongado. Para determinar la cantidad de agua que el sustrato puede retener, se realizó una prueba que consistió en pesar tres muestras de suelo húmedas (capacidad de campo) para después ponerlas a secar en una estufa bacteriológica y obtener por diferencia el peso del agua que es capaz de retener este sustrato.

5.6.1. Baltic peat

El baltic peat o turba del báltico utilizado es de la marca “Florava”, es turba rubia de musgo Sphagnum, de granulometría media (7 – 20 mm). Este parámetro se encuentra íntimamente ligado a la capacidad de retención de agua, en ocasiones con la aireación, además que indica el grado de transformación de los materiales de naturaleza orgánica (Briz, 1999). Este sustrato representa una turba de alta calidad la cual se extrae de los pantanos bálticos (Latbaltika, 2012). Las características más sobresalientes de la turba del báltico o baltic peat es su alto grado de estabilidad estructural así como su alto nivel de porosidad, lo que resulta en un sustrato con una adecuada aireación y captación de agua (AGRIOTECH, 2012).

A continuación se muestran las tablas de valores para el sustrato baltic peat (Cuadro 3, Cuadro 4 y Cuadro 5).

Cuadro 3. Características físicas del sustrato baltic peat.

Parámetro	Valor
Densidad en seco	75-100 (g ^l ⁻¹)
Porosidad	90-95 (%)
Capacidad hídrica	70-75 (%)
Capacidad aireación	20-25 (%)
Contracción	20-25 (%)
Grado de descomposición	H3-H5

Cuadro 4. Características químicas del sustrato baltic peat.

Parámetro	Valor
pH (CaCl ₂)	≈ 5
pH (H ₂ O)	≈ 6
Contenido en sal (KCl)	< 0,4 gL ⁻¹

Cuadro 5. Nutrientes solubles disponibles del sustrato baltic peat.

Elementos nutritivos solubles disponibles para las plantas	Valor (mgL ⁻¹)
Nitrógeno (N)	< 50
Fósforo (P ₂ O ₅)	< 40
Potasio (K ₂ O)	< 40

5.6.2. Fibra de coco

La fibra de coco es un subproducto industrial de origen tropical, que últimamente ha tenido un gran potencial como sustrato hortícola para cultivos hidropónicos. Se destaca de los demás sustratos por su elevada estabilidad y su capacidad de retención de agua, así como una adecuada aireación. A continuación se muestran los valores para la fibra de coco (Cuadro 6).

Cuadro 6. Características químicas de la fibra de coco.

Parámetro	Valor
pH	6.3 a 6.7
Electro conductividad	1.2 - 1.7 mS/cm
Retención hídrica	3 a 4 veces su peso
Densidad	294 kgm ⁻³
Humedad	Aprox. 57 %
Cloruros (Cl)	5.6 mEL ⁻¹
Sodio (Na)	8.8 mEL ⁻¹
Calcio y Magnesio (Ca y Mg)	1.3 mEL ⁻¹

*Los valores químicos y físicos de la fibra de coco pueden variar de acuerdo al tratamiento realizado por el proveedor y/o marca de ésta.

La fibra de coco proporciona beneficios químicos a los cultivos en los que se utiliza, brinda estabilidad de los valores de pH y conductividad eléctrica del medio, es un material muy rico en carbono, lo que le otorga una gran resistencia a la degradación, así como una gran estabilidad, el pH de la fibra se sitúa alrededor de 6.3 a 6.7 siendo el nivel óptimo para la mayoría de las plantas cultivadas. Además, la fibra de coco retiene el 22 % de agua disponible y un 4 % del agua de reserva, posee un porcentaje de 58 % de aireación, favoreciendo el desarrollo de los sistemas radicales y sobre todo es un sustrato ligero, siendo una ventaja para el transporte y la manipulación (HIDROENVIRONMENT, 2012).

5.6.3. Agrolita

El último componente del sustrato es la agrolita de la marca “Agrolita”, el cual es un sustrato de origen mineral a partir de perlita expandida. Es un mineral estéril con un pH de 6.5 a 7.5 y con un aporte de elementos químicos como: sílice, aluminio, hierro, sodio, potasio, calcio, entre otros (AGROLita, 2012).

5.7. MONTAJE Y CONTENCIÓN DEL SUSTRATO

El montaje del sustrato se realizó con los paneles en posición horizontal, para evitar que se desprendiera por el peso de la humedad y por efecto de la pendiente (Figura 10a). Una vez colocado el sustrato en ambos paneles, se compactó y se fijó al marco de los paneles una malla mosquitera de 1.22 m por 1.22 m a modo de contención (Figura 10b). Posteriormente, se realizaron pruebas de riego solamente con el sustrato (sin semillas), con la finalidad de medir la velocidad con la que el sustrato de ambos paneles perdían humedad, por desecación y/o lavado por gravedad. De esta manera se establecieron los tiempos ya mencionados de riego necesarios para mantener a ambos paneles siempre hidratados.

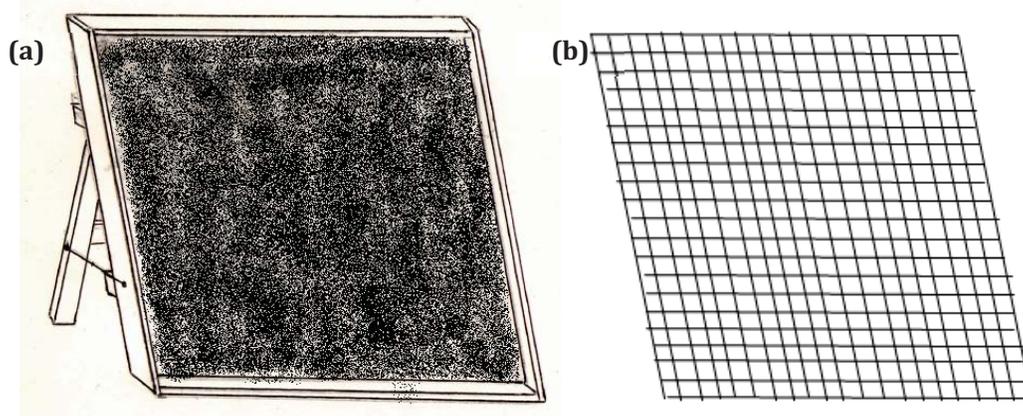


Figura 10. (a) Se ejemplifica el montaje del sustrato en ambos paneles. (b) Se ejemplifica el uso de malla para contener el sustrato en posición vertical.

5.8. HIDROSIEMBRA

La hidrosiembra que se realizó en este trabajo, es una mezcla experimental con base orgánica que busca cumplir con las características de cualquier hidrosiembra del mercado, esto es que asegure una cobertura vegetal superior al 90%, proporcionando a las semillas de un medio húmedo, sub acuoso y con nutrientes disponibles para el desarrollo de las plántulas. La hidrosiembra experimental se compone principalmente de nopal (Figura 11a) y como debe permanecer húmeda en todo momento, se planteó el uso de un porcentaje de hidrogel (Figura 11b), como otro elemento para la retención de humedad. También se tomaron en cuenta componentes como la fibra de coco (Figura 11c) y el aserrín (Figura 11d), para proteger a las semillas de factores externos. Y el último componente de la hidrosiembra es una mezcla de semillas (Figura 11e) que contiene tres diferentes variedades de pasto. Se tomó en consideración la cantidad de semillas por metro cuadrado que recomienda el empaque, que es de 25 g.

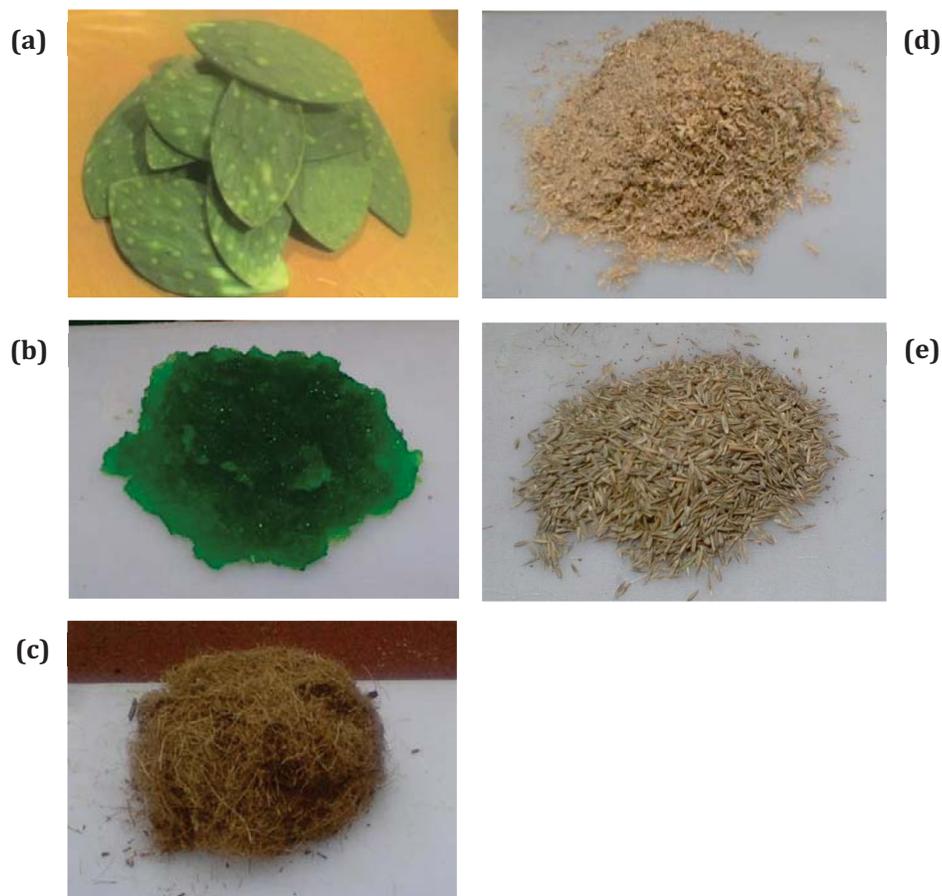


Figura 11. Componentes de la hidrosiembra experimental. (a) Nopales. (b) Hidrogel. (c) Aserrín. (d) Fibra de coco. (e) Mezcla de las variedades de semillas de pasto.

El área de ambos paneles a hidrosiembrar es de 2.7 metros cuadrados. Esta área necesitó 18 L de la hidrosiembra experimental, para la cual se utilizaron:

- 134 Nopales medianos, de aproximadamente 22 x 10 cm
- 3 L de agua corriente
- 2.3 kg de hidrogel licuado (acrilato de sodio)
- 230 g de aserrín
- 190 g de fibra de coco (fibras cortas de 0.5 cm).
- 70 g de semillas (Var. de pasto: *Cynodon dactylon*, *Festuca rubra* y *Lolium multiflorum*).
- Contenedor de 40 L para realizar la mezcla de todos los componentes

- Palo de madera, como agitador

- Espátula, para aplicar la hidrosiembra

- 4 metros de tela de yute

- 5 metros de malla sombra de 70%

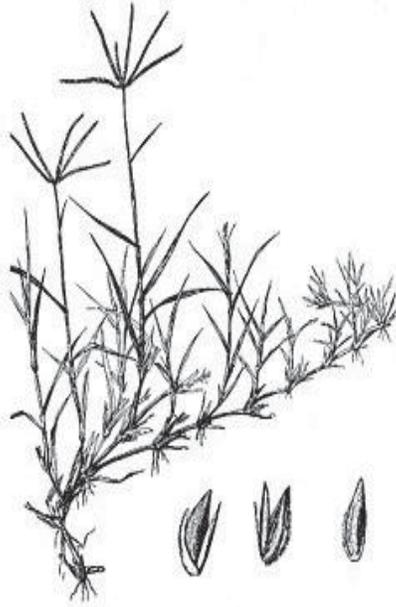
5.9. ESPECIES UTILIZADAS; LAS GRAMÍNEAS Y SU IMPORTANCIA

Las gramíneas son una familia de plantas angiospermas herbáceas y monocotiledóneas, de tallo cilíndrico y hueco, con inflorescencias en espiga, racimos o panículas de espiguillas y cuya semilla es un grano (Schuldt, 2013).

Son las plantas más importantes sobre la tierra, su distribución es cosmopolita. De ellas se estiman unos 620 géneros en unas 10,000 especies; ocupan el tercer lugar en cuanto a número de géneros. En México se reconocen 1,010 especies de gramíneas en 160 géneros (20% son endémicas). Tienen una alta capacidad de adaptación y rápido crecimiento vegetativo estacional. Su distribución como fruto seco contribuye a su eficiencia, su sistema radical fibroso permite un máximo aprovechamiento de agua, nutrientes y la retención del suelo. El aplastamiento por pisoteo promueve la propagación vegetativa por formación de raíces y renuevos en cada zona meristemática (Ríos, 1992).

Las variedades de pasto seleccionadas para realizar la hidrosiembra fueron las siguientes:

5.9.1. *Cynodon dactylon*



Conocida comúnmente como grama fina o bermuda, es el césped del verano (Figura 12). Resiste largos períodos de sequía, no requiere ningún cuidado especial, es inmutable al pisoteo, prospera en toda clase de suelos (Dalmau, 2012). Este zacate bermuda común, se encuentra distribuido en todas las partes calientes del mundo. Esta especie ahora dispersa en Estados Unidos, se cree se originó en África tropical, es resistente a las sequías y tolerante al álcali y puede soportar cantidades moderadas de temperaturas de congelamiento. Es la gramínea de prado generalmente más usada y más satisfactoria en los estados de la región sur de los Estados Unidos, prosperando en suelos relativamente estériles y persistiendo bajo presión de fuerte pastoreo (Gould, 1992).

Figura 12. *Cynodon dactylon*.



Esta especie es de tipo perenne, posee una distribución pantropical y su floración es en casi todo el año. Presenta un crecimiento por rizomas rastreros y estoliníferos que forman césped con pedúnculos florales erectos y rígidos a intervalos frecuentes. Sus semillas son pequeñas, de apenas 1mm de largo (Figura 13).

Figura 13. Semillas de *Cynodon dactylon*.

La importancia de *Cynodon dactylon* radica en que puede presentarse como una maleza invasora, posee valor forrajero malo o bueno según la variedad. Puede ser tóxica para el ganado, útil para el control de malezas y erosión en potreros desnudados. La planta completa es medicinal (Rivera, 1993).

5.9.2. *Festuca rubra*

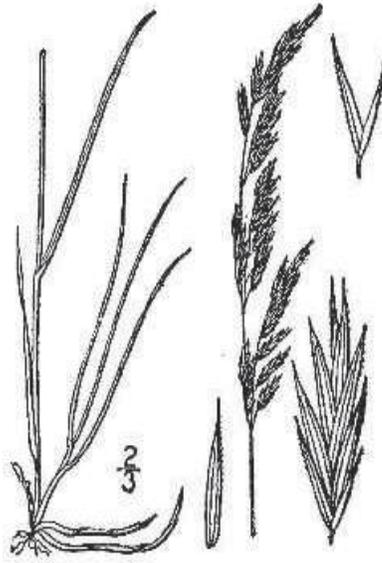


Figura 14. *Festuca rubra*.

La festuca roja (Figura 14), es una especie que se identifica fácilmente por la vaina roja o purpúrea que rodea la base del tallo (EcuRed, 2014). Esta especie está descrita como pastos herbáceos meso-xerófilos de baja talla, dominados por gramíneas de hoja estrecha, los cuales se desarrollan sobre sustratos básicos, en suelos pedregosos, irregulares y de escasa capacidad de retención hídrica (Navarra, 2012). Se utiliza como base para las mezclas de los céspedes ornamentales, tiene hojas de finura media, de 1.1mm, es de color verde oscura con cierta tonalidad azulada (Batlle, 2013), por lo que aporta calidad decorativa. Presenta semillas de 6 a 7 mm de longitud (Figura 15).



Figura 15. Semillas de *Festuca rubra*.

Forma un césped apto para ser pisado, es persistente y eficaz aunque algo discontinuo, de sistema radical extenso y bastante profundo. Se mantiene mucho tiempo, resiste moderadamente la sequía y es idóneo para fijar terrenos en pendiente (Dalmau, 2012). Se recomienda su uso en combinaciones con otras especies como *Poa pratense* y *Lolium perenne*, para incrementar la calidad de la mezcla, la plasticidad, y para funcionar en sombra o condiciones poco fértiles.

Es resistente al frío, se desarrolla bien en climas secos y templados fríos (Perdigones, 2013). Crece en cualquier suelo removido. A menudo es plantado para evitar la erosión del suelo o como césped y como especie forrajera en todas las partes templadas del mundo. Originaria de Europa, se ha introducido ampliamente en otros lugares (Anderton, 2009). La principal desventaja es la alta producción de fieltro o colchón, no tolera cortes bajos y es poco exigente en fertilización (Perdigones 2013).

5.9.3. *Lolium multiflorum*

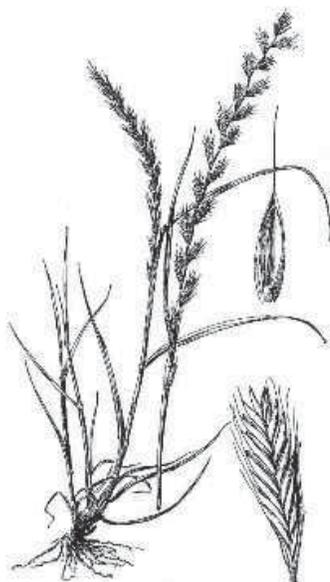


Figura 16. *Lolium multiflorum*.

También llamada ray – grass italiano (Figura 16), es de rápida germinación y de carácter anual o bianual (Dalmau, 2012). Es un zacate perenne que mide de 50 cm a 1 m de altura, con espiguillas de 10 a 20 flores y semillas de 4 a 5 mm (Figura 17), de origen europeo, adventicio en América y común en campos húmedos (Sanchez, 1968). Es la gramínea forrajera más fácil de implantar y una de las más fáciles de utilizar. Gracias a sus cualidades ha sido la primera en ser cultivada a gran escala. Sus principales inconvenientes es ser poco perenne y no crecer en verano. La inflorescencia es una espiga de espiguillas con dos filas solamente.



Figura 17. Semillas de *Lolium multiflorum*.

Las raíces son muy superficiales, concentradas principalmente en los primeros cinco centímetros y apenas exploran el suelo por debajo de los 15 a 20 cm, aún hasta cuando algunas pueden llegar hasta 1 m una vez sembrada, esta especie nace rápido y vigorosamente.

Es muy competitiva durante gran parte de su corta vida. Su persistencia no sobrepasa los 2 años pero es muy variable según las variedades. Está adaptada a temperaturas frescas, su óptimo está en los alrededores de 18°C – 20°C sin embargo su comportamiento estival depende enormemente de su edad, crece algo en inviernos suaves. Pero es sensible a la sequía, y, al menos, según la literatura anglosajona, se considera sensible al frío, ello afecta a sus rebrotes después del verano o del invierno (Gillet, 1984). Aunque es una especie europea, ahora crece en todo Norte América, principalmente se siembra como cultivo de cobertura, como césped de temporal, para la restauración de caminos, y forraje. Se hibrida con *Lolium. perenne* (Anderton, 2009). Estas dos últimas especies de gramíneas; *Festuca rubra* y *Lolium multiflorum* son aptas para ser utilizadas en céspedes mixtos sobre azoteas (Briz, 1999).

5.10. APLICACIÓN DE LA HIDROSIEMBRA

La aplicación de la hidrosiembra se realizó una vez que contenía todos los elementos antes mencionados, y, con ayuda de una espátula sobre ambos paneles en posición vertical, se aplicó una cubierta de aproximadamente 5 mm de espesor de forma uniforme sobre ambos paneles (Figura 18). Después, se cubrieron ambos paneles con tela de yute y con malla sombra del 70%, para mantener húmeda el área hidrosembada. Y para tener un control del proceso del desarrollo de las plántulas de pasto, se generó un calendario en donde se registraron los avances desde el hidrosembado, hasta el establecimiento de la cubierta vegetal.

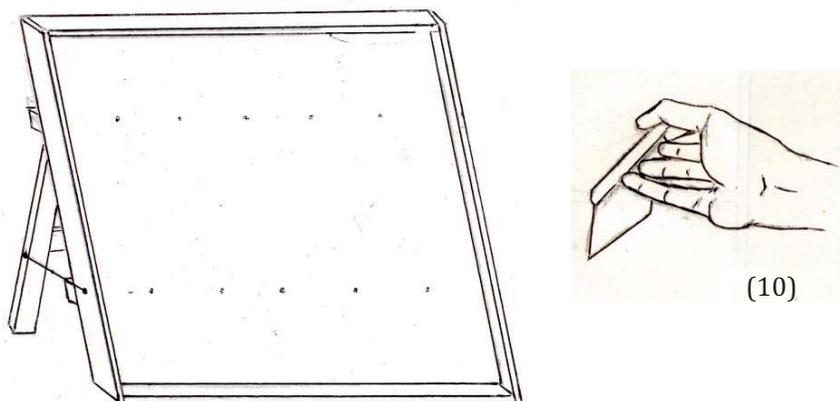


Figura 18. Se ejemplifica la aplicación de la hidrosiembra experimental con ayuda de una espátula.

La hidrosiembra experimental contiene 70 g de la mezcla de semillas y sólo para conocer el número aproximado de semillas en la cubierta vegetal, se realizó un conteo de semillas por especie en tres muestras de 1 g (Cuadro 7). El resultado de este conteo, sólo es un dato teórico e ilustrativo, ya que, para la hidrosiembra no se separaron las semillas por especie, hacerlo, significaría sacrificar distintas ventajas que aporta la mezcla, como: Mayor resistencia al uso y a las plagas, efectos estéticos (diferentes tonalidades y césped siempre verde), una mezcla es más económica y duradera que las semillas puras y pueden responder a un determinado tipo de terreno y necesidad (Correa, 2011). Además, una mezcla de pastos incrementa las probabilidades de sobrevivencia y éxito de la cubierta vegetal (Reyes, 2007).

Cuadro 7. Número de semillas promedio para la cubierta vegetal.

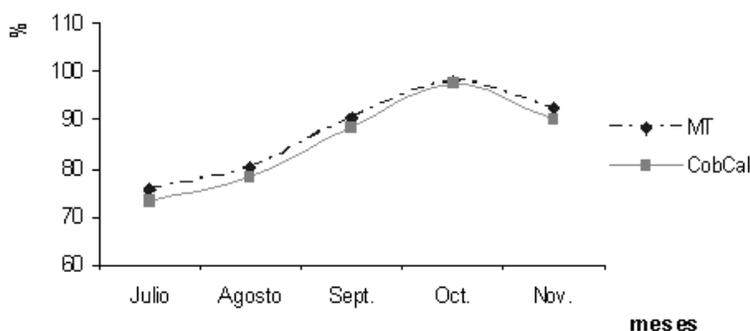
No. de muestra	Var. de semilla	Promedio por gramo	Semillas promedio en la cubierta vegetal
1	<i>C. dactylon</i>	268	
2	<i>L. multiflorum</i>	203	49,280
3	<i>F. rubra</i>	233	

5.11. PORCENTAJE DE GERMINACIÓN

Para conocer la viabilidad y efectividad de las semillas utilizadas, se realizó una prueba de germinación con tres repeticiones. Cada una de las especies se separó de la mezcla y se colocaron en cajas Petri con hidrosiembra experimental. Las semillas se separaron, debido a que, si se hiciera esta prueba sin discriminación entre especies, podría no tomarse en cuenta un número significativo de alguna de las tres variedades de pasto.

5.12. PORCENTAJE DE COBERTURA

Tradicionalmente para evaluar el éxito de las hidrosiembras se considera el porcentaje de cobertura. Cuando este valor supera el 90 %, la hidrosiembra es considerada un éxito (De Rodas, 2004), por ello en este trabajo se contempla este parámetro de la misma forma. Los datos de cobertura se obtuvieron por medio de fotografías digitales, las cuales se procesaron y analizaron por el método fotográfico en el programa CobCal v1.0. Se escanearon cinco transectos por panel, con ayuda de un aro de referencia de 58 cm de diámetro. Los resultados se analizaron mensualmente, es decir, se tomaron diez transectos por mes, durante tres meses para registrar los avances y obtener los promedios del porcentaje de cobertura para los tres meses establecidos. Se optó por utilizar este método, dado que según los resultados de Martín Ferrari (2006), de la comparación entre el método tradicional de cuadrados a campo (tratamiento A) y el uso del programa CobCal, (tratamiento B), mostraron que estadísticamente no hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ellos, (Figura 19). Al comparar la media general, los autores registraron una diferencia del tratamiento "A" menor al 5% (Ferrari, 2006).



Porcentaje de cobertura determinado por el método tradicional (MT) y por CobCal durante el desarrollo del cultivo de colza.

Fuente: INTA PRECOP Concepción del Uruguay,

Figura 19 Resultados de Martín Ferrari de la comparación entre el método tradicional (cuadrados a campo) de cobertura vegetal contra el uso del programa CobCal.

5.13. VALORES DE PH

Se registró el pH del sustrato utilizado, así como el de la hidrosiembra experimental, antes del hidrosembado y luego de tres meses, una vez que la cubierta vegetal se estableció. Esta prueba se hizo, para conocer si las semillas o las plántulas tendrían problemas o efectos benéficos durante y después del hidrosembado, ya que el nopal presenta un pH de carácter ácido. Las pruebas se realizaron con el método del potenciómetro, en relación 1:2.

5.14. TEMPERATURA

Esta prueba consistió en registrar la temperatura de la azotea durante 30 días en un horario entre las 2:00 a las 6:00 pm, para conocer la oscilación de la temperatura. Se tomó la temperatura sobre la vegetación de ambos paneles así como la temperatura de la azotea, para conocer si existe algún amortiguamiento de calor en una zona provista de vegetación y un área desprovista de vegetación. Los registros de temperatura fueron tomados con un termómetro digital para interiores y exteriores (Figura 20) de la marca Steren, modelo: TER – 100.



Figura 20. Termómetro digital para interiores y exteriores.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la práctica, se ha demostrado que las ecotécnicas son herramientas útiles para el beneficio de las personas en poblaciones rurales o urbanas, debido a que brindan la oportunidad de generar productos ecológicos con bajo impacto ambiental mediante procesos sencillos que motivan la propia creatividad de las personas que las realizan, con elementos disponibles en la localidad y en las cuales se involucra un grupo de personas que trabaja por voluntad propia, ya que también se verán beneficiadas por los resultados de la misma.

La ecotécnica desarrollada en este trabajo, hace uso de semillas para generar áreas verdes nuevas, y, aunque el uso de semillas para naturalizar áreas urbanas no es una práctica común, se optó su uso para demostrar que la técnica propuesta con el uso de semillas tiene potencial para llevarse a cabo en áreas urbanas. PRONATUR (1999), comenta que la siembra directa con semillas puede ser problemática por el tamaño de las mismas, aunque también comenta que este tipo de siembra sería posible si se asegura la humedad durante la germinación y con los cuidados necesarios en los primeros momentos. Y, aunque ya se han visto las dificultades que existen en la perpetuación por semillas, es más rentable cuidar de vez en cuando este proceso (sobre todo cuidando la humedad durante unas semanas) a tener que implantar la superficie entera cada seis u ocho años (Briz, 1999).

La ecotécnica descrita en este trabajo, es una hidrosiembra experimental con base orgánica, la cual es posible llevar a cabo con elementos de fácil adquisición, locales, económicos, sencilla en su elaboración y aplicación, viable en cualquier superficie vertical, así como horizontal. Tanto la elaboración de la hidrosiembra, así como los elementos que conforman todo el sistema no representan un impacto negativo sobre el ambiente, ya que no se generan desechos. Con esta ecotécnica se mejora el aspecto de las edificaciones, aporta un beneficio en cuanto a la salud de las personas se refiere y representa una alternativa factible para que cualquier persona pueda generar por sí misma un área verde nueva.

Los resultados que se describen, se encuentran enfocados a la parte estética de una cubierta vegetal. La parte productiva, no está contemplada en este trabajo, por ello, no se tomaron medidas agronómicas del sustrato utilizado, o de las especies vegetales de pasto.

6.1. PÁNELES VERTICALES

Los pánels verticales se construyeron a partir de madera, por ello fue necesaria su impermeabilización, la cual protegió la madera del constante riego de la cubierta vegetal, evitando su degradación. Al haberse realizado una doble impermeabilización, se cubrió la hoja de triplay y el bastidor. El hule también hace que el agua evaporada no penetre a la madera, sino que vuelva al sustrato una vez que se condense en la pared del bastidor. Con la pendiente de 76° grados (Figura 21a) que poseen los pánels, se logró colocar los componentes del sistema de riego, así como el sustrato de ambos pánels, sin problema de que alguno de estos componentes, así como los mismos pánels se cayeran hacia el frente, por su propio peso o por efecto del viento, sino que a esta pendiente, los pánels tienen la estabilidad adecuada para descansar sobre una superficie horizontal (Figura 21b).



Figura 21. (a) Pánels verticales con un ángulo de 76°. (b) Vista posterior de ambos pánels terminados.

6.2. SISTEMA DE RIEGO

Para el sistema de riego en circuito cerrado se utilizaron conexiones tipo “T” y “C” o codos (Figura 22 b y c). Se concentraron más nebulizadores en la parte superior del sistema (Figura 22d). De esta manera, el agua pasa por todo el sustrato, hasta la parte de abajo, compensando la diferencia en el número de nebulizadores de la parte media. También se colocaron nebulizadores a los lados y en medio del circuito para asegurar un riego uniforme durante toda el área que ocupa el sustrato (Figura 22a).



Figura 22. (a) Vista anterior de uno de los paneles verticales, en donde se aprecia el sistema de riego conectado en circuito cerrado. (b y c) Conexiones del sistema tipo "T" y "C". (d) Acercamiento de uno de los nebulizadores del sistema.

El suministro del agua de riego, se lleva a cabo por la parte trasera de los paneles, la conexión en "Y" (Figura 23) conecta a la bomba con el circuito cerrado de cada uno de los paneles, de esta forma, ambos tienen la misma presión en el flujo de riego.



Figura 23. (a) Vista de la conexión en "Y" para el suministro del agua de riego a ambos paneles.

6.3. ENERGÍA FOTOVOLTAICA

El sistema automatizado para el riego de ambos pánenes fue diseñado para hacer uso de energías limpias y evitar contratiempos en el riego, además de que la automatización brinda periodicidad al proceso. Y aunque la energía es fotovoltaica, el costo de los elementos con los cuales se transforma, almacena y utiliza esta energía, requiere de protección. Por ello los componentes eléctricos (Figura 24a) y el temporizador (Figura 24b), se colocaron dentro de dos cajas de madera para protegerlos de la intemperie (lluvia, sol y polvo). Estos elementos pueden intervenir con el adecuado funcionamiento del sistema.

Debido a que el temporizador es el que comanda el sistema eléctrico del proyecto, se encuentra conectado con todos los componentes eléctricos. Presenta conexión con la batería, la bomba, el regulador de carga y con un relevador de corriente tipo PBT-GF20, el cual evita que se sobrecaliente y deje de funcionar.

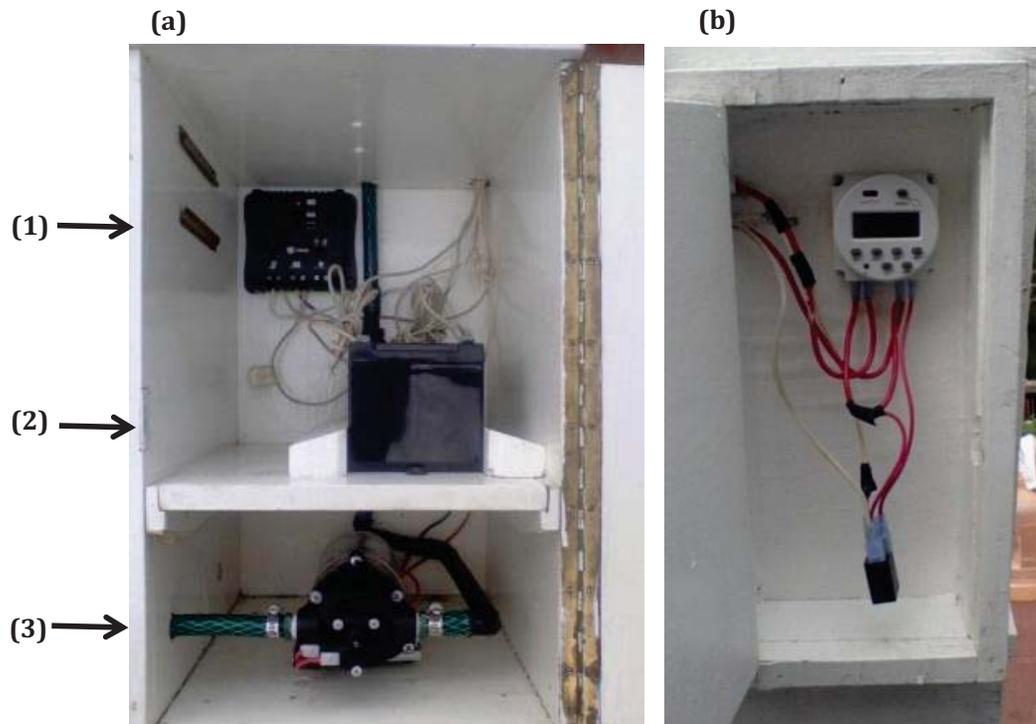


Figura 24. (a) Componentes eléctricos del sistema de riego dentro de su caja; 1.- Regulador de carga, 2 - Batería solar y 3 Bomba solar. (b) Temporizador digital dentro de su caja.

6.4. SUSTRATO

Cada panel (bastidor sin sustrato) tiene un peso aproximado de 18 kg, además, cada uno contiene 19 kg del sustrato compuesto seco (Cuadro 8), esta cantidad de sustrato en cada panel es capaz de retener hasta 12 L de agua (Cuadro 9). El sustrato tiene un grosor de 6 centímetros, (Figura 25) permitiéndole la retención del agua contenida en él hasta por tres días, aún sin riego, ya que los componentes del sustrato fueron seleccionados por ser altamente retenedores de humedad. Aunque una vez establecida la cubierta vegetal, el sustrato debe de ser regado diariamente, ya que no solo está expuesto a la temperatura de la azotea, sino que también, las especies vegetales, se encuentran constantemente absorbiendo el agua del mismo.

Cuadro 8. Composición porcentual del sustrato para cada panel vertical.

Porcentaje de composición del sustrato		
Tipo de sustrato	Peso en Kg	Porcentaje (%)
Baltic peat	15	77
Agrolita	1.5	8
Fibra y polvillo de coco	3	15

Cuadro 9. Capacidad de retención de agua por el sustrato compuesto.

Retención de agua						
No. Muestra	Temperatura de la estufa (°C)	Días de secado	Peso inicial de la muestra (g)	Peso final de la muestra (g)	Agua promedio retenida por las muestras	Extrapolación de 500 g a 19 kg
1	60	3	500	181		
2	60	3	500	186		
3	60	3	500	179	0.3 L	12 L
4	60	3	500	178		

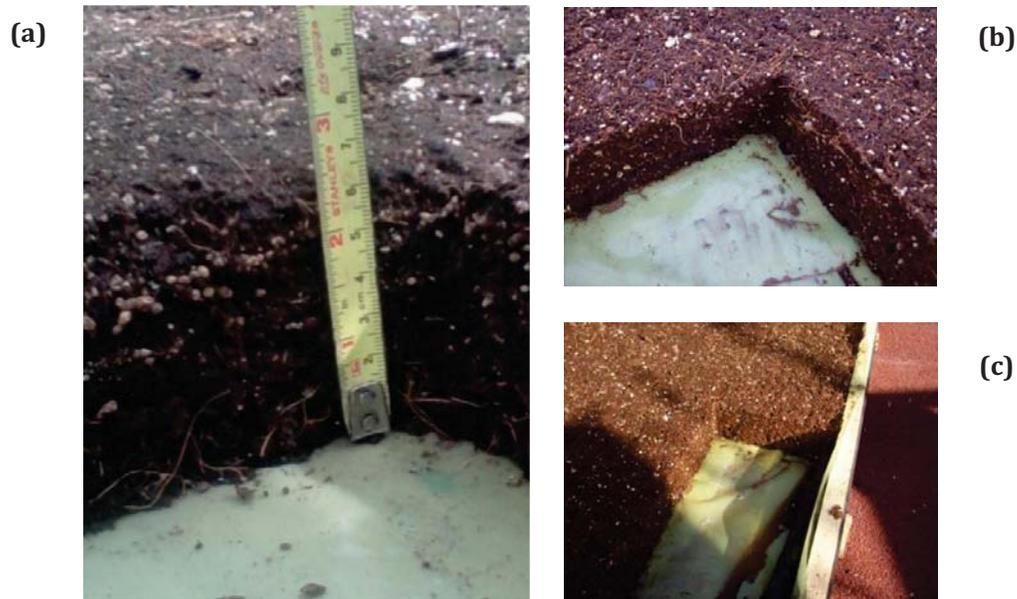


Figura 25. (a) Espesor del sustrato utilizado en ambos paneles. (b y c) Fotografías que muestran diferentes ángulos del espesor del sustrato ya montado en los paneles verticales.

6.5. CONTENCIÓN DEL SUSTRATO

El sustrato compactado en ambos paneles (Figura 26), puede retener agua hasta por tres días, pero se necesita tener cuidado de que el sustrato no se seque por completo, ya que una vez seco, se hace impermeable, evitando la absorción del agua, además de que tiende a contraerse, generando huecos en el panel. Si esto ocurre se necesitará rehidratar hasta que el sustrato vuelva a expandirse, signo de que se encuentra bien hidratado. La malla colocada a modo de contención, mantiene al sustrato en su lugar, evitando que este se desprenda del panel (Figura 27). Durante todo el establecimiento de la cubierta vegetal, la malla metálica se encuentra en contacto con humedad constante, ocasionando que la misma se deteriore, oxide y se desintegre aportando minerales (Fe) al sustrato de la cubierta. Una vez que la malla se haya desintegrado por completo, el sistema radical de la cubierta vegetal ya se habrá anclado al sustrato, amarrándolo, sin riesgo de que este se desprenda y se venga abajo.



Figura 26. Páneles verticales sólo con el sustrato montado y compactado.



Figura 27. Páneles verticales con la malla de contención clavada al marco de los bastidores.

6.6. HIDROSIEMBRA EXPERIMENTAL

La razón principal del porque se utilizó nopal para la hidrosiembra es para sustituir los productos sintéticos de las hidrosiembras comerciales, ya que una vez que el nopal se degrade, formara parte del suelo sin intervenir con procesos químicos que alteren sus propiedades. Por otra parte, mientras el nopal forme parte de la hidrosiembra, proporcionará consistencia y viscosidad a la mezcla. Paralelamente le dará adherencia para que pueda aplicarse sobre distintas superficies, además de ser un vegetal que retiene líquidos, es de bajo costo, fácil de conseguir y que si llega a secarse, puede rehidratarse fácilmente. Inclusive el uso del nopal como componente de una hidrosiembra, ya ha sido empleado por otros investigadores como adherente, mostrando resultados satisfactorios (Ata, 2013).

En cuanto al hidrogel de poliacrilamida, permite que la hidrosiembra se mantenga húmeda por un tiempo más prolongado, además de brindarle la cualidad de rehidratarse cada vez que pierda humedad, incluso una vez que se establece la cubierta vegetal, continúa aportando humedad para la misma. El hidrogel se caracteriza por ser químicamente inerte, insoluble en agua y relativamente no iónico, lo que implica que no interfiere negativamente en el desarrollo vegetal, ni en los procesos del suelo. Los análisis químicos certifican que el nivel de monómeros libres de acrilamida es menor de 0.05% (Acua-gel, 2014). Aunque numerosos estudios consideran a la molécula de acrilamida como “posible cancerígeno para el humano” (Pinhero, 2012). El proceso de toxicidad se lleva a cabo una vez ingerida la acrilamida, pero, como este no es un sistema productivo, el riesgo puede disminuir considerablemente. Los hidrogeles son considerados componentes importantes para las hidrosiembras, pero pueden sustituirse por otros elementos, (ver recomendaciones).

Continuando con los demás componente de la hidrosiembra. La fibra de coco (fibras cortas) y el aserrín, además de retener humedad, protegen a las semillas contra la desecación, las aves, el viento y del frío y/o calor excesivos, inclusive, son aprovechados por la hidrosiembra para tener una mejor consistencia y no se escurra de la superficie en donde se aplica.

Por último, las semillas utilizadas, además de ser una mezcla de pastos ultrarresistentes (Ata, 2013), es una presentación comercial, lo que significa que se puede conseguir fácilmente. Estas semillas tienen otras características por las cuales fueron seleccionada, tales como:

- Alto porcentaje de germinación
- Germinación rápida
- Fácil acceso
- Bajo costo
- Presentan ciclos de vida perennes
- Resistencia tanto a altas como a bajas temperaturas
- Resistencia a la sequía
- No presentan especificaciones de suelo

El aspecto final, al mezclar todos los componentes de la hidrosiembra experimental, resulta en una hidrosiembra color verde, de consistencia viscosa y fácil de manipular (Figura 28).



Figura 28. Apariencia física de la hidrosiembra experimental terminada.

Al momento de su aplicación, la hidrosiembra no presenta ningún tipo de escurrimiento, sino que tiene una adherencia instantánea sobre la superficie de la malla (Figura 29) y presenta un aspecto similar al de algunas hidrosiembras comerciales (Figura 30).



Figura 29. Aplicación en vertical de la hidrosiembra experimental con ayuda de una espátula.



Figura 30. Páneos verticales hidrosebrados.

La tela de yute fue colocada para evitar que la hidrosiembra pierda humedad por evaporación y para evitar que las aves llegaran a alimentarse de las semillas. La tela se humedeció antes de montarla sobre el área hidrosembada (Figura 31), manteniéndola así hasta la emergencia de las plántulas del pasto. De igual forma, la malla sombra del 70% evita la deshidratación de la hidrosiembra (Figura 32).



Figura 31. Colocación de la tela de yute a ambos paneles, previamente hidrosembados.



Figura 32. Colocación de la malla sombra a ambos paneles.

Los avances registrados de la cubierta vegetal (Cuadro 10), se midieron de manera general, es decir, el desarrollo y la emergencia de las estructuras del pasto se tomaron en cuenta por su aparente mayoría en el área hidrosembrada. Debido a la diferencia entre especies de pasto, las condiciones ambientales (temperatura) de la azotea y la viabilidad de las semillas es difícil establecer los tiempos exactos en que ocurre cada evento en el desarrollo de la cubierta vegetal, por ello, este cuadro explica de manera general, el momento en el que se llevaron a cabo las diferentes etapas del desarrollo vegetal por parte de las tres especies de pasto.

Avances en la cubierta vegetal desde el hidrosembrado								
Actividad / Fecha	19/08/2013	22/08/2013	23/08/2013	24/08/2013	26/08/2013	30/08/2013	02/09/2013	16/11/2013
Hidrosembrado	*							
Desarrollo de pelos absorbentes en las semillas		*						
Desarrollo de la radícula (raíz embrional)			*					
Radícula alargada con pelos radicales (Raíces seminales).				*				
Liberación del coleóptilo				*				
Hojas primarias desplegadas					*			
Liberación de la hoja cotiledonar.						*		
Liberación de las hojas secundarias							*	
Establecimiento de la cubierta vegetal								*

Cuadro 10. Calendarización del desarrollo de la cubierta vegetal, a partir del hidrosembrado.

6.7. DESARROLLO DE LA CUBIERTA VEGETAL

Después de realizar el hidrosembado de ambos paneles, la humedad a la que están en contacto las semillas indujo la germinación, la cual corresponde a la entrada de la semilla en vida activa y al comienzo del crecimiento del embrión desde el punto de vista fisiológico (Gillet, 1984). Así como al desarrollo y liberación de las estructuras verdes del pasto, la nascencia, fase que va desde la germinación hasta la emergencia de la tierra en el punto de vista agrícola (Gillet, 1984). Una semana después del hidrosembado comienza el proceso de germinación de algunas semillas (Figura 33 a y b), para esto se retira la tela de yute debido a que si permanece por más tiempo las hojas pueden lastimarse en su salida de la tela. (Figura 33 c) La germinación de las tres variedades de semillas de pasto es escalonada, es decir, una variedad comienza a germinar antes que las dos restantes y progresivamente estas dos últimas germinan a lo largo de las primeras dos semanas. A continuación se muestran imágenes del desarrollo vegetal en las tres primeras semanas posteriores al hidrosembado de ambos paneles verticales (Figura 34 y Figura 35).

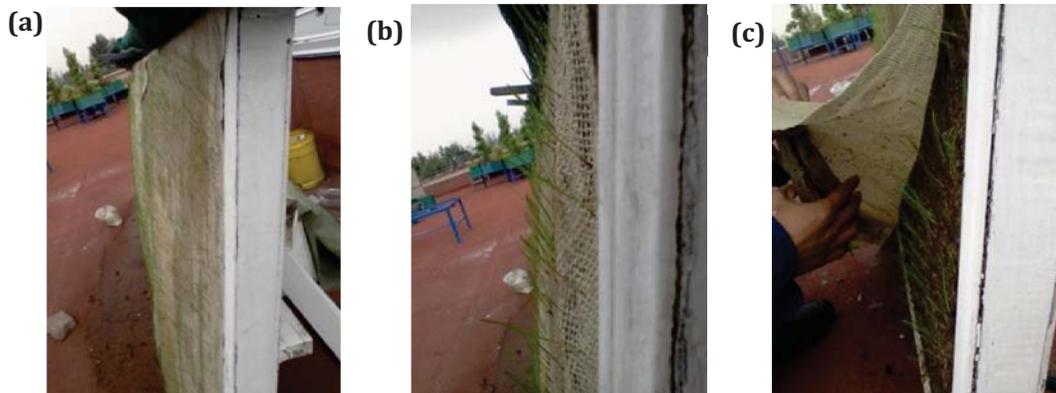


Figura 33. (a y b) Una semana después del hidrosembado es posible apreciar las hojas primarias desplegadas de algunas semillas de pasto, (c) Retiro de la tela de yute.

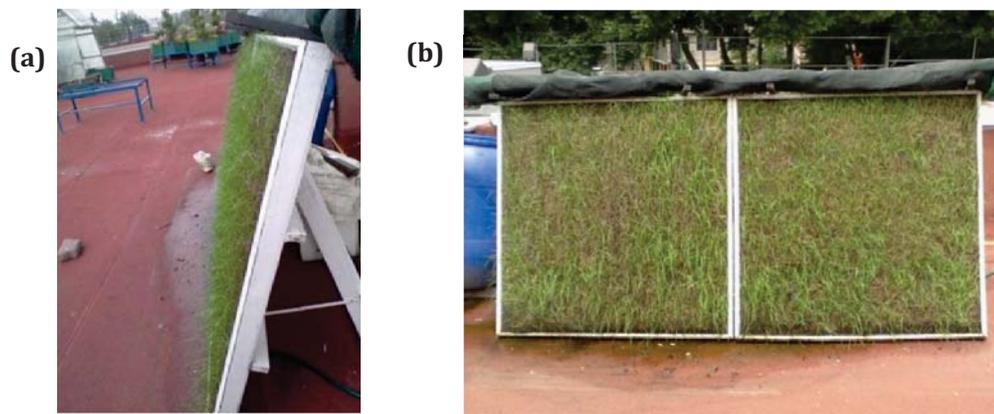


Figura 34. (a y b) Dos semanas después del hidrosembado, ya es posible apreciar las hojas secundarias desplegadas, incluso ya es visiblemente apreciable la cobertura vegetal.

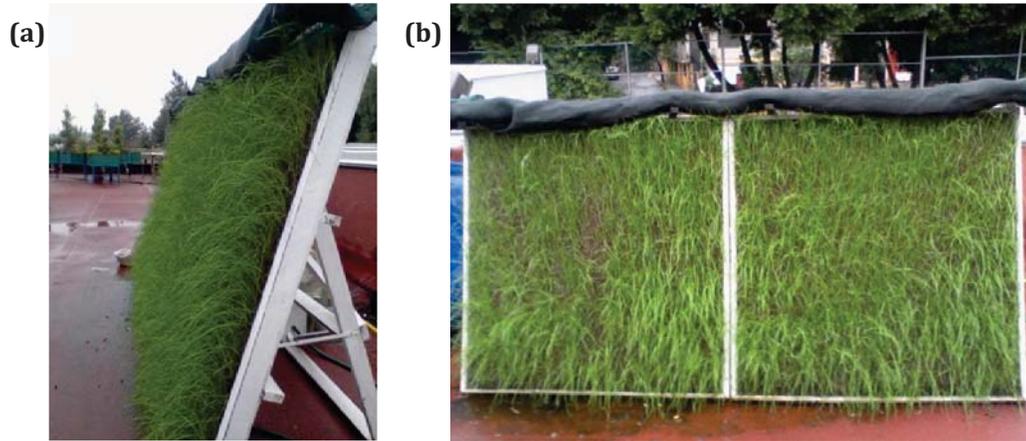


Figura 35. (a y b) Tres semanas después del hidrosembado, la cobertura vegetal es más evidente y más densa.

Un mes después del hidrosembado se retiró la malla sombra que protegía a la hidrosiembra de aves, insectos o de la deshidratación. En este momento la cubierta vegetal está casi establecida, además de que necesita los rayos del sol para continuar con su desarrollo, el seguimiento de la cubierta vegetal se realizó durante tres meses (Figura 36, Figura 37, Figura 38).



Figura 36. Paneles verticales a un mes después del hidrosembado con la malla sombra retirada.



Figura 37. Páneles verticales a dos meses después del hidrosembado.



Figura 38. Páneles verticales a tres meses después del hidrosembado.

6.8. MICROCLIMA Y FAUNA EDÁFICA PRESENTE EN LA CUBIERTA VEGETAL

Durante el desarrollo de la cubierta vegetal, diversos insectos llegan a poblar la vegetación de los paneles, ya sea para cumplir un estadio de su ciclo de vida o para alimentarse de las semillas de la hidrosiembra. Ninguna se convirtió en plaga o intervino en el establecimiento de la cubierta (Figura 39).

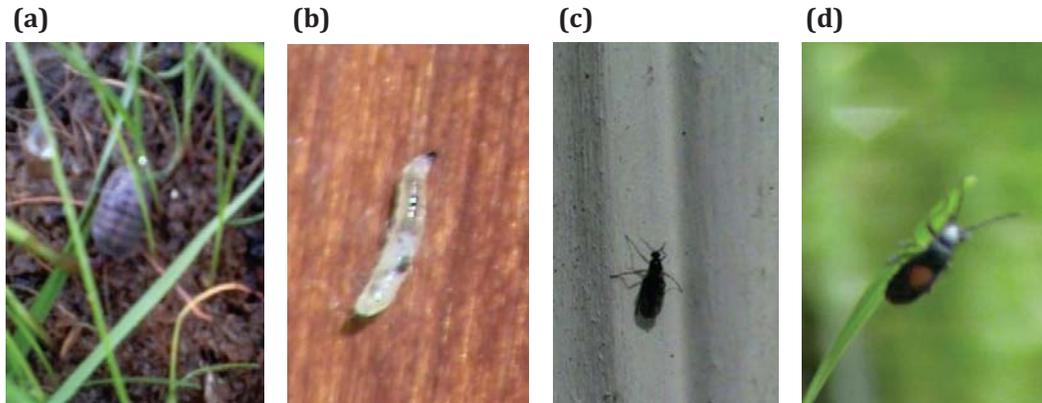


Figura 39. (a, b, c y d) Insectos presentes en la cubierta vegetal.

Además de insectos o aves, la hidrosiembra también es propensa a la contaminación por otros microorganismos, en este caso moho (Figura 40), el cual no se determinó taxonómicamente y se eliminó por medio de dos aplicaciones por aspersión de fungicida de la marca “Mancozeb”, que se encuentra en una proporción de: Manganeseo 16 %, etilenbisditiocarbamato 62 % e ingredientes inertes 20 %. El moho presente apareció de manera aislada en la hidrosiembra, es decir no alcanzó a deteriorar en ninguna forma el establecimiento de la cubierta vegetal.



Figura 40. Presencia de moho (círculo) sobre la hidrosiembra en el tercer día después del hidrosembado.

6.9. PORCENTAJE DE GERMINACIÓN

La semilla es la portadora del potencial genético que determina la productividad del cultivo, constituye el insumo más importante para alcanzar altos rendimientos en cualquier cultivo. La germinación es el potencial o poder que tiene la semilla para producir plantas y la prueba de germinación ayuda a determinar la capacidad que tiene la semilla para producir plantas normales y vigorosas bajo condiciones favorables de producción. Los resultados de esta prueba son de mucha utilidad para determinar la cantidad de semilla que se utilizará en la siembra. Si de cada 100 semillas que se siembran, germinan al menos 80, y son plantas sanas y vigorosas, se puede decir que la germinación de la semilla es buena. La capacidad de germinar de una semilla está influenciada por varios factores: momento de la cosecha, ataque de plagas y enfermedades, secado y condiciones de almacenamiento (Lorente, 2012).

A continuación se muestran los resultados de la prueba de germinación de las especies de pasto utilizadas en la hidrosiembra, (Cuadro 11).

Cuadro 11. Prueba de germinación de la mezcla de pastos.

Porcentaje de germinación de la mezcla de semillas de pastos				
No. de Muestra	Variedad de semilla	No. de semillas germinadas	No. de semillas no germinadas	Porcentaje (%)
1	<i>Cynodon dactylon</i>	126	174	42
2	<i>Lolium multiflorum</i>	284	16	95
3	<i>Festuca rubra</i>	216	84	72
			Porcentaje promedio de la mezcla.	70

La especie *Lolium multiflorum* utilizada en la hidrosiembra experimental tiene un porcentaje de germinación adecuado, aunque las especies *Cynodon dactylon* y *Festuca rubra* presentan por separado un porcentaje de germinación bajo, con respecto a lo reportado por Lorente (2012). Sin embargo el promedio del porcentaje de germinación de la mezcla de pastos, ofreció el resultado que ayudó a determinar la cantidad de semillas a utilizar en la hidrosiembra para generar una cubierta vegetal uniforme.

6.10. GRAVITROPISMO VEGETAL

Después del segundo mes del hidrosembado, las especies vegetales comienzan a presentar gravitropismo, propio a la pendiente de 76° de ambos paneles verticales (Figura 41 a y b).

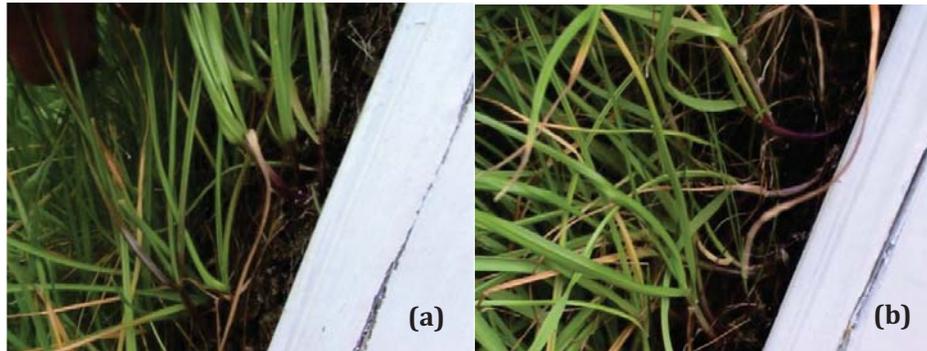


Figura 41. (a y b) Gravitropismo presente en la cubierta vegetal de gramíneas.

6.11. VALORES DE PH

La escala de pH se expresa en números totales y se extiende desde aproximadamente 3 (altamente ácido) pasando por el valor de 7 (neutral) hasta alrededor de 11 (altamente básico) y la escala logarítmica indica una diferencia de 10 veces en la acidez del suelo entre cada entero (Spur, 1982). El pH del suelo afecta significativamente sobre la disponibilidad o toxicidad de nutrientes para las plantas y para los microorganismos (Cruz, 2006). Aunque realmente la acidez del suelo es una variable demasiado compleja como para ser medida simplemente por medio de la escala del pH, y por lo tanto, esta determinación de la acidez debe aceptarse solamente como un número empírico que proporciona un índice somero para determinar las propiedades químicas del suelo. Por lo tanto pueden separarse relaciones aproximadas entre el pH del suelo y el comportamiento vegetal, pero no se pueden extraer conclusiones de tipo causa y efecto. Ya que según Wilde (1954), bajo las condiciones reales de nutrientes del suelo, casi todas las especies pueden crecer en un rango bastante amplio de condiciones de pH (Spur, 1982).

Los valores de pH antes y tres meses después del hidrosembado, demuestran que tanto el pH de la hidrosiembra como el del sustrato pasaron de ser muy ácidos a neutral y ligeramente ácido, respectivamente (Cuadro 12). Con estos resultados es posible decir que se generaron condiciones adecuadas para el establecimiento de la cubierta vegetal a lo largo de los tres meses que tuvo de duración el proyecto.

Cuadro 12. Resultados de pH del sustrato y la hidrosiembra aplicada a ambos paneles verticales.

Hidrosiembra		Sustrato	
Antes	Después	Antes	Después
4.0	7.0	3.9	6.0

6.12. TEMPERATURA

Los resultados de esta prueba demuestran que la vegetación de ambos paneles tiene la capacidad de amortiguar la temperatura del área en donde se encuentra hasta en 16°C en días soleados y 6.8°C en días nublados (Cuadro 13) lo que significa contrarrestar el efecto “Isla de calor”.

Cuadro 13. Valores de temperatura registrados en la azotea del gimnasio de la FES Zaragoza, Campo 2, UNAM.

Oscilación de la Temperatura (°C)						
Días	Temp. mínima de la azotea.	Temp. máxima de la azotea.	Temp. promedio de la azotea.	Temp. promedio de la cubierta vegetal.	Temp. promedio del sustrato.	Amortiguamiento de la temperatura, entre la temperatura promedio de la azotea y la temperatura promedio de la cubierta vegetal (°C).
Soleados	25	45.4	37.9	21.1	21.7	16.8
Nublados	20.6	31.4	22.8	16	17.2	6.8

A continuación se muestran los histogramas de las temperaturas en días soleados y días nublados (Figura 42 y Figura 43).

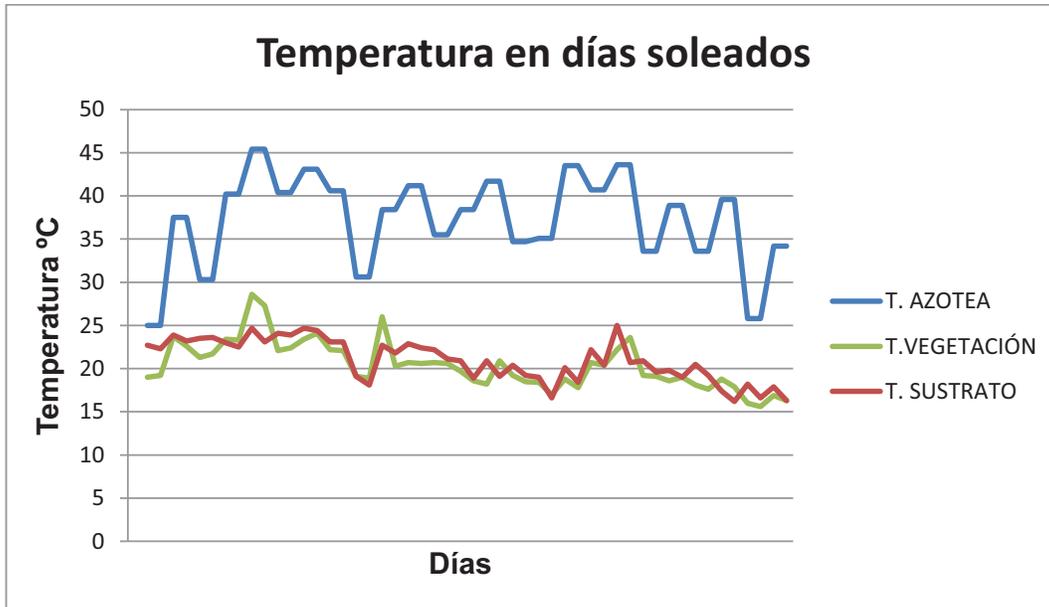


Figura 42. Oscilación de la temperatura en la azotea del gimnasio en días soleados

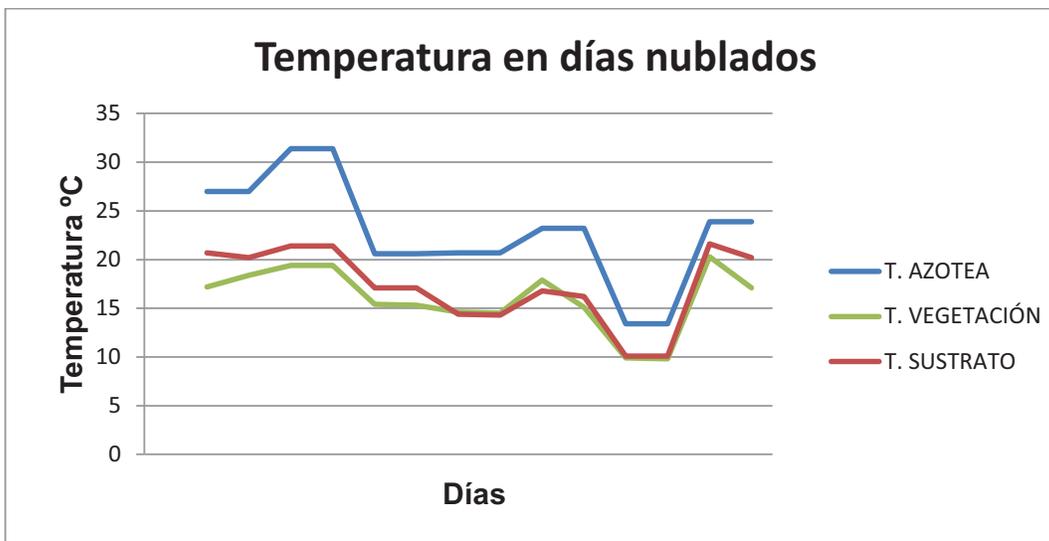


Figura 43. Oscilación de la temperatura en la azotea del gimnasio en días nublados

6.13. PORCENTAJE DE COBERTURA

La estimación de la cobertura vegetal con el método fotográfico, posee distintas ventajas. Ayuda a procesar varias imágenes de forma más rápida que con los métodos tradicionales, no se requiere de capacitación de los usuarios, al ser un programa sencillo de utilizar, las pruebas se pueden repetir infinidad de veces si es que algo no salió bien y es un método menos invasivo, entre otras. Además de estas ventajas, el margen de error se ve reducido al hacer uso de un programa computarizado, ya que evalúa los mismos parámetros en cada escaneo. En este caso, el programa CobCal v1.0, ofrece además del porcentaje de cobertura, la superficie cubierta. A continuación se aprecia una imagen muestra de uno de los resultados obtenidos con el programa CobCal v1.0 (Figura 44).

dsc00477.jpg

Porcentaje de cobertura: 80.83%
Superficie cubierta: 2,135.47cm²
Fecha de proceso: 05/10/2013 01:43:15 a.m.

Imagen original



Imagen resultado

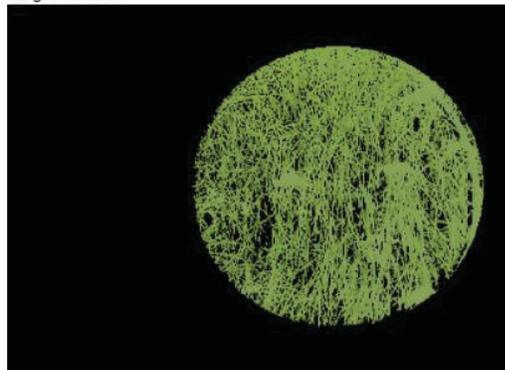


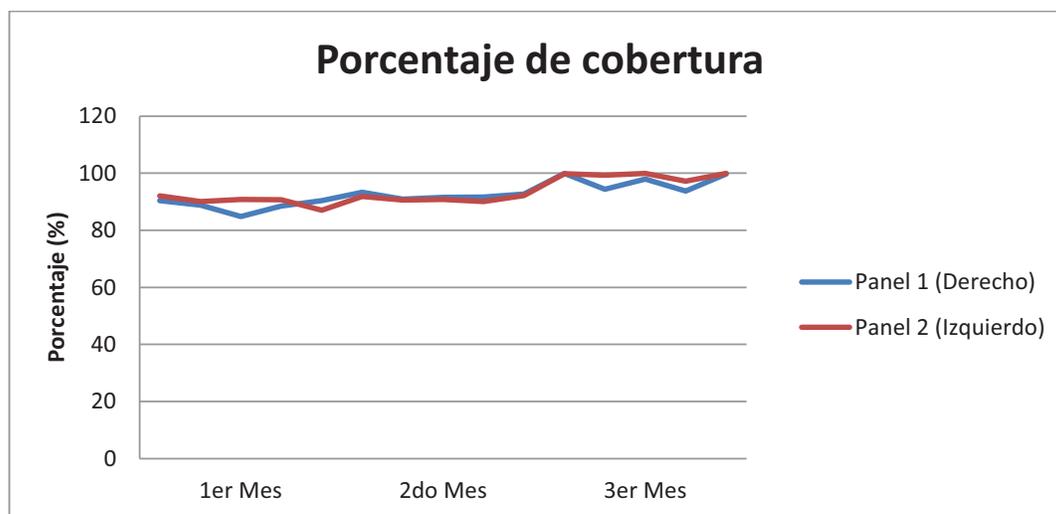
Figura 44. Imagen muestra del resultado de porcentaje de cobertura con el programa CobCal v1.0. Se obtiene el porcentaje de cobertura, la superficie cubierta, la fecha y hora de procesamiento.

Los valores registrados del porcentaje de cobertura para ambos paneles aumentan gradualmente durante los tres primeros meses después del hidrosembado, hasta alcanzar un máximo de 98 % de cobertura vegetal (Cuadro 14). Durante este tiempo, ambos paneles presentan descensos del porcentaje de cobertura en algunas áreas, aunque llegan a alcanzar un nivel aceptable en cuanto a este valor se refiere (Figura 45). Lo que demuestra que la hidrosiembra experimental es capaz de generar una cobertura similar a las hidrosiembras comerciales.

Cuadro 14. Porcentaje de cobertura obtenido con el programa CobCal v1.0 durante los primeros tres meses del desarrollo vegetal de la cubierta.

Porcentaje de Cobertura					
Fecha	Mes	Transecto	Porcentaje de cobertura para el panel derecho	Porcentaje de cobertura para el panel izquierdo	Porcentaje de cobertura promedio
17/Sep./2013	1er Mes	1	90.3	*92.1	89.3
		2	88.8	90.0	
		3	84.8	90.7	
		4	88.4	*90.7	
		5	90.4	87.0	
17/Oct./2013	2do Mes	1	93.2	*91.8	91.5
		2	90.8	90.5	
		3	91.5	90.8	
		4	91.6	*90.0	
		5	92.7	92.1	
16/Nov./2013	3er Mes	1	99.8	99.8	98.2
		2	94.4	99.3	
		3	97.9	99.9	
		4	93.7	97.2	
		5	99.7	99.9	

*Se muestra una disminución del porcentaje de cobertura (Cuadro 14), del 2do al 1er mes en los transectos 1 y 4 del p nel izquierdo, esta disminución es de (0.31 %) y (0.68 %) respectivamente, y no alcanza el 1 % de diferencia, de modo que puede ser atribuible al margen de error del programa CobCalv1.0.

**Figura 45. Porcentaje de cobertura para ambos páneles en un periodo de tres meses.**

6.14. COSTOS

El costo comparativo de realizar un hidrosembado para un área de 1 m² entre la hidrosiembra experimental y tres empresas privadas de este tipo se aprecia más adelante (Cuadro 15). Estos costos solo cubren la aplicación de la hidrosiembra, es decir las empresas aquí comparadas no incluyen en su cotización los siguientes aspectos:

- Preparación del terreno, como: limpieza, remoción de suelo y rocas.
- Agua (pipas) para realizar la mezcla de la hidrosiembra.
- Capa superior de tierra negra para cubrir el área hidrosembada (de ser necesaria).
- Riego posterior al hidrosembado.
- Algún tipo de mantenimiento posterior al hidrosembado.
- Costos de transportación (en caso de tener que llevar maquinaria al terreno).
- Y en algunos casos inclusive no se encuentran incluidas las semillas.

Además de estas observaciones, cabe mencionar que ninguna empresa privada ofrece este servicio por uno o dos metros cuadrados, es decir estiman como mínima a hidrosembrar un área de 200 m².

El costo de la hidrosiembra experimental aquí ubicado, contempla la hidrosiembra con todos sus componentes: el agua utilizada, la mezcla de semillas, la cubierta de tela de yute y la malla sombra. Aunque, este costo no incluye el contenedor de madera, sustrato, sistema de riego, ni sistema de energía fotovoltaica.

Cuadro 15. Costos comparativos de la hidrosiembra experimental contra tres tipos de hidrosiembras comerciales.

Costos comparativos por m²			
Hidrosiembra experimental	*Hidrosiembra ECOMEX	*Hidrosiembra HIDROLANDS	*Hidrosiembra PROBIOMEX
\$ 143 ⁰⁰	\$ 130 ⁰⁰	\$ 48.50	\$ 1,825 ⁰⁰

*Los costos expresados para las tres empresas privadas, se obtuvieron de una cotización por 200 m².

(PROBIOMEX, 2010; ECOMEX, 2011; HIDROLANDS, 2013)

6.15. MANTENIMIENTO DE LA CUBIERTA VEGETAL

Debido a que éste es un sistema semiautónomo, el mantenimiento de los paneles sólo se lleva a cabo por intervenciones, es decir, en la primera etapa del hidrosembado, se debe intervenir para el cuidado del mismo y la prioridad es mantener un nivel de humedad adecuado, tanto en el área hidrosembada, como en el sustrato de ambos paneles, ya que al encontrarse en una azotea es más susceptible a la deshidratación. Sí esto ocurre, las semillas pueden degenerar y morir, lo que representaría reemplazar las semillas y volver a realizar la hidrosiembra. También se debe tener en cuenta a las aves que puedan llegar a alimentarse de las semillas o de algún tipo de infección por hongos que pueda poner en riesgo el establecimiento de la cubierta vegetal.

En la segunda etapa, una vez que comienza la germinación de las variedades de pasto, los cuidados requeridos son nuevamente, asegurar que la hidrosiembra se mantenga hidratada así como también que no sea afectada por aves o por insectos que puedan convertirse en algún tipo de plaga que se alimente del germinado o que intervenga para llevar a cabo una etapa de su ciclo de vida (larvas de pequeños dípteros).

En la tercera etapa, los trabajos de mantenimiento se remiten a realizar podas programadas, para mantener un nivel de crecimiento continuo.

Y en la cuarta etapa, una vez establecida la cubierta vegetal se tiene que continuar con el riego (tres veces al día) y las podas programadas mensualmente (Cuadro 16), además de intervenir cuando ocurra algún problema ocasionado por el maltrato de las plantas y estas requieran ser reemplazadas por un parche nuevo de hidrosiembra.

6.16 .PROGRAMACIÓN DE PODAS

Después de los primeros tres meses, se realizó la primera poda de la cubierta vegetal, esto es por las especificaciones de la empacadora de semillas, la cual recomienda hacer la primera poda tres meses después de la siembra, después de este tiempo se pueden realizar podas mensualmente (Cuadro 16). Todas las podas se realizaron con tijeras, ya que por la pendiente que presentan los paneles resulta más cómodo que utilizar algún tipo de podadora mecánica. Para esto se realizó un itinerario de podas programadas, las cuales se realizaron de la siguiente manera:

Cuadro 16. Programación de podas para la cubierta vegetal después de tres meses del hidrosembado.

Programación de podas

Tiempo (meses)	Día de poda
3 ^{ro} .	16 de Noviembre de 2013
4 ^{to} .	16 de Diciembre 2013
5 ^{to} .	15 de Enero 2014

7. CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis de resultados, se concluye que:

- La propuesta de una ecotécnica para desarrollar jardines verticales hidrosebrados en zonas urbanas es factible, sí se toman en cuenta el método y los materiales descritos en el presente trabajo.
- Los paneles verticales superaron su tiempo de vida de tres meses, sin que el sistema de riego y el sustrato perdiera su posición original. Además de que la doble impermeabilización y la pintura en el acabado impidieron el paso del agua a la madera, evitando su deterioro.
- El sistema de riego por nebulización en circuito cerrado, diseñado para los paneles funcionó, manteniendo hidratado al sustrato de la cubierta vegetal y reutilizando agua de lluvia.
- La solución para forraje verde hidropónico (FVH) utilizada, mantuvo una cubierta vegetal estéticamente atractiva.
- El sustrato compuesto es capaz de retener la humedad, evitando la deshidratación del mismo y de la cubierta. Así mismo la malla metálica usada para su contención, representa un componente importante para evitar el desprendimiento del sustrato.
- El sistema de energía fotovoltaica, resultó adecuado para realizar el riego diario de ambos paneles automáticamente, sin necesidad de conectarse a una toma de corriente alterna.
- La hidrosiembra experimental, resulto ser un éxito, al alcanzar el 98% de cobertura vegetal, además de presentar una adecuada adherencia y fácil manejo.
- Es posible realizar una naturación con semillas en una zona urbana, sí se cuida la humedad de la hidrosiembra durante los primeros periodos del establecimiento de la cubierta vegetal.
- La mezcla de semillas utilizadas para la hidrosiembra es confiable, ya que tiene un adecuado porcentaje de germinación y genera una cubierta vegetal estética, con diferentes tonalidades de verde.

- El programa CobCal v1.0, es una herramienta útil en la medición del porcentaje de cobertura, ya que facilita el procesamiento de varias muestras en un tiempo más corto, con resultados confiables y fáciles de interpretar.
- Las especies de pasto, generaron condiciones adecuadas de pH para su establecimiento, ya que pasó de ser un suelo ácido a uno más básico.
- La cubierta vegetal de ambos paneles verticales, es capaz de contrarrestar el efecto “Isla de calor” amortiguando la temperatura del área en donde se encuentra, hasta en 16° Centígrados en días soleados y 6.8° Centígrados en días nublados.
- El costo de realizar esta hidrosiembra es similar al precio de una hidrosiembra comercial, aunque aporta diferentes beneficios, al hacer uso de productos biodegradables y presentar versatilidad en cuanto a poder hidrosebrar áreas pequeñas.
- El mantenimiento de la cubierta vegetal, se reduce a llenar el contenedor de agua, aportar las sales nutritivas al mismo y a realizar podas mensualmente, ya que el sistema fotovoltaico efectúa los riegos diarios automáticamente.

8. RECOMENDACIONES

Después de terminar el proyecto, se hacen algunas recomendaciones para mejorarlo en futuras versiones.

- Como prototipo, los paneles contruidos de madera, presentan resistencia y durabilidad. Aunque para llevar a cabo el sistema a una escala comercial, se recomienda utilizar lámina de acero inoxidable.
- Ya que se suministró una solución nutritiva, se recomienda utilizar sustratos inertes y más ligeros, como la fibra de coco o espuma agrícola, para el anclaje de los sistemas radicales de las plantas.
- Aunque el riego se realiza con agua de lluvia, es conveniente adicionar a los paneles un contenedor de agua en su base, para captar la solución nutritiva que se filtre, manteniéndose en recirculación y se aproveche mejor este recurso
- Debido a los numerosos estudios que relacionan al acrilato de sodio con posibles tumores cancerígenos (ver anexo), se recomienda sustituirlo por acrilato de potasio, al ser, biodegradable y no tóxico (Rico, 2014). También se pueden sustituir los hidrogeles con musgo o arcillas como retenedores de humedad.
- Para la contención del sustrato, se recomienda utilizar malla de criba, por tener una apertura de poro mayor que la malla mosquitera, ya que los tallos de las especies de pasto pueden estrangularse y cortarse con una malla de poro cerrado.
- Para evitar que la hidrosiembra pueda verse afectada por la generación de moho, es recomendable agregar algún tipo de fungicida, (de preferencia orgánico) a la hidrosiembra, antes de su aplicación.

9. ANEXO

EFFECTOS TÓXICOS DERIVADOS DEL CONSUMO DE ACRILAMIDA

La acrilamida (Figura 46), es una sustancia química sintética que se ha producido desde principios de 1950. Utilizada como un gel adhesivo en la industria, para la floculación del agua y se creía que los seres humanos rara vez se exponían a esta molécula (Zhanga, 2008).

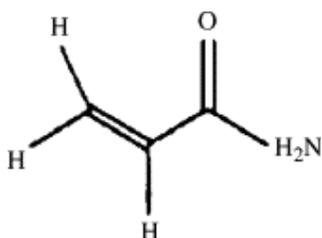


Figura 46. Molécula de acrilamida.

En la actualidad los distribuidores de hidrogeles a base de acrilamida garantizan que este producto no representa algún grado tóxico tanto para los cultivos como para las personas, aunque existen estudios que demuestran que la ingesta de la acrilamida indujo tumores en ratones y ratas experimentales (Clement, 2007). Recientemente, ha habido una creciente preocupación con respecto a la producción de acrilamida durante el proceso de frituras debido a su potencial carcinogénico, incluso la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer, IARC (1994), la ha clasificado como “probable carcinógeno humano” (Pinhero, 2012) porque el cáncer en el hombre no se ha demostrado de manera convincente (Yousef, 2006).

El efecto tiene lugar cuando la acrilamida es convertida en glicina por el organismo humano. Esta molécula se forma predominantemente en alimentos horneados o fritos ricos en carbohidratos. Varios estudios demuestran que la exposición a acrilamida puede modificar la expresión génica, ya que esta se une al ADN (Yousef, 2006). Este hallazgo, ha levantado gran preocupación acerca de los posibles efectos sobre la salud para el público en general y se han realizado varios estudios epidemiológicos para investigar el vínculo entre el consumo de acrilamida en la dieta y el riesgo de varios tipos de cáncer (Ehlers, 2013). Por lo tanto, los métodos de análisis para la separación y determinación de acrilamida son de gran interés, aunque estos métodos poseen desventajas de costos y complejidad (Zhou, 2007).

10. REFERENCIAS

- ACUA-GEL. 2014. "Cristales Inteligentes de Agua." 2014, from <http://www.hidrogel.com.mx/>.
- ADAMS, L. W. L., D.L., 1987. "Integrating man and nature in the metropolitan environment: proceedings of a National Symposium on Urban Wildlife, 4-7 November 1986, Chevy Chase, Maryland", National Institute for Urban Wildlife
- AGRIOTECH. 2012. "Baltic peat." Consultado en 2012, from <http://www.agriotech.com/baltic-peat/>.
- AGROLITA. 2012. "¿Que es la Agrolita?", Consultado en 2012, from <http://www.agrolita.com.mx/>.
- AMENA. 2005. "¿Que es la naturación?", Consultado en 2012, from <http://www.amenamex.org/>.
- ANDERTON, L. K., 2009. "Grases of the intermountain Region". Utah, United States of America: 92, 93, 103, 104.
- ATA, A. M., 2013. "Manual de prácticas de EDUCACIÓN AMBIENTAL". México D.F, Trillas: 101.
- BARBOSA, L. A. L. 2013. "ECOTÉCNIAS EN EL ECOTURISMO." Consultado en 2013, from <http://lopezbarbosa.jimdo.com/cursos/sustentabilidad-en-la-agricultura/ecotecnias/>.
- BATLLE, G. 2013. "Festuca rubra rubra." 2014, from <http://semillasbatlle.es/es/festuca-rubra-rubra>.
- BLANC, P., 2000. "Murs végétaux : la biodiversité en ville". Archi Créé. France: pp. 58-59.
- BRIZ, J., 1999. "NATURACIÓN URBANA: Cubiertas Ecológicas y Mejora Medioambiental". España, Grupo Mundi-Prensa: pp. 7,13, 171, 181, 189, 199, 206, 207, 211, 216, 217, 218, 224, 247, 250, 265, 293, 352, 352.
- CAREAGA, A. A. 2009. "Ecotecnologías Apropriadas para el Bienestar." Consultado en 2013, from <http://ecotecnologiasparaelbienestar.wordpress.com/eco-conceptos/%C2%BFque-son-las-ecotecnias/>.
- CDI, 2006. "¿Qué es una ecotécnica?". G. Federal. México D.F., Programa Organización Productiva para Mujeres Indígenas 2008: 2 pages.
- CIMA, 2013. "Geografía de México y del Mundo".
- CLEMENT, F. D., RAMIRO; NAEGELI, HANSPETER, 2007 "Expression profile of human cells in culture exposed to glycidamide, a reactive metabolite of the heat-induced food carcinogen acrylamide." 111.
- CÓRDOBA, C. V., 1976. "FISIOLOGÍA VEGETAL". España, H. Blume ediciones: 146.
- CORREA, L. 2011. "Cesped." 2014, from <http://www2.agronomia.uchile.cl/webcursos/cmd/12003/Loreto20Correa/Componentes/cesped/introduccion.htm#mezclas>.
- CRUZ, G., 2006. "ECOLOGÍA DEL SUELO, UN ENFOQUE HACIA LA NUTRICIÓN MINERAL DE PLANTAS SUPERIORES". México, Balzeri S.A. de C.V.: 28.
- DALMAU, S. 2012. "El césped; Catálogo de variedades." Consultado en 2012, from <http://www.semillasdalmau.com/catalogo%20cesped%20dalmau.pdf>.
- DAURES, J. F., 2011. "Architecture végétale". France, Eyrolles: pp 24.
- DE RODAS, C. I. M., ROMANO C. A., MARTÍNEZ B. J., VALEA, P. S., BALAGUER, N. L., LÓPEZ J. N., 2004 "Criterios para evaluar el éxito de las hidrosiembras: La importancia de las semillas." Vol. 1. pp. 1 - 16
- ECOMEX. 2011. "Hidrosiembra", Consultado en 2013, from <http://www.ecomex.com.mx/hidrosiembra>.
- ECURED. 2014. "Festuca rubra." 2014, from http://www.ecured.cu/index.php/Festuca_roja.

- EHLERS, A. L., D; BROLL, H; ZAGON, J; HUMMEL, M; LAMPEN, A, 2013 "Dose dependent molecular effects of acrylamide and glycidamide in human cancer cell lines and human primary hepatocytes." *Toxicology Letters*. 111.
- ESCRIVA, M. G., 2011. "Jardin orgánico/ Organic Garden: Una Guía Esencial Para Crear Un Jardin Natural Con Tecnicas Ecologicas". Buenos Aires, Albatros/Argentina: Cap 5, pp 74.
- FERRARI, D. M. P., O. R. Y FERRARI, H. J., 2006. "Desarrollo de un Software para Estimación de Cobertura Vegetal ". PRECOP. Argentina, INTA.
- FERRARI, M., 2005. "Cobcal". Uruguay, INTA.
- GILLET, M., 1984. "Las gramíneas forrajeras. Descripción, funcionamiento, aplicaciones al cultivo de la hierba". Zaragoza, España, Acriba: 19, 299, 300.
- GONZÁLEZ, B. C., 2003. "Tratamiento biológico de compuestos orgánicos volátiles de fuentes fijas", Instituto Nacional de Ecología: pp. 62
- GOULD, F. W., 1992. "GRAMÍNEAS, CLASIFICACIÓN SISTEMÁTICA". México, AGT EDITOR, S. A.: 282.
- HEUVELDOP, J., 1986. "AGROCLIMATOLOGÍA TROPICAL": 96.
- HIDROENVIRONMENT. 2012. "Productos para hidroponia." Consultado en 2012, from <http://hydroenv.com.mx/catalogo/>.
- HIDROLANDS. 2013. "Hidrosiembra." Consultado en 2013, from <http://www.hidrolands.com.mx/index.php>.
- HT, G. 2009. "¿Qué es una ecotécnica?", Consultado en 2013, from <http://www.compuguia.com.mx/que-es-una-ecotecnica>.
- INE-SEMARNAT, 2012. "La evaluación del impacto ambiental". México, Progreso, S.A. de C.V. (iepsa): 280 pag's.
- INEE, 2005 "Porcentaje de población según tamaño de la localidad." Panorama Educativo De México. 71 pag's.
- INEGI. 2014. "Información D.F.", 2014, from <http://cuentame.inegi.gob.mx/monografias/informacion/DF/Poblacion/default.aspx?tema=ME&e=09>.
- JIM, C., 1989. "The distribution and configuration of tree cover in urban Hong Kong", Kluwer Academic Publishers.
- JIM, C., 2004 "Green-space preservation and allocation for sustainable greening of compact cities." *Cities* 21. pp. 311-320.
- KAPLAN, R., 1984 "Impact of urban nature: a theoretical analysis." *Urban Ecology* Volume 8. pp. 189-197.
- LATBALTIKA. 2012. "Baltic Peat Moss." WebCreation design. Consultado en 2012, from http://www.balticpeatmoss.com/spa/la_produzione.htm.
- LENGEN, J. V., 2002. "MANUAL DEL ARQUITECTO DESCALZO". México, PAX México: 551 pages.
- LITVIN, N. R., 2010 "Manual Básico de Ecotécnicas. Un acercamiento a las Ecotécnicas y Buenos Hábitos ". 82 paginas.
- LORENTE, R. V., 2012 "Como hacer la prueba de germinación de semillas de granos básicos (Maíz, Frijol, Sorgo, Arroz) ". 3.
- LOYOLA, M. D. D. L. L., 2006. "Ecología y medio ambiente". México D.F., Editorial Progreso, S.A. DE C.V.: 233 paginas.
- MAGRAMA. 2008. "Hidrosiembras para conservación de suelos." Inventario de tecnologías disponibles en España para la lucha contra la desertificación., Consultado en 2012, from http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/lucha-contra-la-desertificacion/0904712280144d92_tcm7-19597.pdf.
- MONTERRUBIO, P. 2013. "Techos verdes." Consultado en 2013, from <http://www.cimec.org.mx/documents/ConferenciaTechosverdes.pdf>.
- NAVARRA, 2012 "PASTOS DE *Festuca rubra* y *Festuca ovina*."

- OMS, 1963. "Quinto informe del Comité de expertos en Administración Sanitaria". Serie de Informes Técnicos. S. S. Urbanos. Ginebra, Organización Mundial de la Salud. Número 250: pp 8.
- OMS, 1965. "Cuestiones de higiene del medio relacionadas con la ordenación urbana y la urbanización". Serie de Informes Técnicos. Ginebra, Organización Mundial de la Salud. Número 297: pp. 52 - 53.
- PACMUN, 2011. "Planes de acción climática municipal". U. v. s. d. c. municipal. México.
- PAGAZA, I. P., 2009 "Responsabilidades municipales en materia ambiental." Convergencia 16. 308 pag's.
- PERDIGONES, J. M. M. 2013. "Festuca roja, Cañuela roja, Festuca encarnada." 2014, from <http://fichas.infojardin.com/cesped/festuca-rubra-festuca-roja-festuca-encarnada.htm>.
- PINHERO, R. P., RINU; WHITFIELD, KYLY ; MARANGONI, ALEJANDRO G; LIU, QIANG; YADA, RICKEY Y, 2012 "Effect of genetic modification and storage on the physico-chemical properties of potato dry matter and acrylamide content of potato chips." Food Research International. 14.
- PROBIOMEX. 2010. "Hidrosiembra." Consultado en 2013, from <http://www.probiomex.com/>.
- RAVEN, P. H., 1992. "BIOLOGÍA DE LAS PLANTAS". Barcelona, Reverté: 493, 494.
- RAY, P. M., 1981. "LA PLANTA VIVIENTE". México, CIA. EDITORIAL CONTINENTAL S.A. DE C. V.: 211, 212, 215.
- REYES, L. C. H., JAVIER; RIVAS P., FERNANDO, 2007 "Praderas mixtas de gramíneas. Una alternativa para el pastoreo de ovinos en el trópico seco. ." Forrajes y pastizales.
- RICO, S. J. 2014. "Lluvia sólida." 2014, from <http://www.silosdeagua.net/historia1.html>.
- RÍOS, G. F. L., 1992. "Gramíneas". México, Imprenta universitaria de la UACH: 11.
- RIVERA, J. A. T., 1993. "Descripción de gramíneas en plantaciones citricolas de Martínez de la Torre, Veracruz." México, Impresos Jer: 108, 109.
- RIVERA, S. 2010. "Mantenimiento del forraje verde hidropónico ", 2013, from http://www.cosechandonatural.com.mx/mantenimiento_del_forraje_verde_hidropnico_guia26.html.
- ROADS, E. 2010. "Hidrosiembra." Consultado en 2012, from <http://www.grupoenro.com/Documentos/Hidrosiembra.pdf>.
- ROGER F., N., L., FERNÁNDEZ, M., 1991. "La hidrosiembra: alternativa para recuperar zonas degradadas ambientalmente en proyectos hidroeléctricos". República Bolivariana de Venezuela, Electrificación del Caroní, C.A. (EDELCA): 16 pag's.
- RUÍZ, F., 2001 "ÁREAS URBANAS Y METROPOLITANAS." Anuaio económico de España. 2.
- SALISBURY, F. B., 1994. "FISIOLOGÍA VEGETAL". México, Grupo Editorial Iberoamerica S.A. de C.V.: 462, 470.
- SÁNCHEZ, D. L., 2008. "EVALUACIÓN DE LA FOTOGRAFÍA DIGITAL VERTICAL PARA ESTIMACIÓN DE COBERTURA BASAL DE VEGETACIÓN SIMULADA." Licenciatura, Universidad de Chapingo.
- SANCHEZ, O. S., 1968. "LA FLORA DEL VALLE DE MÉXICO". México, Herrera, S. A.: 63.
- SCHULDT, M. 2013. "Manual de Lombricultura." Consultado en 2013, from <http://www.manualdelombricultura.com/wwwboard/wwwboard.html>.
- SMA. 2013. "Naturación de azoteas." Consultado en 2013, from <http://www.sma.df.gob.mx/drupc/index.php?opcion=17>.
- SPUR, S. H., 1982. "ECOLOGÍA FORESTAL". México, AGT EDITOR S.A.: 216, 220, 221.
- TORRES, C. I., 2011. "Camino sin deslaves". Investigación y Desarrollo. México, D.F.: 3 pag's.
- TORRES, R. D., 2005. "Planeación, espacios verdes y sustentabilidad en el distrito federal". Doctorado Tesis, Universidad Autónoma Metropolitana
- VERDUZCO, J. G. D. A., 2012. "Azoteas y techos verdes". Sembrando conciencia. Guadalajara, México, Impresos Linares. No. 3: 33.

- YOUSEF, M. I. E.-D., F.M. , 2006 "Acrylamide-induced oxidative stress and biochemical perturbations in rats." *Toxicology* 219. 141.
- ZHANG, X. J., LIPING; GENG, CHENYAN; YOSHIMURA, HIROYUKI; ZHONG, LAIFU, 2008 "Inhibition of acrylamide genotoxicity in human liver-derived HepG2 cells by the antioxidant hydroxytyrosol." *Chemico-Biological Interactions* 176. 178.
- ZHOU, X. F., LIU-YIN; ZHANG, WEI; CAO, CHENG-XI 2007 "Separation and determination of acrylamide in potato chips by micellar electrokinetic capillary chromatography." *Talanta* 71. 1545.
- ZIELINSKI, S. G. C., MARIO ALBERTO; VEGA PATERNINA, JUAN CARLOS, 2012 "Techos verdes: ¿Una herramienta viable para la gestión ambiental en el sector hotelero del Rodadero, Santa Marta?" *Gestión y Ambiente* 15. 91-104.