



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

**PROPUESTA DE MURO VERDE DE BAJO INSUMO,
UTILIZANDO AGUA PLUVIAL, PARA LA NATURACIÓN URBANA**

TESIS

QUÉ PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

PRESENTA:

RINCÓN PORTILLA ANGEL

DIRECTOR DE TESIS:

BIÓL. ALEJANDRO JACINTO TECPA JIMÉNEZ

ASESOR INTERNO:

BIÓL. JUAN ROMERO ARREDONDO



CD. DE MÉXICO

NOVIEMBRE, 2018



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
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

“ZARAGOZA”

DIRECCIÓN

**JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
PRESENTE.**

Comunico a usted que el alumno **RINCÓN PORTILLA ANGEL**, con número de cuenta **307282466**, de la carrera de Biología, se le ha fijado el día **13 de noviembre de 2018** a las **13:00 hrs.**, para presentar examen profesional, el cual tendrá lugar en esta Facultad con el siguiente jurado:

- PRESIDENTE** Biól. LETICIA LÓPEZ VICENTE
- VOCAL** Biól. ALEJANDRO JACINTO TECPA JIMÉNEZ
- SECRETARIO** Biól. JUAN ROMERO ARREDONDO
- SUPLENTE** Biól. AIDA ZAPATA CRUZ
- SUPLENTE** M. en C. JUAN MANUEL VALDERRÁBANO GÓMEZ

El título de la tesis que presenta es: **Propuesta de muro verde de bajo insumo, utilizando agua pluvial, para la naturación urbana.**

Opción de titulación: Tesis

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

ATENTAMENTE
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
Ciudad de México, a 22 de octubre de 2018

DR. VÍCTOR MANUEL MENDOZA NÚÑEZ
DIRECTOR



RECIBÍ
OFICINA DE EXÁMENES
PROFESIONALES Y DE GRADO

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

“Nada es imposible en esta vida para una persona con voluntad de hacer las cosas, hasta lo imposible es posible”

Rincón-Portilla A.

DEDICATORIAS

A mi **Mamá (¡la mejor!)**: Ma. Isabel. Que persistentemente me apoyaste en todo, a no rendirme y levantarme no importa cuántas veces haya caído, a pesar de las peleas, mis dramas o ser muy cariñoso como tú me enseñaste, muchas gracias ¡TE AMO MAMÁ! ¡Lo logré mami! di mi primer paso, ya no corro sin caminar como cuando era bebé, ahora ¡Volaré!

Abuelitos (Mamichi y Pafadel): Celia y Rafael. ¡Gracias! Por darme esa hermosa familia que formaron y de la cual me enseñaron y aconsejaron, siendo la corteza del árbol más fuerte me dieron más que muchos consejos y aprendizajes para mi presente y futuro, me dieron mucho amor y junto a mi "gran madre" mi abuelita Geno, ¡Cumpliré mis metas y promesas! Junto con lo que se me ha confiado, siendo siempre un hombre de palabra, siendo un chingón, pero humilde y aprendiendo hasta del más pendejo (por lo menos a no ser como él).

Tíos (Papás) y Tías (Mamás): Angel, Jorge, Memo, Rosi y Tere. La vida siempre me ha enseñado que tengo personas en quienes me enseñen, cuiden y amen, sobre todo la familia de sangre que no te abandona y está ahí para apoyarte y aconsejarte, pero sobre todo para amar. ¡Infinitas gracias! ¡Los AMO! Mis Papás y mis Mamás por ser ese complemento en esta vida y prestarme a mis hermanitos en mi vida.

Primos (Hermanos) y primas (Hermanas): Omar, Angelito, Jorgito, Fer, Otoniel, Sami, Celis y Angela. Que estuvieron acompañándome, en mis momentos de mas tristeza o desesperación, siendo mis hermanitos ¡Gracias por toda su confianza y amor! ¡Los AMO! Estaré ahí para cuidarlos, enseñarles a no rendirse jamás, siendo un ejemplo y su hermano mayor, vean la luna y su corazón aun este al otro lado del mundo ¡ahí estaré! ¿Saben por qué? ... ¡Porque soy Batman! y ¡Logan!

A la FES-Z y al CCH-O: Facultad de Estudios Superiores Zaragoza y al Colegio de Ciencias y Humanidades plantel Oriente. A mis dos almas mater, le estoy eternamente agradecido por todos los conocimientos y sueños que me forjaron como estudiante Zaragozano y Ceceachero de mi segunda casa la **¡UNAM!**, por ayudarme a conocer a mi familia que no es de sangre pero que la quiero un chingo de igual manera a esos amigos que siempre han estado ahí ¡Muchas gracias! De igual manera a los profesores que con sus enseñanzas y consejos me han hecho el profesionista que soy y seré a lo largo de mi vida a todos ellos ¡Gracias...Totales!

Chapingo y a la ENEO: Universidad Autónoma de Chapingo y a la Escuela Nacional de Enfermería y Obstetricia. Por ser los lugares que me han abierto las puertas con enorme cariño y al conocimiento en días de oscuridad, para cumplir mis metas ¡Gracias!, porque conocí a grandes personas en cada lugar que me apoyaron y me alentaron a seguir, a aprender y enseñar con entusiasmo y estudio en cooperación con otros profesionistas y personas que quieran ser los mejores, sin dejar de ser educadas, honestas, amables y responsables.

BREM, PAOT y la 134: Brigada de Respuesta a Emergencias, Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial y la Secundaria N.º 134 “Leandro Valle”. Por ser los lugares donde conocí a mucha gente maravillosa que me enseñó a ser ¡el mejor en lo que soy y en lo que hago!, a conocer muchos lugares, pero sobre todo al tener a mis amigos que me apoyaron, aconsejaron durante la estancia en esa parte de mi vida y que aún lo siguen y espero lo sigan haciendo por lo cual ¡les estoy totalmente agradecido!

A toda mi familia y los lugares donde conocí a mis amigos les **dedico** esta tesis de licenciatura, aún queda más camino, pero para esta tesis a ustedes ¡Muchas gracias!

RAP/ Rincón-Portilla A.

Angel Rincón Portilla

AGRADECIMIENTOS

- ♣ **A mi familia Portilla Vázquez**, a mis abuelitos Geno, Celia y Rafael, a mis tíos Angel, Rosi, Tere, Jorge, Guillermo y Carlos, a mis primos Celia Dayanara, Fernando, Samantha, Angela Celeste, Otoniel, Angel, Jorge, Omar por sus consejos, su cariño y a ser mejor persona cada día.
- ♣ **A mi director de Tesis**, *Alejandro Jacinto Tecpa Jiménez*, por su perseverancia en enseñarme más allá de la cuestión académica, es a no rendirme jamás en mis metas pese a quien se interponga en mi camino, por muy tonto que suene, “tratar de alcanzar un sueño imposible para muchos es una buena ambición” que al final hay que brindar y agradecer al alma mater, el universo, dios, la tierra, lo que nos fue dado. ¡Muchas Gracias!
- ♣ **A mis sinodales**, *Juan Romero Arredondo, Leticia López Vicente, Aida Zapata Cruz y Juan Manuel Valderrabano Gómez*, por sus aportaciones, consejos, el tiempo y dedicación que le prestaron a mi trabajo en la asesoría de plasmar mis ideas y conocimientos en papel (que no fue fácil con mi redacción y mi mente loca), en verdad, ¡Gracias!
- ♣ **A mis profesores**, de la FES-Zaragoza, *Bertha Peña Mendoza, Alfredo Bueno Hernández, Guadalupe Bribiesca, Ma. del Carmen Salgado Merédiz, Esther Matiana García Amador, Roberto Cristóbal Guzmán, Elvia García Santos, Rosalva García Sánchez, Ma. Socorro Orozco, Maricela Arteaga Mejía, Leonora Sánchez Figueroa, Luis Samuel Campos Lince, Leonardo Ulises Guzmán Cruz, Balbina Vázquez Benítez, Ramiro Ríos Gómez, Magdalena Ordoñez Reséndiz, Ma. Guadalupe Sánchez Villers, Yolanda Cortes Altamirano, Cecilia Mecalco Herrera, Arcadio Monroy Ata, Yolanda Maribel Flores, Gerardo Cruz Flores, Lourdes Castillo Granada, Nicté Ramírez Priego, Angélica Elaine González Schaff y Guillermo Blancas*. A todos ustedes muchas gracias por todas sus palabras y ayuda en momentos muy difíciles por este proyecto, por guiarme a cumplir mis metas, de no rendirme, por sus consejos en mi formación durante la carrera, por reafirmar mi amor y vocación a la Biología, a la atención del paciente y al primer paso de reconciliar a la naturaleza con el ser humano, a ser paciente, a defenderme con conocimientos de cualquier de cualquier persona o profesionista. Por demostrarme que hay maestros que se llevan nuestro reconocimiento eternamente con el honor a quienes honor merecen ¡Muchas gracias!
- ♣ **A mis maestros**, del CCH Oriente y la ENEO, *Nely Pantoja*. Por la oportunidad, los consejos a la hora de dar una clase, el apoyo, la confianza y las palabras para titularme y demostrar que como universitarios el apoyo entre nosotros es fundamental en la actualidad donde lo mejor es trabajar con diferentes disciplinas y materias en conjunto como una enseñanza multidisciplinaria ¡Gracias por todo Nely! Por ese enorme corazón que poseen las personas y aún más tu como enfermera y mama. *Itzel Núñez Núñez, María Eugenia Jiménez Reyes y Sofía Rubio Antic*. Maestros que jamás olvidare del CCH Oriente porque por ustedes ame el área de la salud, el aprender a aprender, a ser, a hacer y a convivir. Por cada una de sus enseñanzas y donde quieran que estén les estoy eternamente agradecido tanto que mis familiares están y pasaron por la misma escuela que me vio crecer ¡Gracias!
- ♣ **Lo dije y lo cumpliré**: A todos aquellos que se quedaron en el camino, por los que no creyeron en mi o durante la realización de mi tesis les agradezco mucho porque sé que hay personas que pasan por nuestras vidas a enseñarnos a que se puede superar cualquier persona por mucho daño que haya hecho, a que no importa que tengan mucho poder es verlos siempre con la mirada en alto pero sobre todo a NO ser como ellos y (ella), porque SIN ellos ¡lo hice yo mismo!
- ♣ **A mis amigos**:
 - ♣ De la secundaria: Christopher Pompa, Enrique Luna, Anna Vargas, Luz Reyes y Joana Guadarrama.

- ♥ De la BREM: Lizeth (Charlotte), Omar, Rubí, María, Daniela, Xóchitl, Alejandro, Vanesa, Everardo, Fernando, Francisco (ATP), Lupita, María Fernanda (Mafer), Licet tapia, Hugo Monroy, Osvaldo (Ousir), Eduardo (Panda), Montserrat (Monchis) Edgar (Shadow), Luz, Verónica, Liz y Gopar. Pero en especial a mis maestros Geovanny León García, Jonathan Alejandro Gómez Santillán y Marco Antonio Miranda Morales.
- ♦ De la PAOT: Oscar de la Fuente, Rodolfo Soto, Karina Quechuleño, Juan, Jessica, Fercho, Tania (Bióloga de Iztacala), Brizia y Nancy.
- ♣ De la ENEO: Berenice Tapia García, Tania Vasto Arredondo y Evangelina Cruz Belmont.
- ♥ Del Basquetbol: Sergio Torres, Jair colín, Salvador (chava), Rubén, Luis y Filemón.
- ♦ Del CCH-O: Mayra, Alejandra, Arturo Mendoza y tu esposa Sandra (compadres), Ana Karen, Beba, Arturo Monroy, Hugo, Lupita, Roberto, Araceli, Bibi, Tere, María y Enrique (Kiko).
- ♣ De la FES-Z: Ana Gabriela, Ricardo, Lisandro, Memo, Laura, Paola, Enrique, Yasmin, Erick, Karen del valle, Ilia, Ericka, Raquel, Eva, Xenia, Monse, Alberto, Sandy, Paty, Violeta, Mafer, Héctor, Ivonne, Vianney, Hugo, Luis, Vanessa y Marlene Vázquez, Mariana Quezada, Antonio, Elena, Andrea Jaramillo, Alexa, Lulú, Sandra Ayala, Trini, Brenda, Carmina, Claudia Andréi, Fidel, Marianne y Adriana.

A todos mis amigos mencionados anteriormente, muchas gracias por estar todo este tiempo apoyándome de una u otra forma escuchándome o alentándome a no desistir, a cumplir mi palabra, corregirme si me equivoco, ser honesto, comprometido con lo que hago y digo, a enseñarme a disculparme siendo humilde, no tan dramático o terco, a hacer bullying ¡a huevo! ¿Qué no les paso? Los quiero un chingo y un montononal más jamás no lo olviden cabrones y cabronas ahí voy a estar siempre que me necesiten, soy hombre de palabra si no pregúntenle a la luna que espero no olviden verla, aun este al otro lado del mundo la luna nos conectara.

- ♣ **Pero en especial a:** *Adriana, Pompa, Enrique, Joana, Charlotte, Omar, Rubí, Panda, Oscar, Rodolfo, Berenice, Tania, Alejandra, Arturo Mendoza (Compadre), Arturo Monroy, Araceli, Bibi, Ana Gabriela, Ricardo, Paola, Karen del valle, Ilia, Ericka, Raquel, Eva, Monse, Alberto, Violeta, Mafer, Héctor, Ivonne, Vianney, Hugo, Luis, Vanessa Vázquez, Lulú, Brenda, Marianne, Lisandro, Memo (Hermano) y Laura.* Amigos brothers, mis hermanitas mis mejores amigas, les estoy infinitamente agradecido y como saben con el corazón en la mano ustedes son mis pilares principales a lo largo de la carrera y durante esta tesis, por sus consejos, sus revisiones, escuchar mis audios gigantes, estar de llorón, con el mar de amores o esto, pero saben al menos una cosa si ¡me titule! Y valió cada día porque conocí mas de ustedes en tiempos más difíciles y oscuros que me tendieron siempre un hombro o sus oídos para escucharme y con los abrazos para apoyarme cuando mas lo necesite me tendieron la mano y no me queda mas que decir que jamás olviden que ¡los quiero un puta madral! Y no olviden ver la luna.

RAP/ Rincón-Portilla A.

Angel Rincón Portilla

ÍNDICE



RESUMEN.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	1
MARCO TEÓRICO.....	3
I. Naturación urbana y muros verdes.....	3
1.1 Clasificación de la naturación urbana	4
1.2 Definición y Características de los muros verdes	4
1.3 Clasificación de los muros verdes.....	6
1.4 Componentes generales de los muros verdes.....	10
1.4.1 Material de soporte o de instalación en el muro verde.....	11
1.4.2 Sustrato y nutrimentos.....	13
1.4.3 Paleta vegetal / características de las especies vegetales	16
1.4.4 Sistema de Riego.....	18
1.4.5 Mantenimiento de las especies vegetales y la infraestructura.....	19
1.5 Desventajas de los muros verdes.....	20
JUSTIFICACIÓN.....	22
HIPÓTESIS.....	22
OBJETIVO GENERAL.....	23

OBJETIVOS PARTICULARES.....	23
MÉTODO.....	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
CONCLUSIONES.....	66
ANEXO.....	68
REFERENCIAS.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de tipos de muros verdes.....	7
Figura 2. Sustratos: Peat-moss (A) y Agrolita (B) utilizados durante el trabajo	14
Figura 3. Vermicomposta o humus de lombriz.....	16
Figura 4. Especies <i>Tradescantia zebrina</i> y <i>Plectranthus hadiensis</i>	17
Figura 5. Zona de estudio de la FES Zaragoza Campus II.....	24
Figura 6. Propuesta del muro verde a desarrollar con sus componentes generales.....	25
Figura 7. Propuesta del muro verde con las medidas de su inclinación, así como, la medida total del sistema en cuanto a altura y ancho.....	26
Figura 8. Propuesta del muro verde con sus componentes, peat-moss, agrolita y vermicomposta, así como de las plantas <i>Plectranthus hadiensis</i> y <i>Tradescantia zebrina</i>	27
Figura 9. Acomodo de las especies vegetales <i>Plectranthus hadiensis</i> y <i>Tradescantia zebrina</i> en los contenedores E, F y G de la propuesta muro verde.....	28
Figura 10. Termómetros de -20°C a 150° utilizados en el recirculador y primer almacenador, los termómetros adheribles, colocados en el primer y segundo almacenador, en el 3° contenedor de las plantas y sustratos y por último en el recirculador.....	30
Figura 11. Diseño del experimento con los 15 contenedores divididos en tres diferentes proporciones de los sustratos	30
Figura 12. El experimento con sus respectivas combinaciones de sustratos y el acomodo de las ocho plantas que se colocaron por contenedor.....	32
Figura 13. El acomodo de cada contenedor de las especies <i>Plectranthus hadiensis</i> (Ph) y <i>Tradescantia zebrina</i> (Tz) acomodadas de tal manera: (Ph, Tz, Ph, Tz, Tz, Ph, Tz y Ph)	32
Figura 14. Muestra la tela de "ala de mosca" cortada de forma circular y un boceto de los lugares donde se colocó a lo largo de todo el muro verde y el experimento.....	36
Figura 15. Características principales del Tuboplus Línea Sanitaria.....	37
Figura 16. Representación de como Tuboplus nos menciona la forma de la unión de los tubos.....	37
Figura 17. Materiales usados en el muro verde, el biselador, la manguera de plástico, tezontle en piedra grande, tezontle piedra chica, arena gruesa y la arena fina.....	38
Figura 18. Materiales usados en el muro verde, lubricante, Reducción, Tee H-H-H, Cople, codo 87° H-H, los tubos, cuello de botella de PET y Resistol 5000 transparente	39
Figura 19. Humus de lombriz del rancho de los molinos, agrolita de minerales expandidos y el peat-moss de OMRL.....	40

Figura 20. Forma de colocación a largo de la propuesta de muro verde, de la tela de “ala de mosca” cortada de forma circular y con las medidas de 115 mm y 55 mm.....	41
Figura 21. Medida de cada contenedor, además del corte que se les haría a los niveles (E, F y G) de la propuesta de muro verde y a los experimentos.....	41
Figura 22. Muestra de la manguera pegada al primer almacenador y el diagrama de la instalación de la manguera de la propuesta de muro verde.....	42
Figura 23. Captadores de agua y el diagrama del cuello de la botella cortada y como se instaló en el muro verde.....	42
Figura 24. Muestra del filtro casero con sus componentes, los materiales del filtro en costales y la foto del tubo vertical.....	43
Figura 25. Medida de los diámetros del captador pluvial, los cálculos y fórmulas que se usaron y la foto del pluviómetro casero para obtener los datos de volumen y tiempo.....	43
Figura 26. Una vista general del prototipo de muro verde armado.....	44
Figura 27. La comparación de las tres mezclas de sustratos y su respectiva retención.....	45
Figura 28. Esquejes e hijuelos de <i>Tradescantia zebrina</i> y <i>Plectranthus hadiensis</i>	46
Figura 29. Comparación del efecto de tres combinaciones de sustratos sobre la altura del tallo y número de hojas en <i>Tradescantia zebrina</i>	47
Figura 30. Altura del tallo y número de hojas de <i>Tradescantia zebrina</i> del tratamiento 1,2 y 3.....	47
Figura 31. Comparación del efecto de tres combinaciones de sustratos sobre el número de ramas y diámetro de la hoja para <i>Tradescantia zebrina</i>	48
Figura 32. Número de ramas y diámetro de hojas de <i>Tradescantia zebrina</i> del tratamiento 1,2 y 3...48	
Figura 33. Comparación del efecto de tres combinaciones de sustratos sobre el peso fresco y seco de la parte aérea de <i>Tradescantia zebrina</i>	49
Figura 34. Pesos fresco y seco de la parte aérea de <i>Tradescantia zebrina</i> del tratamiento 1,2 y 3...49	
Figura 35. Comparación del efecto de tres combinaciones de sustratos sobre el peso seco y fresco de la raíz para <i>Tradescantia zebrina</i>	50
Figura 36. Peso seco y fresco de la raíz de <i>Tradescantia zebrina</i> del tratamiento 1,2 y 3.....	50
Figura 37. Comparación del efecto de tres combinaciones de sustratos sobre longitud de raíz en <i>Tradescantia zebrina</i>	51
Figura 38. Longitud de raíz y la extracción de <i>Tradescantia zebrina</i> del tratamiento 1,2 y 3.....	51
Figura 39. Comparación del efecto de tres combinaciones de sustratos sobre sobre la altura del tallo y número de hojas en <i>Plectranthus hadiensis</i>	52

Figura 40. Altura del tallo y número de hojas de <i>Plectranthus hadiensis</i> del tratamiento 1,2 y 3...	52
Figura 41. Comparación del efecto de tres combinaciones de sustratos sobre el número de ramas y diámetro de la hoja en <i>Plectranthus hadiensis</i>	53
Figura 42. Número de ramas y el diámetro de hoja de <i>Plectranthus hadiensis</i> 1,2 y 3.....	53
Figura 43. Comparación del efecto de tres combinaciones de sustratos sobre el peso fresco y seco de la parte aérea de <i>Plectranthus hadiensis</i>	54
Figura 44. Peso fresco y seco de la parte aérea de <i>Plectranthus hadiensis</i> del tratamiento 1,2 y 3.	54
Figura 45. Comparación del efecto de tres combinaciones de sustratos sobre el peso seco y fresco de la raíz para <i>Plectranthus hadiensis</i>	55
Figura 46. Peso seco y fresco de la raíz de <i>Plectranthus hadiensis</i> del tratamiento 1,2 y 3.....	55
Figura 47. Comparación del efecto de tres combinaciones de sustratos sobre longitud de raíz en <i>Plectranthus hadiensis</i>	56
Figura 48. Longitud de raíz de <i>Plectranthus hadiensis</i> y la extracción de las especies vegetales.....	56
Figura 49. El día del trasplante del primer, segundo y tercer tratamiento.....	58
Figura 50. Día 32 del experimento de sustratos con vista de los tres tratamientos.....	58
Figura 51. Día 64 de la extracción de las plantas de los tres tratamientos.....	58
Figura 52. Tratamiento uno, de las especies <i>Plectranthus hadiensis</i> y <i>Tradescantia zebrina</i> , tomadas desde el día 8 al 64 y por último la foto del día 64 previo a la extracción de las plantas.....	59
Figura 53. Tratamiento dos, de las especies <i>Plectranthus hadiensis</i> y <i>Tradescantia zebrina</i> , tomadas desde el día 8 al 64 y por último la foto del día 64 previo a la extracción de las plantas.....	59
Figura 54. Tratamiento tres, de las especies <i>Plectranthus hadiensis</i> y <i>Tradescantia zebrina</i> , tomadas desde el día 8 al 64 y por último la foto del día 64 previo a la extracción de las plantas.....	59
Figura 55. Temperaturas tomadas por 12 semanas de los tubos de recirculador.....	61
Figura 56. Temperaturas tomadas por 12 semanas de los tubos del tercer contenedor de los sustratos y las especies vegetales.....	61
Figura 57. Temperaturas tomadas por 12 semanas de los tubos del segundo almacenador.....	61
Figura 58. Temperaturas tomadas por 12 semanas de los tubos del primer almacenador.....	62
Figura 59. Contenedores con las especies vegetales la semana 1, 4, 6, 8, 10 y 12 en la propuesta de muro verde	63

Tabla 1. Ejemplo de dos muros verdes integrales en el mercado mexicano	19
Tabla 2. Ventajas y desventajas puntuales de los muros verdes	20
Tabla 3. Diseño experimental de la propuesta de muro verde.....	28
Tabla 4. Diseño experimental de la mezcla de sustratos.....	33
Tabla 5. Lista de materiales y herramientas usados, así como su precio en el mercado.....	38
Tabla 6. Precios de cada sustrato en el mercado y la mezcla, visto hasta agosto del 2018.....	40
Tabla 7. Promedios de la retención de agua en el primer tratamiento.....	45
Tabla 8. Promedios de la retención de agua en el segundo tratamiento.....	46
Tabla 9. Promedios de la retención de agua en el tercer tratamiento	46
Tabla 10. Promedio de las variables de crecimiento en los tres tratamientos	60
Tabla 11. Porcentaje de supervivencia de las especies vegetales	62
Tabla 12. Desventajas y propuestas para el mejoramiento de la propuesta de muro verde.....	64
Tabla 13. Características del mantenimiento observadas	65
Tabla 14a y 14b. Características generales de las especies <i>Plectranthus hadiensis</i> y <i>Tradescantia zebrina</i>	18 y 19
Tabla 15. Medidas de la altura del tallo del primer contenedor del muro verde.....	70
Tabla 16. Medidas del número de hojas del segundo contenedor del muro verde.....	70
Tabla 17. Datos del número de ramas del tercer contenedor del muro verde.....	70
Tabla 18. Datos del número de hojas, diámetro de las hojas y número de ramas de las especies vegetales del primer contenedor del muro verde.....	71
Tabla 19. Datos de la altura del tallo, diámetro de las hojas y número de ramas de las especies vegetales del segundo contenedor del muro verde.....	72
Tabla 20. Datos de la altura del tallo, número de hojas y diámetro de las hojas de las especies vegetales del tercer contenedor del muro verde.....	73

La disminución de áreas verdes, por cambio de uso de suelo, ha contribuido a incrementar el deterioro del ecosistema urbano y de la salud humana, aumentando así la contaminación en las ciudades. Son estas razones las que evidencian la necesidad de conservar los árboles, arbustos e incluso plantas herbáceas. Una alternativa es la creación de espacios naturados en zonas poco usadas, donde se puedan cultivar especies vegetales de forma horizontal o vertical; para ello se utilizan diferentes alternativas que permiten generar azoteas o muros verdes construidos con diferentes materiales, con la finalidad de mantener en condiciones adecuadas a las plantas.

De lo anterior, en el presente proyecto se presentaron los elementos básicos para una nueva propuesta de muro verde utilizando diferentes materiales para la estructura y componentes básicos con la finalidad de crear una ecotecnología para zonas urbanas. En primera instancia se experimentó con el PET, PVC y tuboplus línea sanitaria para saber cuál era el mejor. Una mezcla de sustratos y nutrimentos de los cuales se propusieron tres tratamientos (T): T1 (40% agrolita, 40% peat-moss y 20% de vermicomposta), T2 (70% agrolita, 20% peat-moss y 10% vermicomposta) y T3 (20% agrolita, 70% peat-moss y 10% vermicomposta).

En cada tratamiento se colocaron manualmente un total de 40 plantas de *Tradescantia zebrina* y *Plectranthus hadiensis* por el método de esqueje. A cada especie vegetal por tratamiento se le tomaron semanalmente las siguientes variables: número de ramas, hojas, altura de tallo y diámetro de las hojas, por cinco semanas (64 días). Al finalizar la quinta semana, adicionalmente se tomaron datos del peso fresco y seco de la parte aérea, peso fresco y seco de la raíz y la longitud de la raíz para definir el mejor tratamiento a implementar en la propuesta de muro verde.

El mejor tratamiento para la retención de agua fue el T2 (T1: 66.58% comparado con T2: 81.07% y el T3: 62.01%). Para las variables de crecimiento en *Tradescantia zebrina* fue el T1 el que mayor efecto tuvo en la altura del tallo, diámetro de la hoja, número de hojas y ramas, peso fresco y seco de la parte aérea, peso fresco y seco de la raíz; en *Plectranthus hadiensis* fue en las variables de número de hojas y ramas, diámetro de la hoja, peso fresco y seco de la parte aérea, peso fresco y seco de la raíz y la longitud de la raíz. El porcentaje de supervivencia de las plantas en todos los tratamientos del experimento fue de 85% en *Tradescantia zebrina* y 95% en *Plectranthus hadiensis*.

Con base en estos experimentos se diseñó, construyó e implementó la propuesta de muro verde con tuboplus línea sanitaria, mangueras durables y permeables al agua, de fácil ensamblado, que no requiera de un riego manual, ya que se usó el agua de lluvia captada en la propuesta. Se utilizaron una mezcla de sustratos cuyo peso total fue de 4.5 kg, con la proporción del T1 y ocho plantas de *Tradescantia zebrina* y 16 plantas de *Plectranthus hadiensis*. Tomando datos por 12 semanas de la temperatura de los contenedores para saber la recirculación del agua por sus diferentes compartimentos sin estancarse (43.17° C del recirculador comparado con los 23.06° C del contenedor de los sustratos con las plantas), además de las variables de crecimiento de la altura del tallo, número de hojas, diámetro de las hojas y número de ramas. El porcentaje de supervivencia de las plantas en la propuesta de muro verde fue de 85.7% en *Tradescantia zebrina* y 88.2% en *Plectranthus hadiensis*. La finalidad del proyecto que se realizó en la Facultad de Estudios Superiores (FES) Zaragoza fue el diseño y construcción de la primera propuesta de muro verde que presento algunas desventajas, para posteriormente proponer algunas posibles mejoras en el prototipo a futuro.

Hoy en día, cerca del 50% de la población mundial habita en las ciudades, situación que genera un incremento significativo en la demanda de recursos y un alto grado de hacinamiento (Wong *et al.*, 2009), exponiendo a los habitantes de las ciudades a diferentes tipos de contaminación y a efectos ambientales negativos, incluyendo la pérdida y deterioro sistemático de especies de flora y fauna originales a los ecosistemas naturales, así como a las variaciones térmicas y de humedad resultantes de este proceso, dando lugar a ambientes más hostiles y disminución significativa de la calidad de vida en la biota (Yang & Gong, 2008), por lo que es importante conservar las áreas verdes y crear espacios naturados que contribuyan a amortiguar los efectos de la contaminación, modificando los escenarios estresantes que se viven en las ciudades (Meza & Moncada, 2010)

Muntané & De Oleza (2002), refieren que es ingenuo pensar en regresar a los ecosistemas locales a sus condiciones originales, ya que, en mayor medida, han sido eliminadas y alteradas sus condiciones ambientales que le dieron origen, es decir, es más factible establecer nuevas conformaciones de vegetación y fauna adaptadas al medio urbano. En este contexto, en la Ciudad de México se ha vuelto imprescindible proteger e incrementar las áreas provistas de vegetación existentes y promover su establecimiento en lugares como techos o paredes para que, cumplan funciones biológicas, que contribuyan a reducir el impacto de la contaminación y adquieran valor estético y económico aprovechando estos espacios en desuso, ya sea en casa, trabajo, hospital, escuelas o lugares recreativos (Park, 2006; PAOT, 2010).

A partir de la pérdida de áreas verdes originales, dentro de la urbe y teniendo como consecuencia el incremento de los contaminantes de suelo, agua y atmósfera, se empezó a gestar el concepto de naturación, que tiene como propósito la integración o interacción con la naturaleza dentro de las ciudades. De este modo, con la aplicación inteligente, sistemática y extensiva de un conjunto de ecotecnias¹ basadas en la naturación urbana, como las azoteas y muros verdes, tal vez sea posible revertir esta situación de manera parcial (Gómez-Mendoza, 2004).

¹ Ecotecnia. Es la herramienta tecnológica que tiene como fin satisfacer las necesidades humanas y contribuir la reducción del impacto ambiental producto de estas necesidades (Braulio, 2012).

De esta manera, se han buscado soluciones para diseñar y crear infraestructura que permita integrar especies vegetales en lugares que no tienen un uso productivo, ya que son sitios abandonados o utilizados como almacenadores de desechos; que no dañe la estructura del edificio y principalmente permita el crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas seleccionadas para sistemas verticales y horizontales (Soemy *et al.*, 2007).

Actualmente, en un muro verde debe existir equilibrio entre las plantas con el agua, el sustrato y los nutrimentos a lo largo de su estructura integral o modular; además se pueden utilizar energías renovables a precios accesibles para todo público; sin embargo, en México no se ha creado un prototipo de muro verde con las características adecuadas para las zonas urbanas del país (Carpenter, 2014).

Por lo tanto, en este trabajo se propone desarrollar una propuesta de muro verde tomando en consideración elementos básicos para su construcción como una estructura impermeable, durable y de fácil acceso que permita la captación, distribución y recirculación del agua pluvial, sustratos como agrolita y peat-moss, nutrimentos orgánicos como vermicomposta, plantas perennes, de rápido crecimiento y resistencia al estrés hídrico como *Tradescantia zebrina* y *Plectranthus hadiensis*, con la finalidad de detectar las bondades y deficiencias de éste, y así, proponer las mejoras correspondientes para el prototipo a futuro, con el propósito de que sea una alternativa factible favoreciendo el incremento de áreas verdes en las urbes.

I. Naturación urbana y muros verdes

Dada la preocupación por las consecuencias del efecto invernadero², se ha generado el concepto de naturación urbana, que es la acción de diseñar, crear e implementar áreas verdes, ubicándolas en espacios disponibles, de tal manera que contribuyan a mejorar las condiciones ambientales, sociales, económicas, estéticas, éticas, emocionales, culturales y de salud para sus habitantes (De Felipe & Briz, 2005; Park, 2006). Se habla, en concreto, de una “reconciliación urbana” o, como menciona Gómez-Mendoza (2004): “se busca retornar a dicho equilibrio con la aplicación de diferentes sistemas que permiten reintegrar elementos naturales al entorno urbano creado”.

Por su parte, Briz (1999) define a la naturación urbana como “las construcciones en superficies horizontales, verticales o inclinadas, hechas con vegetación especialmente seleccionada y adaptada para formar una capa multifuncional sobre dichas superficies, que tienen el fin de amortiguar el desequilibrio entre la urbanización y la conservación del ambiente”. Todo esto implica el potencial de los espacios sin uso, como sitios para el establecimiento de una amplia diversidad de especies vegetales seleccionadas adecuadamente, de modo que no requieran grandes insumos materiales, económicos y de tiempo, para desarrollarse (Fernández, 2010a). De acuerdo con Braulio (2012), lo ideal sería, un sistema ecotecnológico³ que implique:

- I. Costos relativamente bajos
- II. Material durable, resistente y de fácil adquisición
- III. Contribución a la reducción del impacto ambiental en las ciudades
- IV. Ser lo suficientemente simples para que la gente pueda construir o arreglar por sí misma, sin costosas inversiones.

² **Efecto invernadero.** Es el aumento de temperatura de la atmósfera del planeta Tierra por la emisión de ciertos gases (Gross, 2012).

³ **Sistema ecotecnológico.** Consiste en la aplicación de diversas herramientas tecnológicas amigables con el ambiente.

1.1 Clasificación de la naturación urbana

Los sistemas de naturación se pueden clasificar según la superficie de la edificación utilizada, es decir, se han concretado en zonas que no son comúnmente utilizadas, tales como: azoteas, paredes, acantilados, fachadas y balcones, fomentando los conceptos o términos de azoteas verdes o terrazas naturadas, fachadas verdes, y muros verdes o jardines verticales (Soemy *et al.*, 2007). De estos, las más importantes para la creación de espacios verdes en las ciudades son:

Azotea verde o terrazas naturadas: Es un paisaje de vegetación construido a partir de una serie de capas que se instalan sobre una superficie de techo colocando el sustrato y las especies vegetales con múltiples capas geotextiles (directa) o modulares (indirecta), distribuidos en macetas, bandejas o contenedores (Meléndez, 2016).

Muro verde o jardín vertical: Esta palabra se comenzó a utilizar por el que se conoce como el creador de la técnica, el botánico francés Patrick Blanc (desde el año de 1988), quien menciona: “este sistema se aplica a cualquier dispositivo que permita a todos los tipos de plantas (perennes y hierbas) crecer y establecerse verticalmente” (Blanc, 2000). De esta manera, los muros verdes son sistemas conformados por una cubierta vegetal vertical o ligeramente inclinada que dan vida a fachadas y muros, sean exteriores e interiores, en todo tipo de inmuebles industriales, comerciales y residenciales (Serrato, 2014).

1.2 Definición y características de los muros verdes

Este sistema está compuesto de especies vegetales con un crecimiento y desarrollo en sistemas verticales soportados a un muro, aunque en algunos casos pueden ser independientes. Esta definición de muro verde ha tenido otros nombres como jardines verticales, muros vivos, muros vegetales, bio-muros, paredes de cultivo, paredes verdes, paredes vivas, ecosistemas verticales y huertos verticales (Martínez, 2016); términos que se le ha dado por las pequeñas diferencias en uno de sus componentes de construcción o materiales, dependiendo el lugar y cada país empleado, al final son sinónimos, puesto que siguen como base la definición de Patrick Blanc (Briz, 2003).

El muro verde, se enmarca en los sistemas de ingeniería y arquitectura biológica, ya que se centra en conseguir la mejor tecnología, ecología, economía y estética utilizando comunidades vegetales en combinación con materiales con estabilidad física, biológica y químicamente inertes o neutros como elementos constructivos (Fernández, 2010b). Otro punto importante es que los muros o el sitio a naturar deben estar en buen estado y ser capaces de soportar el peso aplicado verticalmente, así como de manera preventiva una capa ligera o bien colocada de impermeabilizante, aún, si algunos materiales son aislantes de la humedad (Perini *et al.*, 2011; Urrestarazu & Bures, 2012).

Dentro del diseño, se requiere de especificaciones técnicas bajo un contexto multidisciplinario entre diferentes áreas de conocimiento como la biología, agronomía, arquitectura, diseño y todos aquellos que tengan conocimiento y experiencia en el manejo de plantas, materiales estructurales y diseño arquitectónico que trabajen en conjunto para que los integren y permitan su viabilidad en cualquier lugar urbano de forma horizontal, vertical o inclinada donde incluya diferentes sistemas y especies vegetales, más aún porque los muros o paredes de los inmuebles son las partes menos utilizadas, teniendo en cuenta las variables y posibilidades, tanto funcionales como productivas, benéficas para el ser humano, siendo de las principales las ambientales ante el entorno por la constante polución y las características del hacinamiento de las personas en relación a estos hábitats (Buraglia *et al.*, 2013). Se trata no sólo de abordar el aspecto estético, sino que, además, se desarrollen sistemas que sean relativamente simples, funcionales y adaptables a las condiciones locales.

En México actualmente el desarrollo de muros verdes está en un nivel básico, los trabajos que hay con relación a esto son usados principalmente por empresas privadas implementadas como ornamento, así mismo, estos tienen un alto costo en el mercado lo cual los hace inaccesibles para la mayoría de la población (Bali, 2001). Pensando en más alternativas eficientes y económicas, estos muros se pueden diseñar con plantas comestibles o medicinales nativas de la zona o adaptadas a la región, de alta demanda en la dieta y enfermedades mexicanas, ante la falta de espacio en las viviendas mexicanas, siendo una alternativa la producción de alimentos o una farmacia viviente⁴, además, permiten el ahorro de agua en el riego en las grandes metrópolis (FAO, 2010; Martínez, 2016).

⁴ **Farmacia viviente:** Es un conjunto de especies vegetales cultivadas o silvestres, con la finalidad de proporcionar una alternativa medicinal a las personas, procurando el cuidado y reposición del área verde (Jiménez-Merino, 2011).

1.3 Clasificación de los muros verdes

La clasificación se da de dos maneras: En la primera es por diferencias en el uso del material como soporte de la vegetación, o del sistema de riego y nutrición de las plantas y la segunda es el uso otorgado en el inmueble; cabe aclarar que aparte de su clasificación por componentes o tipo de instalación siempre se dividirá en muros verdes interiores y exteriores, de acuerdo con esto será la adaptación del lugar, componentes a usar y su diseño.

A. Clasificación por sistema

Los muros verdes son sistemas que pueden clasificarse en dos grandes grupos según su función:

- **Sistema Pasivo:** Es un sistema convencional de jardín vertical, que puede instalarse en el interior o exterior del edificio, con sistemas de riego, fertilización, con la función de mantener la vegetación en condiciones favorables para su crecimiento y desarrollo óptimos para cumplir sus beneficios de forma paulatina y constante (Vintimilla, 2013).
- **Sistema Activo:** Es un sistema de acondicionamiento de muro verde para fungir como auxiliar de la ventilación y climatización de los edificios, actuando como sistema de acondicionamiento y biofiltrado en combinación con los convencionales, contando con un sistema de telecontrol. Permitiendo su gestión y monitorización a distancia adaptado al interior o exterior del inmueble (Martínez, 2016).

B. Clasificación por sus componentes

Así mismo, los sistemas de muros verdes también se pueden dividir en dos clases principales según sus componentes: fachadas verdes y muros vivos o paredes vivas cada uno con su subdivisión (figura 1):

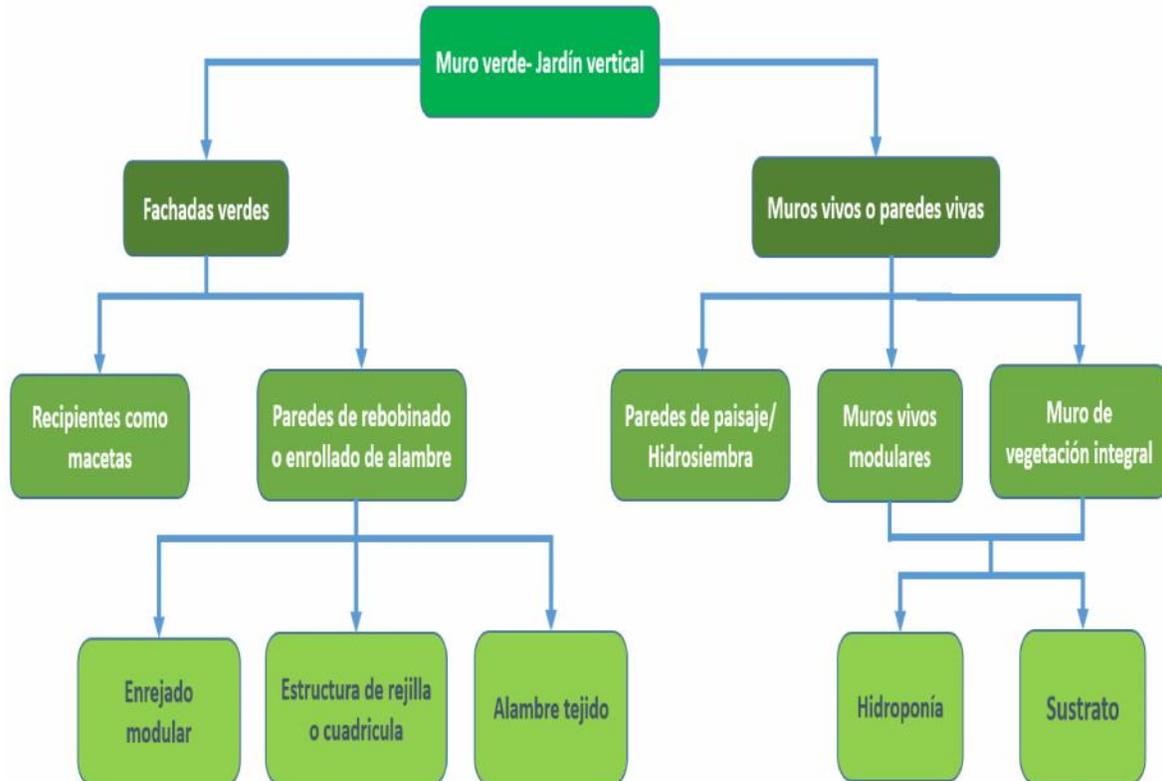


Figura 1. Esquema de tipos de muros verdes tomado de Burhan & Elif (2013).

Ñ **Fachada verde:** Son especies vegetales trepadoras y arbustivas, ya sea de plantas cultivadas en camas de jardín en su base, o por la plantación de contenedores instalados en diferentes niveles a través del edificio. Las plantas trepadoras se pueden adherir directamente a la superficie de un edificio o se pueden apoyar en una estructura independiente del edificio como cercas o columnas (Metselaar, 2012). De esta categoría las fachadas verdes se dividen en dos sistemas de fachadas verdes, por recipientes con macetas sobre una estructura vertical y por la utilización de alambre enrejado, en malla o tejido como soporte de las ramas y hojas (Gonchar, 2009).

Ñ **Muros o paredes vivas:** Este tipo de sistema se compone de paneles prefabricados de tela sintética, arcilla, metal u hormigón, módulos verticales o contenedores plásticos de polipropileno, poliestireno expandido, geotextiles, junto con el sistema de riego y el medio de cultivo que soportan una gran diversidad y densidad de especies vegetales. Debido a esta variedad de plantas, requieren más cuidados que las fachadas verdes, sin embargo, lo que se busca al naturalizar zonas urbanas es crear complejidad de sistemas para una mejor reincorporación de la naturaleza a las ciudades (Sharp, 2007). Este sistema soporta una gran variedad de especies vegetales, como plantas, perennes o anuales, arbustos bajos, epifitas, terrestres, características que se adapten a la región en donde se colocarán, para facilitar el mantenimiento del sistema (Jacobs, 2008).

Con estas características generales los muros vivos se dividen en tres categorías: las paredes de paisaje o hidrosiembra, los muros modulares y los sistemas integrales o muros de vegetación continua.

- **Hidrosiembra/paredes de paisaje:** Son plantas colocadas desde semilla en superficies inclinadas, a partir de algún tipo de material de apilamiento de plástico, llanta o incluso material reciclado u hormigón (Jacobs, 2008) y las que no requieren estructura de soporte, en el cual se mezclan semillas, agua, abono y celulosa mulch (agregado orgánico que protege y nutre a la semilla) colocándolos directamente sobre el suelo con la función principal de reducción del ruido y estabilización de la pendiente en carreteras o vías de transporte (Castillo, 2014).
- **Muros de vida modulares/ Biowalls:** Son paneles prefabricados de material impermeable cuadrados, rectangulares, rombos o de la forma que uno le asigne, con el medio de cultivo para soportar plantas principalmente anuales, haciéndolos prácticos y para espacios pequeños, pero muy costosos por sus adaptaciones y mantenimiento, dividiéndose en contenedores con sustrato e hidropónicos (Carpenter, 2014).

- **Jardines verticales integrales/muros de vegetación continua:** Se componen por un material impermeable, el más usado con geomembranas, tubo de PVC, PET, polipropileno, fibra de coco, de yute, metal galvanizado, entre otros conectados entre sí y solo dejando el hueco que sostendrá las plantas y el medio de cultivo (Briz & De Felipe, 2014). También se clasifican por su soporte vegetal por sistemas hidropónicos o de sustratos.

Así, tanto los muros de vegetación continua y los modulares se dividen en sistemas hidropónicos y por sustrato:

- **Hidroponía:** Se caracteriza por estar en agua con dosis controladas de fertilizantes sintéticos en el sistema de irrigación para la nutrición vegetal, y tener un medio de cultivo inerte al cual las plantas solo lo utilizan para anclarse, retener el agua, tal como la espuma de poliuretano, poliuria, lana de roca o sustratos inorgánicos como tezontle, agrolita, vermiculita, entre otros (Burhan & Elif, 2013).
- **Sustrato:** El sistema utiliza recipientes de contención hechos de material impermeable sintético o material orgánico semi-permeable para evitar la pérdida de humedad, con la función de soportar la mezcla de sustratos, con buena aireación, drenaje, retención de agua, nutrimentos aportados por medio del riego y/o a la mezcla de sustratos y abonos (Vintimilla, 2013).

De los dos tipos de sistema mencionados, el muro verde integral de sustrato fue el sistema en el que se basó la propuesta de este proyecto de investigación.

1.4 Componentes generales de los muros verdes

Por sus múltiples beneficios el componente más importante de los muros verdes es la vegetación, la cual define la infraestructura a utilizar, por lo que se requiere de un trabajo multidisciplinario para conservar a las plantas en las mejores condiciones posibles y seleccionar el material y los componentes ideales para crear el mejor ambiente de desarrollo, evitar dañar al inmueble, crear un diseño estético y dar una utilidad al ser humano adicional (alimenticia, ornamental o medicinal), todo a costos accesibles (Hopkins & Goodwin, 2011; FAO, 2010).

Según Carpenter (2014), con estos principios, se puede decir que los muros vegetales parten de seis componentes básicos:

- a) Un elemento de aislamiento para evitar que la humedad afecte la construcción.
- b) Material de soporte o instalación al muro.
- c) Sustrato o medio de cultivo y su reserva nutrimental para colocar las especies vegetales.
- d) Paleta vegetal/ Características de las especies vegetales.
- e) Obtención y sistema de riego automatizado o un régimen de riego manual, que suministre, almacene y distribuya la cantidad específica de agua para cada planta.
- f) Programa de mantenimiento de la infraestructura y de las plantas, adición de nutrimentos, observación y reparación del sistema.

1.4.1 Material de soporte o de instalación en el muro verde

La colocación del soporte varía dependiendo del tipo de sistema para contener y cubrir las necesidades de la planta. Estas estructuras deben ser resistentes a la constante humedad y a la colocación de fertilizantes químicos o abonos orgánicos. En el caso de un muro exterior la provisión de luz adecuada para las plantas y el espacio donde se colocará el sistema son factores importantes para tomar en cuenta, ya sea por la exposición a los cambios climáticos, rayos ultravioletas, granizo y temperaturas altas o bajas cuando se planifica un muro interior, el material a incluir (de ser necesaria) sería la iluminación artificial (Neila *et al.*, 2008).

Entre los materiales utilizados para soportar la erosión en un muro naturado (Koehler, 2003), se encuentran los siguientes:

- a) Geosintéticos: geomembranas, geotextiles tejidos y no tejidos.
- b) Fibras o mantos sintéticos: mantos de fibra de vidrio, o de PET reciclado.
- c) Contenedores de plástico: PET, PVC, Polipropileno, entre otros.
- d) Tejidos orgánicos: yute, fibra de coco.

a) Geosintéticos:

Geomembranas y geotextiles: Son productos enrollables, fabricados con polímeros como el poliéster, el nylon y el polietileno, generalmente colocados en combinación con textiles permeables o redes de material plástico para complementar la impermeabilización, que han sido ampliamente utilizadas como materiales de drenaje y filtro en la naturación urbana vertical u horizontal (Fifield & Malnor, 1998), permitiendo la distribución homogénea del agua de riego en un sistema naturado, por lo cual sobre esta capa se desarrollan las plantas que estén instaladas en unas bolsas repartidas sobre la superficie, de esta manera la estructura se riega desde la parte superior mediante un sistema de riego localizado que incluye fertilización periódica, técnica utilizada por Blanc en su muro con plantas epifitas (Fernández-Cañero *et al.*, 2008).

b) Fibras o mantos sintéticos:

Fibra de vidrio: Es un material que consiste en finas fibras de vidrio, con uso principalmente como aislante, se ha mezclado con productos poliméricos, formando el plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV), el cual tiene propiedades comparables con fibras de polímeros y de carbono, aunque no es tan fuerte o tan rígida como la fibra de carbono, es mucho más barata y mucho menos frágil para ser utilizados en un muro verde (Koehler, 2003).

Fibra de PET: Dentro de los plásticos el reciclado del PET (Politereftalato de etileno), convertido en pellets o fibras se puede reutilizar en la fabricación de contenedores de diferentes formas y tamaños para fungir como soportes de la paleta vegetal, siendo un termoplástico, cristalino y resistente ideal para su uso en un muro verde (Kappis, 2010).

c) Contenedores de plástico:

PET: Las botellas de plástico son un material fácil de conseguir, reutilizando los envases, se utiliza menos energía en el proceso de hacerlos, son duraderos y maleables teniendo la versatilidad de diferentes ensamblados como contenedores para las plantas (Minke, 2012).

PVC: Es la denominación del policloruro de vinilo, un plástico que surge a partir de la polimerización del cloruro de vinilo, moldeable a temperaturas altas que permite producir objetos flexibles o rígidos, teniendo resistencia a la abrasión e impacto, la erosión del clima, inerte, estable y un aislante, así como también ser utilizado para contener a las especies vegetales (COM, 2000).

d) Tejidos orgánicos:

Fibra de coco: Es un subproducto industrial moldeable, que se ha usado como un tejido o sustrato, teniendo la capacidad de retención de agua, una adecuada aireación, sirviendo como base para la adhesión de las raíces fibrosas de las plantas, además de tener mucho carbono, lo que le otorga una gran resistencia a la degradación y sobre todo es un material ligero, para su manipulación en un muro verde, sin embargo debe tener agregado resinas para evitar la pérdida de humedad en lapsos cortos de tiempo (Cruz-Crespo *et al.*, 2012).

Fibra de yute: Siendo una manta geotextil utilizado para cubiertas verdes, el tejido de sus fibras se utiliza, por su alto contenido de lignina, es degradable y el más utilizado en la unión con membranas o contenedores sintéticos aunque, por la competencia de las fibras sintéticas no es muy utilizado, sin embargo es otra opción a usar como tejido orgánico (CONABIO, 2009).

1.4.2 Sustrato y nutrimentos

Sustratos

El suelo es un sistema biológico el cual está formado por tres fases o componentes principales: fase sólida compuesta por el mineral (arena, arcilla y limos) y materia orgánica (humus), fase líquida por el agua y fase gaseosa que es el aire, que ayudan a sustentar a los organismos vivos que viven dentro de él, sin embargo la falta de áreas verdes en zonas urbanas y al uso de contenedores en la producción de cultivos de las plantas, se ha limitado el empleo del suelo colocando en su lugar sustrato (Leonardo, 2013), el cual, puede cumplir con las mismas funciones que el suelo, pero necesita de aporte de nutrimentos y riego, dependiendo si esta al exterior del edificio o en el interior y por sobre todo la especie vegetal. Así, los sustratos tienen la principal ventaja de suministrar suficientes niveles de aireación y agua a las raíces, dándole al sustrato, por su porosidad, la capacidad de almacenar más agua, además de poseer un peso menor al suelo siendo la mejor opción para ser usado en azoteas o muros verdes.

Los sustratos se pueden clasificar en orgánicos e inorgánicos (Rodríguez, 2002), de los cuales se puede mencionar las siguientes características:

Inorgánicos: Son materiales químicamente inertes, los cuales no intervienen en el proceso de nutrición, estos pueden ser de origen natural sin manufacturación como gravas, arenas, tierra volcánica, tepojal o piedra pómez, ladrillo triturado y tezontle. De origen natural con manufacturación previa, como el poliestireno en gránulos o placas, lana de roca, agrolita/perlita, arcilla expandida, vermiculita y el vidrio molido (Cruz-Crespo *et al.*, 2012).

Orgánicos: Son materiales químicamente activos, que intervienen en el proceso de absorción y fijación de nutrimentos, de los cuales, están los residuos forestales y agrícolas tras un adecuado compostaje y manejo, peat-moss, la turba, corteza de pino, fibra de coco, acículas de pino, cáscaras de arroz, sarmientos de vid, el aserrín, residuos de podas urbanas, incluso algunos procesados con materia orgánica como los geles y las espumas (Velázquez, 2005).

A pesar de existir gran variedad de sustratos, no existe uno que reúna todas las características deseables, por lo que se debe utilizar una mezcla de los diferentes tipos de sustratos que aporten nutrimentos (orgánicos) y controlen la evaporación, temperatura, aparición de malas hierbas, además de controlar el porcentaje de porosidad (inorgánicos), con el fin de cubrir las características que el otro no presente (Roca, 2007).

Con base en lo anterior, la elección de los sustratos requeridos en el muro verde para las especies elegidas en este trabajo se ha descrito (Hernández, 2013; Meléndez, 2016) que cumplen la parte de retener la humedad, permitir buena aireación, buena estabilidad física, ser inertes o neutros química y biológicamente, poseer buen drenaje, tener capilaridad, ser livianos, de bajo costo (la mezcla) y fácil disponibilidad (Richardson, 1992; Abad-Berjon *et al.*, 2004). De estos, los designados son: el peat-moss y agrolita/perlita.

- Ñ **Peat-moss:** Es la turba o materia orgánica en descomposición del musgo que pertenece al género *Sphagnum* formado en pantanos principalmente (Maryam- Mofidpoor, 2007). Por su poca porosidad, un pH ligeramente ácido de 6.0 a 6.6 que favorece el proceso y la disponibilidad de los nutrientes, pocos microorganismos dañinos para la planta, ligero, da buen soporte a la raíz, tienen una gran capacidad para retener el agua y contienen algo de N, un poco más del 40%, pero es pobre en fósforo y potasio (figura 2).
- Ñ **Agrolita/Perlita:** Es básicamente un silicato de aluminio de origen volcánico, de color blanco a grisáceo (Toledo, 2006) así mismo, algunas de las grandes ventajas como sustrato es la capacidad que presenta para mantener la humedad constante a lo largo de la zona radicular, además es biológica y químicamente neutro o inerte, estéril, muy ligero, pero con poco soporte a la raíz y con una excelente capacidad de aireación por su buena porosidad (figura 2).



Figura 2. Sustratos: Peat-moss (A) y Agrolita o Perlita (B) tomados durante el trabajo.

Las plantas para su crecimiento, desarrollo y correcto funcionamiento requieren de nutrientes, tales como sales y minerales, los cuales pueden ser incorporados al sustrato u otro medio de cultivo en el medio que estén establecidas (Parker, 2000). Dichos nutrientes se dividen en macroelementos (K, P, N, Ca, Mg, S), dado que, los nutrientes son demandados en mayor proporciones respecto con los microelementos (Fe, Mn, Zn, Cu, Cl, B, Mo) (Hernández, 2013).

Considerando que algunos sustratos carecen de nutrientes disponibles o están en cantidades mínimas, se puede complementar esta nutrición a través de los fertilizantes químicos de forma líquida o sólida, sin embargo, por los efectos secundarios de éstos, resultan dañinos para el muro verde por la acumulación de sales, además el excedente de nutrientes provocan la mortandad de las especies vegetales a largo plazo, por esto, en este trabajo se utilizaron abonos orgánicos de vermicomposta o humus de lombriz (Xelhuanzi *et al.*, 2012).

Abono orgánico: Es un producto natural que se obtiene de la descomposición de residuos de origen animal, vegetal o mixto de los que las plantas pueden obtener importantes cantidades de nutrientes, además de mejorar las características físicas, químicas, biológicas y sanitarias del sustrato, ayudando a que las especies vegetales soporten situaciones climatológicas adversas como la falta de agua, cambios bruscos de la temperatura y también les proporciona o facilita la captación de nutrientes que requieren para su crecimiento y desarrollo (Nardini *et al.*, 2012; Hernández, 2013); su uso es más económico, no son dañinos para el medio ambiente, siempre y cuando los residuos con los que se elaboran sean tratados de manera adecuada (Paredes *et al.*, 2007). Entre los abonos orgánicos se incluyen compostas vegetales, vermicomposta o humus de lombriz, Bocashi, té verdes o abonos líquidos, los estiércoles, residuos de las cosechas y orgánicos industriales, aguas negras y sedimentos orgánicos, entre otros (Fernández, 2010a).

Ñ **Vermicomposta, lombricomposta o humus de lombriz:** Es el producto resultante de la transformación digestiva y metabólica de la materia orgánica, utilizando principalmente lombrices (*Eisenia foetida*), como se muestra en la figura 3 (Mendoza, 2008). Se utiliza como mejorador orgánico de suelos, enraizador, germinador y sustrato de crecimiento para las estructuras de las plantas, de textura granulosa, color café oscuro, e inodoro con cinco veces más nitrógeno, siete veces más fósforo, cinco veces más potasio y dos veces más calcio que el material orgánico que ingirieron la *Eisenia foetida* o las lombrices rojas californianas (Sullivan & Miller,2005).



Figura 3. Vermicomposta o humus de lombriz sacada de su empaque comercial.

1.4.3 Paleta vegetal /Características de las especies vegetales

Las especies vegetales en el muro verde deben de ser para una naturación extensiva, es decir, adaptadas al medio ambiente en el que estén, de preferencia estar adaptadas al lugar o ser especies locales, tener raíces fibrosas para desarrollarse en poca profundidad, ser perennes con tallos aéreos herbáceos y tapizantes para dar aspecto vistoso todo el año, tolerantes a la contaminación urbana y a la salinidad, de bajo riesgo de incendio; con resistencia a la sequía, a las temperaturas altas, heladas, fuerte radiación o excesiva acumulación de agua (Urbano-López, 2013). Las plantas más usadas son un grupo pequeño de epifitas y suculentas (conocidas como plantas aéreas), cuya característica es su alta resistencia, bajo mantenimiento y relaciones mutualistas. De esta manera, afirma Blanc (2006) que “para ciertos tipos de plantas el suelo representa únicamente soporte mecánico y que sólo son indispensables para ellas el agua y los múltiples minerales disueltos en ella, así como la luz y la presencia de CO₂ para llevar a cabo la fotosíntesis”.

El combinar diferentes especies de plantas terrestres (herbáceas, pequeños arbustos o epifitas) crea variedad, estos sistemas de cultivos diversificados, tales como los basados en policultivos permiten un control biológico más eficiente, que el que ofrece un monocultivo, de aquí que los muros verdes deben manejar por lo menos dos especies, para asegurar su estabilidad ecológica, por ejemplo, el control de plagas (SEMARNAT, 2011; Altieri & Nicholls, 2000). Además de ayudar a los beneficios de las plantas como purificadoras del aire o la captación de metales pesados comunes en zonas de grandes urbes (Britto, 1998).

Por lo que, se eligieron las especies *Tradescantia zebrina* y *Plectranthus hadiensis* (figura 4), por sus características principales (véase anexo: tabla 14a y 14b; páginas 68 y 69):



Figura 4. Especies *Tradescantia zebrina* (A) y *Plectranthus hadiensis* (B) tomadas en la zona de estudio.

1.4.4 Sistema de riego

Los muros verdes no pueden sostenerse sin irrigación periódica (dependiendo del tipo de especies vegetales será el tiempo de riego), sea pluvial, manual o automatizada, puesto que las interrupciones en el suministro de agua son una causa común de fallas dentro de un muro verde, provocando decesos parciales o totales de las plantas debido a la gestión inconsistente de la humedad (Van Woert *et al.*, 2005). Dado que este tipo de naturación requiere de agua, se conecta al suministro de agua del inmueble o también se puede considerar la posibilidad de incorporar componentes para captar lluvia en el caso de que sea situado en el exterior del edificio para satisfacer de manera completa o parcial la demanda de las plantas involucradas, dependiendo de la región en la que se encuentren y la forma de administrar el vital líquido (UNATSABAR, 2001).

Riego pluvial: Los sistemas de agua pluvial, se basan principalmente en la cantidad de precipitación que cae y las especies nativas del lugar, ya que, en muchos lugares del mundo con alta o mediana precipitación, incluso en donde no se dispone de agua en la cantidad y calidad necesaria para el consumo humano, se recurre al agua de lluvia como fuente de abastecimiento (ONU, 2011).

Riego manual: Este tipo de riego es para muros verdes pequeños que de altura no supere el de la persona encargada de hidratar las plantas y de forma horizontal la que considere el usuario, así mismo la cantidad y frecuencia dependerá de la demanda de las especies colocadas (UNATSABAR, 2001).

Riego automatizado: Este riego funciona con una bomba que succiona el agua desde abajo y la impulsa hacia la parte superior del muro verde y posteriormente recorrer de nuevo hacia abajo por la gravedad, regando todas las plantas, con el fin de repetir el ciclo, reciclando el agua que cae en el contenedor en la parte de abajo (Velázquez, 2005).

En el prototipo de muro verde de este trabajo, el agua de lluvia es interceptada, colectada y almacenada en depósitos adecuados mediante un captador, donde pueda escurrir el agua para ser almacenada en contenedores de plástico, evitando así su evaporación, lo que permite su posterior uso en un recirculador de riego automatizado impulsado por el calor del sol o de no haber reservas del vital líquido se puede regar manualmente.

1.4.5 Mantenimiento de las especies vegetales y la infraestructura

El mantenimiento de los muros verdes en la naturación de medianos o grandes espacios tiene costos monetarios altos, debido al mantenimiento y control de las especies vegetales del sistema de riego, infraestructura, poda de las plantas, entresacado de partes marchitas, cambio de plantas por módulos o individuos, limpieza de sistemas de irrigación para evitar taponamiento, control de la distribución uniforme del agua y su valor de pH; además de las cantidades y frecuencia en la forma de administración de nutrimentos, el manejo de plagas con preventivos y si hay plaga o enfermedad saber cómo combatirlas (Burhan & Elif, 2013; Yeh, 2012). Con una revisión periódica de las instalaciones, por personal que tenga conocimiento de cada uno de los sistemas; de tal manera que el costo de mantenimiento variará dependiendo del tipo de muro verde colocado (Alonso *et al.*, 2009).

Para tener una idea de los precios de los muros verdes en el mercado mexicano se tomaron algunos de la empresa *Planta oxígeno* (plantaoxigeno.com/, 2018) de los ejemplos de estos sistemas más parecidos al diseño creado en este proyecto (tabla 1):

Tabla 1. Ejemplo de dos muros verdes integrales en el mercado mexicano.

Infraestructura	Número de plantas	Características generales	Precio
Muro integral de geotextil	160 a 180 espacios para plantas y capacidad de sustrato de 200 g (no incluidas)	Modelo móvil de 200 X 230 cm de altura, usando un sistema hidropónico	\$21,699.00 pesos.
Muro integral de tubos de PVC en vertical en forma de "Y"	25 espacios para plantas y capacidad de sustrato de 1 kg (no incluidas)	Modelo fijo de 92 X 88 cm de altura, usando un riego automático	\$1,855.00 pesos

De la misma forma que se da una visión general del muro verde que dependerá del tamaño y diseño se puede concluir en una aproximación de \$10,000 pesos por m²(Carpenter, 2014; plantaoxigeno.com/, 2018), que incluye el diseño, material de soporte, medio de cultivo, capa impermeable y sistema de riego (algunos), sin contar las especies vegetales que depende el precio de sus cuidados, fuente eléctrica o paneles solares, aporte de nutrimentos y el mantenimiento mensual que está señalado entre los \$800 y los \$3000 peso por m² como lo detalla Minke (2012), dependiendo del crecimiento de la planta, la densidad de cobertura y la complejidad del sistema de irrigación.

1.5 Desventajas de los muros verdes

La clave del éxito de un muro verde reside en su equilibrio físico, químico, biológico entre las especies vegetales con el ambiente y las interacciones entre el agua, el sustrato y los nutrientes a lo largo de su estructura integral o modular a precios accesibles para todo público (Altieri & Nicholls, 2000; Belarbi *et al.*, 2012). Entre los principales ventajas y problemas (tabla 2) para resolver en la instalación de un muro verde están:

Tabla 2. Ventajas y desventajas puntuales de los muros verdes.

Ventajas	Desventajas
Disminuye la contaminación ambiental	Retención de agua
Reducen el ruido	Retención de nutrientes
Amortigua las oscilaciones de temperatura en la ciudad	Facilidad de sustitución de plantación
Contribuyen a la regulación de lluvias torrenciales	Facilidad en la sustitución de riego
Ahorro económico de los inmuebles	La Complejidad
Permite la creación de nuevos espacios verdes	Falta de diversidad de especies vegetales
Reduce el efecto negativo de los rayos UV	Resistencia al clima
Salud de las personas	Peso

- **Retención de agua:** El tipo de mezcla de sustratos es vital para la adecuada retención de humedad, ya que una falta o exceso puede ocasionar bajo porcentaje de sobrevivencia de las plantas (Stovin & Hallaman, 2007).
- **Retención de nutrientes:** Los nutrientes aportados por la mezcla de sustratos también es esencial para el establecimiento, desarrollo y crecimiento de las especies de plantas colocadas (Parker, 2000).
- **Facilidad de sustitución de plantación:** La facilidad de sustitución de las plantas evita la pérdida del sustrato o medio de cultivo al momento de un trasplante. Este punto es importante ya que el objetivo final es mantener al mínimo el deceso de las plantas (Dunnett & Kingsbury, 2004).
- **Facilidad en la sustitución de riego:** El riego debe ser accesible y reemplazable sin afectar al muro. El reemplazo puede ser ocasionado por acumulación de sales, taponamiento, excedente de riego, desperdicio de agua, además de que en la mayoría de los sistemas las conducciones de irrigación quedan ocultas en la parte trasera del muro o por el efecto en cascada a alturas muy grandes de los paneles que los hace difícilmente accesibles (Metselaar, 2012).

- **Complejidad:** Se refiere a la dificultad con la que se maneja el control de riego, nutrición y mantenimiento general del sistema, lo que se busca son muros verdes de fácil manejo, para la comprensión y funcionalidad por personal civil de conocimientos básicos (Sharp, 2007).
- **Falta de diversidad de especies vegetales:** Con el objetivo de crear una variedad de plantas, hay pocas investigaciones ligadas a la búsqueda de vegetación adaptable a condiciones de un muro verde, ya que las investigaciones se centran en pocas especies de epifitas, crasas o tropicales como los helechos, por lo tanto, se requiere mejor investigación en más géneros del reino Plantae, con base en esto la mayoría de los sistemas solo permiten determinadas plantas que deben adaptarse a situaciones específicas (climáticas, medio de cultivo, humedad y sequía, pH, entre otros), cuando el sistema es el que se debe adaptar a las condiciones de la especie vegetal (Gross, 2012).
- **Resistencia al clima:** Tanto de las especies vegetales como del sistema a las contingencias ambientales como en climas fríos se presenta la congelación de las raíces, en clima cálido, la falta de humedad y riego, la alta contaminación en una ciudad, el granizo, vientos fuertes, entre otras afecciones que se den por la región donde se coloque por lo cual es recomendable el uso de especies adaptadas al lugar o locales pero sin investigación se colocan las que creen ser adaptables a un ambiente similar teniendo mortandad en el proceso de adaptación (Vijayaraghavan et al., 2012).
- **Peso:** Esta desventaja puede ser una variable muy importante a considerar sobre todo por el riesgo que supone al colocar un muro verde sin una previa inspección de la capacidad de carga de la fachada o la pared, pues hay registro de que por m² se reporta un máximo de 30 kg, así lo que se busca es reducir el peso de todo el jardín vertical al mínimo para un menor coste del material de soporte o refuerzo del muro y con la finalidad de buscar un sistema ligero para todo tipo de muro construido (Yeh, 2012).

Con esto, hasta el momento la investigación de los muros verdes está en niveles básicos aún por resolver aún está en desarrollo este tipo de ecotecnología, en el diseño, construcción, componentes, costos (de acceso a todo público), que cubran todas las necesidades de las plantas con un bajo impacto en respuesta de una tecnología amigable con el medio ambiente, no hay un sistema de naturación vertical ideal.

El proceso de urbanización en la Ciudad de México ha contribuido a la pérdida de áreas verdes, exponiendo a los habitantes a diferentes tipos de contaminación que dañan la salud del ser humano, la flora y la fauna, por lo cual se ha optado por conservar y crear nuevos espacios naturados en los inmuebles como los muros verdes.

Dado lo anterior es necesario diseñar e implementar muros verdes que sean impermeables para no dañar la estructura del inmueble, materiales durables, autosuficientes en el sistema de riego, de bajos insumos, una mezcla de sustratos con nutrimentos orgánicos que cubran las necesidades de las plantas utilizadas como una alternativa para crear nuevos espacios naturados con el propósito de incrementar las áreas verdes en las zonas urbanas.

En el presente trabajo se hace una propuesta de muro verde integral para la naturación urbana que sea de bajo insumo y que al utilizar agua pluvial permita, en función de la temperatura ambiental, captar, distribuir y recircularla para que cubra las necesidades de las plantas *Plectranthus hadiensis* y *Tradescantia zebrina* seleccionadas, como uno de los componentes de una ecotecnología propuesta.

HIPÓTESIS

De entre sus desventajas el diseñar y construir una propuesta de muro verde con una estructura resistente, impermeable y de fácil adquisición, se podrá captar, distribuir y recircular agua pluvial que permita mantener con la mezcla de sustratos y nutrimento a las plantas desarrollándose y creciendo lo cual permitirá solucionar algunas desventajas de los muros verdes y detectar componentes básicos susceptibles de ser mejorados como un prototipo viable de naturación urbana.

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar, construir e implementar una propuesta de muro verde, con el fin de realizar observaciones relacionadas con la elección de componentes básicos para su funcionalidad respecto a la supervivencia de dos especies vegetales y como sugerencia para la realización de un prototipo de muro verde.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Detectar los componentes puedan ser mejorados para captar agua pluvial y se puedan establecer las especies vegetales *Plectranthus hadiensis* y *Tradescantia zebrina*.
- Observar y comparar el efecto de tres combinaciones diferentes de sustratos (agrolita, peat-moss y vermicomposta), para detectar el que mejor retenga humedad y las variables de crecimiento de las especies vegetales *Plectranthus hadiensis* y *Tradescantia zebrina* para ser utilizados en la propuesta de muro verde.
- Identificar, en función de la temperatura, el comportamiento de la dinámica del agua de lluvia captada dentro de los compartimientos de la propuesta de muro verde.
- Medir el porcentaje de supervivencia y variables de crecimiento (altura del tallo, diámetro de las hojas, número de hojas y ramas) de *Plectranthus hadiensis* y *Tradescantia zebrina* utilizadas en la propuesta de muro verde.
- Proponer un prototipo de muro.

1) Zona de estudio

La zona de estudio donde se realizó el prototipo de muro verde fue en la Facultad de Estudios Superiores (FES) Zaragoza, Campus II, en la azotea del Gimnasio (figura 5), zona donde la temperatura media en días soleados es de 37.9°C y en días nublados de 22.8°C (Castillo, 2014), además de una precipitación total anual variable de 600 mm (INEGI, 2017).



Figura 5. Zona de estudio en la FES Zaragoza Campus II en la azotea del Gimnasio, marcado dentro del círculo amarillo.

Los experimentos de retención de agua en la mezcla de los sustratos y las variables de crecimiento en las plantas se realizaron en una zona aledaña a Chapingo, como una sede alternativa a la FES Zaragoza. Esto, debido a las necesidades de espacio y tiempo para tener un mayor control de observación de las variables registradas y así, tener en tiempo y forma la identificación de la captación, distribución y recirculación del agua pluvial; además, de la medida del porcentaje de supervivencia de las plantas en la propuesta de muro verde. Cabe mencionar que el diseño experimental en Chapingo tomo en cuenta las condiciones climáticas similares de la azotea de la FES Zaragoza temperatura con un termómetro ambiental y de precipitación al tapar con un plástico o regar el sistema.

2.1) Diseño de la propuesta de muro verde

El material para la base o el armazón de la propuesta, debe tener las siguientes características: a) Resistencia al deterioro provocado por el ambiente, b) Captación y flujo eficiente del agua a través de las diferentes partes del sistema, c) Adecuada impermeabilización en cada una de sus divisiones, d) Estructura firme, lograda con materiales de fácil adquisición y que soporten el peso del agua, los sustratos y las plantas, e) Un costo económico accesible para el público en general. Con lo anterior se planificó lo siguiente (figura 6):

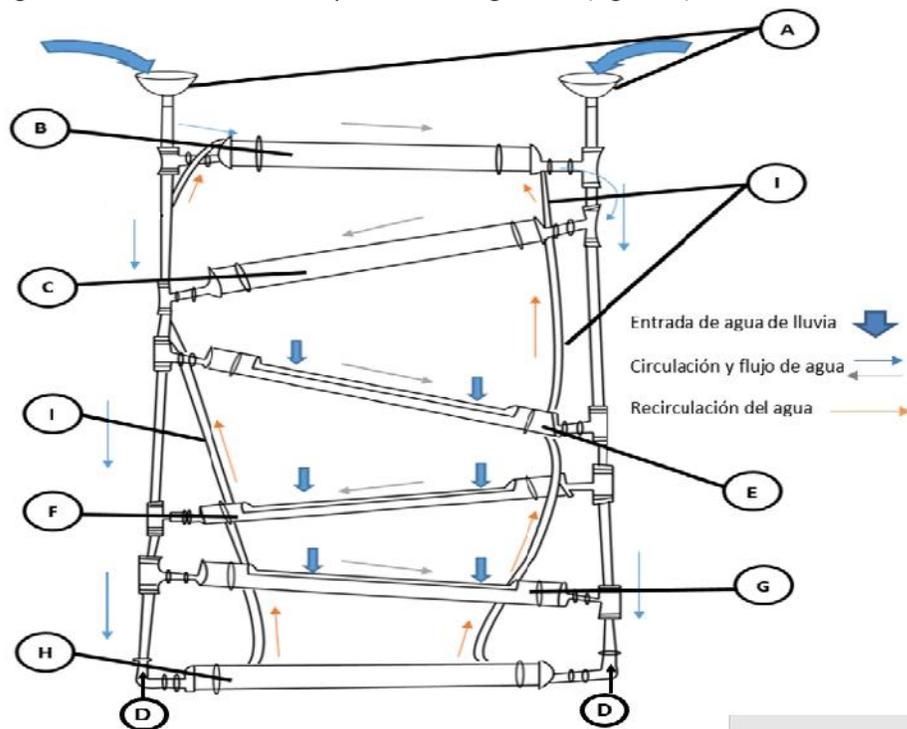


Figura 6. Propuesta del muro verde en el cual se presentan sus componentes generales. A) Captadores de agua pluvial, B) Primer almacenador de agua, C) Segundo almacenador de agua con la función de refrigerante, D) Tubos verticales rellenos con un filtro (secuencia de tubos verticales laterales que conectan desde los Captadores, hasta el Recirculador en ambos lados), E) Primer contenedor con sustratos, biofertilizante y plantas, F) Segundo contenedor con sustratos, biofertilizante y plantas, G) Tercer contenedor con sustratos, biofertilizante y plantas, H) Recirculador con la función de un calentador de agua, I) Manguera del recirculador.

En cuanto a su funcionamiento, el líquido pluvial se incorpora desde los captadores en forma de embudo (A) y a partir de éstos, sigue dos rutas: La **primera** de ellas es la que toma desde el primer almacenador (B) y continúa por el segundo almacenador (C). De ahí sigue por los tres contenedores con las especies vegetales (E, F y G) hasta llegar a la base del muro, constituida por el recirculador de agua (H). La **segunda** ruta, es la que baja por lo tubos verticales (D) rellenos de un filtro compuesto de arena, grava y tezontle, usado para reducir la velocidad del agua (figura 6).

De esta forma, el destino del agua es hasta el compartimiento (H), que tiene la función del calentamiento y recirculación por medio de la energía del sol, al permitir la evaporación y subirla (en forma de vapor), a través de las mangueras de plástico (I), introducidas en la parte superior de la base (H) y que conectan con el primer tubo (B). La deducción es el regreso del agua al inicio, esto es, a la parte superior del sistema y de ahí, reciclarse de nuevo como en la figura 6.

A partir del almacenador de agua (B), cuya función en el proceso de circulación es un condensador del vapor ascendente, se reinicia el movimiento descendente del agua, pasando después al segundo almacenador (C), con la función de un refrigerante, (que por la inclinación mostrada en la figura 10 es la distancia entre cada tubo para ayudar el efecto de la gravedad), el agua fluye dentro del circuito para la hidratación de las plantas que se encuentran en los contenedores (E, F y G), como sus medidas totales de la propuesta (figura 7).

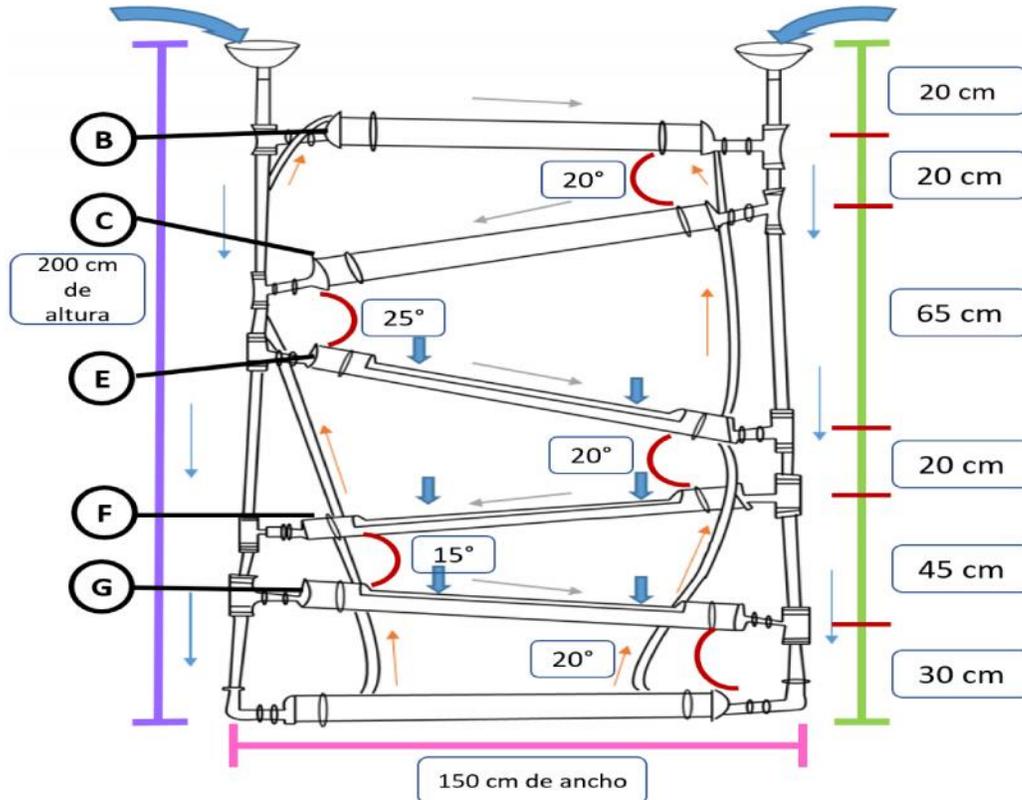


Figura 7. Propuesta de muro verde con las medidas y grados de cada nivel para su inclinación (del lado derecho), así como, la medida total del sistema en cuanto a altura y ancho (del lado izquierdo y parte inferior respectivamente).

De manera adicional, en los últimos compartimientos se reduce la velocidad del movimiento del agua debido a los sustratos y plantas de estos tres contenedores, así, se hizo una propuesta funcional de poco riego y bajo costo comercial.

2.1.1) Experimento I: Propuesta de muro verde

La instalación del muro verde propuesto quedó distribuida como se muestra en las figuras 8 y 9 en los contenedores (E, F y G), junto con la mezcla de sustratos y las plantas *Plectranthus hadiensis* (Ph) y *Tradescantia zebrina* (Tz).

Con la propuesta de muro verde, de la siguiente forma como se muestra en las figuras 8 y 9:

- 1) Contenedor "E" ocho plantas de (Ph, Tz, Ph, Tz, Tz, Ph, Tz y Ph).
- 2) Contenedor "F" ocho plantas de (Ph).
- 3) Contenedor "G" con cuatro (Ph) y cuatro de (Tz).

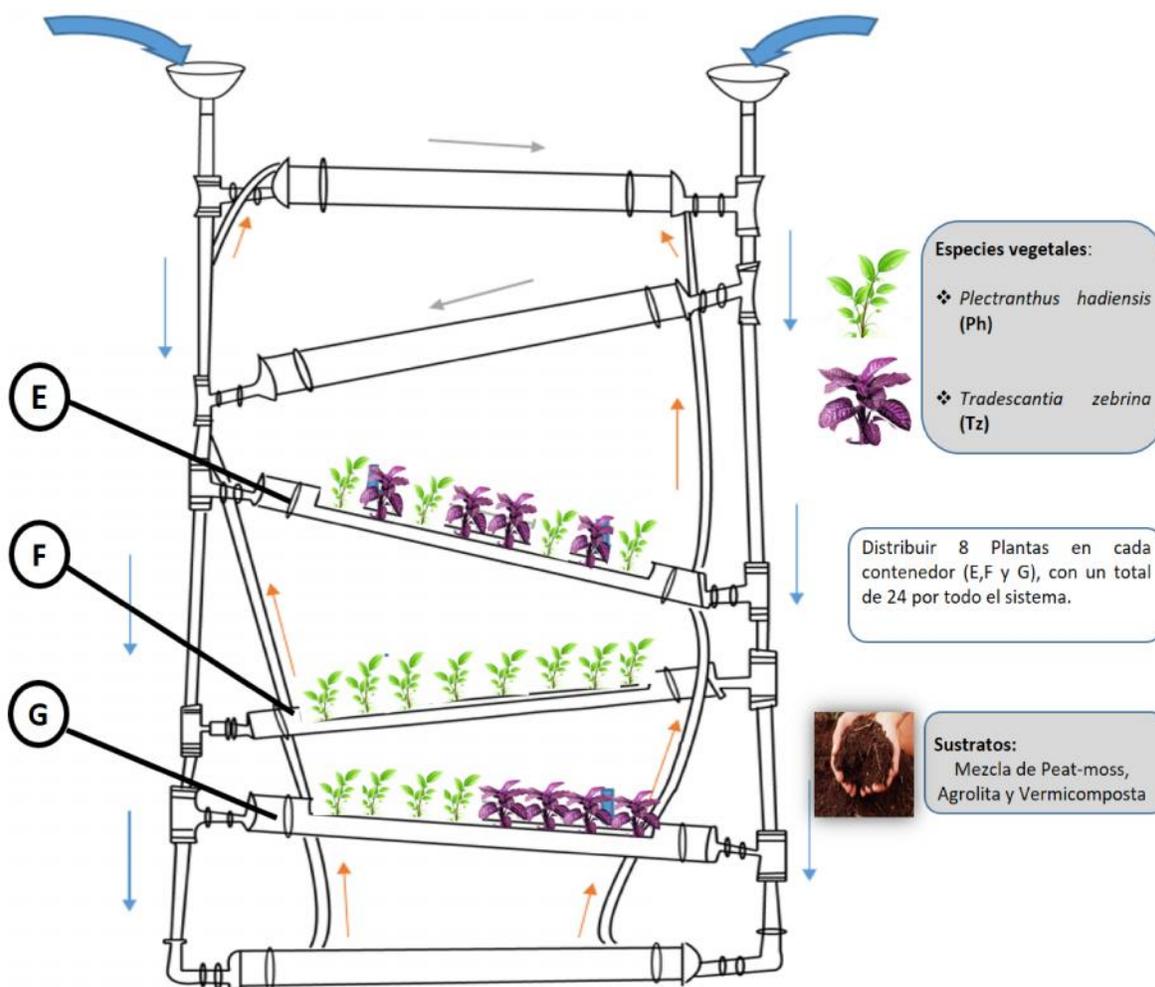


Figura 8. Propuesta de muro verde con sus componentes peat-moss, agrolita y vermicomposta, así como de las plantas *Plectranthus hadiensis* (Ph) y *Tradescantia zebrina* (Tz), junto al orden en cómo van a ser acomodadas en los contenedores.

Para evaluar el crecimiento y sobrevivencia de las plantas en los contenedores (E, F y G), se registraron datos del mes de enero al de abril (92 días equivalentes a 12 semanas), tiempo en el que se midieron las variables de crecimiento (Birchler & Rose, 1998 citado por Martínez, 2016) presentadas en la tabla 3.

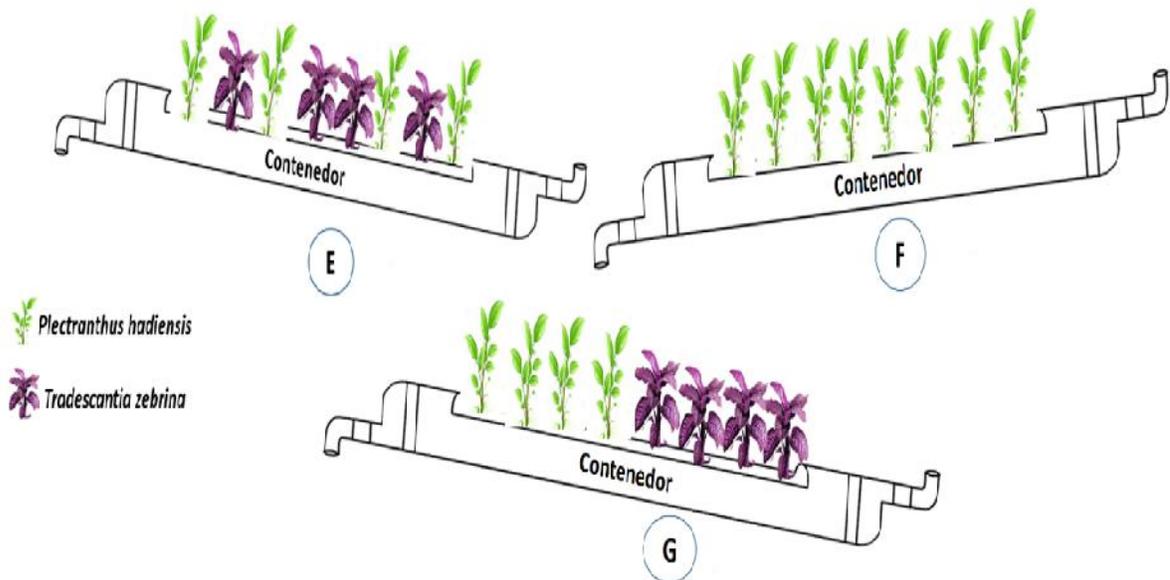


Figura 9. Acomodo de las especies vegetales *Plectranthus hadiensis* (Ph) y *Tradescantia zebrina* (Tz) en los contenedores E, F y G de la propuesta de muro verde.

Tabla 3. Diseño experimental de la propuesta de muro verde.

Propuesta de muro verde/ contenedores	Variables de crecimiento	Semanas
1) Contenedor "E" cuatro (<i>Plectranthus hadiensis</i>) y cuatro de (<i>Tradescantia zebrina</i>)	Altura del tallo	1
2) Contenedor "F" ocho plantas de (<i>Plectranthus hadiensis</i>)	Número de hojas	2
3) Contenedor "G" cuatro (<i>Plectranthus hadiensis</i>) y cuatro de (<i>Tradescantia zebrina</i>)	Diámetro de hoja	3
	Número de ramas	4
	Supervivencia (%)	5
		6
		7
		8
		9
		10
		11
		12

Con lo descrito anteriormente, se puso en operación la propuesta de muro verde en una fase de ensayo-error para observar su funcionamiento y proponer mejoras de este, con el objetivo de encontrar la estructura y funcionamiento más adecuado para zonas urbanas en particular de la Ciudad de México, de los datos que se buscaron dentro de la propuesta para la identificación de la dinámica del agua pluvial dentro del sistema fueron los siguientes datos:

- Para conocer la cantidad de agua que capta pluvialmente el sistema propuesto, primero se saturó el sistema para conocer su capacidad de captación máxima. Se mantuvo el sistema libre de agua de lluvia por tres semanas y se aplicó agua al sistema (una vez al inicio) de manera controlada, aplicándola directamente en los embudos del sistema para saber la saturación del sistema y drenaje por exceso de agua utilizando un vaso de precipitados de plástico de 4000 mL para su medida.

También se tomó la medida del captador y el cálculo de cuánta agua capta en una precipitación máxima, para hacer una aproximación de saber la velocidad y entrada de agua (INIA, 2016). Utilizando las medidas del diámetro de la entrada y salida del captador de agua, así como el tiempo y el volumen de agua tomados con un pluviómetro casero (GLOBE, 2005).

- La medición de la temperatura de máximas y mínimas se realizó con un termómetro de vidrio con capacidad de -20°C a 150°C de alcohol de manera intermitente colocados en el primer y último contenedor, tomando datos tres veces al día, a las 10:00, a las 13:00 y a las 19:00. De manera permanente, otros tres termómetros adheribles de pecera se colocaron en el primer, segundo almacenador (y refrigerante de agua) y en el recirculador (figura 10).



Figura 10. Termómetros de -20°C a 150°C (A y B) utilizados en el recirculador y primer almacenador respectivamente, los termómetros adheribles, (C) colocados en el primer y segundo almacenador, (D) colocado en el tercer contenedor de las plantas y sustratos y por último (E) colocado en el recirculador.

2.2) Diseño del experimento de contenedores

Al mismo tiempo que se experimenta con los materiales de soporte para la propuesta de muro verde se diseñó un experimento para conocer la influencia del sustrato en la retención del agua y en el establecimiento y desarrollo de las plantas se diseñaron tres tratamientos (T1, T2 y T3) con diferentes proporciones de agrolita, peat-moss y vermicomposta (figura 11):

T1) 40% agrolita, 40% peat-moss y 20% vermicomposta,

T2) 70% agrolita, 20% peat-moss y 10% vermicomposta,

T3) 20% agrolita, 70% peat-moss y 10% vermicomposta

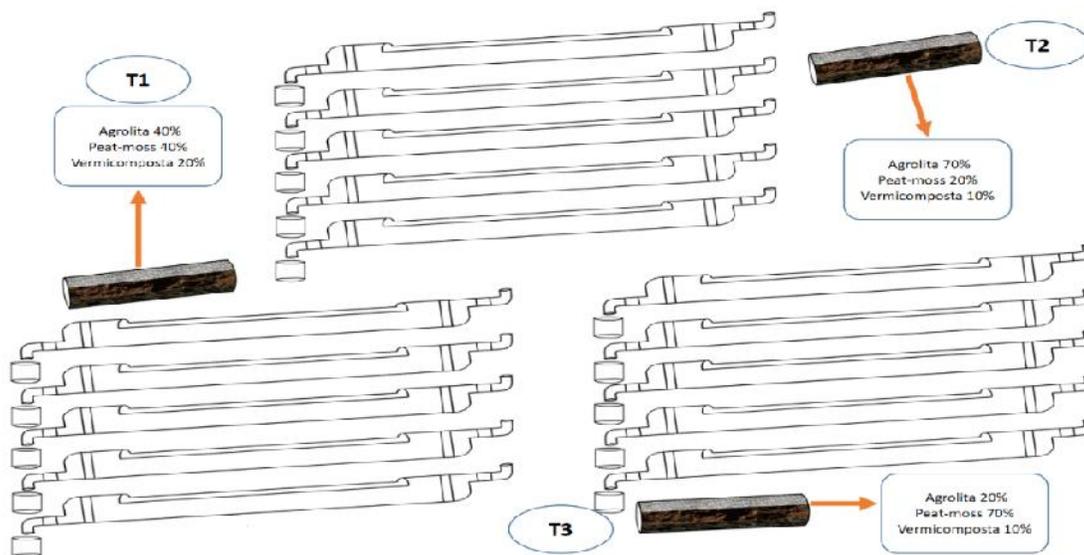


Figura 11. Diseño del experimento II de sustratos con los 15 contenedores divididos en tres diferentes proporciones de los sustratos.

2.2.1) Experimento II: sustratos

Una vez que se pesó y se implementó la combinación de sustratos (figura 11), se dejó 5 mm de distancia entre el sustrato y el tubo para evitar la salida del agua y se colocó agua dentro del experimento por una entrada lateral con una inclinación de 15° grados de los tubos con respecto a la propuesta de muro verde, para dar el efecto de movimiento por gravedad del agua pluvial. Se comenzó con una serie de observaciones y mediciones, con la finalidad de obtener los siguientes datos:

Se colocaron en cada contenedor 200 mL de agua, en un lapso de 10 min hasta completar el primer litro (A) del mismo líquido, después de dejar reposar 20 min (entre A y B), se colocó en los mismos tubos el segundo litro, pero esta vez, cada 5 min/200 mL (B y C) así, se dejó reposar 20 min (entre B y C) y se administró el tercer litro con 200 mL/5 min, a partir de esto se identificó el sustrato adecuado que dificultó el movimiento del agua, pero con buena porosidad para el anclaje de la raíz y su aireación como se muestra en los siguientes puntos de manera sintetizada:

- A)** Cada 10 min se colocaron 200 mL de agua hasta completar 1 L.
Entre **A y B)** Se dejó en reposo 20 min.
- B)** Cada 5 min se colocaron 200 mL de agua hasta completar el 2 L.
Entre **B y C)** Se dejó en reposo 20 min.
- C)** Cada 5 min se colocaron 200 mL de agua hasta completar el 3 L.
C´) Después de colocar los últimos 1000 mL, se dejó en reposo hasta que ya no presentara escurrimiento durante 10 min para tomar la medida en mililitros y el tiempo final.

La capacidad de retención de agua del sustrato en los contenedores se midió a partir de la diferencia de entrada y salida de agua adicionada a lo largo de los contenedores; para ello se utilizó una probeta graduada de 1000 mL y se colectó el agua que no retuvo el sustrato, utilizando un vaso de precipitados graduado de 1000 mL.

2.2.2) Experimento III: Especies vegetales

Para evaluar el crecimiento de las plantas y ya conociendo la capacidad de retención cada uno de los tratamientos, se procedió a colocar las plantas: ocho individuos de *Plectranthus hadiensis* (Ph) en esquejes sin enraizar de tres cm y 10 hojas y *Tradescantia zebrina* (Tz) en esquejes sin raíz de una altura de tres cm y cinco hojas acomodadas de tal manera: (Ph, Tz, Ph, Tz, Tz, Ph, Tz y Ph) como se muestra en la figura 12 y 13.

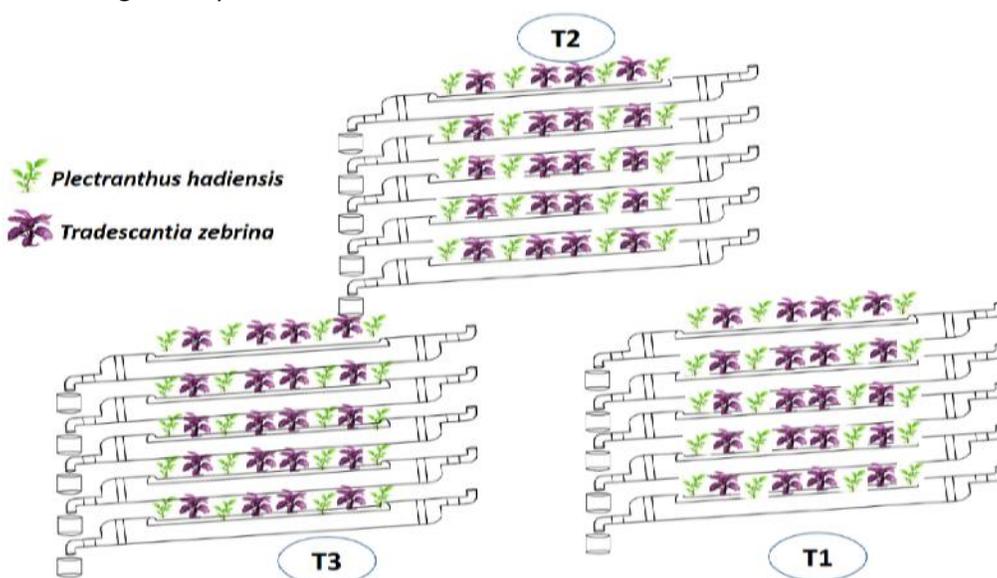


Figura 12. El experimento con sus respectivas combinaciones de sustratos tratamiento (T)1 (40% agrolita, 40% peat-moss y 20% vermicomposta), T2 (70% agrolita, 20% peat-moss y 10% vermicomposta), T3 (20% agrolita, 70% peat-moss y 10% vermicomposta) y el acomodo de las ocho plantas que se colocaron por cada contenedor.

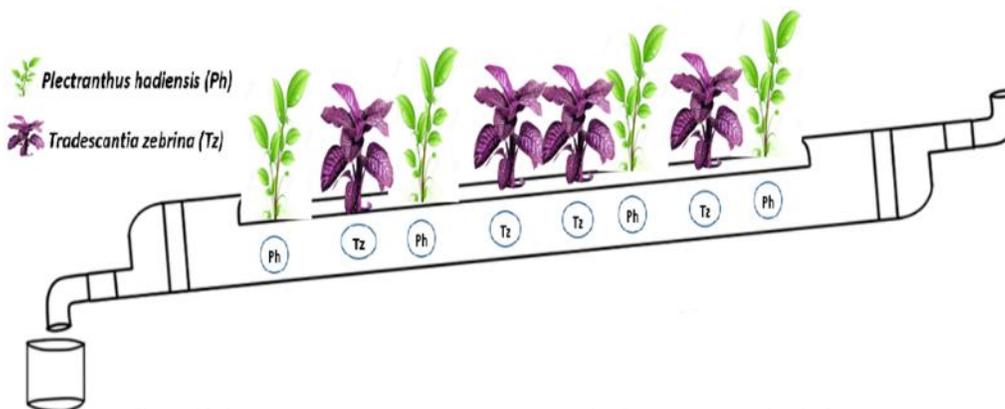


Figura 13. Acomodo de cada contenedor de las especies *Plectranthus hadiensis* (Ph) y *Tradescantia zebrina* (Tz) acomodadas de tal manera: (Ph, Tz, Ph, Tz, Tz, Ph, Tz y Ph).

Las variables de crecimiento que se tomaron de *Plectranthus hadiensis* y *Tradescantia zebrina* del contenedor, fueron la altura del tallo, diámetro de las hojas con la ayuda de un flexómetro, número de ramas y hojas, peso fresco (al ser extraída) y seco (después de poner a secar 48 horas a 38-40°C en la estufa de secado) de la parte aérea como de la raíz con una balanza digital (Birchler & Rose, 1998 citado por Martínez, 2016) y, la longitud de raíz y la supervivencia de las especies (tabla 4), al emplear el acomodo del diseño del prototipo de muro verde, con las diferentes combinaciones de los sustratos agrolita, peat-moss y vermicomposta (figura 7). Con un riego pluvial principalmente o manual de cada 15 días durante un mes. Para los datos del crecimiento de las plantas se tomó como inicio el día del trasplante hasta su cosecha, tomando los valores de la siguiente manera:

Diámetro de la hoja (cm²). Es el resultado de medir en forma de cruz el follaje de la planta, es decir, del ápice de la hoja a la base, con la ayuda de un flexómetro y con la siguiente fórmula:

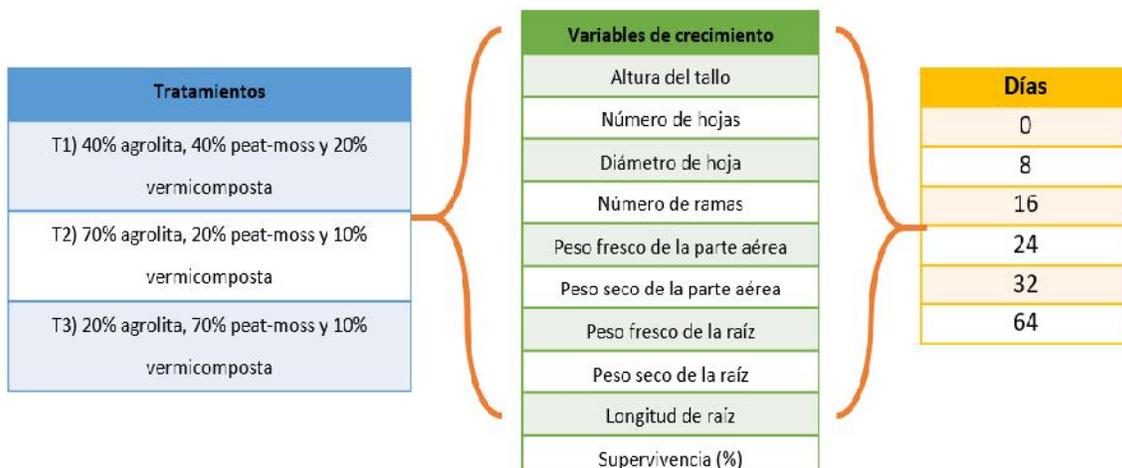
$$\text{Diámetro} = \frac{D1 + D2}{2}$$

Porcentaje de Supervivencia: Con el número de especies vivas con relación al total de las plantas trasplantadas aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Supervivencia (\%)} = \frac{\text{No. de individuos finales}}{\text{No. de individuos iniciales}} (100)$$

El diseño de la combinación de sustratos en el experimento fue el siguiente:

Tabla 4. Diseño experimental de la mezcla de sustratos.



3) Fase de laboratorio

Se esterilizaron los sustratos de peat-moss y vermicomposta en autoclave a 120 °C por 20 minutos a 1.5 atmósferas y la agrolita con cloro al 10% por 15 minutos para evitar la presencia de patógenos que afecten a las plantas y el resultado del experimento (Ansorena, 1994). Se midió la longitud, el peso fresco y seco de la raíz y de la parte aérea de la planta del experimento III, con la finalidad de evaluar el crecimiento y sobrevivencia de los individuos del experimento y la propuesta de muro verde.

Análisis estadístico

Cada una de las variables de crecimiento de las plantas se les realizó un análisis estadístico, con el software STATGRAPHICS Centurión. Como primer paso se analizaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad y posteriormente se evaluaron por medio de ANOVA con un nivel de confianza del 95%, con el fin de saber si hay diferencias significativas en el crecimiento de las especies vegetales por tratamiento e identificar el mejor sustrato a utilizar en la propuesta de muro verde.

I. Componentes más adecuados para el muro verde

Respecto del ensayo que mejores resultados tuvo para el muro verde fue el tuboplus línea sanitaria, con respecto a los de las botellas de PET y tubos de PVC, dado que fue el que cumplió con las cinco características descritas a continuación:

- a. bajo costo y fácil adquisición,
- b. baja degradación con el agua de lluvia y el sol directo,
- c. poco mantenimiento para operar,
- d. conducción de la energía solar para la recirculación del agua,
- e. una estructura interna fuerte para portar plantas perennes de rápido crecimiento y bajo mantenimiento.

De las botellas de PET estas solo cumplen con dos (a y b) de los cinco puntos, debido a que la forma de ensamblar el sistema requería de pegamento especial y cortes precisos para su implementación y mantenimiento general constante para soportar el peso y la impermeabilización en sus uniones. Por su parte, los tubos de PVC cumplieron con tres (a, c y e) de los cinco puntos, siendo susceptible a la exposición total del sol y lluvia, y no concentra el calor suficiente para hacer recircular el agua. Por lo tanto, el tuboplus línea sanitaria resultó ser un buen material para los fines de este prototipo, ya que las botellas de PET (Minke, 2012) y los tubos de PVC (COM, 2000) demostraron no ser adecuados para la mayoría de los beneficios que requiere un muro verde de este tipo.

Las características del Tuboplus línea sanitaria fueron ideales para dar soporte al sustrato y las plantas, además de su fácil instalación. De acuerdo con el manual técnico de Rotoplas (2011), es un sistema que reúne propiedades con alta resistencia a temperaturas extremas, agentes químicos, rayos UV y abrasión. También cuenta con beneficios como: un anillo de material elastomérico para la facilidad de instalación sin usar pegamentos, soldadura o electricidad por la unión de sus piezas mediante anillos de doble labio para un total hermetismo, un tubo tricapa compuesto de PVC, espuma y polipropileno para la alta resistencia a impactos y alta durabilidad, una capa UV para mayor resistencia al sol, compatibilidad para una fácil unión con otros sistemas (figura 15 y 16; página 39).

Otro de los componentes sustanciales de la propuesta de muro verde que mejor contención brindó al sustrato (Vintimilla, 2013) y que a su vez facilitó el paso del agua fue el filtro hecho con tela de “ala de mosca” (figura 14) dada sus características semipermeables y alta durabilidad (Serrato, 2014).

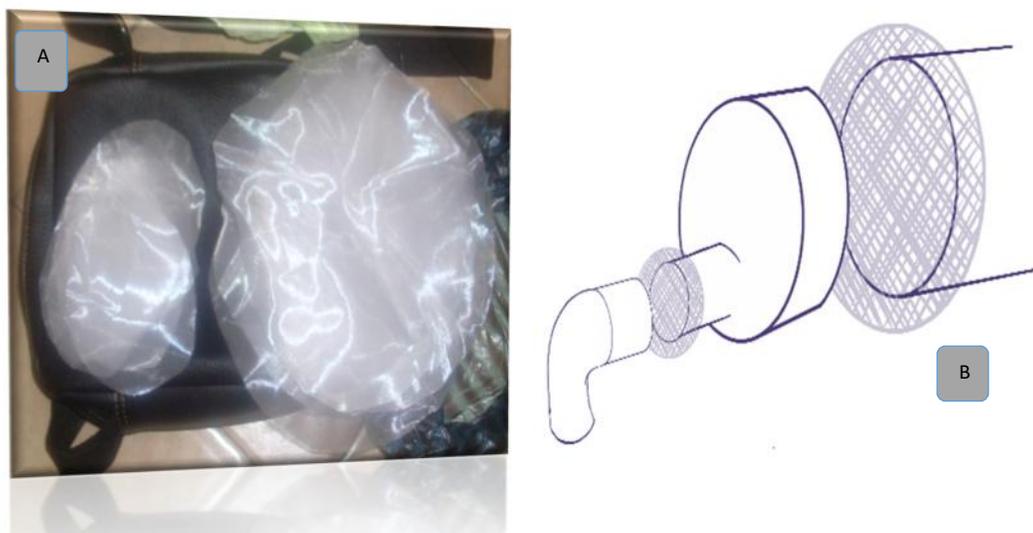


Figura 14. Del lado izquierdo se muestra la tela de “ala de mosca” cortada de forma circular (A) y del lado derecho es un boceto de los lugares donde se colocó a lo largo de toda la propuesta de muro verde y el experimento (B).

Sistema Tricapa

Garantiza la resistencia de la tubería

1. Capa exterior

- Color negro
- Protección UV

2. Capa interior

- Color blanco
- Acabado liso
- Mayor flujo
- Cero adherencias

3. Regla impresa

- División cada 5 mm
- Fácil medición
- Guía de alineación

4. Capa intermedia

- Alta resistencia al impacto
- Color gris
- Bajo peso



Conexiones de vanguardia

Garantiza la calidad de la instalación.

1. Fácil identificación

- Medidas visibles
- Diámetros claros

2. Distintivo de calidad

- Marca registrada
- Garantía de Rotoplas

3. Soluciones inteligentes

- Innovadoras
- Diseños exclusivos

4. Instalaciones de Vanguardia

- Fabricada con PP
- Tecnología de última generación

5. Facilidad de alineación

- Marcas de alineación
- División cada 30°



Figura 15. Características principales del Tuboplus, tomada del manual técnico de Tuboplus Línea Sanitaria.

Unión de la tubería

Cortar
Después de cortar con un serrucho o sierra de arco para segmentar los tramos a utilizar.

Bisela
Se debe biselar para retirar toda la rebaba que haya quedado en su interior o exterior y achaflanar el tubo.

Lubrica
Para facilitar el acoplamiento y además para no lastimar el anillo de material elastomérico.

Une
Con sólo introducir el tubo hasta el fondo de la campana y regresar 1 cm para absorber posibles movimientos de instalación.

¡Así de fácil y seguro!

Tuboplus Rotoplas

Corta

Bisela

Lubrica

Une

Figura 16. Representación de como Tuboplus nos menciona la forma de la unión de los tubos.

De esta manera se presenta el material utilizado en las figuras 14, 17 y 18 su costo en el mercado mexicano en la tabla 5:

Tabla 5. Lista de materiales y herramientas usados, así como su precio en el mercado, tomado hasta octubre del 2017.

Material y herramientas	Precio	Cantidad	Total
Tela de "ala de mosca" (Fig. 14)	\$15/m	3 m	\$45
Biselador económico (Fig. 17 (A))	\$36	1 pza.	\$36
Manguera de Plástico ¼ grosor "ideal para sistema hidráulico", Presión de trabajo 120 (PSI). Presión de reversión 480 (PSI). (Fig. 17 (B))	\$ 16 /m	3 m	\$ 48
Tezontle (roca grande) (Fig. 17 (C))	\$107 / 20 kg	800 g	\$ 4.50
Tezontle (piedra chica) (Fig. 17 (D))	\$9 / kg	800 g	\$ 7.50
Arena gruesa o gravilla (Fig. 17 (E))	\$ 16/ 10 kg	800 g	\$ 1.50
Arena fina (Fig. 17 (F))	\$17.50/ 10 kg	800 g	\$ 1.50
Lubricante en aerosol (Fig. 18 (G))	\$21.50	pza.	\$ 21.50
Tee H-H-H 50 mm (Fig. 18 (H))	\$14	10 pza.	\$ 140
Reducción excéntrica 110 X 50 mm (Fig. 18 (I))	\$17	12 pza.	\$ 204
Cople 110 mm (Fig. 18 (J))	\$18	12 pza.	\$ 216
Codo H-H 87° X 50 mm (Fig. 18 (K))	\$9	2 pza.	\$ 18
Tubo 50 mm (Fig. 18 (L))	\$40	2 pza.	\$ 80
Tubo 110 mm (Fig. 18 (L))	\$120	3 pza.	\$360
Cuello de botellas de PET de 10 litros (Fig. 18 (M))	\$ 0	2 pza.	\$ 0
Pegamento Resistol 5000, transparente y repelente de humedad (Fig. 18(N))	\$75.50/ 250 ml	1 bote	\$ 75.50
Total, de precio		\$ 1,259	

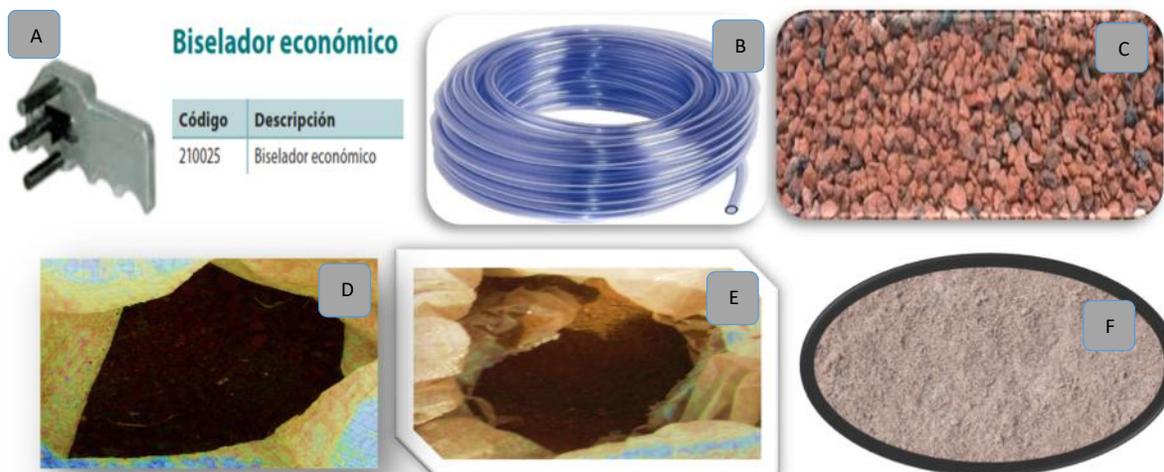


Figura 17. Materiales usados en la construcción de la propuesta de muro verde, observando las imágenes de izquierda a derecha está el biselador (A), la manguera de plástico (B), tezontle en piedra grande (C), tezontle piedra chica (D), arena gruesa (E) y la arena fina (F).

Lubricantes

Descripción
Lubricante en tarro
Lubricante en aerosol

G



Reducción

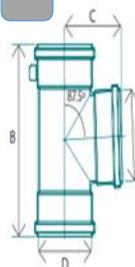
Diám	Descripción	B (mm)	C (mm)	Peso(g)
40	Reducción excéntrica 50 x 40 mm	80	50	24
50	Reducción excéntrica 75 x 50 mm	99	75	40
50	Reducción excéntrica 110 x 50 mm	109	110	83
75	Reducción excéntrica 110 x 75 mm	110	110	85
110	Reducción excéntrica 160 x 110 mm	130	160	213



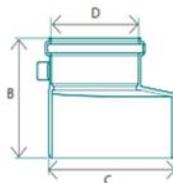
Tee H-H-H



I



Diám	Descripción	B (mm)	C(mm)	Peso(g)
40	Tee H-H-H 40 mm	128	64	40
50	Tee H-H-H 50 mm	144	72	54
75	Tee H-H-H 75 mm	182	91	101
110	Tee H-H-H 110 mm	236	118	259
160	Tee H-H-H 160 mm	317	159	720

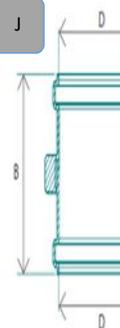


H

Cople



J



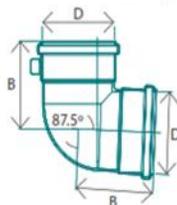
Diám	Descripción	B (mm)	Peso (g)
40	Cople 40 mm	80	21
50	Cople 50 mm	84	26
75	Cople 75 mm	94	44
110	Cople 110 mm	107	100
160	Cople 160 mm	129	262

Codo 87° H-H



K

Diám	Descripción	B (mm)	Peso (g)
40	Codo H-H 87 x 40 mm	63	27
50	Codo H-H 87 x 50 mm	71	38
75	Codo H-H 87 x 75 mm	91	75
110	Codo H-H 87 x 110 mm	118	196
160	Codo H-H 87 x 160 mm	158	547



Tubo

Diám	Descripción	Peso (kg) ¹
40	TUBO 40 mm	1.1
50	TUBO 50 mm	1.4
75	TUBO 75 mm	2.2
110	TUBO 110 mm	4.3
160	TUBO 160 mm	9.0

L



M



N

Figura 18. Los materiales usados en la construcción del prototipo de muro verde, observando las imágenes de izquierda a derecha está el lubricante con sus dos variedades (G), la Reducción (H), Tee H-H-H (I), Cople (J), codo 87° H-H (K), los tubos usados (L), el cuello de botella de PET (M) y el Resistol 5000 transparente (N).

En el mismo sentido se muestran los precios en el mercado de los sustratos utilizados que se muestran en la figura 19, y la tabla 6, además del precio de las mezclas utilizadas en el experimento y propuesta de muro verde:



Figura 19. Es el humus de lombriz del rancho de los molinos (A), agrolita de minerales expandidos en la parte de medio (B) y el peat-moss de OMRL (C).

Tabla 6. Precios de cada sustrato en el mercado y de la mezcla de sustrato propuesta en este trabajo, visto hasta agosto del 2018.

Experimento	Mezclas de Sustratos (%)	Precio (\$) por 1500 g	
1	40%-A, 40%-P y 20%-V	23.4	
2	70%-A, 20%-P y 10%-V	21.45	
3	20%-A, 70%-P y 10%-V	25.2	
Sustratos	Cantidad encontrada en el mercado en Kg	Precio (\$)	Precio (\$) por 1 kg
Vermicomposta (V)	5	76	16
Agrolita (A)	10	130	13
Peat-moss (P)	25	456	18

Con base en el diseño del método de este proyecto se muestra el diagrama de cómo se construyó la propuesta de muro verde en la figura 20, en este se indica los sitios en los cuales se colocó la tela “ala de mosca”. Los contenedores fueron de tuboplus de 120 cm y 11 cm de diámetro, el corte que funcionó tuvo las dimensiones de: 9 cm de ancho, 7 cm de alto y 100 cm de largo (figura 21).

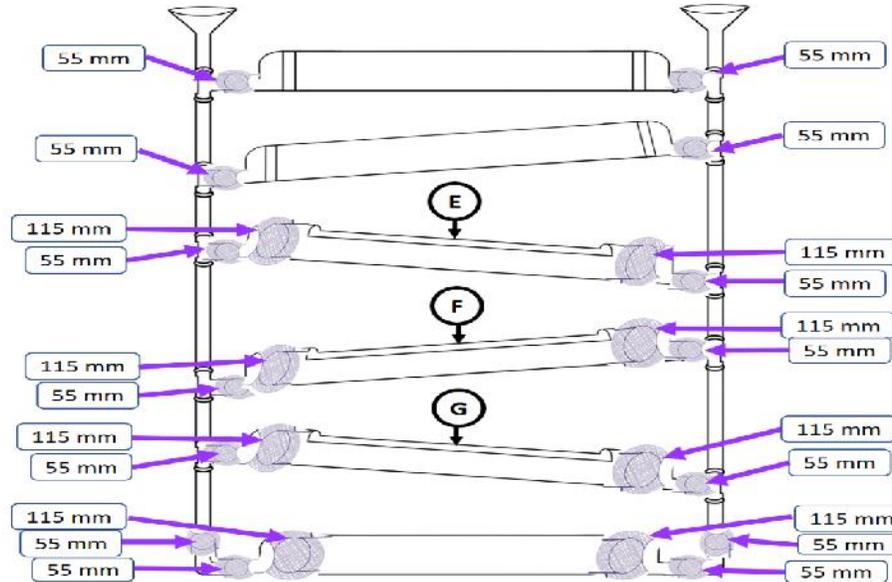


Figura 20. Representación de la forma de colocación de la tela de “ala de mosca” cortada de forma circular y con las medidas de 115 mm y 55 mm, a largo de la propuesta de muro verde.

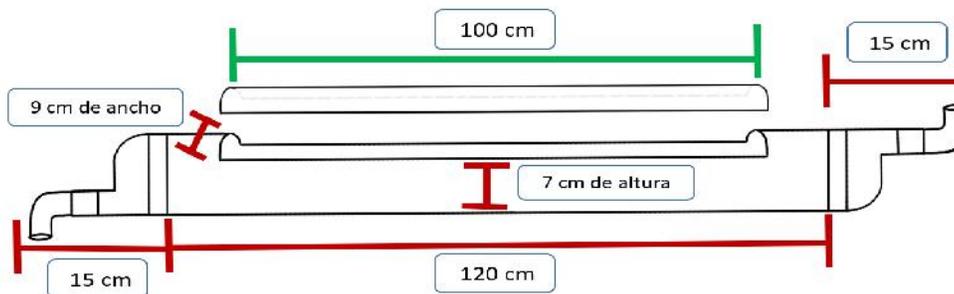


Figura 21. Medidas de cada contenedor, además del corte que se les haría a los niveles (E, F y G) de la propuesta de muro verde y a los experimentos.

Con base en los planos del sistema se logró construir el primer almacenador de agua junto con el calentador de agua o recirculador, dos perforaciones en cada extremo del tubo para insertar una manguera de plástico de $\frac{1}{4}$ de grosor del recirculador una negra y otra transparente, pegado con Resistol 5000 (pegamento de contacto), transparente y de resistencia a la humedad, para sellar el espacio donde se ensambló la manguera y el tubo (figura 22; página 44). Dado que en los sistemas hidropónicos cerrados se determinó que al preservar más calor existe un efecto de recirculación de agua (Rodríguez, 2002), por tanto, la propuesta al ser un sistema cerrado le proporciona las características de un recirculador sin necesidad de una bomba bajo el principio de la evaporación de agua, esto permitió al prototipo ser autosostenible en este parámetro de agua.

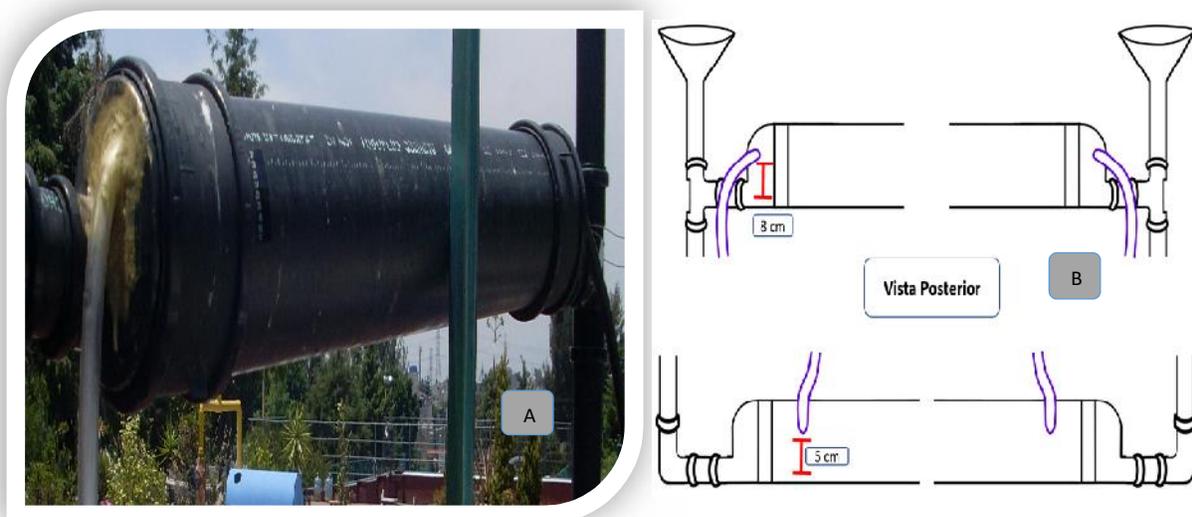


Figura 22. Del lado izquierdo se muestra la manguera pegada al primer almacenador (A) y del lado derecho es el diagrama de la instalación de la manguera en la propuesta de muro verde (B).

Después se colocó los embudos hechos a partir del reciclaje del cuello de una botella de 10 L sobre los tubos verticales como se puede observar en la figura 23. Además de los materiales para un filtro casero, de la siguiente forma: Tezontle rojo con piedras medianas (400 g), arena gruesa o gravilla (400 g), arena fina (400 g), tezontle rojo en piedras fragmentadas también llamado hormigón (400 g) saturando el tubo vertical de 50 mm dejando 10 cm de separación del embudo y por tubo un peso total de 3.2 kg de material del filtro casero mostrado en la figura 24; página 45.

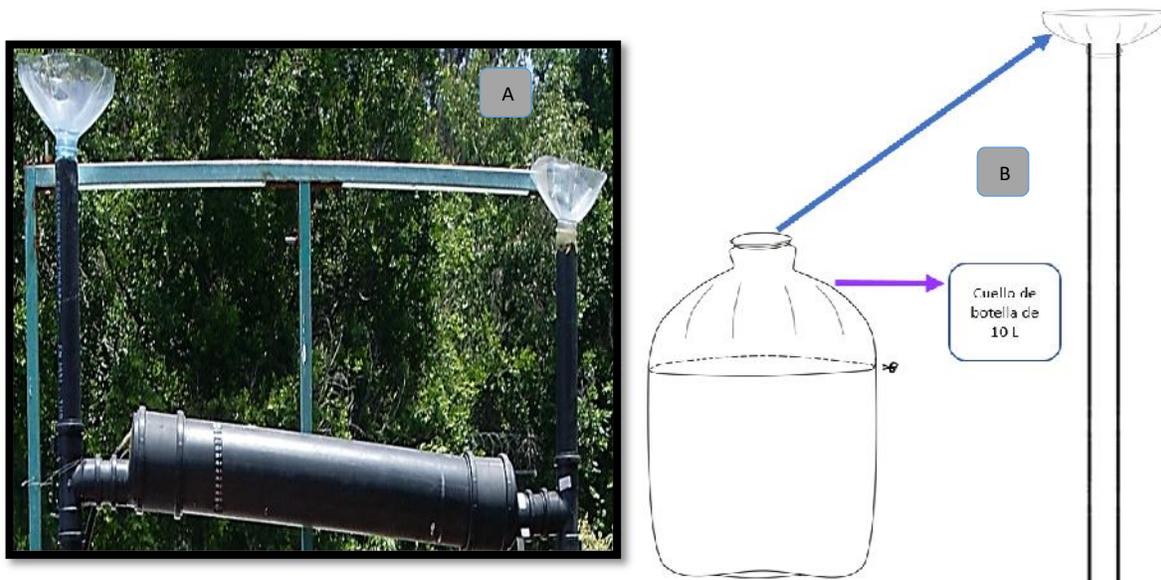


Figura 23. Del lado izquierdo se muestra los captadores de agua (A) y del lado derecho es el diagrama del cuello de la botella cortada y como se instaló en la propuesta de muro verde (B).

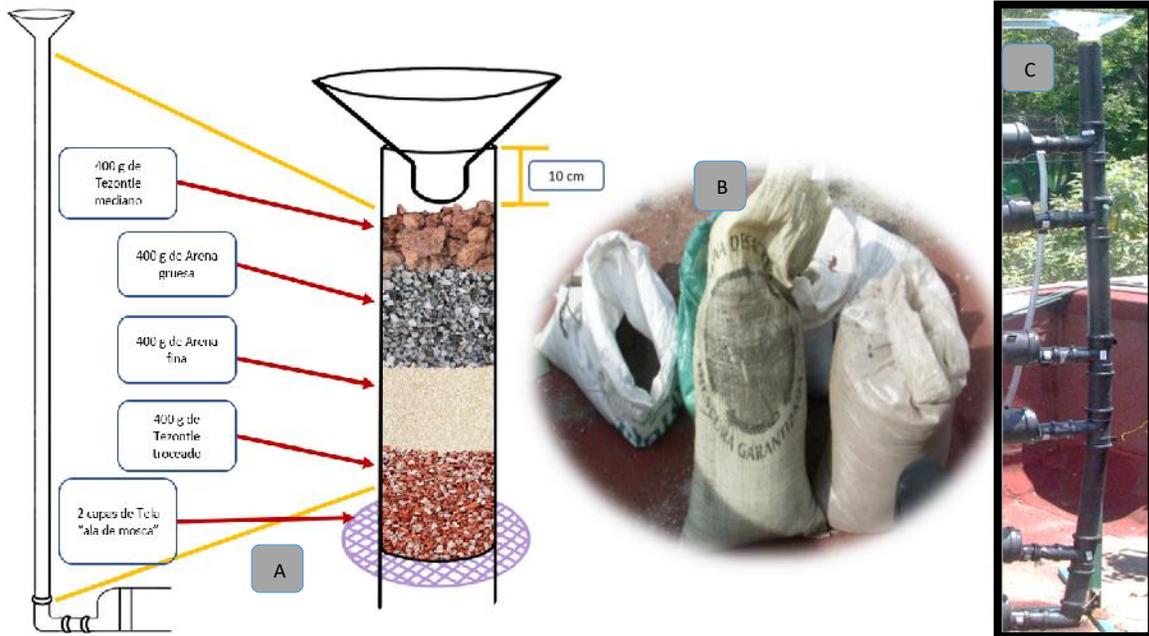


Figura 24. Del lado izquierdo se muestra el filtro casero con sus componentes (A), en la parte central son los materiales del filtro en costales (B) y del lado derecho el tubo vertical de la propuesta de muro verde (C).

De esta forma se calculó la cantidad de agua en la cual se saturó el sistema con el sustrato, se agregó de manera manual desde la parte de los captadores y hasta llenar los tubos verticales junto con el tubo del recirculador, saturándose el muro verde a los 7,500 mL. La cantidad de agua pluvial que obtiene el captador en una precipitación mínima y máxima estimada (smn,2017) con el pluviómetro casero (INIA, 2016; GLOBE, 2005) se muestra a continuación (figura 25):

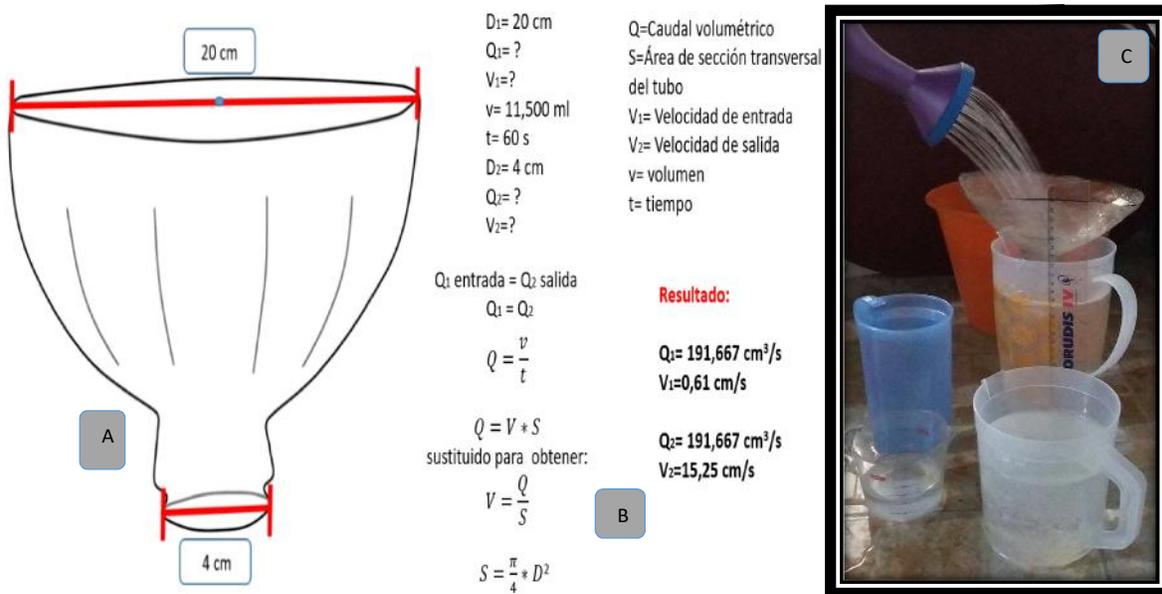


Figura 25. La medida de los diámetros del captador pluvial (A), en medio los cálculos y fórmulas que se usaron (B) y el pluviómetro casero (GLOBE, 2005) para obtener los datos de volumen y tiempo (C).

Para la naturación urbana es necesario tomar en cuenta la facilidad de traslado del material y la optimización de la superficie a utilizar para la implementación de los sustratos y las plantas (Burhan & Elif, 2013), dado que para estimular el crecimiento de las plantas se requiere mínimo 5 cm de altura y 1 metro de largo en la distribución de las raíces por el contenedor (Fernández-Cañero *et al.*, 2008). Para este trabajo se implementó los sustratos para el filtro compuesto de: tezontle rojo mediano, arena gruesa, arena fina y tezontle rojo trozado (Metselaar, 2012), además de la tela de ala de mosca para encapsularlos. La construcción final con las características de implementación mencionadas anteriormente se muestra en la figura 26:

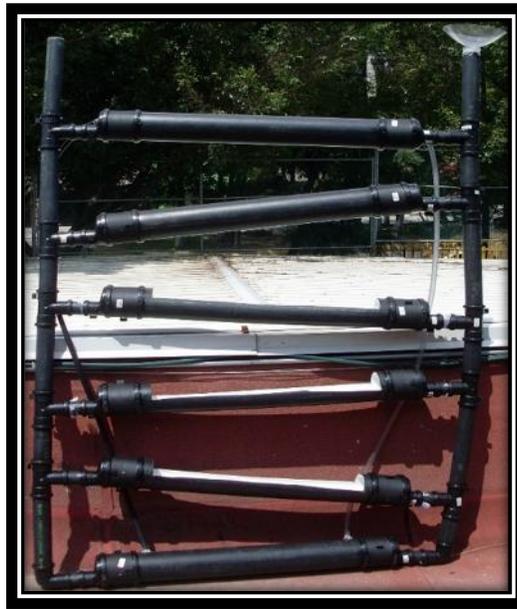


Figura 26. Una vista general de la propuesta de muro verde armado.

II. Efecto de los sustratos sobre la retención de agua y variables de crecimiento

En relación a los tratamientos (T) de sustratos, con la figura 27 (página 45) y las tablas 7, 8 y 9 (véase páginas 45 y 46), se pudo observar que el tratamiento T2 (70% agrolita, 20% peat-moss y 10% vermicomposta) con un 81.07% obtuvo una mayor retención de agua con respecto a T1 (40% agrolita, 40% peat-moss y 20% vermicomposta) con 66.58% y T3 (20% agrolita, 70% peat-moss y 10% vermicomposta) 62.01% muestra que tardó más en caer el agua, absorbiendo más cantidad del líquido y tener el tiempo final más largo.

FILTRACIÓN DE AGUA EN LA MEZCLA DE SUSTRATOS

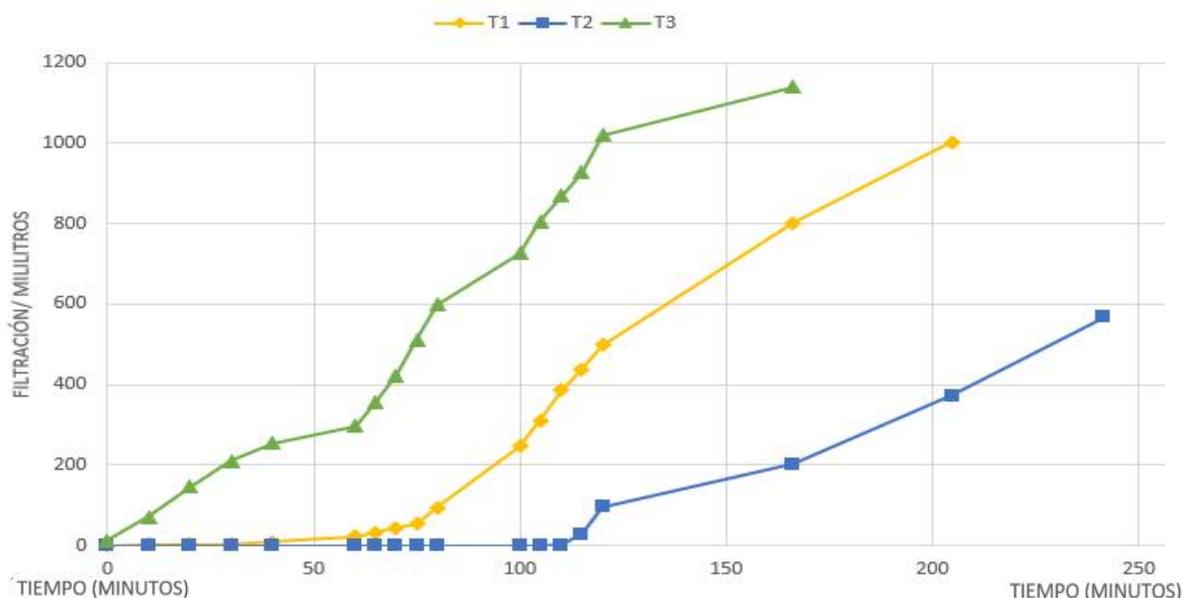


Figura 27. Comparación de los tres diferentes tipos de combinaciones de sustratos: (T) tratamiento 1 (40% agrolita, 40% peat-moss y 20% vermicomposta), T2 (70% agrolita, 20% peat-moss y 10% vermicomposta), T3 (20% agrolita, 70% peat-moss y 10% vermicomposta) y su respectiva retención de agua.

En el experimento de la retención de agua el tratamiento (T) 2 se observó un mejor efecto con el 81%, que puede ser reflejo de cada una de las propiedades de la agrolita (Toledo, 2006) principalmente, lo cual, permitió la mayor retención de agua en los sustratos para evitar la pérdida de humedad y esté disponible por más tiempo para la raíces de las plantas (Abad-Berjon *et al.*, 2004); esto no es lo más importante para el crecimiento de las plantas pero si para su supervivencia en el sistema el cual tiene un efecto en la mitigación de la temperatura junto con las plantas colocadas (Nardini *et al.*, 2012)

Tabla 7. Promedios de la retención de agua, el tiempo final y la cantidad de agua agregada, en el tratamiento (T) 1: 40% agrolita, 40% peat-moss y 20% vermicomposta.

Tiempo / minutos	Agua colocada /mililitros	Promedio final de la cantidad de agua acumulada que salía del T1 / mililitros
60	1000	22.4
100	2000	246.8
120	3000	497.2
...	-	...
Promedio del tiempo final que tardó en pasar el agua acumulada en los contenedores	-	Promedio total, de agua acumulada que salía del T1
204.8	-	1002.4

Tabla 8. Promedios de la retención de agua, el tiempo final y la cantidad de agua agregada, en el T2: 70% agrolita, 20% peat-moss y 10% vermicomposta.

Tiempo / minutos	Agua colocada /mililitros	Promedio final de la cantidad de agua acumulada que salía del T2/ mililitros
60	1000	0
100	2000	0
120	3000	95.8
...	-	...
Promedio del tiempo final que tardo en pasar el agua acumulada en los contenedores	-	Promedio total, de agua acumulada que salía del T2
241.6	-	567.8

Tabla 9. Promedios de la retención de agua, el tiempo final y la cantidad de agua agregada, en el T3: 20% agrolita, 70% peat-moss y 10% vermicomposta.

Tiempo / minutos	Agua colocada /mililitros	Promedio final de la cantidad de agua acumulada que salía del T3/ mililitros
60	1000	297.6
100	2000	725.6
120	3000	1020.4
...	-	...
Promedio del tiempo final que tardo en pasar el agua acumulada en los contenedores	-	Promedio total, de agua acumulada que salía del T3
166.2	-	1139.6

Los sustratos son ligeros (Leonardo, 2013). La agrolita se expande y absorbe agua lo que ayuda a la aireación, además de ser la parte inorgánica (Cruz-Crespo et al., 2012; Hernández, 2013). El peat-moss por ser la parte orgánica complementaria de la mezcla aportando nutrimentos como N y retención de las raíces (Maryam-Mofidpoor, 2007; Meléndez, 2016) y la vermicomposta como aporte principal de nutrimentos N, P, Ca, K para el desarrollo principal de las plantas (Sullivan & Miller, 2005).

De acuerdo con su forma de reproducción se optó por esqueje: de *Plectranthus hadiensis*, una altura de tres centímetros y 10 hojas. Y *Tradescantia zebrina* una altura tres centímetros y cinco hojas. Y la raíz se desarrolla a partir de la semana dos por todo el contenedor (figura 28).



Figura 28. Esquejes e hijuelos de *Plectranthus hadiensis* (A) y *Tradescantia zebrina* (B).

Se realizó a cada una de las variables de crecimiento de las plantas un análisis estadístico, con el software STATGRAPHICS Centurión, como primer paso se analizaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad, aquellos que presentaron distribución normal se evaluaron por medio de ANOVA con un nivel de confianza del 95%, por lo que se refiere a que si el $P\text{-value} > 0.05$ determinaría que no hay diferencias significativas en los tratamientos.

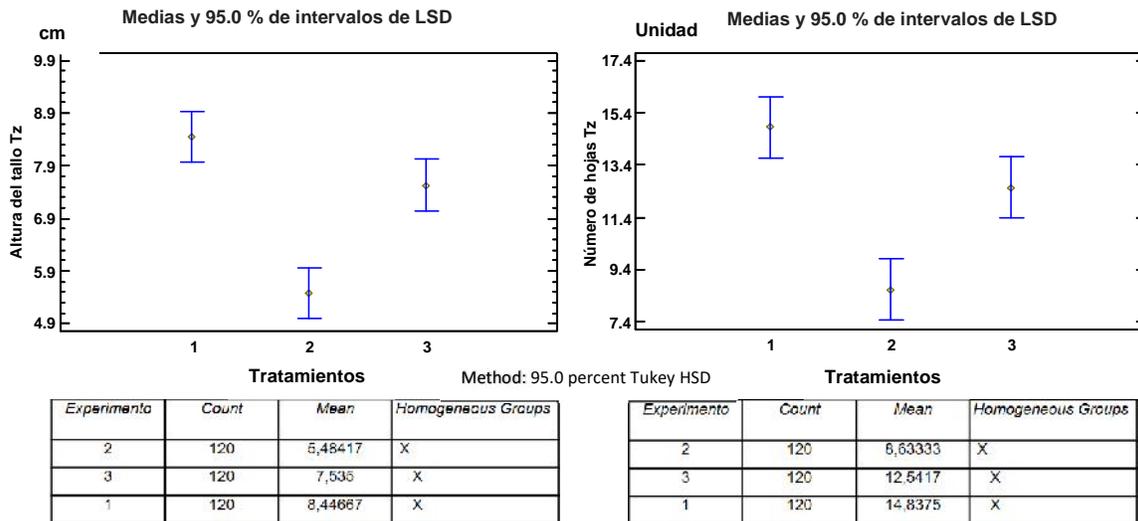


Figura 29. Comparación del efecto de tres combinaciones de sustratos sobre la altura del tallo y número de hojas en *Tradescantia zebrina* (Tz) bajo el concepto de plantas intercaladas en el contenedor.

P-value = 0.0000353356

P-value = 2.58107E-7

En la variable de altura de tallo no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos T1 con un crecimiento en promedio de 8 a 9 cm, T3 con crecimiento de 7 a 8.1 cm; pero si para el T2 con crecimiento de 5 a 6 cm con respecto a los otros tratamientos. Para la variable de número de hojas no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos T1 con un crecimiento de 13.5 a 16 hojas, T3 con crecimiento de 11.5 a 13.6 hojas; pero si para el T2 con crecimiento de 7.5 a 10 hojas con los otros tratamientos (figura 29 y 30).



Figura 30. Altura del tallo y número de hojas de *Tradescantia zebrina* (Tz) (A) del T1: 40% agrolita, 40% peat-moss y 20% vermicomposta, T2: 70% agrolita, 20% peat-moss y 10% vermicomposta (B) y el T3: 20% agrolita, 70% peat-moss y 10% vermicomposta (C).

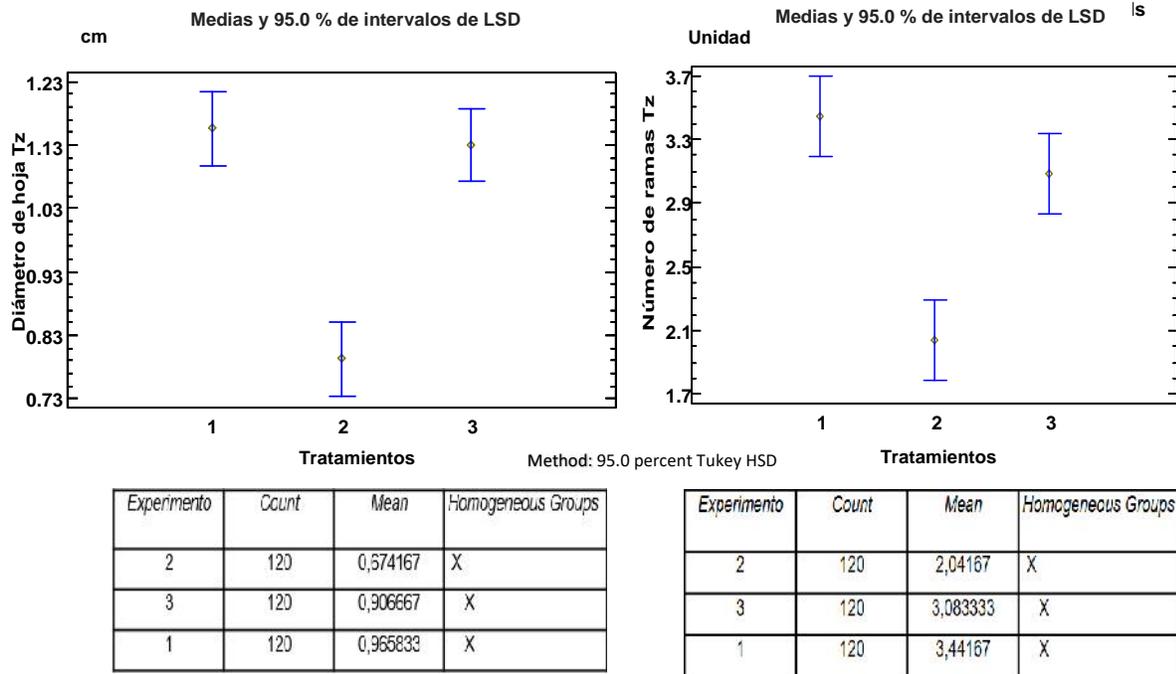


Figura 31. Comparación del efecto de tres combinaciones de sustratos sobre el diámetro de las hojas y número de ramas en *Tradescantia zebrina* (Tz) bajo el concepto de plantas intercaladas en el contenedor.

P-value = 0.0000307747

P-value = 1.18044E-11

En la variable de diámetro de la hoja no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos T1 con un crecimiento en promedio de 1.09 a 1.20 cm, T3 con crecimiento de 1.07 a 1.17 cm; pero si para el T2 con crecimiento de 0.75 a 0.85 cm con respecto a los otros tratamientos. Para la variable de número de ramas no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos T1 con un crecimiento de 3.2 a 3.7 ramas, T3 con crecimiento de 2.8 a 3.4 ramas; pero si para el T2 con crecimiento en promedio de 1.8 a 2.3 ramas con los otros tratamientos (figura 31 y 32).

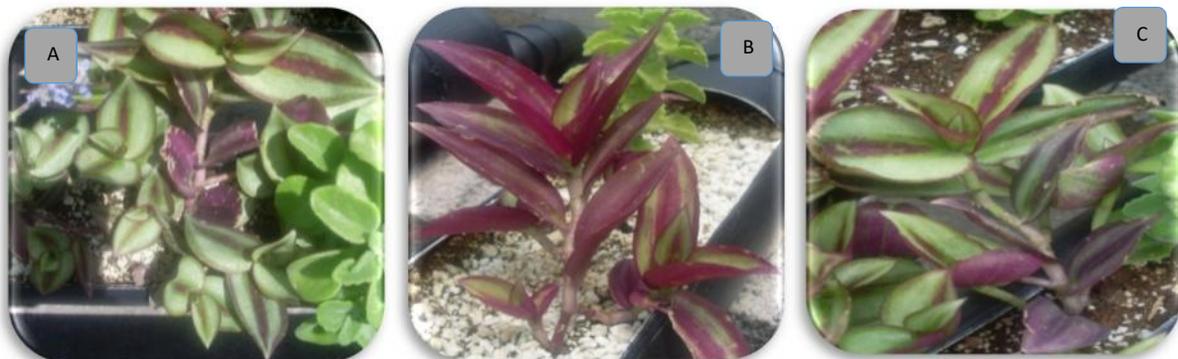


Figura 32. Número de ramas y diámetro de hojas de *Tradescantia zebrina* (Tz) (A) del tratamiento 1: 40% agrolita, 40% peat-moss y 20% vermicomposta, tratamiento 2: 70% agrolita, 20% peat-moss y 10% vermicomposta (B) y el tratamiento 3: 20% agrolita, 70% peat-moss y 10% vermicomposta (C).

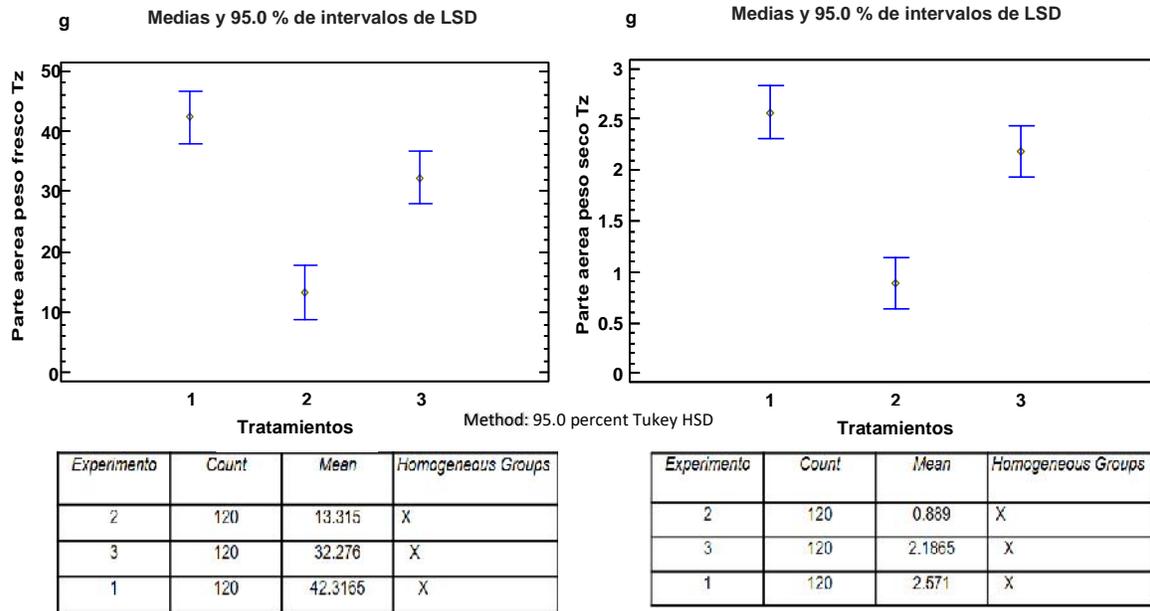


Figura 33. Comparación del efecto de tres combinaciones de sustratos sobre el peso fresco y seco de la parte aérea en *Tradescantia zebrina* (Tz) bajo el concepto de plantas intercaladas en el contenedor.

P-value = 0.033468

P-value = 0.00513319

En la variable de la parte aérea del peso fresco no hay diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos T1 con un crecimiento en promedio de 38 a 46 g, T3 con crecimiento de 29 a 37 g y el T2 con crecimiento de 9 a 17 g con respecto a los otros tratamientos. Para la variable de parte aérea del peso seco no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos T1 con un crecimiento de 2.2 a 2.8 g, T3 con crecimiento de 1.8 a 2.3 g; pero si para el T2 con crecimiento en promedio de 0.7 a 1.2 g con los otros tratamientos (figura 33 y 34).

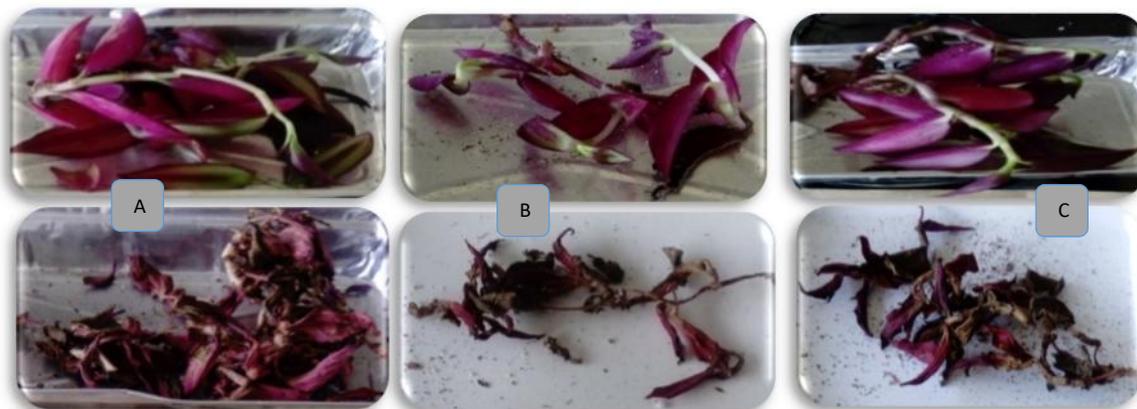


Figura 34. Pesos fresco y seco de la parte aérea de *Tradescantia zebrina* (Tz) (A) del tratamiento 1: 40% agrolita, 40% peat-moss y 20% vermicomposta, tratamiento 2: 70% agrolita, 20% peat-moss y 10% vermicomposta (B) y el tratamiento 3: 20% agrolita, 70% peat-moss y 10% vermicomposta (C).

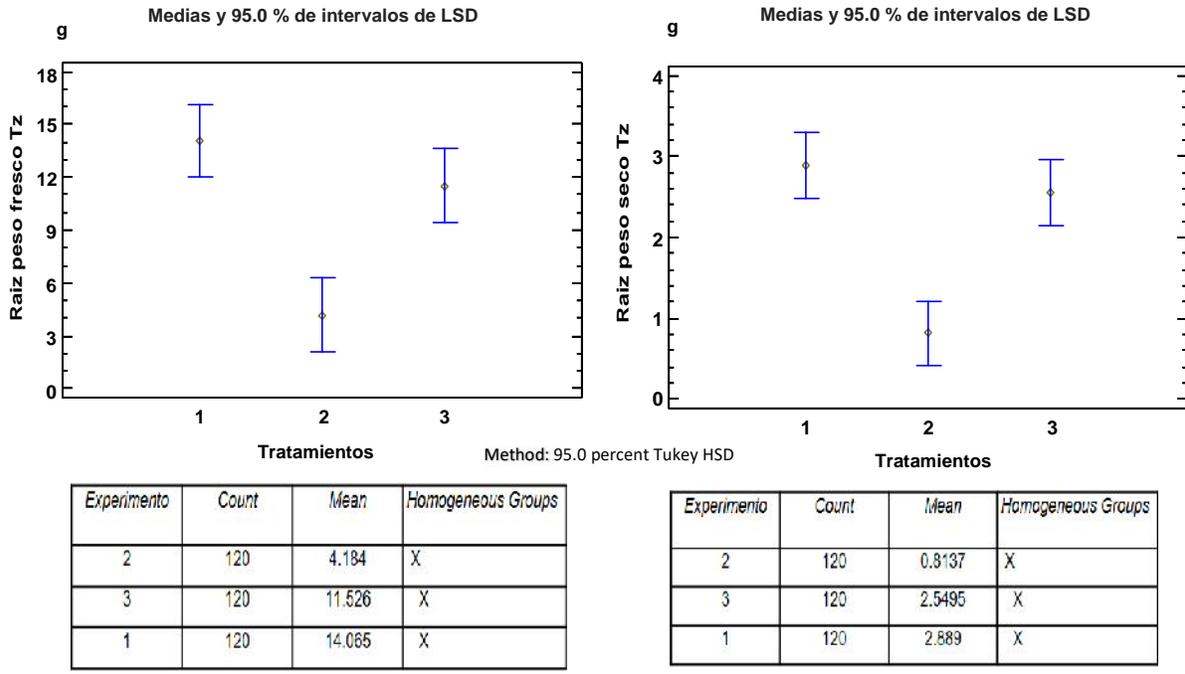


Figura 35. Comparación del efecto de tres combinaciones de sustratos sobre el peso fresco y seco de la raíz en *Tradescantia zebrina* (Tz) bajo el concepto de plantas intercaladas en el contenedor.

P-value = 0.0292792

P-value = 0.000906698

En la variable de la raíz el peso fresco no hay diferencia estadística significativa entre los tratamientos T1 con un crecimiento en promedio de 12 a 16 g, T3 con crecimiento de 9 a 13 g; pero si para el T2 con crecimiento de 2 a 7 g con respecto a los otros tratamientos. Para la variable raíz el peso seco tampoco existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos T1 con un crecimiento de 2.3 a 3.2 g, T3 con crecimiento de 2.1 a 3.0 g; pero si para el T2 con crecimiento en promedio de 0.6 a 1.1 g con los otros tratamientos (figura 35 y 36).

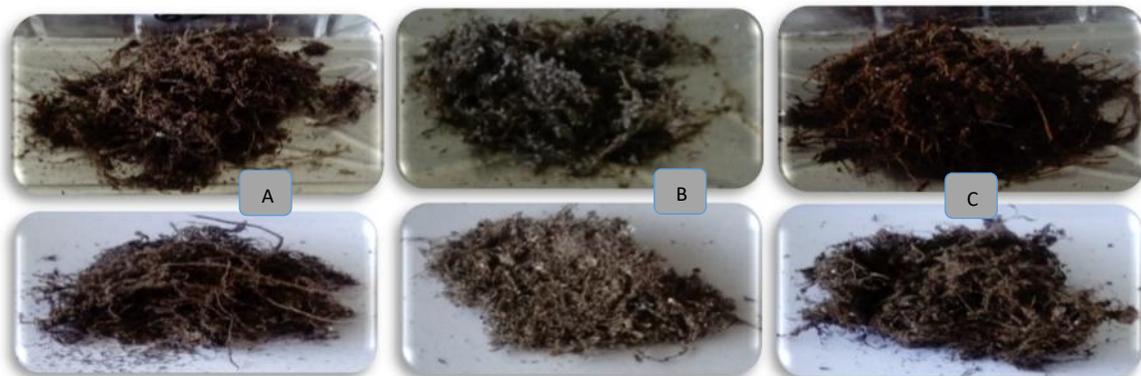
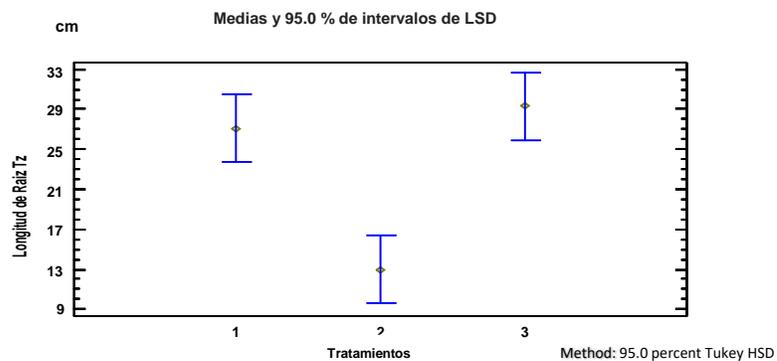


Figura 36. Peso seco y fresco de la raíz de *Tradescantia zebrina* (Tz) (A) del tratamiento 1: 40% agrolita, 40% peat-moss y 20% vermicomposta, tratamiento 2: 70% agrolita, 20% peat-moss y 10% vermicomposta (B) y el tratamiento 3: 20% agrolita, 70% peat-moss y 10% vermicomposta (C).



P-value = 0.0119313

Experimento	Count	Mean	Homogeneous Groups
2	120	12.975	X
3	120	27.095	X
1	120	28.315	X

Figura 37. Comparación del efecto de tres combinaciones de sustratos sobre la longitud de raíz en *Tradescantia zebrina* (Tz) bajo el concepto de plantas intercaladas en el contenedor.

Para la variable de longitud de raíz tampoco existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos T1 con un crecimiento en promedio de 23 a 30 cm, T3 con crecimiento de 26 a 32; pero si para el T2 con crecimiento en promedio de 10 a 15 con los otros tratamientos (figura 37 y 38).

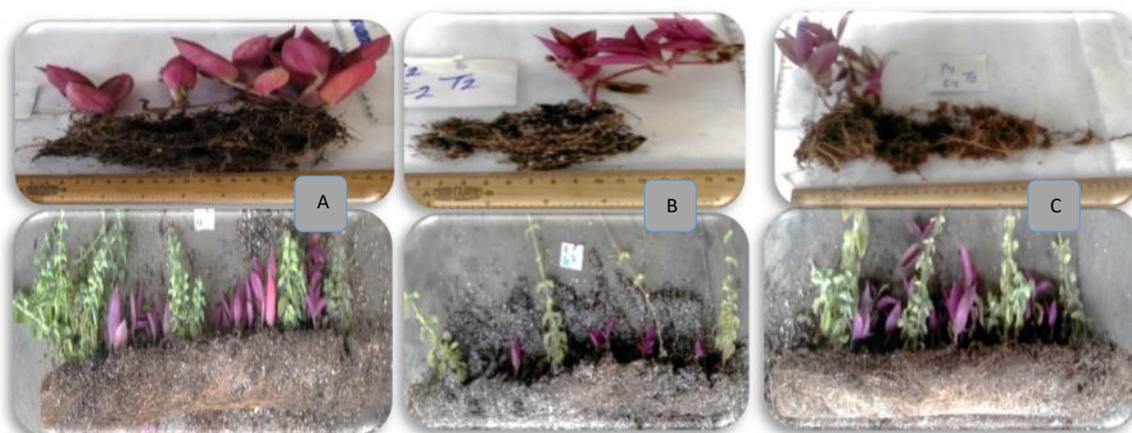


Figura 38. Longitud de raíz de *Tradescantia zebrina* (Tz) (A) del tratamiento 1: 40% agrolita, 40% peat-moss y 20% vermicomposta, tratamiento 2: 70% agrolita, 20% peat-moss y 10% vermicomposta (B) y el tratamiento 3: 20% agrolita, 70% peat-moss y 10% vermicomposta (C).

En la planta de *Tradescantia zebrina* hay un mayor efecto en el T1 sobre las variables de crecimiento, este efecto se puede atribuir al equilibrio de los sustratos por la regeneración de las hojas de esta planta perenne y el vigor de las hojas similar con el T3, donde la diferencia radica en la ramificación de raíces por la presencia de una menor retención de humedad de la mezcla de los sustratos implementada, además, se presentó una pérdida de ramas y hojas al secarse. El T2 tuvo un comportamiento similar a la planta de *Plectranthus hadiensis* (CONABIO, 2009; Bali, 2001; Gerrit *et al.*, 1994).

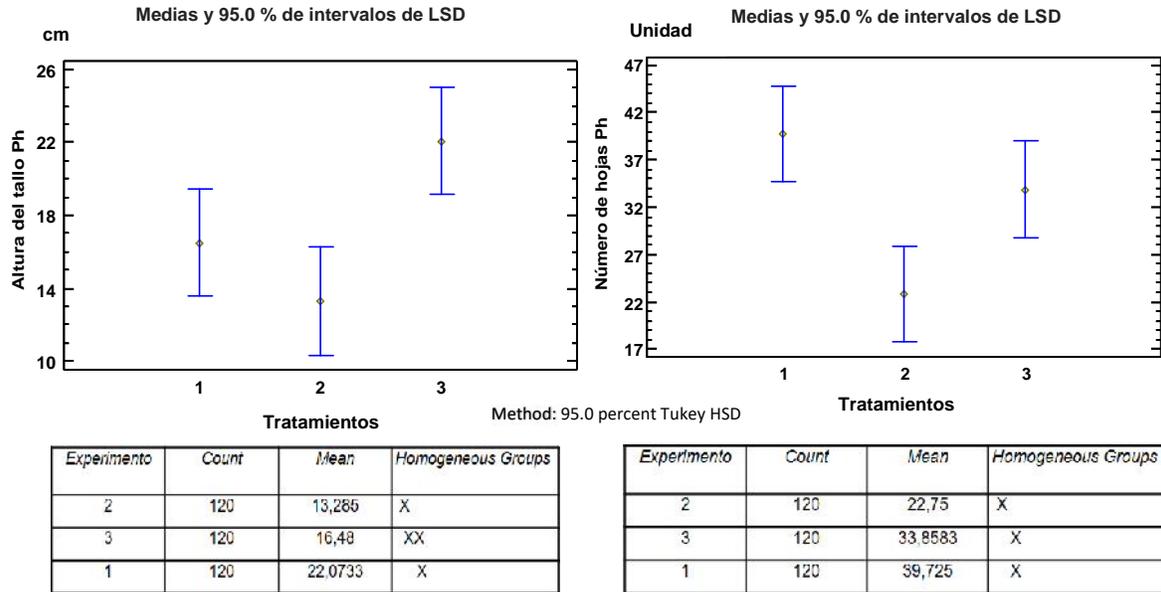


Figura 39. Comparación del efecto de tres combinaciones de sustratos sobre la altura del tallo y número de hojas en *Plectranthus hadiensis* (Ph) bajo el concepto de plantas intercaladas en el contenedor.

P-value = 0.0165814

P-value = 0.00337288

En la variable de altura de tallo no hay diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos T1 con un crecimiento en promedio de 14 a 20 cm, T3 con crecimiento de 20 a 25 cm y el T2 con crecimiento de 11 a 16 cm con respecto a los otros tratamientos, sin embargo, el tratamiento que tuvo el mejor efecto para esta variable fue T3. Para la variable de número de hojas no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos T1 con un crecimiento en promedio de 35 a 46 hojas, T3 con crecimiento de 30 a 39 hojas; pero si para el T2 con crecimiento en promedio de 18 a 28 hojas con los otros tratamientos (figura 39 y 40).



Figura 40. Altura del tallo y número de hojas de *Plectranthus hadiensis* (Ph) (A) del tratamiento 1: 40% agrolita, 40% peat-moss y 20% vermicomposta, tratamiento 2: 70% agrolita, 20% peat-moss y 10% vermicomposta (B) y el tratamiento 3: 20% agrolita, 70% peat-moss y 10% vermicomposta (C).

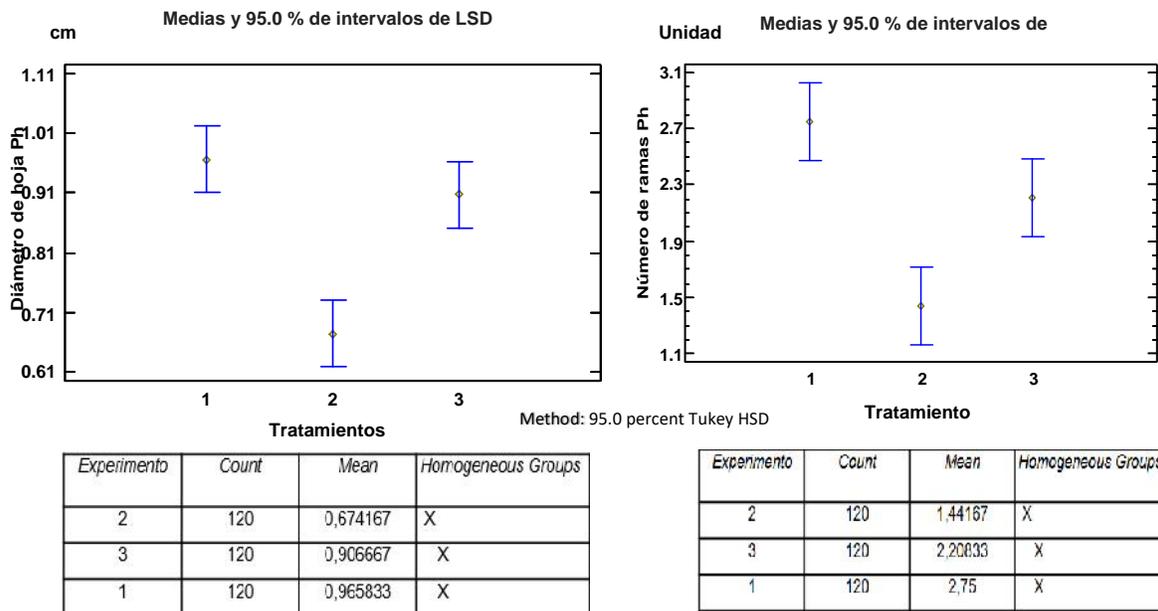


Figura 41. Comparación del efecto de tres combinaciones de sustratos sobre el número de ramas y diámetro de la hoja en *Plectranthus hadiensis* (Ph) bajo el concepto de plantas intercaladas en el contenedor.

P-value = 0.0000406207

P-value = 0.00002992204

En la variable de diámetro de la hoja no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos T1 con un crecimiento en promedio de 0.92 a 1.03 cm, T3 con crecimiento de 0.89 a 0.91 cm; pero si para el T2 con crecimiento de 0.63 a 0.74 cm con respecto a los otros tratamientos. Para la variable de número de ramas no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos T1 con un crecimiento de 2.5 a 3.0 ramas, T3 con crecimiento de 2.0 a 2.5 ramas; pero si para el T2 con crecimiento en promedio de 1.2 a 1.8 ramas con los otros tratamientos (figura 41 y 42).



Figura 42. Número de ramas y el diámetro de hoja de *Plectranthus hadiensis* (Ph) (A) del tratamiento 1: 40% agrolita, 40% peat-moss y 20% vermicomposta, tratamiento 2: 70% agrolita, 20% peat-moss y 10% vermicomposta (B) y el tratamiento 3: 20% agrolita, 70% peat-moss y 10% vermicomposta (C).

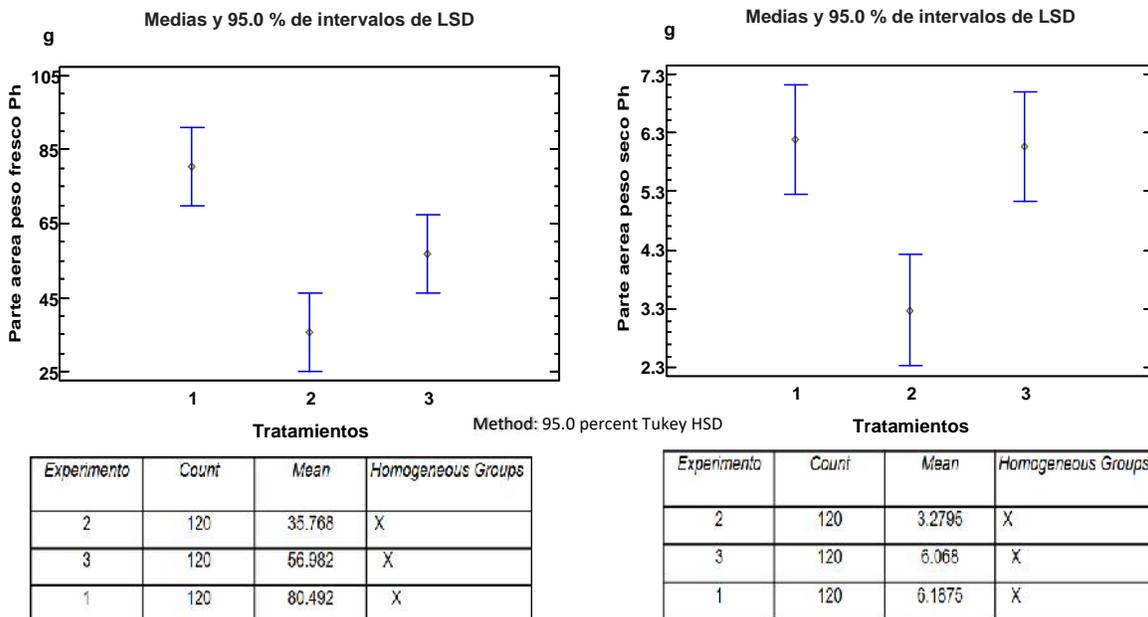


Figura 43. Comparación del efecto de tres combinaciones de sustratos sobre el peso fresco y seco de la parte aérea de *Plectranthus hadiensis* (Ph) bajo el concepto de plantas intercaladas en el contenedor.

P-value = 0.00045894

P-value = 0.0037541

En la variable de la parte aérea del peso fresco no hay diferencias estadísticas significativas (P-value > 0.05) entre los tratamientos T1 en promedio (66 a 83 g), T3 (47 a 66 g) y el T2 (25 a 47 g) con respecto a los otros tratamientos. Para la variable de parte aérea del peso seco no existen diferencias estadísticas significativas (P-value > 0.05) entre los tratamientos T1 en promedio (5.3 a 7.3 g), T3 (2.3 a 4.3 g); pero si para el T2 (5.2 a 7.1 g) con los otros tratamientos (figura 43 y 44).

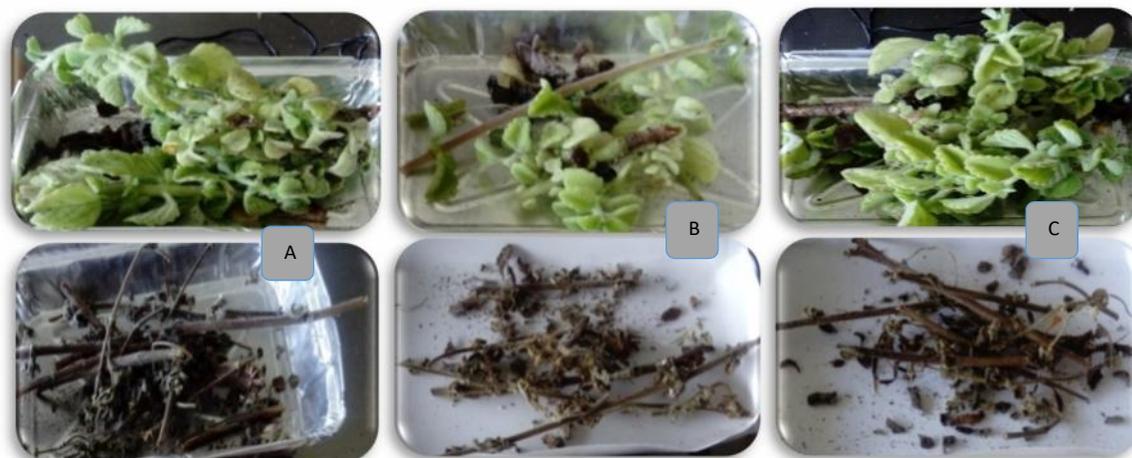


Figura 44. Peso seco y fresco de la parte aérea de *Plectranthus hadiensis* (Ph) (A) del tratamiento 1: 40% agrolita, 40% peat-moss y 20% vermicomposta, tratamiento 2: 70% agrolita, 20% peat-moss y 10% vermicomposta (B) y el tratamiento 3: 20% agrolita, 70% peat-moss y 10% vermicomposta (C).

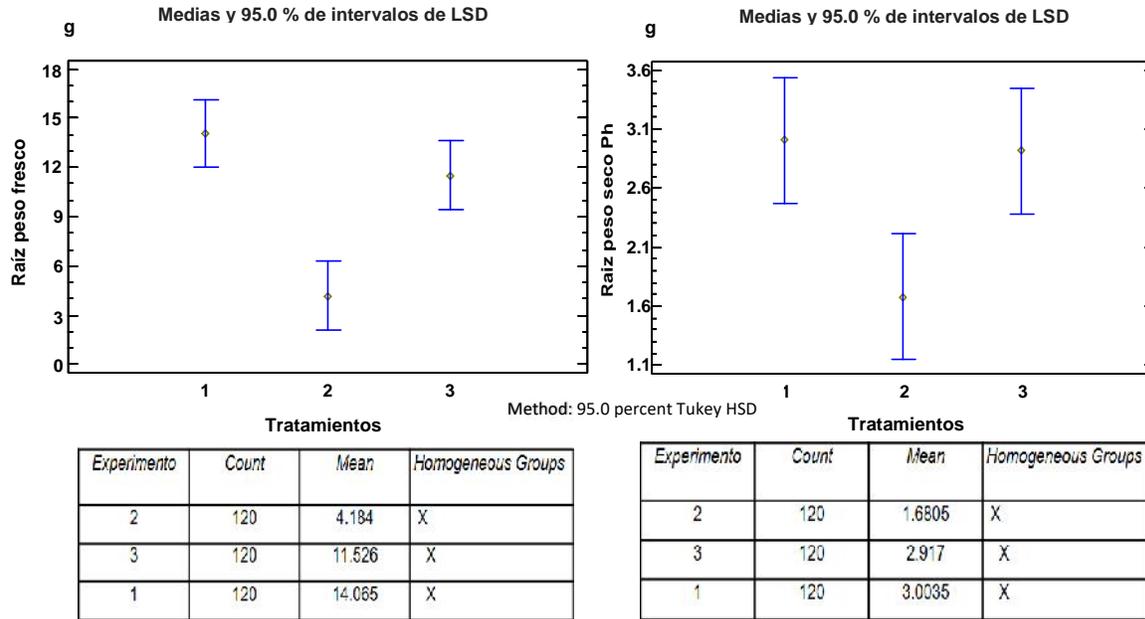


Figura 45. Comparación del efecto de tres combinaciones de sustratos sobre el peso seco de la raíz en *Plectranthus hadiensis* (Ph) bajo el concepto de plantas intercaladas en el contenedor.

P-value = 0.008121

P-value = 0.0249581

En la variable de la raíz del peso fresco no hay diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos T1 con un crecimiento en promedio de 12 a 16 g, T3 con crecimiento de 10 a 14 g; pero si para el T2 con crecimiento de 2 a 6 g con respecto a los otros tratamientos. Para la variable de raíz del peso seco no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos T1 con un crecimiento en promedio de 2.5 a 3.5 g, T3 con crecimiento de 2.4 a 3.3 g; pero si para el T2 con crecimiento de 1.2 a 2.2 g con los otros tratamientos (figura 45 y 46).



Figura 46. Peso seco y fresco de la raíz de *Plectranthus hadiensis* (Ph) (A) del tratamiento 1: 40% agrolita, 40% peat-moss y 20% vermicomposta, tratamiento 2: 70% agrolita, 20% peat-moss y 10% vermicomposta (B) y el tratamiento 3: 20% agrolita, 70% peat-moss y 10% vermicomposta (C).

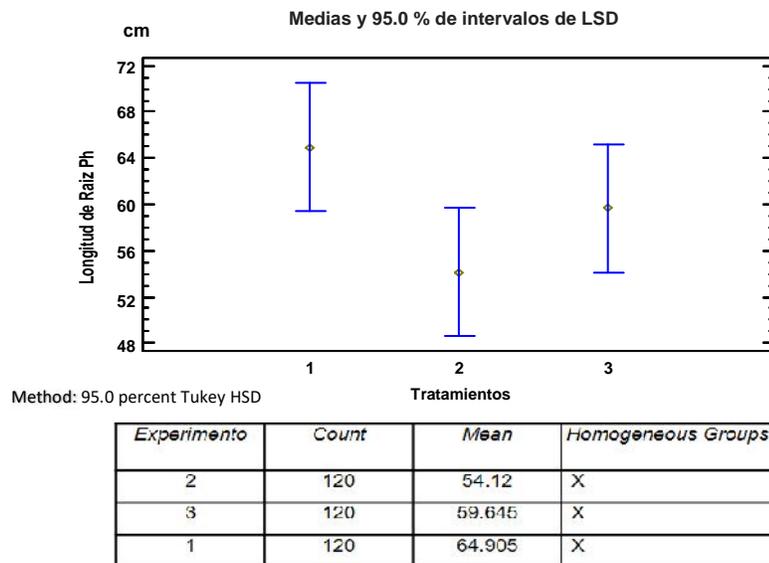


Figura 47. Comparación del efecto de tres combinaciones de sustratos sobre la longitud de raíz en *Plectranthus hadiensis* (Ph) bajo el concepto de plantas intercaladas en el contenedor.

P-value = 0.0666055

Para la variable de longitud de raíz no hay diferencia estadística significativa entre los tratamientos T1 con un crecimiento en promedio de 60 a 71 cm, T3 con crecimiento de 56 a 64 y el T2 con crecimiento en promedio de 49 a 60 con los otros tratamientos (figura 47 y 48).



Figura 48. *Plectranthus hadiensis* (Ph) longitud de raíz y la extracción de las especies vegetales (A) del tratamiento 1: 40% agrolita, 40% peat-moss y 20% vermicomposta, tratamiento 2: 70% agrolita, 20% peat-moss y 10% vermicomposta (B) y el tratamiento 3: 20% agrolita, 70% peat-moss y 10% vermicomposta (C).

Con base en los resultados obtenidos en el crecimiento de la planta de *Plectranthus hadiensis* hay un mayor efecto en las variables de crecimiento (número de hojas, diámetro de la hoja, número de ramas, peso seco y fresco de la parte aérea, peso seco y fresco de la raíz y longitud de raíz) en el (T1) tratamiento 1 (40% agrolita, 40% peat-moss y 20% vermicomposta). Este efecto se puede atribuir a un equilibrio en las proporciones de los sustratos para la disponibilidad de los nutrimentos de N, P, Ca y K de la vermicomposta y peat-moss, contribuyendo a un mejor crecimiento foliar como en ramas en las plantas, además se conservaron más verdes y con mayor vigor aun en la presencia de su inflorescencia (Parker, 2000; Russell *et al.*, 1987; AFPD, 2008).

En cambio, en el T3 (20% agrolita, 70% peat-moss y 10% vermicomposta) donde no tiene las proporciones de los sustratos equilibradas, por la mayor presencia de N por el peat-moss se le puede atribuir el crecimiento precoz del tallo y del desarrollo de la inflorescencia sin alcanzar la madurez, así mismo la marchitez acelerada de las ramas y las hojas. De estos tratamientos el T2 (70% agrolita, 20% peat-moss y 10% vermicomposta), por las propiedades de la agrolita tiene una mayor retención de agua, sin embargo, no tiene muchos nutrimentos siendo el que menor efecto tuvo en todas las variables del desarrollo y crecimiento de la planta (Parker, 2000; Russell *et al.*, 1987; AFPD, 2008).

Con esto el mejor efecto para *Plectranthus hadiensis* fue en las variables de número de hojas, diámetro de hojas, número de ramas, peso fresco y seco de la parte aérea, peso fresco y seco de la raíz y longitud de raíz para el T1; la altura del tallo el mejor efecto es el T3.

Para *Tradescantia zebrina* fue en las variables de altura del tallo, número de hojas, diámetro de hojas, número de ramas, peso fresco y seco de la parte aérea, peso fresco y seco de la raíz el T1; la longitud de raíz el mejor efecto es el T3 (tabla 10; página 60). De estos datos se tomó el análisis estadístico para ver si hay diferencias significativas con sus figuras de las plantas (figuras 29 al 48) de las variables y el crecimiento general de T1, T2 y T3 (figuras 49-54; página 58 y 59).



Figura 49. Día del trasplante del tratamiento T1 (A), T2 (B) y T3 (C).



Figura 50. Día 32 del experimento (A) del tratamiento T1 (A), T2 (B) y T3 (C).



Figura 51. Día 64 de la extracción de las plantas (A) del tratamiento T1 (A), T2 (B) y T3 (C).



Figura 52. Tratamiento 1: 40% agrolita, 40% Peat-moss y 20% vermicomposta, de las especies *Plectranthus hadiensis* (Ph) y *Tradescantia zebrina* (Tz), tomadas desde el día 8 al 64 y por último la foto del día 64 previo a la extracción de las plantas.

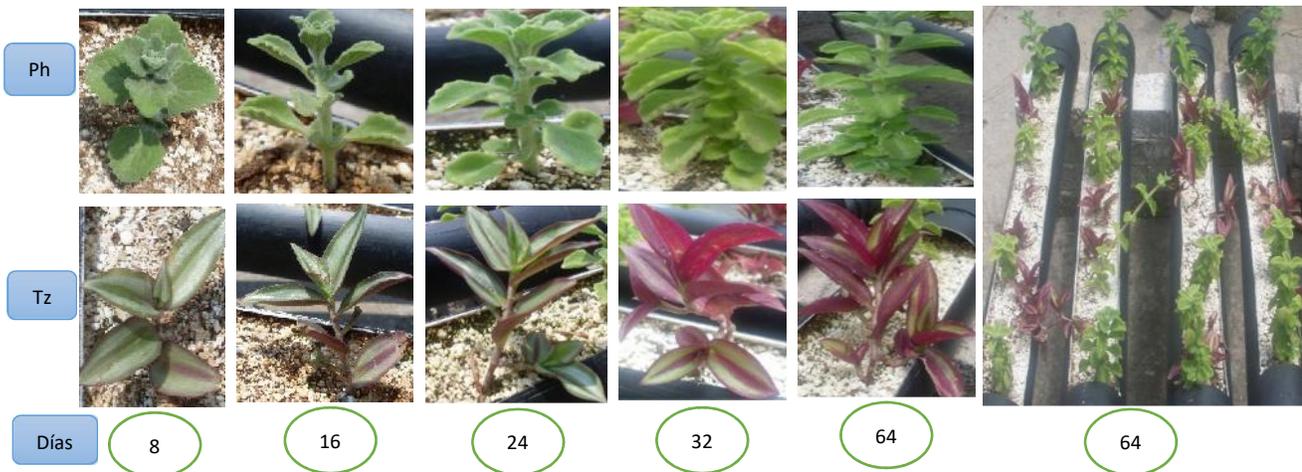


Figura 53. Tratamiento 2: 70% agrolita, 20% Peat-moss y 10% vermicomposta, de las especies *Plectranthus hadiensis* (Ph) y *Tradescantia zebrina* (Tz), tomadas desde el día 8 al 64 y por último la foto del día 64 previo a la extracción de las plantas.



Figura 54. Tratamiento 3: 20% agrolita, 70% Peat-moss y 10% vermicomposta, de las especies *Plectranthus hadiensis* (Ph) y *Tradescantia zebrina* (Tz), tomadas desde el día 8 al 64 y por último la foto del día 64 previo a la extracción de las plantas.

Tabla 10. Promedios de las variables de crecimiento: altura del tallo en cm, número de hojas, diámetro de hojas en cm, número de ramas, peso fresco de la parte aérea en g, peso seco de la parte aérea en g, peso fresco de la raíz en g, peso seco de la raíz en g y longitud de raíz en cm en los tratamientos: T1, T2 y T3.

Plantas	Variables de crecimiento	Tratamientos		
		T1	T2	T3
<i>Plectranthus hadiensis</i>	Altura del tallo	16.48	13.28	22.07
	Número de hojas	39.72	22.75	33.85
	Diámetro de hojas	0.96	0.67	0.90
	Número de ramas	6.19	3.28	6.07
	Peso fresco de la parte aérea	80.49	35.77	56.98
	Peso seco de la parte aérea	2.75	1.44	2.21
	Peso fresco de la raíz	14.06	4.18	11.52
	Peso seco de la raíz	3.0	1.68	2.91
	Longitud de raíz	64.90	54.12	59.64
<i>Tradescantia zebrina</i>	Altura del tallo	8.45	5.48	7.53
	Número de hojas	14.84	8.63	12.54
	Diámetro de hojas	0.96	0.67	0.91
	Número de ramas	3.44	3.08	2.04
	Peso fresco de la parte aérea	42.32	13.31	32.28
	Peso seco de la parte aérea	2.57	0.89	2.19
	Peso fresco de la raíz	13.86	4.05	11.53
	Peso seco de la raíz	2.89	0.81	2.55
	Longitud de raíz	27.09	12.97	29.31

III. Efecto de la temperatura en la recirculación del agua en la propuesta de muro verde

En las temperaturas tomadas de la propuesta de muro verde del calentador de agua o recirculador tiene un promedio de 43.17 °C, siendo la temperatura más alta del sistema, en el primer almacenador de agua obtuvo 41.25 °C el segundo valor más alto, el segundo almacenador de agua y refrigerante con 35.54 °C, y por último el tercer contenedor con sustratos y plantas con un promedio de 23.06 °C respectivamente (figuras 55-58).

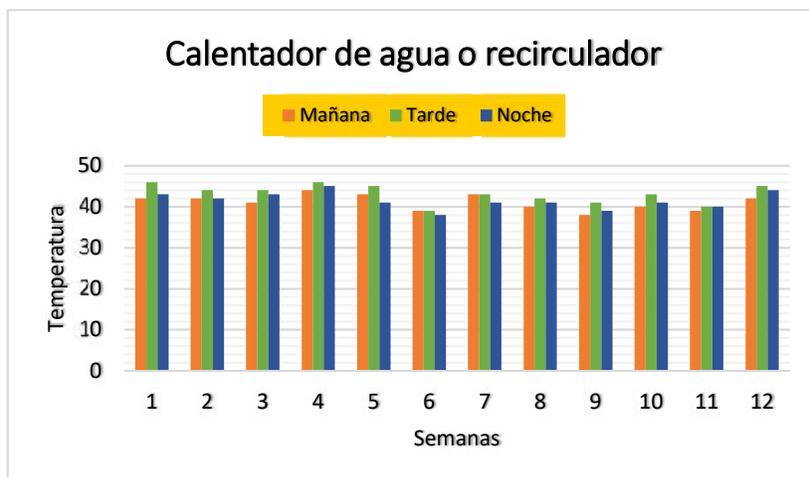


Figura 55. Histograma de las temperaturas tomadas en la mañana, tarde y noche por 12 semanas de los tubos de recirculador.

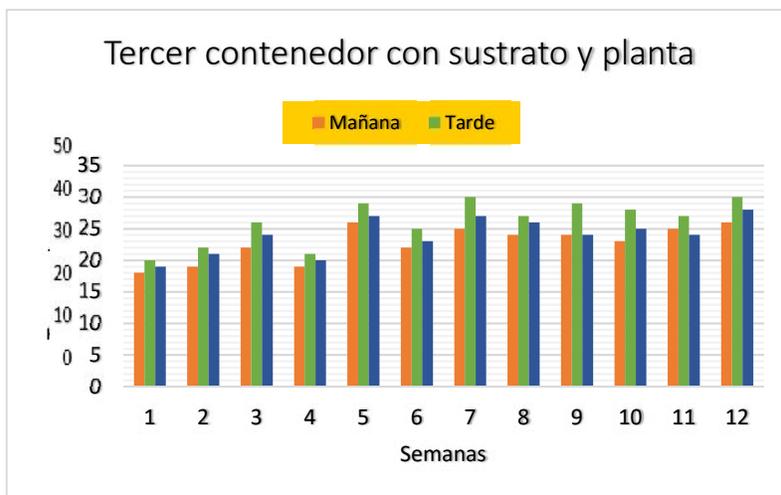


Figura 56. Histograma de las temperaturas tomadas en la mañana, tarde y noche por 12 semanas de los tubos del tercer contenedor de los sustratos y las especies vegetales.

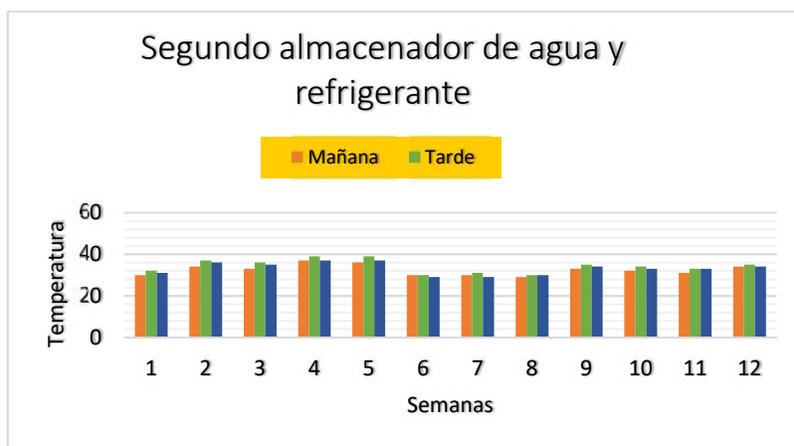


Figura 57. Histograma de las temperaturas tomadas en la mañana, tarde y noche por 12 semanas de los tubos del segundo almacenador.

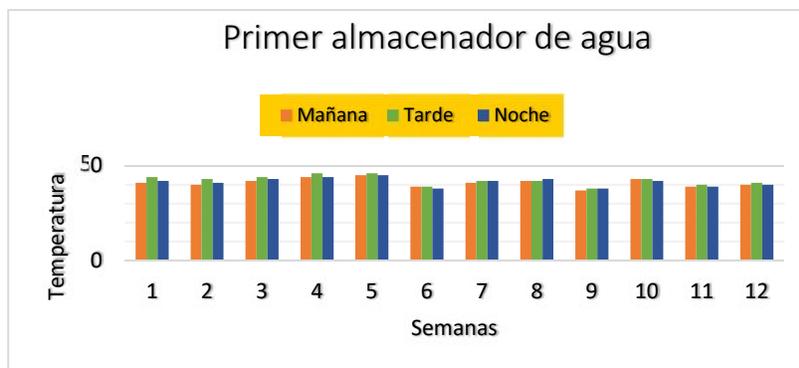


Figura 58. Histograma de las temperaturas tomadas en la mañana, tarde y noche por 12 semanas de los tubos del primer almacenador.

Para la distribución del agua en el prototipo, se obtuvo un promedio de la temperatura máximo de 43.17 y el promedio de temperatura mínimo de 23.06°C a lo largo del muro verde, manteniéndose en un rango dentro de los parámetros registrados en la zona de estudio (Castillo, 2014; Cuéntame de México INEGI, 2017), considerando que el ciclo del agua junto con el calor dentro del sistema (Rodríguez, 2002), permite la evaporación desde el tubo con la función para ser un recirculador (a través de las mangueras) al primer contenedor como condensador, permitiendo la distribución y recirculación del agua para beneficio de las plantas sin la presencia de un implemento adicional (Gonchar, 2009; Fernández, 2010b, Buraglia *et al.*, 2013).

IV. Porcentaje de supervivencia y variables de crecimiento en la propuesta de muro verde

Se obtuvieron las variables de crecimiento: altura del tallo en cm, número de hojas, diámetro de hojas en cm, número de ramas de las plantas en los contenedores de la propuesta de muro verde y una vista general del sistema al inicio del trasplante y al final del proyecto (figura 59; página 63) y el porcentaje de supervivencia del experimento de la combinación de sustratos junto con el de la propuesta (tabla 11). Es importante mencionar que se deben usar plantas perennes como *Tradescantia zebrina* y *Plectranthus hadiensis* porque se observó una supervivencia mayor al 85%, además de presentar un crecimiento constante como se muestra en las tablas (véase anexo: tabla 15-20; páginas 70-73), lo que permite suponer que la propuesta de muro verde tiene las condiciones adecuadas de requerimiento de agua y nutrientes (Gerrit, 1994; AFPD, 2008), lo cual conlleva una renovación de vida constante y duradera dentro de la propuesta planteada.

Tabla 11. Datos del porcentaje de supervivencia tomado de las plantas de los experimentos del sustrato y de la propuesta de muro verde.

Especies vegetales	Experimento de sustrato	Prototipo de muro verde
<i>Tradescantia zebrina</i>	85%	85.7%
<i>Plectranthus hadiensis</i>	95%	88.2%

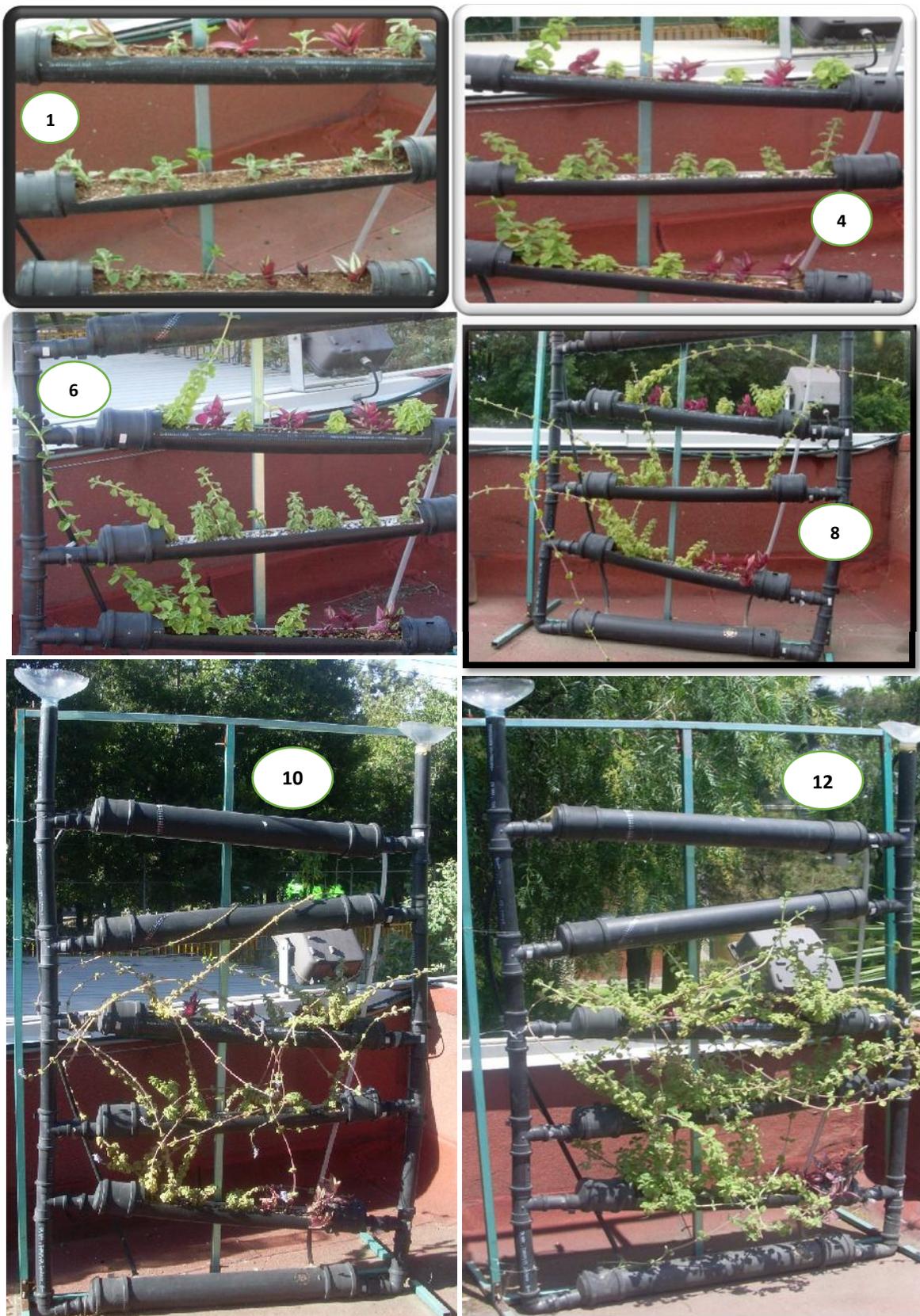


Figura 59. Contenedores con las especies vegetales las semanas 1, 4, 6, 8, 10 y 12 en la propuesta de muro verde.

V. Sugerencias de mejoramiento de la propuesta de muro verde

La finalidad del presente proyecto se ve reflejado en las desventajas que presentó la propuesta de muro verde, para proponer algunas posibles mejoras en un prototipo (tabla 12).

Tabla 12. Desventajas y sugerencias para el mejoramiento de la propuesta de muro verde.

Desventajas de la propuesta de muro verde	Sugerencias de mejoría de la propuesta
Estancamiento de agua en la esquina inclinada del tercer contenedor de las especies vegetales.	Colocar a esa altura del sistema en el tubo vertical una extensión en forma de "Y" para la salida del excedente de agua y poner en esas zonas especies de plantas resistentes a la alta humedad.
Sequia más pronunciada a lo largo del segundo contenedor.	Colocar atrapa nieblas y reducir la inclinación del contenedor para el pase de agua más lento.
Estética del sistema por verse más el color negro del tubo.	Pintar de color blanco u otro color los tubos o colocar en los primeros dos una pintura o escultura ligera.
Duración del pegamento en el área de la inserción de las mangueras del primer tubo y el recirculador.	Sellar la apertura para la inserción de la manguera en los tubos fundiendo el polipropileno en la manguera para un sellado eficaz, o chupones adheribles a dicha superficie de cada material.
Lugares específicos para la toma de datos como pH, temperatura, humedad, luz, nutrientes, movimiento del agua.	Poner puntos de control en cada tubo para la verificación de cada dato en tres puntos: laterales y en el centro o con un sensor infrarrojo.
Sustitución de la planta en caso de estar enferma sin afectar el sistema radicular de las demás plantas.	Prevenir las enfermedades o plagas desde el trasplante y fomentar la diversidad del sistema para su autocuidado, además de en último caso extraer las plantas con raíces fibrosas.
Colocar una tapa de aluminio en el tubo de recirculación para una mayor evaporación del agua sin afectar el calor a los contenedores vegetales.	Diseñar una tapa de aluminio extensible y flexible para calentar solo el recirculador del sistema y no afectar a las especies vegetales.
Tamaño grande solo para diseño de muro externo de sustrato.	Reducir el tamaño del sistema para lugares más pequeños.

Como propuestas de mejora se recomienda un mínimo mantenimiento del sistema, el cual incluya una revisión cada seis meses de la adhesión de la manguera en el primer almacenador y la colocación de manera anual la vermicomposta (Minke, 2012; Jacobs, 2008).

También se describen los requerimientos como una sugerencia para el mantenimiento de *Tradescantia zebrina* y *Plectranthus hadiensis*, con base en las observaciones realizadas durante el crecimiento en la propuesta de muro verde (tabla 13).

Tabla 13. Sugerencias de mantenimiento de las especies *Tradescantia zebrina* y *Plectranthus hadiensis*.

Sugerencias de Mantenimiento	Características de las Especies vegetales	
Imagen de la especie vegetal	 <p data-bbox="574 821 781 842"><i>Tradescantia zebrina</i></p>	 <p data-bbox="1049 821 1271 842"><i>Plectranthus hadiensis</i></p>
Poda	Realizar ligeras podas de mantenimiento eliminando tallos, hojas y flores marchitas. Si tiene espacio y luz media desarrollará un tallo decumbente que se colgará.	Esta especie genera vástagos en los tallos antes o a veces después de presentar su inflorescencia, según el tamaño, pero generalmente hasta después de 1 año.
Riego	Regar cada 15-20 días en época de sequías cuando está totalmente expuesta al sol, si está a media luz regar cada mes y en lluvia no hidratar. Esta especie tiene mayor resistencia la humedad constante que a la sequía extremas sin embargo también presenta resistencia a la ausencia de humedad, se recomienda plantar esta especie en la parte baja del muro, donde la humedad dura más tiempo.	Esta especie es resistente a la sequía, puede soportar más tiempo a la ausencia de agua que a la de saturación de humedad, esta planta puede sobrevivir bien hasta 2 meses sin un riego, sin colapsarse a media sombra y a luz directa entre 35-40 días, en temporada de lluvia no regar. Se puede colocar de preferencia en la parte alta del muro, donde la humedad está presente en menor tiempo.
Plagas y enfermedades	Rara vez es atacada por insectos y enfermedades.	En algunas de las plantas hubo presencia de áfidos (pulgones) y en el futuro puede ser un problema en las hojas jóvenes.
Afectación a estructuras	Las raíces no dañan la estructura del muro verde con el material de tuboplus.	Las raíces no dañan la estructura del muro verde con el material de tuboplus.
Uso recomendable para el muro	Cada nudo del tallo va enraizando si está en contacto con el sustrato, por lo que va cubriendo las áreas desprovistas de vegetación. Sus tallos colgantes son ideales para cubrir pequeñas y delicadas áreas del muro verde además de con el color de sus hojas dar contraste en figuras que se haga en el muro. Y debe conservar su humedad del suelo las hojas se desecan y estéticamente no es muy bonito, además no le afectan plagas conocidas.	Sus tallos alargados cuelgan es ideal para cubrir un muro de grandes dimensiones que requiera verse de lejos, ya que al ser tallos colgantes son ideales para formas cortinas en el muro. Y además de tener el plus de ser una planta con aroma sutil que refresca el lugar entre más humedad haya presente.

Se diseñó, construyó e implementó una propuesta de muro verde con los componentes básicos que se eligieron para cubrir las necesidades de las plantas utilizadas. Los elementos con los que se trabajaron a lo largo de este proyecto fueron los siguientes:

Una estructura básica construida con el tubo plus línea sanitaria como un material cilíndrico, impermeable, durable, ligero, una manguera de plástico y de costos accesibles.

Una captación, distribución y recirculación del agua pluvial en los diferentes compartimientos de la propuesta utilizando el calor solar como fuente de energía para su reciclado.

Se utilizó una mezcla de sustratos adecuados para el establecimiento, crecimiento y desarrollo de las plantas perennes *Tradescantia zebrina* y *Plectranthus hadiensis* de rápido crecimiento y resistencia al estrés hídrico. Para ello, se usó los sustratos de peat-moss y agrolita como materiales ligeros y con buena capacidad de retención de agua, además de ser enriquecidos con el abono orgánico de vermicomposta.

Las características de la propuesta de muro verde se cotizaron a un precio total de \$1,350 pesos por 2 m de altura x 1.5 m de ancho, un mantenimiento cada seis meses por el pegado de la manguera con Resistol 5000 y de colocar los nutrimentos de vermicomposta una vez al año

El tratamiento 1 (40% agrolita, 40% peat-moss y 20% vermicomposta) tuvo mayor efecto en el crecimiento de número de hojas, de ramas, el diámetro de la hoja, peso fresco y seco de la parte aérea y de la raíz, la longitud de raíz de las plantas de *Plectranthus hadiensis*; esto debido al equilibrio de los sustratos inorgánico (agrolita) y orgánico (peat-moss) junto con su agregado de nutrimentos (vermicomposta) para un mejor crecimiento de las plantas en el muro verde.

Para *Tradescantia zebrina* el tratamiento 1 tuvo mayor efecto en el crecimiento de la altura del tallo, número de hojas, ramas, el diámetro de la hoja, peso fresco y seco de la parte aérea y de la raíz.

El comportamiento del flujo de agua en la propuesta del muro verde fue a través de la zona de mayor temperatura en el calentador de agua o recirculador y la temperatura más baja fue en el tercer contenedor de los sustratos y las plantas.

Se observó que *Plectranthus hadiensis* tuvo un mayor porcentaje de supervivencia que *Tradescantia zebrina* y la altura del tallo le confirió cierta ventaja sobre la otra planta.

Por lo que en el presente trabajo se propone un diagrama de un prototipo de muro verde, ya que sería una alternativa para crear nuevos espacios naturados con el propósito de incrementar las áreas verdes.

Dado lo anterior, es recomendable que la superficie de captación de agua se incremente, poniendo más grande los captadores, así como, incluir el sistema de captación de neblina para adquirir más humedad en las plantas; así también, una estructura reflejante del calor para aumentar la temperatura y permitir mayor recirculación en menor tiempo de la recirculación del agua, la utilización de otras mezclas de sustratos complementarios y otras plantas con características similares a las que se mencionan en este trabajo de propuesta de muro verde de bajo insumo, utilizando agua pluvial, para la naturación urbana; todo en beneficio de la sociedad, en la recuperación y creación de nuevas áreas verdes en zonas urbanas del país.

Con este trabajo se considera que los resultados que se obtuvieron fueron favorables para despertar el interés y la conciencia a futuros biólogos que se basen en cubrir las necesidades de las plantas y con esto crear nuevas propuestas a las establecidas de naturación urbana, como en este caso los muros verdes. Y así, motivar a otros profesionistas, carreras o disciplinas relacionadas interesadas en este tema, con la intención de hacer grupos multidisciplinarios.

Tabla 14a. Características principales de las especies *Tradescantia zebrina* y *Plectranthus*

Nombre científico	<i>Tradescantia zebrina</i>	<i>Plectranthus hadiensis</i>
Nombre común	zeberina, matalí, cucaracha, hierba del pollo, matlalin, amor de hombre, cortina de sala, pico de pollo, sinvergüenza, tripa de pollo. San Luis Potosí: utek', tsak utek' (tenek). (BDMTM, 2009)	Planta del vaporub, coleo aromático. (Jiménez-Merino, 2011)
Información taxonómica	Reino: Plantae Phylum: Magnoliophyta Clase: Liliopsida Orden: Commelinales Familia: Commelinaceae Género: <i>Tradescantia</i> Nombre Científico: <i>Tradescantia zebrina</i> var. <i>zebrina</i> Heynh. ex Bosse (Tropicos.org, 2016)	Reino: Plantae Phylum: Magnoliophyta Clase: Magnoliopsida Orden: Lamiales Familia: Lamiaceae Género: <i>Plectranthus</i> Nombre Científico: <i>Plectranthus hadiensis</i> (Forssk.) Schweinf. ex Sprenger (Tropicos.org, 2016)
Descripción general y características de la especie	Con tallos decumbentes o rastreros, enraizando en los nudos. Hojas 2.5-10 x 1.5-3.5 cm, ovado-oblongas a anchamente ovadas, agudas, redondeadas en la base, algo carnosas, verdes y/o purpúreas en el haz, frecuentemente con rayas plateadas, de manera general purpúreas en el envés, las hojas más viejas muestran un uniforme magenta profundo. (Gerrit et al., 1994)	Son hierbas semi-suculentas perennifolias. Tiene tallos erectos a decumbentes, que alcanza un tamaño de 0,5 a 1,5 m de altura, escasamente a densamente tomentoso. Hojas pecioladas; hoja mediana y textura gruesa, ovadas a sub-redonda, (de 35) 40-105 x (25 a) 30 a 100 mm, densamente lanoso-tomentoso, ápice agudo a redondeado, cuneadas base sub-cordadas, margen superficialmente a bastante crenado-dentado; pecíolo de 10 a 40 mm de largo. Las inflorescencias terminales, simples o con 1 a 2 pares de ramas cerca de la base. Corola de manera general con tonos malva a morado, raramente blancas, finamente pubescentes y con glándulas en los labios. (AFPD, 2008)
Hábitat, distribución y permanencia de las hojas	Perenne (planta que conserva su follaje todo el año). Presente en climas cálidos, semicálidos, semisecos y templados, nativa de Centro y Sur América, extensamente cultivada en muchos países cálidos de (0-1500 msnm). (Gerrit et al., 1994)	Perenne. Presente en climas tropicales, cálidos, semisecos, a veces secos y templados. Se encuentra desde el Transkei, Natal, Swazilandia, Transvaal y el este tropical de África a Somalia y el sur de la Península Arábiga, en los márgenes del bosque en el bosque seco y entre las rocas en los pastizales de (500-1500 msnm) (AFPD, 2008)

Tabla 14b. Características principales de las especies *Tradescantia zebrina* y *Plectranthus*.

Especie vegetal	Características de las especies vegetales	
	<i>Tradescantia zebrina</i>	<i>Plectranthus hadiensis</i>
Fertilización	Un año después se procederá a la aplicación de un abono orgánico con base en el humus de lombriz o vermicomposta en pequeñas cantidades. No se recomiendan fertilizantes químicos por la salinidad que provocaría y daños a las raíces por la poca profundidad o grosor del sustrato. (Reyes <i>et al.</i> , 2014)	Un año después se procederá a la aplicación de un abono orgánico con base en el humus de lombriz o vermicomposta en pequeñas cantidades. No se recomiendan fertilizantes químicos por la salinidad que provocaría y daños a las raíces por la poca profundidad o grosor del sustrato. (Reyes <i>et al.</i> , 2014)
Tiempo para cubrir un área en el muro verde	5-6 meses. (Jiménez-Merino, 2011)	4-5 meses. (AFPD, 2008)
Tipo de propagación para la plantación	Esqueje por sus tallos decumbentes o rastreros, que fácilmente enraízan en los nudos. Debe tener un tallo de 3 cm y 5 hojas como mínimo al momento del trasplante. (Gerrit <i>et al.</i> , 1994)	Esqueje y/o hijuelo. Esqueje: tomado a partir de las hojas juveniles y el corte hecho en un nudo, y el desarrollo del hijuelo en la punta de la ramificación antes de presentar su inflorescencia. Debe tener un tallo de 3 cm y 10 hojas como mínimo al momento de la plantación. (Russell <i>et al.</i> , 1987)
Temporada para realizar las plantaciones	Primavera-verano de preferencia para aprovechar la época de lluvia. Se puede hacer en otoño incluso, evitando la época de sequía o de invierno. (Reyes, 2015)	En los meses de junio a septiembre para aprovechar la época de lluvia, aunque es una especie de fácil manejo, es decir, puede trasplantarse en época de secas con sus riegos respectivos. (Reyes, 2015)
Tipo de suelo	La planta vive bien en suelos superficiales con poca humedad. Requiere de suelo drenado, pero con un suelo húmedo también puede vivir bien mientras no sea muy arcilloso. (Reyes <i>et al.</i> , 2014)	La planta vive bien en suelos superficiales con poca humedad. Requiere de suelo drenado, aunque es tolerante a suelo arcilloso, pero con poca humedad. (Reyes <i>et al.</i> , 2014)
Temperatura	Temperatura mínima de 1°C hasta una máxima de 35°C. Soporta heladas ligeras. Resiste ambientes húmedos, pero con mucho sol, no resiste a la sequía extrema. (CONABIO, 2014)	Es resistente al frío, pero no heladas. La planta puede tolerar temperaturas de 0-35 °C. Es muy resistente a los rayos solares y calor extremo, no resiste mucho a la continua exposición a la humedad sin luz solar. (Russell <i>et al.</i> , 1987)
Condiciones de luz	Media sombra, aunque con la humedad necesaria puede estar al sol directo. Necesita la luz del sol directo por unas horas para conservar sus tonalidades de colores intensos de verde y púrpura, la sombra le afecta. Bajo sombra se alarga y las hojas se debilitan y se tornan verde pálido, el cual pierde su estética. (CONABIO, 2014)	Sol directo, de preferencia. Esta especie gusta del sol en zonas templadas, puede adaptarse a sitios con pocas horas de luz del sol. (Russell <i>et al.</i> , 1987)
Condiciones de humedad	No le afecta el exceso de humedad a la planta. Podría estancarse el agua sin problemas, sin embargo, se desarrolla y crece mejor con un sustrato poroso. (Gerrit <i>et al.</i> , 1994)	El exceso de humedad afecta a la planta. No debe estancarse el agua, por eso el sustrato debe formularse con la mitad de porosidad. (Russell <i>et al.</i> , 1987)
Características Paisajísticas	Utilizada comúnmente como planta ornamental a media sombra por su aspecto colgante o en exterior de porte rastrero. Su estética radica en las hojas dispuestas por sus hojas anchamente ovadas y redondeadas en la base, con sus tonalidades de colores intensos de verde y púrpura presente en las más jóvenes, y las más viejas e inferiores verdes con dos tiras plateadas, las hojas más viejas muestran un uniforme magenta profundo que le da un toque de elegancia magistral al diseño del muro. (Bali, 2001)	Tiene tallos erectos a decumbentes, por lo cual su tallo colgante forma una cortina de diferentes niveles que puede ser guiado para su crecimiento. Además de su aroma a alcanfor o a mentol que le da un toque aromático al lugar. (Bali, 2001)

1°, 2° y 3° Contenedor de las especies vegetales del muro verde

Plectranthus hadiensis (Ph) y *Tradescantia zebrina* (Tz)

Tabla 15. Medidas de la altura del tallo de las especies vegetales del primer contenedor del muro verde.

Medidas de la parte aérea en cm		Altura del tallo						
Especies vegetales	Ph	Tz	Ph	Tz	Tz	Ph	Tz	Ph
Semana								
1°	3.0	3.1	3.06	3.08	3.22	3.0	3.0	3.18
2°	4.2	5.5	4.0	3.1	3.8	4.0	4.2	4.9
3°	9.3	9.1	8.5	7.8	8.0	6.5	9.2	10.6
4°	14.1	9.5	9.1	7.8	9.2	6.5	9.4	15.2
5°	18.8	10.0	9.1	8.0	10.5	6.8	9.8	18.8
6°	21.5	10.7	10.7	8.4	10.6	7.0	10.6	22.2
7°	24.6	11.5	12.2	8.4	11.7	7.4	11.8	24.5
8°	29.5	12.4	13.1	7.2	11.9	7.9	12.1	27.6
9°	36.7	12.7	13.1	7.0	12.4	8.0	12.6	31.8
10°	46.3	13.0	13.6	0	12.4	8.5	13.5	36.2
11°	66.4	13.5	15.3	0	12.6	8.5	13.6	39.4
12°	89.5	13.5	16.1	0	12.6	8.5	13.7	40.1

Tabla 16. Medidas del número de hojas de las especies vegetales del segundo contenedor del muro verde.

Medidas de la parte aérea en cm		Número de hojas						
Especies vegetales	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph
Semana								
1°	10	10	10	10	10	10	10	10
2°	10	10	10	9	10	10	10	10
3°	10	12	11	8	9	10	7	11
4°	12	22	18	8	12	17	9	17
5°	16	39	24	9	16	22	15	25
6°	19	51	29	11	19	29	18	31
7°	26	67	35	15	24	37	26	38
8°	38	74	40	9	27	48	29	46
9°	44	81	44	9	30	54	33	58
10°	59	89	48	8	35	59	37	72
11°	64	92	53	7	42	62	44	84
12°	72	94	55	0	46	64	48	96

Tabla 17. Datos del número de ramas de las especies vegetales del tercer contenedor del muro verde.

Medidas de la parte aérea en cm		Número de ramas						
Especies vegetales	Ph	Ph	Ph	Ph	Tz	Tz	Tz	Tz
Semana								
1°	1	1	1	1	1	1	1	1
2°	1	1	1	1	1	1	1	1
3°	1	1	2	1	1	2	1	1
4°	2	1	2	1	1	2	1	3
5°	2	2	4	1	2	2	2	3
6°	5	2	4	0	2	3	2	5
7°	5	2	4	0	3	3	2	5
8°	5	3	4	0	3	4	2	5
9°	5	3	4	0	3	5	3	5
10°	7	3	4	0	4	5	3	5
11°	7	4	4	0	4	5	3	5
12°	7	4	4	0	4	5	3	5

1° Contenedor de las especies vegetales en el muro verde

Plectranthus hadiensis (Ph) y *Tradescantia zebrina* (Tz)

Tabla 18. Datos del número de hojas, diámetro de las hojas y número de ramas de las especies vegetales del 1° contenedor del muro verde.

Medidas de la parte aérea		Numero de ramas						
Especies vegetales	Ph	Tz	Ph	Tz	Tz	Ph	Tz	Ph
Semana								
1°	1	1	1	1	1	1	1	1
2°	1	1	1	1	1	1	1	1
3°	1	1	1	1	1	1	1	2
4°	1	1	1	1	1	1	2	2
5°	2	1	1	1	1	2	2	4
6°	2	1	1	1	1	2	3	4
7°	3	3	1	1	1	2	3	4
8°	3	3	1	1	3	2	3	4
9°	4	3	1	1	3	4	5	6
10°	4	3	1	0	4	4	5	7
11°	4	3	3	0	4	4	5	7
12°	4	3	3	0	4	4	5	7

Medidas de la parte aérea		Numero de hojas						
Especies vegetales	Ph	Tz	Ph	Tz	Tz	Ph	Tz	Ph
Semana								
1°	10	5	10	5	5	10	5	10
2°	12	5	13	6	5	13	5	12
3°	12	6	9	7	7	16	6	13
4°	28	8	12	7	7	21	6	16
5°	41	8	15	6	8	24	10	16
6°	62	9	19	6	8	29	12	28
7°	66	13	22	4	12	31	15	44
8°	75	13	28	2	12	31	18	59
9°	87	15	33	2	16	48	18	64
10°	95	16	37	0	16	53	22	69
11°	98	18	37	0	18	59	24	72
12°	112	18	40	0	22	66	24	78

Medidas de la parte aérea en cm		Diámetro de hoja						
Especies vegetales	Ph	Tz	Ph	Tz	Tz	Ph	Tz	Ph
Semana								
1°	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4	0.5	0.5
2°	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4	0.5	0.5
3°	0.6	0.5	0.6	0.6	0.8	0.5	0.6	0.8
4°	0.9	0.9	0.6	0.8	0.8	0.6	0.7	0.9
5°	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9
6°	0.9	1.0	0.9	0.6	1.0	1.0	1.0	1.2
7°	1.0	1.2	1.0	0.4	1.3	1.1	1.0	1.6
8°	1.2	1.4	1.1	0.4	1.6	1.5	1.4	1.8
9°	1.5	1.6	1.4	0.4	1.6	1.6	1.4	1.8
10°	2.0	1.6	1.5	0	1.8	1.6	1.6	2.0
11°	2.0	2.0	1.6	0	2.2	1.8	1.9	2.0
12°	2.5	2.0	1.8	0	2.2	2.0	2.0	2.2

2° Contenedor de las especies vegetales en el muro verde

Plectranthus hadiensis (Ph) y *Tradescantia zebrina* (Tz)

Tabla 19. Datos de la altura del tallo, diámetro de las hojas y número de ramas de las especies vegetales del 2° contenedor del muro verde.

Medidas de la parte aérea en cm		Altura del tallo						
Especies vegetales	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph
Semana								
1°	4.0	4.1	4.06	4.08	4.22	4.0	4.0	4.18
2°	4.2	4.15	4.0	4.1	4.31	4.0	4.2	4.2
3°	8.9	8.3	8.9	6.2	6.6	6.2	6.8	8.9
4°	12.3	9.7	12.6	6.3	7.1	6.5	8.6	12.3
5°	15.6	11.7	16.6	6.3	8.4	6.6	10.3	19.1
6°	25.7	11.9	29.3	6.3	10.8	7.0	12.5	25.7
7°	38.8	14.4	35.8	6.6	15.6	7.4	16.7	33.3
8°	49.9	15.8	47.2	6.5	17.4	8.2	17.9	41.9
9°	68.4	16.7	55.9	6.2	19.9	8.5	20.4	58.4
10°	77.7	17.9	66.5	6.0	23.0	8.8	22.6	69.0
11°	85.6	19.8	72.2	6.0	24.3	9.0	23.5	71.2
12°	93.2	22.6	86.3	0	24.6	9.0	24.8	78.4

Medidas de la parte aérea en cm		Diámetro de hoja						
Especies vegetales	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph
Semana								
1°	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4	0.5	0.5
2°	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4	0.5	0.5
3°	0.5	0.8	0.8	0.6	0.8	0.7	0.8	0.8
4°	0.5	0.9	0.9	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9
5°	0.9	0.9	1.0	0.8	1.0	1.0	0.9	0.9
6°	0.9	0.9	1.2	0.9	1.0	1.2	1.2	1.3
7°	1.2	1.4	1.4	1.0	1.2	1.4	1.5	1.6
8°	1.2	1.5	1.8	1.1	1.5	1.7	1.6	1.8
9°	1.5	1.7	1.8	1.1	1.8	2.0	1.6	2.0
10°	1.8	1.7	1.9	1.1	1.8	2.4	1.8	2.4
11°	2.2	2.0	2.2	1.1	2.0	2.4	2.2	2.8
12°	2.5	2.0	2.3	0	2.1	2.5	2.2	2.8

Medidas de la parte aérea		Numero de ramas						
Especies vegetales	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph
Semana								
1°	1	1	1	1	1	1	1	1
2°	1	1	1	1	1	1	1	1
3°	1	1	1	1	1	1	1	1
4°	1	2	1	1	1	2	1	1
5°	1	2	1	1	1	2	1	1
6°	1	2	1	1	1	3	1	1
7°	1	4	1	1	1	3	1	1
8°	1	4	1	1	1	3	1	1
9°	1	4	1	1	1	3	1	1
10°	1	4	1	1	2	4	2	1
11°	1	4	2	1	2	4	2	1
12°	1	4	2	0	2	4	3	1

3° Contenedor de las especies vegetales en el muro verde

Plectranthus hadiensis (Ph) y *Tradescantia zebrina* (Tz)

Tabla 20. Datos de la altura del tallo, número de hojas y diámetro de las hojas de las especies vegetales del 3° contenedor del muro verde.

Medidas de la parte aérea en cm		Altura del tallo						
Especies vegetales	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph	Tz	Tz	Tz
Semana								
1°	4.0	4.1	4.06	4.08	4.22	4.0	4.0	4.18
2°	9.4	10.1	4.0	5.1	6.3	4.7	4.2	5.5
3°	18.9	14.9	6.8	6.4	8.9	6.5	4.7	7.5
4°	32.4	26.4	6.8	6.5	11.2	6.6	5.4	8.8
5°	58.9	37.9	7.2	6.5	13.5	8.6	6.8	10.1
6°	66.6	45.8	7.3	0	15.6	9.3	7.8	13.6
7°	79.4	54.7	9.1	0	15.8	10.9	7.8	13.8
8°	90.7	65.6	11.4	0	17.4	12.8	9.7	16.7
9°	117.7	72.1	12.8	0	19.9	12.8	9.7	16.8
10°	128.2	80.7	14.0	0	23.3	14.7	10.5	18.9
11°	136.1	88.6	15.2	0	27.6	16.4	11.6	21.2
12°	145.7	95.2	15.2	0	34.7	16.4	12.1	21.8

Medidas de la parte aérea		Numero de hojas						
Especies vegetales	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph	Tz	Tz	Tz
Semana								
1°	10	10	10	10	10	5	5	5
2°	12	12	10	5	10	6	6	8
3°	15	14	11	2	12	7	8	10
4°	29	26	15	2	14	8	8	16
5°	33	38	23	1	20	8	11	18
6°	54	51	38	0	27	10	11	21
7°	58	59	49	0	34	12	13	24
8°	77	66	51	0	44	14	14	24
9°	84	74	62	0	51	15	15	26
10°	97	85	78	0	56	15	16	28
11°	112	94	80	0	62	18	16	30
12°	125	103	84	0	62	18	16	30

Medidas de la parte aérea en cm		Diámetro de la hoja						
Especies vegetales	Ph	Ph	Ph	Ph	Ph	Tz	Tz	Tz
Semana								
1°	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4	0.5	0.5
2°	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4	0.5	0.5
3°	0.6	0.8	0.6	0.7	0.8	0.6	0.7	0.9
4°	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9
5°	1.2	0.9	1.1	1.0	0.9	0.9	1.0	1.4
6°	1.5	1.3	1.4	0	1.1	1.1	1.3	1.6
7°	1.6	1.6	1.6	0	1.1	1.5	1.6	1.8
8°	1.9	1.8	1.8	0	1.3	1.5	1.6	2.0
9°	2.4	2.2	2.0	0	1.5	1.8	1.6	2.1
10°	2.6	2.2	2.2	0	1.8	2.0	2.0	2.4
11°	2.8	2.4	2.2	0	2.0	2.2	2.0	2.5
12°	2.8	2.4	2.2	0	2.1	2.4	2.0	2.7

- Abad-Berjon M, Noguera-Murray P, Carrión-Benedito C. (2004). Tratado de cultivo sin suelo. Madrid, España: Mundi Prensa Libros S. A. Pp.113-158.
- AFPD (African Flowering Plants Database). 2008. [en línea] Base de Donnees des Plantes a Fleurs D'Afrique [fecha de consulta 20 de octubre del 2016]. Disponible en: <https://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/afrique/recherche.php>
- Alonso, J., Chanampa M., Vidal P., Guerra R., Neila F. J., Bedoya C. 2009. "Sistemas vegetales que mejoran la calidad ambiental de las ciudades". *Cuadernos de Investigación Urbanística CICR*, 67, 49–67 pp. España.
- Altieri, M., Nicholls C. 2000. "Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable" Ed. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 250 pp. México, D.F.
- Ansorena, M. J. 1994. "Sustratos Propiedades y caracterización" Laboratorio Agrario, Departamento de Agricultura y Espacios Naturales. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Bali, J. 2001. "Jardinería mexicana" 2° ed., Editorial México desconocido y CONACULTA (Consejo Nacional para la Cultura y las Artes de México), 211 pp. México DF.
- BDMTM (Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana) [en línea]. Atlas de las Plantas de la Medicina Tradicional Mexicana (APMTM), 2009, [fecha de consulta 28 de septiembre del 2016]. Disponible en: <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/monografia.php?l=3&t=&id=7177>
- Belarbi, R. Jaffal I., Ouldboukhite S. E. 2012. "A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance". *Renewable Energy*, Vol.43, pp. 157–164. England.
- Bircler, T y Rose, R. 1998. La planta ideal: Revisión del concepto, parámetros, definitorios e implementación práctica. *Investigación Agraria, Sistema y Recursos Forestales*, 7 (1 y 2), 109-121.
- Blanc, P. 2000. *Murs végétaux : la biodiversité en ville*. Ed. Archi Créé. France. 58-59 pp.
- Blanc, P. 2006. [en línea] The vertical garden, from nature to cities. [fecha de consulta 02 de agosto del 2016]. Disponible en: www.verticalgardenpatrickblanc.com.
- Braulio, M. N. 2012. *Factor de Homologación en el método de mercado para la vivienda con ecotecnologías*. Tesina de licenciatura. Facultad de Arquitectura especialidad en valuación inmobiliaria. UNAM. México, DF.
- Britto, C. 1998. "La cubierta ecológica". 1° Congreso Mundial de Salud y Medio Ambiente Urbano. "Propuestas de Futuro". Ayuntamiento de Madrid, España
- Briz, J. 1999. "Naturación Urbana: Cubiertas ecológicas y de mejora ambiental". Mundi-prensa libros, pp. 390. Madrid, España.
- Briz, E. J. 2003. *Naturación Urbana en España: Cubiertas ecológicas y mejora medioambiental*. 2ª edición. Mundiprensa, pp. 396. Madrid, España.

- Briz, J., De Felipe I. 2014. "La naturación urbana: una apuesta para la mejora medioambiental de nuestro entorno" Universidad Politécnica de Madrid. ACTA pp. 29- 38. España.
- Buraglia, M., Alarcon D., Triana M. 2013. "Jardines verticales y sistemas botánicos en entornos urbanos". *Revista Digital de Diseño Facultad de Diseño, Imagen y Comunicación* de la Universidad del Bosque. Ed. 9°, 50-65 pp. España.
- Burhan, Ö. T., Elif K. 2013. [en línea] "Vertical Gardens", *Advances in Landscape Architecture*, Ed. Dr. Murat Ozyavuz, InTech, [fecha de consulta 26 de julio del 2016]. Disponible en: <http://www.intechopen.com/books/advances-in-landscape-architecture/vertical-gardens>
- Carpenter, S. 2014. "Growing Green guide: A guide to green roofs, walls and facades in Melbourne and Victoria, Australia". *Department of Environment and Primary Industries*. National Library of Australia Cataloguing in Publication data, 142 pp. Australia.
- Castillo M. F. A .2014. *Hidrosiembra para la naturación vertical de zonas Urbanas*. Tesis de Licenciatura, FES Zaragoza, UNAM, 84 pp. México, DF.
- COM (Comisión de las Comunidades Europeas), 2000. "Libro verde: Cuestionamientos medioambientales relacionados con el PVC", Bruselas, Bélgica.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la biodiversidad). 2009. "Catálogo taxonómico de especies de México". 1. En Capital Nacional. México, D.F.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la biodiversidad) [en línea]. "Enciclo vida", Biodiversidad mexicana, 2014. [fecha de consulta 26 de septiembre del 2016]. Disponible en: <http://bios.conabio.gob.mx/especies/6025906> o <http://bios.conabio.gob.mx/>
- Cruz-Crespo, E., Can-Chulim A., Sandoval-Villa M., Bugarín-Montoya R., Robles-Bermúdez A., Juárez-López P. 2012. "Sustratos en la horticultura", Unidad Académica de Agricultura. Universidad Autónoma de Nayarit. Revista Bio ciencias ISSN: 2007-3380. Nayarit, México.
- Cuéntame de México, INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), 2017. [en línea] Información del territorio, población y economía mexicana [Fecha de consulta: 07 de marzo del 2017] Disponible en: www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/clima.aspx?tema=me&e=09
- De Felipe, I., Briz, J. 2005. "Incorporación de la naturaleza en cada rincón de la ciudad: Naturación urbana". *Arquitectura del Paisaje: Construcción y medio ambiente*, No. 120, 12–19 pp. España.
- Dunnett, N.P., Kingsbury N. 2004. "Planting green roofs and living walls". Timber Press, Portland (OR), USA.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2010. "Crear ciudades más verdes". Programa de las Naciones Unidas para la Agricultura urbana y Periurbana.
- Fernández, C. R. 2010a. "Jardines Verticales: Diseño, construcción y mantenimiento". Fundación Juana de Vega. Terapia Urbana. Universidad de Sevilla, Departamento de Ciencias Agroforestales. Sevilla, España.

- Fernández, T. C. 2010b. "Muro Verde: Sistema de Contención respetuoso con el Medio Ambiente (CONAMA)". Congreso nacional del medio ambiente ed. TECONMA (Tecnologías para la Conservación del Medio Ambiente), Madrid, España.
- Fernández-Cañero, R., Pérez N., Quevedo S., Pérez L., Franco A. 2008. "Ajardinamiento de fachadas y jardines verticales": *otras formas de jardinería aplicadas a un desarrollo urbano más sostenible*. Departamento de Ciencias Agroforestales, de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos, Universidad de Sevilla. Actas de Horticultura n° 52. *Innovación y futuro en la jardinería*. I Simposio Iberoamericano IV Jornadas Ibéricas de Horticultura Ornamental. Pontevedra, España.
- Fifield, J. S., Malnor L. K. 1998. "Erosion control materials vs a semiarid environment, what has been learned from three years of testing?" *IECA Soil Stabilization series: Vol, 4 Erosion control product performance and evaluation*.
- Gerrit, D., Sousa M., Chater Q. A. 1994. "Flora Mesoamericana, Vol. 6 Alismataceae a Cyperaceae". Missouri Botanical garden, The natural History Museum (London), ed. Instituto de biología de la UNAM. México DF.
- GLOBE (Global Learning and Observation to Benefit the Environment), 2005. [en línea] "Investigación de la Atmósfera". Manual de investigación y de Aprendizaje de Perú: [Fecha de consulta: 16 de abril de 2017] Disponible en: https://www.globe.gov/documents/10157/381040/atmo_chap_es.pdf
- Gonchar, J. 2009. "Vertical and verdant, living wall systems sprout on two buildings, in Paris and Vancouver", *Architectural Record*, McGraw-Hill Construction. Paris, France.
- Gómez-Mendoza, J. 2004. "Naturaleza y ciudad: diseño urbano con criterios ecológicos, geográficos y sociales", Publicación: *El Ecologista*, No. 38, pp. 50-53. Sevilla, España.
- Gross, G. 2012. "Effects of different vegetation on temperature in an urban building environment". *Micro-scale numerical experiments*. Meteorologische zeitschrift, 21(4), 399–412 pp. Germany.
- Hernández, Z. Y. 2013. *Inoculación con micorriza arbuscular y uso de vermicomposta en el cultivo de albahaca (Ocimum basilicum L.) en una azotea naturada*. Tesis de Licenciatura, FES Zaragoza, UNAM, 69 pp. México, D.F.
- Hopkins G., Goodwin C. 2011. "Living architecture: Green roofs and walls". Collingwood: CSIRO Publishing. 10 pp. VIC, Australia.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), versión beta, 2017. [en línea] Información sociodemográfica, estadística censos y mapas de México [Fecha de consulta: 07 de marzo del 2017] Disponible en: www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/climatologia/
- INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas), 2016 [en línea] "El pluviómetro artesanal: una manera práctica de medir la precipitación" Investigación y transferencia de tecnología agropecuaria e ingeniería agronómica: [Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2016] Disponible en: <http://www.inia.gob.ve>
- Jacobs, H. 2008. "Green Roof Organization". *Introduction to Green Walls Technology, Benefits & Design Green Plants for Green Buildings*, 8 pp. London, England.

- Jiménez-Merino, A. 2011. "Herbolaria Mexicana", Universidad Autónoma de Chapingo-Colegio de Postgraduados, bba (biblioteca básica de agricultura), Ed. Mundi Prens, 1 edición, México, DF.
- Kappis C., 2010. "Wirtschaftliche Aspekte Grüner Gleise". *Das Grüne GleisVegetationstechnische, Ökologische und ökonomische Aspekte der Gleisbettbegrünung*, 91–108 pp., Berliner, Deutschland.
- Koehler, M. 2003. "Plant survival research and biodiversity: lessons from Europe", in: *Greening Rooftops for Sustainable Communities*, 313– 322 pp. Chicago, E.E.U.U.
- Leonardo, L. R. 2013. *Biofertilizantes como opción de naturación de azoteas en zonas urbanas*. Tesis de Licenciatura, FES Zaragoza, UNAM, 75 pp. México, D.F.
- Martínez, N. V. 2016. *Estudio de factibilidad de un modelo de muro verde para la producción de hortalizas de hoja*. Tesis de licenciatura, FES Zaragoza, UNAM, 194 pp. México, DF.
- Maryam-Mofidpoor. 2007. "Quality of Peat-moss as a component of growing media". Thesis the degree of Master of science. Soil Science, The University of British Columbia.
- Meléndez, B. P. R. 2016. *Determinación del efecto de Micorrizas Arbusculares en el cultivo de plantas medicinales, en una azotea naturada en la FES Zaragoza*. Tesis de Licenciatura, FES Zaragoza, UNAM, 82 pp. Ciudad de México.
- Mendoza, G. L. 2008. "Manual de lombricultura". Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Chiapas. Ed. Secretaria de Educación Pública (SEP). México, Chiapas CECYTECH-DG-UI-ENC-001.
- Metselaar, K. 2012. "Water retention and evapotranspiration of green roofs and possible natural vegetation types". *Resources Conservation and Recycling*, 64, 49–55 pp. Holland.
- Meza, M. C. J. & Moncada. 2010. Las áreas verdes de la Ciudad de México. Un reto actual. Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. [En línea]. Barcelona: Universidad de Barcelona. Vol. XIV: 331 (56pp).
- Minke, G. 2012. "Muros y fachadas verdes, jardines verticales: Sistemas y Plantas, Funciones y Aplicaciones" 1 edición, ed. Merlín, 88 pp. Cali, Colombia.
- Muntané, M.C. R., De Oleza J. 2002. *Ecourbanismo*. Entornos Urbanos sostenibles. Ediciones UPC GG. Barcelona, España.
- Nardini, A., Andri S., Crasso M. 2012. "Influence of substrate depth and vegetation type on temperature and water runoff mitigation by extensive green roofs": Shrubs versus herbaceous plant. *Urban Ecosystem*, Vol. 15(3), 697–708 pp. France.
- Neila, F. J., Bedoya, C., Acha, C., Olivieri, F., Barbero, M. 2008. Las cubiertas ecológicas de tercera generación: Un nuevo material constructivo. *Informes de la Construcción*, No. 60, pp. 15–24. España.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas) 2011. Documento de la Conferencia: El agua en la economía verde en la práctica: hacia Río+20. Programa de la ONU-Agua para la Promoción y la Comunicación en el marco del Decenio (UNW-DPAC). Oficina de Naciones Unidas de apoyo al Decenio Internacional para la Acción "El agua, fuente de vida" 2005-2015. pp. 4. Zaragoza, España.
- PAOT (Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F.) 2010. Presente y Futuro de las Áreas Verdes del Arbolado de la Ciudad de México, 1 ed., edición ekilibria, pp. 257. México, D.F.

- Paredes, R., Pons J., Gámez F. 2007. "Preparación de abonos orgánicos a partir de estiércol" INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) y Fundación Guanajuato Produce A. C., 6 pp., Guanajuato, México.
- Park, S.H., 2006. [en línea] "Randomized clinical trials evaluating therapeutic influences of ornamental indoor plants in hospital rooms on health outcomes of patients recovering from surgery". Tesis Doctoral, Kansas State University, Manhattan, USA [fecha de consulta 02 de octubre del 2016]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2097/227>
- Parker, R. 2000. "La ciencia de las plantas". Ed. Paraninfo y Thomson Learning, 628 pp. Madrid, España.
- Perini, K., Ottelé M., Haas E. M., Rossana R. 2011. "Greening the building envelope, façade greening and living wall systems" *Faculty of Architecture*, University of Genoa Stradone, 8 pp., Genoa, Italy.
- Planta oxígeno. 2018. [en línea] Servicios y venta de productos de naturación urbana y muros verdes [Fecha de consulta: 07 de enero del 2018] Disponible en: <http://plantaoxigeno.com/>
- Reyes, S. J., Islas L. M. A., González Z. O. 2014. "Guía práctica de propagación y cultivo de las especies del género Echeveria: También conocidas como conchitas, lenguas de vaca, magueyitos, rosetas y tememetla", Universidad Autónoma de México (UNAM). Instituto de biología. Ciudad de México.
- Reyes, S. J. 2015. "Paleta vegetal de usos recomendables para un muro verde". Curso, *Sistemas de Naturación de Espacios Urbanos: azoteas y muros verdes*. Jardín botánico, Instituto de biología. Programa de Universitario de Estrategias para la Sustentabilidad. Ciudad de México.
- Richardson, S. J. 1992. "ADAS" Regional Centre. Cambridge. United King.
- Roca, F.A.I. 2007. "Elementos del suelo esenciales para las plantas", Departamento de producción animal centro de investigaciones agrarias de Mabegondo, España.
- Rodríguez, G. 2002. "Hidroponía: Agricultura y bienestar" Difusión cultural de la Universidad Autónoma de Chihuahua, 175 pp. Chihuahua, México.
- Rotoplas [en línea] "Soluciones para conducción, Manual técnico: Tuboplus, Rotoplas. Línea Sanitaria", 2011. [fecha de consulta 04 de mayo del 2016]. Disponible desde: www.rotoplasdistribuidor.com
- Russell, G. E. G., Welman W. G. M, Retief E. K. L., Immelman, G., Germishuizen B. J., Pienaar, Wyk M. V., Nicholas A. 1987. "List of species of southern African plants". *Mem. Bot. Surv. S. Africa* 2(1-2): 1-152(pt. 1), 1-270(pt. 2).
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2011. "Biodiversidad: conocer para conservar" 1° ed. *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN) de la SEMARNAT*. 210 pp. México DF.
- Serrato G. S. A. 2014. *Modelo de muros verdes con plantas crasas para el oriente de la Ciudad de México*. Tesis de licenciatura, FES Zaragoza, UNAM, 76 pp. México, DF.
- Sharp, R. 2007. "6 Things You Need to Know About Green Walls", *Building Design and Construction*, BD&C News, USA.
- smn (Sistema Meteorológico Nacional), 2017 [en línea]. Resúmenes mensuales de temperaturas y lluvias desde 2004, [fecha de consulta 08 de marzo del 2017]. Disponible desde: smn.cna.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias

- Soemy, F., Fumadó J.L. y Usón E. 2007. *Arquitectura y sostenibilidad. Herramientas de diseño y técnicas de control medioambiental*. "Las cubiertas ecológicas en los edificios y la renovación de la ciudad". Universidad Politécnica de Catalunya, España 15-22 pp.
- Stovin, N. D., Hallam A. 2007. "Green Roofs-getting sustainable drainage off the ground", in: *6th International Conference of Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Mangement*, Novatech. 11–18 pp. Lyon, France.
- Sullivan, D.M., Miller R.O. 2005. "Propiedades cualitativas, medición y variabilidad del compost. En: Stoffella PJ, Kahn BA. Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola". Ed. Mundi Prensa. Pp. 95-117. Madrid, España.
- Toledo, C.P.F. 2006. Tesis de licenciatura "Evaluación de un sustituto de turba de musgo (peat moss) como sustrato y un estimulador radicular en la producción de plántulas de maíz dulce (*zea mays* l.) y tomate (*lycopersicum esculentum* l.) bajo condiciones de invernadero en san jerónimo, baja verapaz. guatemala". Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, Instituto de Investigaciones Agronómicas. Guatemala.
- Trópicos. [en línea]. Missouri Botanical Garden, 2016. [fecha de consulta 16 de octubre del 2016]. Disponible en: <http://www.tropicos.org/NameSearch.aspx>
- UNATSABAR (Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural). 2001. "Guía de estudio para captación de agua de lluvia". *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente*. Organización Panamericana de la Salud. Oficina Sanitaria Panamericana - Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. Lima, Perú.
- Urbano-López, M. B. 2013. [en línea] "Naturación Urbana, un desafío a la Urbanización" Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente: [Fecha de consulta: 16 de noviembre de 2016] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62927563004>> ISSN 2007-3828
- Urrestarazu, M., Bures S. 2012. "Sustainable green walls in architecture". *Journal of Food Agriculture & Environment*, 10(1), 792–794 pp. France.
- Van Woert, N.D., Rowe D.B., Andresen J.A., Rugh C.L., Xiao L. 2005. "Watering regime and green roof substrate design affect Sedum plant growth". *Hortscience* 40, pp. 659–664. Toronto, Canadá.
- Velazquez, Linda S. 2005. "Organic green roof architecture: sustainable design for the new millenium" *Environmental Quality management*. España.
- Vijayaraghavan, K., Joshi, U. M., Balasubramanian, R. 2012. "A field study to evaluate runoff quality from green roofs". *Water Research*, No. 46, pp. 1337–1345. Liverpool, England.
- Vintimilla, P. C. G. 2013. "Uso de materiales para jardines verticales en espacios interiores". Tesis para obtener el título de diseñador de interiores. Universidad del AZUAY, 100 pp. Cuenca, Ecuador.
- Wong, N. H., Kwang A. Y., Tan P. Y., Chiang K., Wong N. C. 2009. "Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls". *Building and Environment* No.45 pp. 411-420. Seoul, South Korea.

- Xelhuantzin, C.J., Salazar G.G., Domínguez A.G., Arias C.L.E., Chávez D.A.A., Galindo B.A.J. 2012. “Manual para la elaboración de abonos orgánicos a partir de técnicas como la composta y la lombricomposta”, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (inifap), Centro de Investigación Regional Pacifico Centro. I.S.B.N.: 978-607-425-809-7 México, Guadalajara.
- Yang, Q. Yu, P. Gong. 2008. “Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago”, *Atmospheric Environment* No. 42 (31) pp. 7266–7273. USA.
- Yeh, Y.P. 2012. “Green Wall-the creative solution in response to the urban heat island effect”. National Chung-Hsing University, Taiwan.



RAP/ Rincón-Portilla A.

Angel Rincón Portilla

