

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**



**Informe Final de Pasantía de Práctica Profesional sobre:  
“Caracterización y diseño de paneles verdes para la reducción  
de transferencia térmica, escorrentía, captura de CO<sub>2</sub> y sistemas  
captura niebla”**

**Presentado por:  
Katherine Alexandra Águila Martínez**

**San Salvador, El Salvador, Centro América, 2024**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**



**Informe Final de Pasantía de Práctica Profesional sobre:  
“Caracterización y diseño de paneles verdes para la reducción  
de transferencia térmica, escorrentía, captura de CO<sub>2</sub> y sistemas  
captura niebla”**

**Presentado por:  
Katherine Alexandra Águila Martínez**

**Como requisito para optar al título de:  
Ingeniera Agrónomo**

**San Salvador, El Salvador, Centro América, 2024**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR:**

ING. MSC. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA.

**SECRETARIO GENERAL:**

LIC. PEDRO ROSALIO ESCOBAR CASTANEDA

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**DECANO:**

ING. MAECE. NELSON BERNABÉ GRANADOS ALVARADO

**SECRETARIO:**

ING. MSC. EDGAR GEOVANY REYES MELAR

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y  
MEDIO AMBIENTE**

---

ING. MSC. JOSÉ MAURICIO TEJADA ASENSIO

**ASESORES**

---

ING. MAECE. NELSON BERNABÉ GRANADOS ALVARADO

---

DR. CARLOS GUILLERMO BRAN

**COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADO DEL  
DEPARTAMENTO**

---

ING. AGR. JUAN GERARDO MARROQUÍN REINA

## **Dedicatoria**

A Dios, por haberme dado la sabiduría y fortaleza durante estos años de preparación para convertirme en Ingeniera Agrónomo.

A mis abuelos, Aida Espinoza de Águila y Francisco Águila, quienes fueron mi motivación y apoyo día a día para convertirme en profesional, quienes a pesar de ya no estar en este plano terrenal me siguen amando y guiando para convertirme en una gran mujer.

A mi madre Rosa Martínez de Águila y hermano Miguel Águila, quienes me apoyaron y amaron incondicionalmente en todos los ámbitos y no dudaron ningún momento de mí y mis capacidades para convertirme en la gran mujer que soy ahora.

A mi tía madrina, Vilma Águila, quien también fue un ejemplo a seguir para convertirme en la profesional que soy este día.

Y a mis amigos, quienes me motivaron a seguir y me dieron las palabras de aliento para no rendirme.

## **Agradecimientos**

A Dios, quien mediante su amor misericordioso me dio la oportunidad y las herramientas necesarias para poder terminar la ingeniería en la Universidad de El Salvador.

A mi asesor interno, el ing. Agr. Nelson Bernabé, quien fue mi guía en este proceso académico y me brindo el apoyo desde un principio.

Y especialmente agradezco a los aportes de mi senpai, el ensamblado en la oscuridad. Sus aportes no solo fueron valiosos para este trabajo sino para la vida misma.

## Índice

Resumen .....	xiv
1.Introduccion.....	2
2. Información de la unidad productiva.....	3
2.1 Datos generales .....	3
2.1.1 Localización .....	3
2.1.2 Antecedentes .....	3
3. Análisis de la problemática en sector .....	5
4. Metodología .....	6
4.1 Fase preliminar .....	6
4.2 Fase de campo .....	7
4.3 Fase de oficina.....	9
5. Resultados y discusión. ....	11
5.1 Resultados de especies vegetativas implementadas en los paneles verde. ....	11
5.2 Resultados de implementación de módulos verdes.....	12
5.2.1 Distribución y requerimiento de plantas utilizados para la implementación de módulos verdes.....	12
5.3 Resultados de pruebas de CO <sub>2</sub> aplicando 549 lux a una planta entera y aplicando 1184 lux y 509 lux a una determinada proporción de área foliar.....	15
5.3.1 Resultados de pruebas de absorción de CO <sub>2</sub> en la planta Lengua de suegra. ....	15
5.3.2 Resultados de pruebas de absorción de CO <sub>2</sub> en 1 hoja de la planta Lengua de suegra.....	16
5.3.3 Resultados de pruebas de absorción de CO <sub>2</sub> en 3 hojas de Lirio de lino.....	17
5.3.4 Resultados de pruebas de absorción de CO <sub>2</sub> en la planta Lirio de lino.....	18
5.3.5 Resultados de pruebas de absorción de CO <sub>2</sub> en 83 hojas de la planta Portulaca.....	19
5.3.6 Resultados de pruebas de absorción de CO <sub>2</sub> en la planta Portulaca.....	20

5.3.7 Resultados de pruebas de absorción de CO <sub>2</sub> en 24 hojas de la planta Maní rastrero...	21
5.3.8 Resultados de pruebas de absorción de CO <sub>2</sub> en la planta Maní rastrero. ....	22
5.3.9 Resultados de pruebas de absorción de CO <sub>2</sub> 5 hojas de la planta Mala madre.	23
5.3.10 Resultados de pruebas de absorción de CO <sub>2</sub> en la planta Mala madre.....	24
5.4 Planteamiento del experimento de la capacidad absorción de CO <sub>2</sub> en las distintas especies de plantas establecidas en los paneles verdes, bajo la influencia de distintos niveles de luxes. ....	25
5.5 Pruebas experimentales de la influencia de luxes recibidos en las distintas especies de plantas implementadas en los paneles verdes.....	2
5.5.1 Resultados de la influencia de luxes en la planta Maní rastrero.....	26
5.5.2 Resultados de la influencia de luxes en la planta Mala madre.....	27
5.5.3 Resultados de la influencia de luxes en la planta Lengua de suegra. ....	27
5.5.4 Resultados de la influencia de luxes en la planta Portulaca.....	28
5.5.5 Resultados de la influencia de luxes en la planta Purpurina. ....	29
5.5.6 Resultados de la influencia de luxes en la planta Lirio de Lino. ....	29
5.6 Resultados de las pruebas de transferencia térmica. ....	30
5.7 Elaboración de manual de mantenimiento de paneles verdes.....	30
5.8 Planteamiento de procedimiento de propagación de musgos.....	31
6. Conclusiones .....	33
7. Recomendaciones .....	35
8. Bibliografía.....	36
9. Anexos.....	37

### **Índice de figuras.**

Fig 1. Ubicación de la Universidad Don Bosco.....	3
Fig 2. Propuesta de OPAMMS de estructuras para espacios público.....	6
Fig 3. Distribución de plantas dentro de modulo horizontal .....	13
Fig 4. Esquema de pasos metodológicos para la evaluación de la capacidad de absorción de CO <sub>2</sub> de las distintas especies implementadas en los paneles verdes.....	25



Fig 5. Recolección de musgos. ....	31
Fig 6. Propagación de musgos.....	32

### Índice de gráficos

Gráfico 1. Prueba de absorción de CO <sub>2</sub> con una planta entera de Lengua de suegra. ....	15
Gráfico 2. Prueba de absorción de CO <sub>2</sub> con una hoja de Lengua de suegra.....	16
Gráfico 3. Prueba de captura de CO <sub>2</sub> en 3 hojas de Lirio de lino. ....	17
Gráfico 4. Pruebas de absorción de CO <sub>2</sub> en una planta entera de Lirio de Lino.....	18
Gráfico 5. Prueba de absorción de CO <sub>2</sub> en 83 hojas de Portulaca.....	19
Gráfico 6. Prueba de captura de CO <sub>2</sub> en una planta entera de portulaca.....	20
Gráfico 7. Prueba de captura de CO <sub>2</sub> en 24 hojas de Maní rastrero. ....	21
Gráfico 8. Prueba de captura de CO <sub>2</sub> en una planta entera de Maní rastrero. ....	22
Gráfico 9. Prueba de captura de CO <sub>2</sub> en 5 hojas de mala madre.....	23
Gráfico 10. Prueba de absorción de CO <sub>2</sub> en una planta entera de mala madre. ....	24
Gráfico 12. Influencia de luxes sobre Mala madre.....	27
Gráfico 13. Influencia de luxes sobre Lengua de suegra.....	27
Gráfico 11. Influencia de luxes sobre el Maní rastrero.....	26
Gráfico 14. Influencia de luxes sobre Portulaca .....	28
Gráfico 15. Influencia de luxes en Purpurina.....	29
Gráfico 16. Influencia de luxes sobre Lirio de Lino.....	30
Gráfico 17. Pruebas de transferencia térmica.....	31

### Índice de anexos

Anexo 1. Maní forrajero ( <i>Arachis pintoi</i> Krap).....	37
Anexo 2. Portulaca ( <i>Portulaca oleracea</i> ).....	37
Anexo 3. Lengua de suegra o sansevieria ( <i>Sansevieria trifasciata</i> ) .....	37
Anexo 4. Mala madre ( <i>Chlorophytum comosum</i> ) .....	38
Anexo 5. Lirio de lino ( <i>Dianella tasmanica</i> ) .....	38
Anexo 6. Purpurina o amor de hombre ( <i>Tradescantia purpurea ex Boom</i> ).....	38

Anexo 7. Zebrina péndula ( <i>Tradescantia zebrina</i> ).....	39
Anexo 8. Verbena ( <i>Verbena officinalis</i> ) .....	39
Anexo 9. Ejemplares de plantas que se van a establecer en el panel verde. ....	39
Anexo 10. Elaboración de caja de madera para realización de pruebas de CO <sub>2</sub> .....	40
Anexo 11. Realización de reuniones con el equipo de trabajo, para la discusión de avances de investigaciones. ....	40
Anexo 12. Preparación de sustrato para siembra de plantas para pruebas de CO <sub>2</sub> . ....	40
Anexo 13. Siembra y mantenimiento de plantas que se utilizaran para pruebas de absorción de CO <sub>2</sub> .....	42
Anexo 14. Sellado de caja de acrílico para pruebas de CO <sub>2</sub> . ....	42
Anexo 15. Inicio de pruebas de absorción de CO <sub>2</sub> en la planta Mala madre. ....	42
Anexo 16. Preparación de prueba de CO <sub>2</sub> en determinada área foliar de las plantas preseleccionadas.....	43
Anexo 17. Realización de pruebas de CO <sub>2</sub> aplicando 1180 lux en cierta proporción vegetativa.....	43
Anexo 18. Realización de pruebas de absorción de CO <sub>2</sub> , aplicando 509 lux en cierta proporción vegetativa.....	43
Anexo 19. Toma de medidas de absorción de CO <sub>2</sub> , para evaluar el comportamiento a luz directa del sol.....	44
Anexo 20. Realización de pruebas de absorción de CO <sub>2</sub> a mayor escala con una planta entera, aplicando 549 lux.....	44
Anexo 21. Toma de datos de prueba de absorción de CO <sub>2</sub> en plantas enteras, aplicando 549 lux.....	44
Anexo 22. Preparación de material filtrante a base de piedra pómez para la implementación del módulo.....	45
Anexo 23. Preparación de sustrato a base de tierra negra, materia orgánica y cascarilla de arroz. ....	44
Anexo 24. Siembra de plantas en modulo.....	44
Anexo 25. Modulo verde terminado a base de Maní rastrero y Purpurina. ....	45

Anexo 26. Riego y mantenimiento de modulo verde. ....	45
Anexo 27. Preparación de piedra pómez para modulo pequeño. ....	45
Anexo 28. Modulo pequeño ya finalizado, con la incorporación de maní rastrero y purpurina. .....	46
Anexo 29. Realización de pruebas de CO <sub>2</sub> dentro de una caja de acrílico, aplicando diferentes niveles de iluminación.....	47
Anexo 30. Pruebas de absorción de CO <sub>2</sub> en maní forrajero.....	46
Anexo 31. Pruebas de absorción de CO <sub>2</sub> de una porción vegetal de maní forrajero dentro de un Erlenmeyer. ....	47
Anexo 32. Toma de datos de pruebas de absorción de CO <sub>2</sub> a diferentes niveles de iluminación.....	48
Anexo 33. Preparación de sustrato para la implementación del módulo verde vertical.....	48
Anexo 34. Implementación del módulo verde vertical en instalaciones de la UDB.....	49
Anexo 35. Modulo verde vertical implementado en instalaciones de la UDB.....	49
Anexo 36. Construcción de módulos.....	49
Anexo 37. Módulos ya listos para ser instalados.....	50
Anexo 38. Pedido de plantas a utilizar para el techo verde. ....	50
Anexo 39. Paneles ya instalados. ....	50
Anexo 40. Módulo ya instalado con piedra pómez. ....	51
Anexo 41. Preparación de modulo para realización de siembra.....	51
Anexo 42. Siembra de plantas en módulos. ....	51
Anexo 43. Proceso del 25% del establecimiento de los módulos. ....	52
Anexo 44. Proceso del 50% del establecimiento de módulos.....	52
Anexo 45. Proceso del 75% del establecimiento de módulos.....	52
Anexo 46. Pasante realizando siembra en módulos.....	53
Anexo 47. Instalación del techo verde finalizada al 100%. ....	53
Anexo 48. Manual de mantenimiento de paneles verdes. ....	53

Anexo 49. Poda de panel verde horizontal.....	54
Anexo 50. Poda de paneles verdes instalados en techo. ....	54
Anexo 51. Presentación de los módulos verdes.....	54

**Indice de cuadros**

Cuadro 1. Dimensiones del módulo 1.....	12
Cuadro 2. Dimensiones del módulo a pequeña escala .....	13
Cuadro 3. Dimensiones del módulo vertical.....	13
Cuadro 4. Dimensiones y distribución de módulos del techo verde.....	14

## Resumen

Este trabajo de Pasantía Profesional se desarrolló en el Instituto de investigación en Energía en conjunto con el Instituto de investigación e Innovación en Electrónica de la Universidad Don Bosco, en coordinación con la Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, en el periodo de marzo a octubre del 2023, con el objetivo de caracterizar y diseñar un panel verde para la reducción de transferencia térmica, escorrentía, captura de CO<sub>2</sub> y sistemas captura niebla; ya que la organización meteorológica mundial asevera que la falta de espacios verdes podría ser la causa del aumento de 1 a 4 grados Celsius de temperatura en las ciudades lo que genera impactos relacionados con el apareamiento de islas de calor, mayor susceptibilidad de inundaciones y elevada polución.

Muchos estudios validan que la cobertura verde tiene un espacio positivo en los espacios; sin embargo, en el país no existen datos que sustenten estos beneficios y la contribución en la reducción de los efectos negativos del cambio climático.

La metodología constaba de tres fases: preliminar, de campo y de oficina. En la fase preliminar, se establecen colaboraciones con entidades como la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS), el BID y la UDB. La fase de campo implicó la obtención de plantas, pruebas de mantenimiento y mediciones de absorción de CO<sub>2</sub> en paneles verdes horizontales y verticales. La fase de oficina se centró en investigación bibliográfica, diseño metodológico y planificación detallada para la implementación de los paneles verdes.

El estudio identificó especies vegetativas óptimas como Maní rastrero (*Arachis pintoii Krap*), Portulaca (*Portulaca oleracea*), Lengua de suegra (*Sansevieria trifasciata*), Mala madre (*Chlorophytum comosum*), Lirio de lino (*Dianella tasmanica*), Purpurina (*Tradescantia purpurea ex Boom*), Zebrina péndula (*Tradescantia zebrina*) y Verbena (*Verbena officinalis*) por su resistencia a la sequía y adaptabilidad. Se desarrolló un prototipo de panel verde con pruebas de mantenimiento y absorción de CO<sub>2</sub>. Además, se diseñó un sustrato eficiente, se realizaron pruebas de absorción de CO<sub>2</sub>, y se establecieron paneles verdes horizontales y verticales.

El manual de mantenimiento aborda aspectos prácticos como poda, riego, abono y reincorporación de sustrato. En general, el proyecto destacó los beneficios medioambientales y la eficiencia en la absorción de CO<sub>2</sub> de las especies implementadas en los paneles verdes, proporcionando información detallada y completa, incluyendo resultados, pruebas y propuestas. El manual de mantenimiento agregó valor al proyecto, brindando orientación práctica a los usuarios.

Se desplegó un laboratorio de pruebas para la obtención de datos a largo plazo que validen las capacidades de los paneles verdes en la reducción de los impactos del cambio climático, además de proponer un diseño de paneles para coberturas horizontales/verticales y medir su factibilidad de implementarlos en edificaciones existentes, así como modelos para la construcción de nuevas edificaciones.

Además, dentro de la investigación de los beneficios de los sistemas verdes se determinó que los techos verdes actúan como esponjas naturales, capturando y almacenando agua de lluvia, reduciendo la escorrentía de aguas pluviales y minimizando la presión sobre los sistemas de drenaje urbanos sobrecargados, agregando que la vegetación dentro de estos sistemas puede retener una cantidad significativa de agua, lo que reduce la necesidad de riego adicional y conserva recursos hídricos vitales. También se plantearon los beneficios de incorporar un sistema de captura de niebla a este tipo de muros verdes, el cual se tendrá proyectado implementarlo a futuro.

Por último, se determinó el uso de sistemas de techos verdes con un alto potencial en no solo reducir la contaminación del aire, sino que pueden revolucionar la agricultura urbana, aprovechando el uso de distintos espacios de las viviendas de la ciudad es capaz de generar zonas verdes y más autosuficientes, capaces de dar sostenibilidad y la seguridad alimentaria a la población urbana del país.

Palabras claves: Paneles verdes, transferencia térmica, captura de CO<sub>2</sub>

## 1. Introducción

Las “islas de calor” urbanas son un fenómeno que se produce en las áreas urbanas y suburbanas como consecuencia de la utilización de materiales con una alta capacidad de absorción y retención del calor solar (albedo), muy superiores a las de los materiales naturales o de las áreas rurales menos desarrolladas (Gartland 2008).

En la medida en que las temperaturas continúan en aumento por el cambio climático, las áreas urbanas experimentan olas de calor más intensas, más prolongadas y con mayor frecuencia. Temperaturas más altas afectan la salud de las personas, la calidad del aire y de los cuerpos de agua y generan un aumento en la cantidad de energía que se utiliza para enfriar el entorno (Adonay 2021).

El calor extremo puede causar efectos respiratorios, agotamiento por el calor e insolación, provocar enfermedades u ocasionar la muerte de personas vulnerables. Adicionalmente, las olas de calor cada vez más intensas en las ciudades incrementan la demanda de energía por el uso de aire acondicionado. Esto no solo aumenta el costo de facturas de electricidad, sino que ejerce una presión importante sobre la red eléctrica generando caídas de tensión y apagones frecuentes. Suministrar energía adicional puede producir un aumento de emisiones de gases de efecto invernadero, el cual se ve agravado por la falta de movimiento de aire limpio facilitando la permanencia de contaminantes en la atmósfera (Adonay 2021).

Los sistemas de muros verdes son básicamente plantas que crecen en superficies verticales, de forma natural o hecha por humanos, ya sea dentro o fuera de una edificación, adheridas a la pared o frente a la pared (Perini y Rosasco 2013). Estos han demostrado sus diversos beneficios mejorando la gestión de las aguas de lluvia por la retención y la evapotranspiración, pero también tienen otros beneficios potenciales, como la limpieza del aire, los efectos psicológicos positivos y las mejoras estéticas (Raji et al. 2015). Actualmente los muros verdes ofrecen el potencial para mejorar la arquitectura tradicional, pero también para incorporar materiales avanzados y otras tecnologías para promover funciones de construcción sostenible como puede ser en el uso de materiales alternativos en lo que se refiere, por ejemplo, a los sustratos utilizados en estos.

Además, se buscó explorar sistemas basados en la naturaleza para modelar un banco de pruebas que permita evaluar la efectividad de modelos de paneles verdes de bajo costo y fácil mantenimiento para ser implementada sobre edificaciones existentes y nuevas. También se buscaría desarrollar mecanismos para la medición con precisión de su impacto en la reducción de islas de calor, la capacidad de atrapar carbono y la reducción de la escorrentía.

El proyecto "Caracterización y diseño de paneles verdes para la reducción de transferencia térmica, escorrentía, captura de CO<sub>2</sub> y sistemas de captura de niebla" se propuso para abordar las necesidades específicas y la problemática en la zona urbana de El Salvador. El objetivo principal fue establecer un laboratorio de pruebas a largo plazo para validar las capacidades de los paneles verdes en la reducción de los impactos del cambio climático. Los objetivos específicos del proyecto incluyen la definición de las plantas y su sustrato para minimizar el mantenimiento, la medición de la captura de CO<sub>2</sub>, la planificación del experimento y los instrumentos necesarios, la elaboración de un manual de mantenimiento de los paneles verdes, y la propuesta de un procedimiento para propagar los musgos, junto con las condiciones para su mantenimiento; todo esto con el fin de reducir el fenómeno de las islas de calor y reducir los altos índices de contaminación mediante la captura de Dióxido de Carbono.



## 2. Información de la unidad productiva

### 2.1 Datos generales

#### 2.1.1 Localización

La pasantía profesional se llevó a cabo en el Instituto de investigación en Energía en conjunto con el Instituto de investigación e Innovación en Electrónica de la Universidad Don Bosco, ubicado en el municipio de Soyapango del departamento de San Salvador, El Salvador con coordenadas geográficas Latitud: al norte con  $13^{\circ}42'57.5''$ , Longitud: al oeste con  $89^{\circ}09'13.3''$  con elevación de 625 msnm.

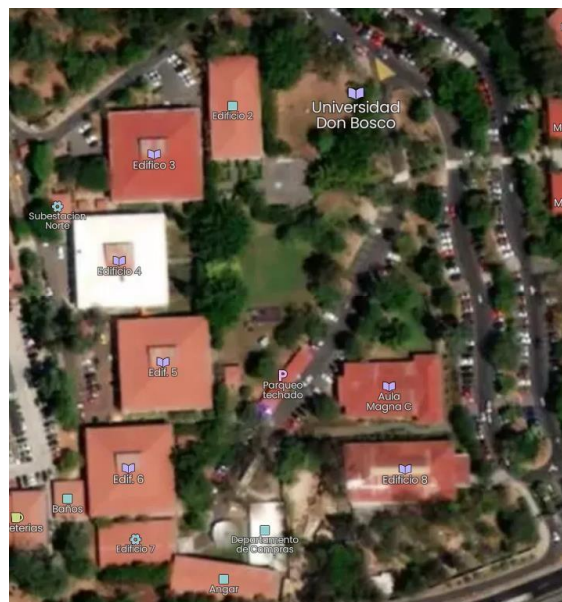


Fig 1. Ubicación de la Universidad Don Bosco.

**Fuente:** Tomado de Google Maps. 2023

#### 2.1.2 Antecedentes

La pasantía profesional se realizó en la Universidad Don Bosco, siendo esta de importancia ya que fue la entidad encargada de ejecutar de forma efectiva el proyecto de “Caracterización y diseño de paneles verdes para la reducción de transferencia térmica, escorrentía, captura de  $\text{CO}_2$  y sistemas captura niebla”, esta institución fue creada el 8 de marzo de 1984, por impulso de monseñor José Carmen Di Pietro, primer Obispo de Sonsonate; monseñor Pedro Arnoldo Aparicio, Obispo de San Vicente y de los padres Giuseppe Coró, Settimo Rossoni, Alfonso Evertsz, Salvador Cafarelli y Pierre Muyschondt;

que junto a laicos como el Dr. Rafael Flores y Flores, la Dra. Celina de Cañas y el Lic. Gilberto Aguilar Avilés, primer rector, crearon la parte jurídico-estructural de la Universidad.

En 1992, dio inicio el año académico en el nuevo campus con los primeros edificios de aulas, la biblioteca y el Centro de Investigación y Transferencia de Tecnología (CITT).

Actualmente la Universidad Don Bosco es miembro de las Instituciones Salesianas de Educación Superior (IUS), una red de más de 80 instituciones promovidas por la Congregación Salesiana, repartidas en los diversos continentes y regiones: América, Europa, África, Asia Sur y Asia Este-Oceanía y de la Organización de Universidades Católicas de América Latina y el Caribe, ODUCAL (UDB 2023).

Además, es de vital importancia mencionar la institución que se encargó de promover y financiar el proyecto quien fue El Banco Interamericano de Desarrollo (BID), siendo esta la principal fuente de financiación multilateral para proyectos de desarrollo en América Latina y el Caribe. Su objetivo es reducir la pobreza, luchar contra las desigualdades sociales y promover el desarrollo económico sostenible en la región. Esta fue fundada en 1959 como una alianza entre Estados Unidos y 19 países de América Latina y el Caribe: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Haití, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Uruguay y Venezuela. Actualmente, el BID está conformado por 48 estados miembros entre países prestatarios y no prestatarios (BID 2023).

Por último, la entidad quien se encargó de proponer el proyecto como una solución de tipo de resiliencia climática ante el fenómeno de “Islas de calor” que se da en la zona urbana de El Salvador, siendo esta la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador, fue creada por el COAMSS por medio de acuerdo municipal en octubre de 1988, como una entidad eminentemente técnica, descentralizada y autónoma. Inicio sus funciones de control del desarrollo urbano en 1990, año en el que se oficializó institucionalmente su creación por medio de la publicación del acuerdo de creación en el Diario Oficial de fecha 3 de febrero de 1990. La OPAMSS se convierte desde esa fecha en la secretaría técnica del COAMSS y su principal brazo técnico, encargada de la investigación y el análisis de los problemas de desarrollo urbano, la planificación y control del territorio y la promoción del desarrollo económico, con una visión estratégica y unificada de la metrópoli (OPAMSS 2023).

### **3. Análisis de la problemática en sector**

Dado que en la medida en que las temperaturas siguen en aumento por el cambio climático, las áreas urbanas experimentan olas de calor más intensas, más prolongadas y con mayor frecuencia, generando el fenómeno de “Isla de calor”. Temperaturas más altas suelen afectar la salud de las personas, la calidad del aire y de los cuerpos de agua y generan un aumento en la cantidad de energía que se utiliza para enfriar el entorno.

Actualmente en El Salvador, las diferentes actividades humanas crean mayores necesidades de espacio, generando una pérdida de los paisajes naturales, lo que origina desequilibrios ambientales en la ciudad y evidentemente la hace más vulnerable a los efectos negativos del cambio climático. La organización meteorológica mundial asevera que la falta de espacios verdes podría ser la causa del aumento de 1 a 4 grados Celsius de temperatura en las ciudades, lo que genera impactos relacionados con el apareamiento de islas de calor, mayor susceptibilidad de inundaciones y elevada polución; es por ello que la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda  $9m^2$  de área verde por habitante, lo que se cumple en pocas ciudades ya que los modelos y normas de construcción se enfocan en optimizar el uso del espacio construido.

Muchos estudios validan que la cobertura verde tiene un espacio positivo en los espacios, sin embargo, en el país no existen datos que sustenten estos beneficios y la contribución en la reducción de los efectos negativos del cambio climático. Es a partir de lo anterior que la Universidad Don Bosco por medio del financiamiento del BID apostó por el proyecto de “Caracterización y diseño de paneles verdes para la reducción de transferencia térmica, escorrentía, captura de CO<sub>2</sub> y sistemas captura niebla” ya que este validaría modelos y presentaría alternativas tecnológicas que puedan aplicarse para reducir o mitigar los impactos del cambio climático. Explorar el desarrollo de alternativas tecnológicas a partir de la observación de cómo la naturaleza afronta los problemas y de establecer demostradores que puedan validar los modelos en las edificaciones existentes, para proponer alternativas que puedan ser replicables en la sociedad.

Además, se buscó explorar sistemas basados en la naturaleza para modelar un banco de pruebas que permita evaluar la efectividad de modelos de paneles verdes de bajo costo y fácil mantenimiento para ser implementada sobre edificaciones existentes y nuevas. También se desarrollaron mecanismos para la medición con precisión de su impacto en la reducción de islas de calor, la capacidad de atrapar carbono y la reducción de la escorrentía.

Dada la problemática y necesidades determinadas dentro de la zona urbana de El Salvador, se planteó el proyecto con el fin de desplegar un laboratorio de pruebas para la obtención de datos a largo plazo que validen las capacidades de los paneles verdes en la reducción de los impactos del cambio climático, además se propuso un diseño de paneles para coberturas horizontales y verticales, y así medir su factibilidad de implementarlos en edificaciones existentes, y en nuevas edificaciones con el fin de reducir el fenómeno de las islas de calor.

#### 4. Metodología

##### 4.1 Fase preliminar

Para dar inicio al proyecto, primero se realizaron una serie de reuniones con todas las entidades que iban a participar dentro de este, las cuales fueron la OPAMSS quien fue la encargada de proponer el proyecto como solución ante la problemática del fenómeno de “Islas de calor” que se da en la zona urbana del país, también participó el BID quien fue el encargado de financiar el proyecto desde el ámbito privado en la ejecución de cada una de las pruebas dentro de los laboratorios de la UDB hasta el establecimiento de manera pública en las distintas zonas de la capital de San Salvador; por último la entidad que participó en dicha reunión fue la UDB, quien fue la encargada de hacer cada una de las pruebas necesarias para hacer efectivo el establecimiento del proyecto, iniciando desde la realización de pruebas a nivel de laboratorio hasta el establecimiento de los prototipos en campo.

Dichas reuniones se hicieron en el Jardín Botánico del Plan de La Laguna, en donde la OPAMSS proporciono las ideas que deseaban establecer en las zonas urbanas del país con el fin de darle una referencia a la UDB para que les sirviera como guía para los prototipos que esta fuese a ejecutar.



Fig 2. Propuesta de OPAMMS de estructuras para espacios público.

Luego de dichas reuniones con las entidades respectivas, se procedió a realizar reuniones con los técnicos de la UDB, quien fue el Dr. Carlos Bran el encargado de establecer cada una de las pautas que se irían realizando y de dividir el trabajo entre cada uno de los investigadores, con el fin de ir resolviendo cada una de las problemáticas que se poseían en la ejecución de dicho proyecto, logrando así resolver cada uno de los percances de este y establecerlo de forma efectiva como un proyecto de resiliencia ambiental.

#### **4.2 Fase de campo**

Se hizo por medio del departamento de compras la obtención de los primeros 5 ejemplares de plantas que se iban a implementar en los paneles verdes.

Se hizo una charla acerca de la investigación realizada, para llegar a un conceso de las plantas más óptimas a implementar en los paneles verdes.

Se realizaron los primeros prototipos a pequeña escala de los módulos verdes, en donde se establecieron las plantas de interés a implementar, en estos se dio inicio a las primeras pruebas de mantenimiento.

Se hizo una charla y se discutió acerca de la metodología que se iba a realizar para medir la capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> que tenían las plantas a implementar en el panel verde.

Se ejecutaron las primeras pruebas de medición de CO<sub>2</sub> en las plantas preseleccionadas para los módulos verdes dentro de un espacio cerrado, esta se hizo con la planta Mala madre que estaba establecida en la caja de madera, esta se puso adentro de una caja de acrílico y con la ayuda de un medidor de CO<sub>2</sub> se comenzó a recopilar datos y a observar el comportamiento de absorción y producción de este gas dentro de un sistema cerrado, en tiempos aleatorios, registrando diferentes datos de ppm en el lapso de tres días.

Se midió la capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> en un determinado número de hojas de las plantas preseleccionadas, aplicando 1180 lux y 509 lux de iluminación,

Se midió la capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> a mayor escala, utilizando una planta entera a la cual se le aplico un nivel de iluminación de 549 lux

Se estableció el primer módulo horizontal de plantas, en el cual calculó las distintas cantidades de materiales a utilizar para la elaboración del sustrato final, se procedió a preparar el sustrato y se hizo la siembra de plantas en el primer módulo horizontal verde,

con dimensiones de 2m x 1m, además se realizó el mantenimiento y evaluación de efectividad de siembra dentro de este mismo.

Se estableció el segundo panel verde a pequeña escala con medidas 70cm x 40cm x 10cm, para la construcción de este se cortó la malla metálica que se utilizaría como sostén del sustrato y se hizo el corte y unión del acrílico que compone las paredes del módulo, además se preparó el sustrato de manera homogénea para colocarlo dentro del módulo y se sembraron las plantas maní forrajero y purpurina dentro del panel verde.

Se realizó la cuarta prueba de CO<sub>2</sub> en una caja de acrílico utilizando una planta entera, aplicando diferentes niveles de iluminación, por medio de luces LED, para dicha prueba se elaboró la caja de acrílico en donde se harían las pruebas, también se prepararon las luces LED que se utilizarían como fuente de iluminación y se recolectaron distintos datos de las pruebas realizadas en un lapso de 10 minutos, así como ppm de CO<sub>2</sub> que absorbió la planta conforme a los luxes de iluminación que recibió esta misma.

Se realizó la quinta prueba de CO<sub>2</sub> de manera más localizada dentro de un Erlenmeyer en determinada área foliar, aplicando diferentes niveles de iluminación, por medio de luces LED, se registraron las ppm de CO<sub>2</sub> que el área foliar absorbió, conforme estas recibían distintos niveles de iluminación.

Se estableció del primer panel vertical, en la que se preparó de forma homogénea el sustrato con base de cascarilla de arroz y se hizo la siembra de todo el panel vertical.

Se construyeron los primeros 4 módulos horizontales para el establecimiento del techo verde, acá se utilizó una base de platina y ángulo como soporte del módulo, además para el sostén del sustrato se construyó una losa de acrílico en la cual se le colocó una malla geotextil que sirvió como una capa impermeabilizante, y se le agregó una rejilla galvanizada con el fin de utilizarla como seccionador del panel y a la vez fuese un sostén del sustrato para evitar un arrastre de partículas por la lluvia sobre el techo.

Se sembraron los primeros 4 módulos horizontales para el establecimiento del techo verde, esto se realizó instalando los paneles sobre el techo de una glorieta en las instalaciones de la UDB, se procedió a la siembra de cada uno de ellos, en el cual primero se colocó una capa filtrante de piedra pómez sobre la losa de acrílico, luego se colocó el sustrato previamente preparado y posteriormente se hizo la siembra de distintas especies de plantas.

Se construyeron los últimos 4 módulos horizontales para el establecimiento del techo verde, acá terminada la siembra de los primeros 4 módulos de un lado de la glorieta de las instalaciones de la UDB, se procedió a realizar la construcción de los últimos 4 módulos, en este caso se facilitó la construcción ya que ya se poseía experiencia previa.

Se hizo la siembra de los últimos 4 módulos horizontales para el establecimiento del techo verde, en este caso se siguió la misma metodología que en los primeros 4 módulos, pero se facilitó el proceso ya que se poseía experiencia previa de igual forma.

El riego de los paneles verdes se hacía de forma manual con una manguera y con una pistola de riego con distintas funciones, pero luego se les instaló un sistema de riego por goteo a los paneles tanto verticales como horizontales, mediante el uso de una manguera perforada, junto con ductos y codos PVC, y una bomba de agua.

Tras el paso de tres meses, se realizó la primera poda de los paneles verdes que se instalaron dentro de las estructuras de la UDB, acá se eliminó toda la maleza que había crecido dentro de los paneles y se recolectaron retoños de las plantas para resembrar en el panel.

#### **4.3 Fase de oficina**

Se investigó bibliográficamente acerca de las características morfológicas y fisiológicas del maní rastrero (*Arachis pintoi Krap*), Portulaca (*Portulaca oleracea*), Lengua de suegra o Sansevieria (*Sansevieria trifasciata*), Mala madre (*Chlorophytum comosum*), Lirio de lino (*Dianella tasmanica*) y Purpurina o amor de hombre (*Tradescantia purpurea ex Boom*), con el fin de identificar que sus características biológicas sean óptimas para establecerse en un panel o módulo verde.

Se investigaron los métodos de medición de CO<sub>2</sub> en plantas propuestas para implementación de un módulo verde, en donde se incluyó la importancia del CO<sub>2</sub> y como este se relaciona en el proceso de fotosíntesis de una planta, formas de medir el CO<sub>2</sub> y como expresar los resultados de este, pasando de ppm a µg/m<sup>3</sup> y se elaboró la primera propuesta de metodología para pruebas iniciales de medición de CO<sub>2</sub>.

Dadas las primeras pruebas de medición de capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> en las plantas preseleccionadas, se hizo un cambio de metodología, por lo que se determinó hacer las primeras pruebas en una determinada área foliar aplicando diferentes niveles de iluminación,

siendo estos 1,180 lux y 509 lux; también dichas pruebas se realizaron en las plantas enteras, aplicando un determinado nivel de iluminación, siendo este 549 lux.

Tras la realización de las pruebas de capacidad de absorción de CO<sub>2</sub>, se recolectaron, graficaron y analizaron los datos obtenidos en las pruebas en las que aplicó distintos niveles de iluminación utilizando una determinada área foliar y en las que se utilizaron las plantas enteras.

Se elaboró una propuesta final para la elaboración del sustrato final que se utilizaría en el establecimiento de módulos, en el cual se hizo una descripción de la cascarilla de arroz que conformaría como componente en la elaboración del sustrato final, se fundamentó y describió las características físico-químicas de este mismo, se investigó el lapso de tiempo en el que tarda en degradarse, se determinaron las ventajas del uso de la cascarilla de arroz como componente del sustrato a utilizar y se definió la metodología de cómo preparar el sustrato final utilizando cascarilla de arroz.

Se calculó la cantidad necesaria de sustrato y plantas para el establecimiento del primer módulo horizontal, en el cual se determinó la cantidad de capa de material filtrante a utilizar, en este caso piedra pómez y calculó las plantas a utilizar para un módulo horizontal, en el cual se utilizaría 20 plantas de *Tradescantia pallida* y 60 plantas de *Arachis pintoi*; por último, se diseñó el esquema de futuros módulos en base a las plantas a utilizar.

Se cálculo la cantidad de sustrato y plantas para el establecimiento de panel verde a pequeña escala, acá se incluyeron la estimación de la cantidad de tierra, cascarilla de arroz y materia orgánica para la elaboración del sustrato, según las dimensiones del módulo pequeño, además se determinó la cantidad de piedra pómez que se utilizaría como capa filtrante del módulo y la cantidad necesaria de las plantas maní forrajero y purpurina para establecer dentro del módulo pequeño.

Se recopilaron los datos obtenidos de la cuarta y quinta prueba de CO<sub>2</sub> aplicando diferentes niveles de lux por medio de luces LED, se registraron de forma ordenada los datos obtenidos en una hoja de Excel, con el fin de analizar cada una de las respuestas obtenidas de las plantas conforme a la absorción de CO<sub>2</sub>.

Se calculó la cantidad necesaria de sustrato y plantas para el establecimiento del primer módulo vertical en donde se incluyó la porción de tierra, cascarilla de arroz y materia orgánica para elaborar el sustrato, además se determinó la cantidad de piedra pómez y la



cantidad necesaria de plantas preseleccionadas, así como lirio de lino, zebrina, portulaca y falsa uva que se iban a establecer en el panel vertical.

Se determinó el área foliar promedio por cada una de las plantas propuestas para pruebas de CO<sub>2</sub>, acá se tomaron muestras al azar de plantas que se utilizaron para las pruebas en las cuales se midió el ancho y largo de cada una de las hojas que conformaban ciertas plantas, permitiendo estimar el área foliar por especie de planta.

Se confeccionó un detallado manual de mantenimiento para paneles verdes, abordando definiciones, beneficios urbanos, y la definición de paneles modulares junto con la selección de vegetación apropiada (Maní forrajero, Portulaca, Lengua de Suegra, Mala madre, Lirio de lino, Purpurina, Zebrina y Verbena), detallando sus características principales. El manual cubre el mantenimiento de las plantas incorporadas, abordando aspectos como la efectividad de siembra, adaptación, tasa de crecimiento, iluminación, riego, poda, fertilización, sustrato y manejo de plagas. Se desarrolló la frecuencia de mantenimiento para garantizar la longevidad de las plantas y reducir las islas de calor urbanas.

Se planteó un experimento para medir la absorción de CO<sub>2</sub> por plantas en paneles verdes, considerando factores para reducir errores. Se determinaron los materiales y se diseñó una cámara para medir la capacidad de absorción de diversas plantas. Se elaboró una metodología detallada con una representación digital de la cámara y la ubicación precisa de sensores. Se identificaron los sensores necesarios y su ubicación óptima. Se describieron los resultados esperados y se recopilaron fuentes bibliográficas para respaldar el enfoque del estudio.

Se llevó a cabo una investigación exhaustiva sobre los musgos, abordando su definición y principales características. Se exploraron los distintos métodos de propagación, tanto sexual como asexual, con el objetivo de identificar la forma más eficaz y rápida de su reproducción. Se examinaron los factores esenciales para un mantenimiento adecuado, buscando prevenir el estrés climático o hídrico. Finalmente, se determinaron los materiales necesarios y se desarrolló una metodología detallada para la propagación exitosa de los musgos.

## **5. Resultados y discusión.**

### **5.1 Resultados de especies vegetativas implementadas en los paneles verde.**

Se logro investigar las especies vegetativas más óptimas para el establecimiento de paneles verdes, las cuales fueron: Maní rastrero (*Arachis pintoii* Krap), Portulaca (*Portulaca*

oleracea), Lengua de suegra o Sansevieria (*Sansevieria trifasciata*), Mala madre (*Chlorophytum comosum*), Lirio de lino (*Dianella tasmanica*), Purpurina o amor de hombre (*Tradescantia purpurea ex Boom*), Zebrina péndula (*Tradescantia zebrina*) y Verbena (*Verbena officinalis*), ya que poseen las características más ideales así como tener una alta resistencia a la sequía, adaptabilidad a climas tropicales y soporte la luz directa del sol, amplia resistencia a plagas, fácil reproducción y un óptimo desarrollo en un sustrato de 10 cm.

Se obtuvo los primeros 5 ejemplares de las especies vegetativas del proyecto, por lo que se logró establecer el primer prototipo de panel verde a pequeña escala, permitiendo hacer las primeras pruebas del ideal mantenimiento que se le deben de dar desde la siembra hasta el establecimiento final y multiplicación de estas, además el efectivo mantenimiento hizo posible la realización de las primeras pruebas de capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> de las especies vegetativas seleccionadas.

## 5.2 Resultados de implementación de módulos verdes.

Se logró crear un sustrato que fuese capaz de proporcionar los nutrientes necesarios a las plantas dentro de los paneles verdes, con una adecuada aireación y retención de humedad, este se hizo con un 50% de tierra negra, 25% cascarilla de arroz y 25% materia orgánica, y dadas las dimensiones de los módulos se utilizó en total para un panel verde 200 L de sustrato, de los cuales 100 L fueron de tierra negra, 50 L de cascarilla de arroz y 50 L de Materia Orgánica.

Investigación y planteamiento de sustrato elaborado en base a cascarilla de arroz en: <https://docs.google.com/document/d/1n0UnM19wHLPEkQfbsEg9t9KKk46vuhB7/edit>

### 5.2.1 Distribución y requerimiento de plantas utilizados para la implementación de módulos verdes.

Cuadro 1. Dimensiones del módulo 1.

<b>Dimensiones del módulo horizontal #1</b>	
Ancho:	1 mt
Largo:	2 mts
Alto:	10 cm
Filas dentro del módulo:	10 filas
Ancho de divisiones dentro del módulo:	19.20 cm
Distanciamiento de plantas dentro del módulo:	10 cm
Total de plantas por fila:	8 plantas
Total de plantas por modulo:	(8 plantas/fila) (10 filas) = 80 plantas/módulo.

Plantas utilizadas	
Purpurina:	(2 plantas/fila) (10 filas) = 20 plantas de purpurina para 10 filas.
Maní rastro:	60 plantas de maní rastro para 10 filas.

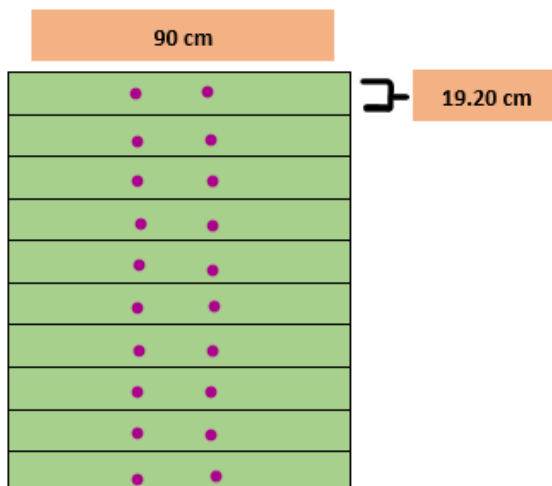


Fig 3. Distribución de plantas dentro de modulo horizontal

Cuadro 2. Dimensiones del módulo a pequeña escala.

Dimensiones del módulo verde a pequeña escala:	
Largo:	70 cm
Ancho:	40 cm
Alto:	10 cm
Plantas establecidas:	
Purpurina:	5
Maní rastro:	20

Cuadro 3. Dimensiones del módulo vertical.

Dimensiones del módulo verde vertical #3:	
Ancho:	1 mt
Largo:	2 mts
Alto:	10 cm
Divisiones:	8 divisiones
Distancia entre cada división:	25 cm
Numero de plantas por línea:	9 plantas
Numero de plantas utilizadas:	72 plantas
Plantas utilizadas:	
Mala madre:	42
Falsa uva:	10
Portulaca:	11
Zebrina:	12
Piedra pómez:	1 saco

Cuadro 4. Dimensiones y distribución de módulos del techo verde.

<b>Dimensiones de módulos para techo verde:</b>	
Cantidad:	8 módulos
Largo:	1.85 mts
Ancho:	1m
Alto:	10 cm
Divisiones:	7 (se estima para 8)
<b>Plantas para el módulo 1:</b>	
Mala madre:	(8 plantas) (4 filas) = 32 plantas de mala madre para 4 filas.
Portulaca 2:	(8 plantas) (4 filas) = 32 plantas de portulaca para 4 filas.
<b>Módulo 2: Mala madre y purpurina.</b>	
Mala madre:	(8 plantas) (4 filas) = 32 plantas de mala madre para 4 filas.
Purpurina:	(8 plantas) (4 filas) = 32 plantas de portulaca para 4 filas.
<b>Módulo 3: Mala madre, flor de las 11 y lengua de suegra.</b>	
Mala madre:	(8 plantas) (4 filas) = 32 plantas de portulaca para 4 filas.
Flor de las 11:	(8 plantas) (2 filas) = 16 plantas para 2 filas.
Lengua de suegra:	(8 plantas) (2 filas) = 16 plantas para 2 filas.
<b>Módulo 4: Mala madre, verbena.</b>	
Mala madre:	(8 plantas) (4 filas) = 32 plantas de mala madre para 4 filas.
Verbena:	(8 plantas) (4 filas) = 32 plantas de portulaca para 4 filas.
<b>Módulo 5: Maní rastrero, portulaca 1.</b>	
Maní rastrero:	(8 plantas) (4 filas) = 32 plantas de mala madre para 6 filas.
Portulaca 1:	(8 plantas) (4 filas) = 32 plantas de portulaca para 4 filas.
<b>Módulo 6: Maní rastrero, portulaca 2.</b>	
Maní rastrero:	(8 plantas) (4 filas) = 32 plantas de mala madre para 6 filas.
verbena:	(8 plantas) (4 filas) = 32 plantas de portulaca para 4 filas.
<b>Módulo 7: Maní rastrero, purpurina.</b>	
Maní rastrero:	(8 plantas) (4 filas) = 32 plantas de mala madre para 6 filas.
Purpurina:	(8 plantas) (4 filas) = 32 plantas de portulaca para 4 filas.
<b>Módulo 8: Lengua de suegra, verbena.</b>	
Lengua de suegra:	(8 plantas) (4 filas) = 32 plantas de mala madre para 4 filas.
Verbena:	(8 plantas) (4 filas) = 32 plantas de portulaca para 4 filas.

Total de plantas a utilizadas para 8 módulos:	
Mala madre:	128
Maní rastroso:	96
Lengua de suegra en roseta:	48
Portulaca 1:	32
Portulaca 2:	32
Flor de las 11:	16
Verbena:	96
Purpurina:	64

### 5.3 Resultados de pruebas de CO<sub>2</sub> aplicando 549 lux a una planta entera y aplicando 1184 lux y 509 lux a una determinada proporción de área foliar.

Se logró implementar y ejecutar la primera metodología para la medición de CO<sub>2</sub>, en este caso se realizó dentro de un espacio cerrado utilizando el prototipo de panel verde, en este se utilizó un medidor de CO<sub>2</sub> y temperatura, dando como resultado una observación precisa del comportamiento de las especies en base a su capacidad de absorción de CO<sub>2</sub>, permitiendo identificar la importancia de la influencia de los luxes en las plantas.

Investigación y planteamiento de metodología de prueba de CO<sub>2</sub> en: <https://docs.google.com/document/d/1ELEtqamn8XpT59YMXWIPePh3s41GJDzW/edit>

#### 5.3.1 Resultados de pruebas de absorción de CO<sub>2</sub> en la planta Lengua de suegra.

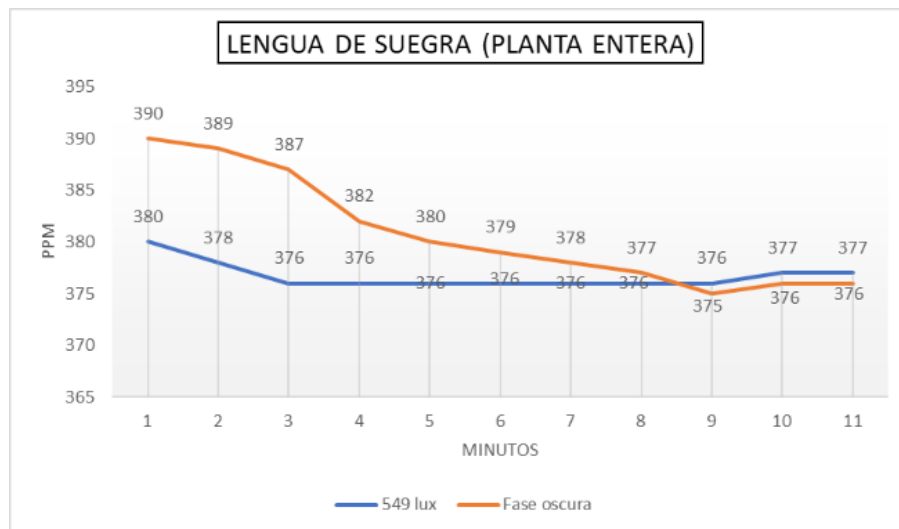


Gráfico 1. Prueba de absorción de CO<sub>2</sub> con una planta entera de Lengua de suegra.

Diferencia de absorción en fase oscura: 14 ppm en 11 minutos.

Fórmula: concentración (mg/m<sup>3</sup>) = 0,0409 x concentración (ppm) x peso molecular

=0,0409 x 14 ppm x 44 g/mol = 25.19 mg/m<sup>3</sup> de absorción de CO<sub>2</sub> durante 11 minutos.

= 14ppm x10<sup>-6</sup>x10<sup>-3</sup>x 44/29 = 2.12 x10<sup>-8</sup> Ton/m<sup>3</sup> de absorción de CO<sub>2</sub> durante 11 minutos.

Diferencia de absorción aplicando 549 lx: 3 ppm en 11 minutos.

=0,0409 x 3 ppm x 44 g/mol = 5.39 mg/m<sup>3</sup> de absorción de CO<sub>2</sub> durante 11 minutos.

En base a los resultados obtenidos en la planta Lengua de suegra se puede observar que se produjo una mayor absorción de CO<sub>2</sub> en la fase oscura, ya que se inició con 390 ppm en el minuto 1 y se finalizó con 376 en el minuto 11, obteniendo una diferencia de CO<sub>2</sub> de 14 ppm, mientras que en la prueba con 549 lx se pudo observar que hubo una menor absorción ya que se inició con 380 ppm y se finalizó con 377 ppm dando como resultado una reducción de 3 ppm de CO<sub>2</sub> en 11 minutos de evaluación.

### 5.3.2 Resultados de pruebas de absorción de CO<sub>2</sub> en 1 hoja de la planta Lengua de suegra.

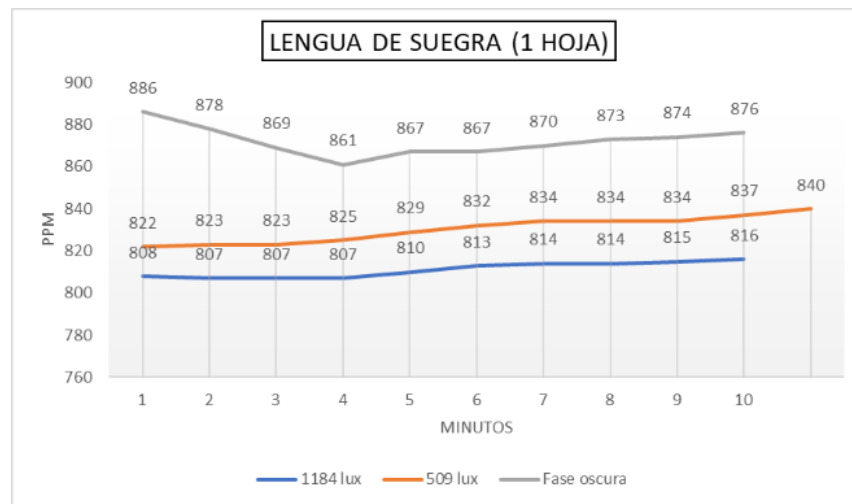


Gráfico 2. Prueba de absorción de CO<sub>2</sub> con una hoja de Lengua de suegra.

Diferencia de absorción de CO<sub>2</sub> en fase oscura: 10 ppm

=0,0409 x 10 ppm x 44 g/mol = 17.99 mg/m<sup>3</sup> de absorción de CO<sub>2</sub> durante 10 minutos.

Diferencia de incremento de CO<sub>2</sub> aplicando 1184 lx: 8 ppm

=0,0409 x 8 ppm x 44 g/mol = 14.39 mg/m<sup>3</sup> de incremento de CO<sub>2</sub> durante 10 minutos.

Diferencia de incremento de CO<sub>2</sub> aplicando 509 lx: 15 ppm

=0,0409 x 15 ppm x 44 g/mol = 26.99 mg/m<sup>3</sup> de incremento de CO<sub>2</sub> durante 10 minutos.

En base a los resultados obtenidos en la evaluación de absorción de CO<sub>2</sub> en una hoja de la planta de Lengua de suegra se pudo observar que se generó una mayor absorción de CO<sub>2</sub> en la fase oscura, ya que se inició con 886 ppm en el minuto 1 y se finalizó con 876 ppm en el minuto 10, dando una diferencia de 10 ppm de absorción de CO<sub>2</sub>, en cambio en las otras dos pruebas de fase lumínica se pudo determinar que la cantidad de ppm de CO<sub>2</sub> incremento, observándose que con 1184 lx el CO<sub>2</sub> aumento en 8ppm, al iniciar con 808 ppm en el minuto 1 y 816 ppm en el minuto 10; finalizando con la prueba con 509 lx que produjo la mayor cantidad de CO<sub>2</sub>, dado que en el minuto 1 se inició con 822 ppm y se finalizó en el minuto 10 con 837 ppm, es decir que generó un incremento de 15 ppm CO<sub>2</sub>.

### 5.3.3 Resultados de pruebas de absorción de CO<sub>2</sub> en 3 hojas de Lirio de lino.

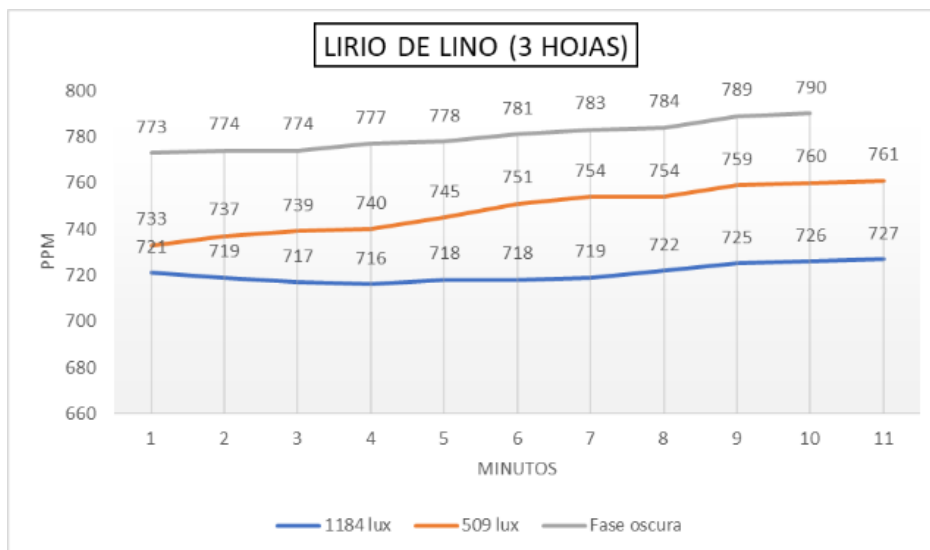


Gráfico 3. Prueba de captura de CO<sub>2</sub> en 3 hojas de Lirio de lino.

Diferencia de incremento de producción de CO<sub>2</sub> aplicando 1,184 lx: 6 ppm  
 $=0,0409 \times 6 \text{ ppm} \times 44 \text{ g/mol} = 10.79 \text{ mg/m}^3$  de incremento de CO<sub>2</sub> durante 10 minutos.

Diferencia de incremento de producción de CO<sub>2</sub> en fase oscura: 17 ppm  
 $=0,0409 \times 17 \text{ ppm} \times 44 \text{ g/mol} = 30.59 \text{ mg/m}^3$  de incremento de CO<sub>2</sub> durante 10 minutos.

Diferencia de incremento de producción de CO<sub>2</sub> aplicando 509 lx: 28 ppm  
 $=0,0409 \times 28 \text{ ppm} \times 44 \text{ g/mol} = 50.38 \text{ mg/m}^3$  de incremento de CO<sub>2</sub> durante 10 minutos.

Dada la prueba realizada en 3 hojas de Lirio de lino se pudo observar que las tres pruebas fueron en sentido en aumentar la producción de CO<sub>2</sub> pero quien dio una respuesta más óptima en sentido de menor producción de CO<sub>2</sub> fue la prueba en la que se aplicó 1,184 lx, ya que en el minuto 1 se inició con 721 ppm y se terminó con 727 ppm en el minuto 10, por lo que solo incrementó 6 ppm en ese lapso de tiempo, a diferencia de la prueba que se realizó en fase oscura, que dio un aumento de 17 ppm en un lapso de 10 minutos, y por último, quien produjo una diferencia más significativa fue la prueba en base a 509 lx en la que incrementó 28 ppm de CO<sub>2</sub> en un lapso de 10 minutos.

### 5.3.4 Resultados de pruebas de absorción de CO<sub>2</sub> en la planta Lirio de lino.

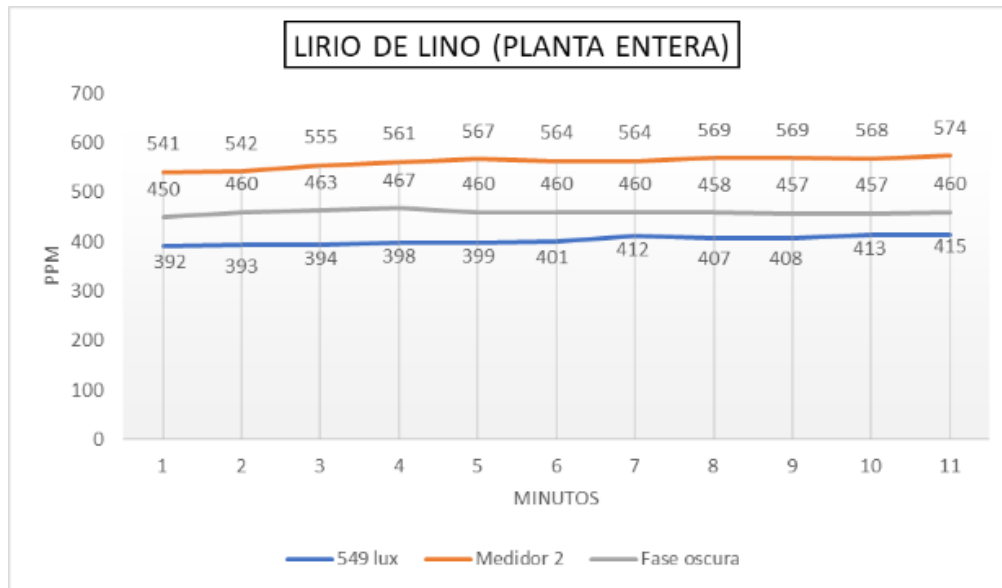


Gráfico 4. Pruebas de absorción de CO<sub>2</sub> en una planta entera de Lirio de Lino.

Diferencia de incremento de CO<sub>2</sub> en prueba de fase oscura: 10ppm.

=0,0409 x 10 ppm x 44 g/mol = 17.99 mg/m<sup>3</sup> de incremento de CO<sub>2</sub> durante 10 minutos.

Diferencia de incremento de CO<sub>2</sub> en prueba aplicando 549 lx: 23 ppm.

=0,0409 x 23 ppm x 44 g/mol = 41.39 mg/m<sup>3</sup> de incremento de CO<sub>2</sub> durante 10 minutos.

En base a la prueba de absorción de CO<sub>2</sub> realizada a una planta entera de Lirio de lino se puede observar que las tres pruebas dieron resultados en dirección de aumento de producción



de CO<sub>2</sub>, pero en la que se dio una menor producción es en la fase oscura, ya que inició en el minuto 1 con 450 ppm y finalizó con 460 ppm en el minuto 10, es decir que solo aumento 10 ppm en total, la segunda prueba que dio respuestas en menor producción de CO<sub>2</sub> fue la prueba en la que se aplicó 549 lx ya que aumentó 23 ppm en el lapso de 10 minutos.

Acá también se realizó pruebas con un segundo medidor de CO<sub>2</sub> en base a 549 lx, el cual dio resultados muchos más amplios de CO<sub>2</sub> pero siempre en incremento, este inicio con un dato de 541 ppm en el minuto 1 y finalizó con 574 ppm en el minuto 10, dando un incremento de 33 ppm.

### 5.3.5 Resultados de pruebas de absorción de CO<sub>2</sub> en 83 hojas de la planta Portulaca.

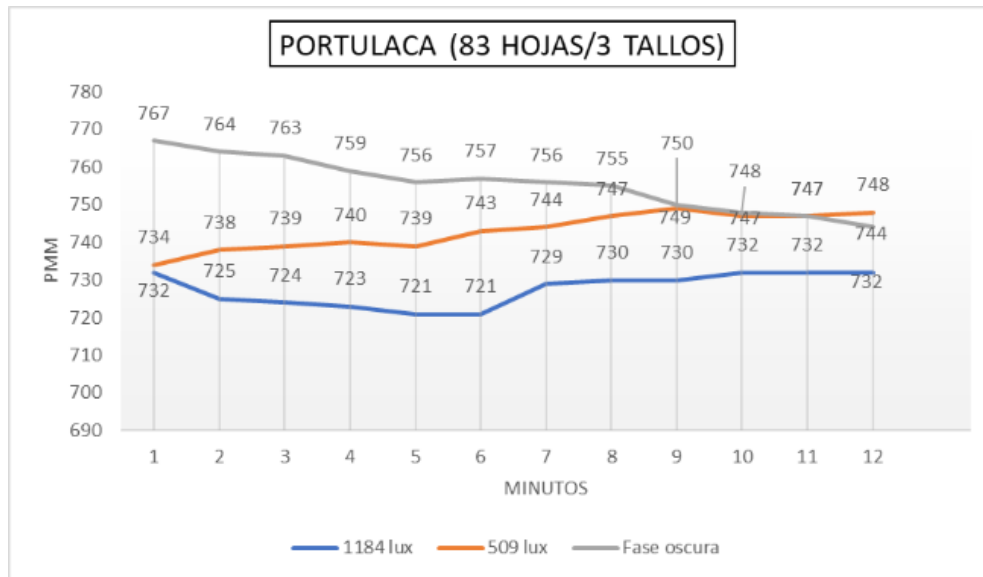


Gráfico 5. Prueba de absorción de CO<sub>2</sub> en 83 hojas de Portulaca.

Diferencia de absorción de CO<sub>2</sub> en fase oscura: 20 ppm

=0,0409 x 20 ppm x 44 g/mol = 35.99 mg/m<sup>3</sup> de absorción de CO<sub>2</sub> durante 10 minutos.

Diferencia de absorción de CO<sub>2</sub> aplicando 1184 lx: 0 ppm ya que se mantuvo.

=0,0409 x 0 ppm x 44 g/mol = 0 mg/m<sup>3</sup> de absorción de CO<sub>2</sub> durante 10 minutos.

Diferencia de incremento de CO<sub>2</sub> aplicando 509 lx: 13 ppm

=0,0409 x 13 ppm x 44 g/mol = 23.39 mg/m<sup>3</sup> de incremento de CO<sub>2</sub> durante 10 minutos.

Dados los resultados obtenidos tras la prueba de captura de CO<sub>2</sub> se puede observar que la mayor absorción de CO<sub>2</sub> se dio en la fase oscura, ya que se inició con 767 ppm en el minuto 1 y se finalizó con 747 ppm en el minuto 10 es decir que hubo una reducción de 20 ppm en el lapso de 10 minutos, la segunda prueba que dio respuestas favorables o estables, es en la que se aplicó 1184 lx, en esta se inició con 732 ppm y se finalizó en el minuto 10 con 732 ppm, generando una respuesta estable al no variar los ppm en ese lapso de tiempo, por último la prueba que generó respuestas menos favorables fue en la que se aplicó 509 lx, ya que se inició con 734 ppm en el minuto 1 y se finalizó con 747 ppm en el minuto 10, incrementado 13 ppm.

### 5.3.6 Resultados de pruebas de absorción de CO<sub>2</sub> en la planta Portulaca.

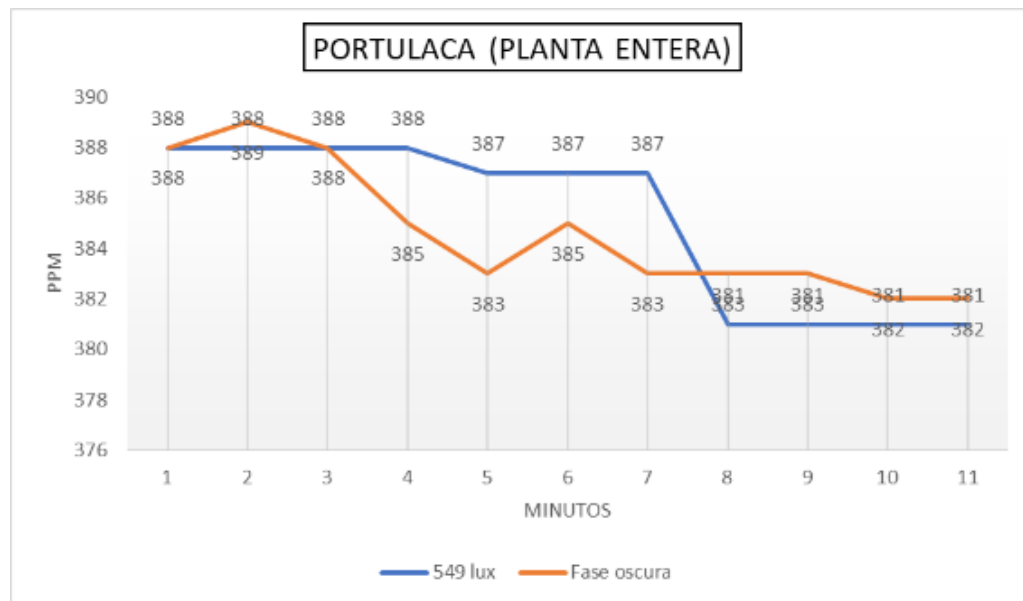


Gráfico 6. Prueba de captura de CO<sub>2</sub> en una planta entera de portulaca.

Diferencia de absorción de CO<sub>2</sub> aplicando 549 lx: 7 ppm

=0,0409 x 7 ppm x 44 g/mol = 12.59 mg/m<sup>3</sup> de absorción de CO<sub>2</sub> durante 10 minutos.

Diferencia de absorción de CO<sub>2</sub> en fase oscura: 6 ppm

=0,0409 x 6 ppm x 44 g/mol = 10.79 mg/m<sup>3</sup> de absorción de CO<sub>2</sub> durante 10 minutos.

Según los datos obtenidos de la prueba de absorción de CO<sub>2</sub> en la planta de portulaca, quien dio respuestas más favorables fue en la que se aplicó 549 lx ya que se inició con 388 ppm en el minuto 1 y se finalizó con 381 ppm en el minuto 10, es decir que se redujo 7 ppm en el lapso de 10 minutos, de igual manera la prueba en fase oscura dio como resultado una merma de CO<sub>2</sub>, ya que se inició con 388 ppm en el minuto 1 y se finalizó con 381 ppm, reduciendo 7 ppm en el lapso de 10 minutos de evaluación.

### 5.3.7 Resultados de pruebas de absorción de CO<sub>2</sub> en 24 hojas de la planta Maní rastrero.

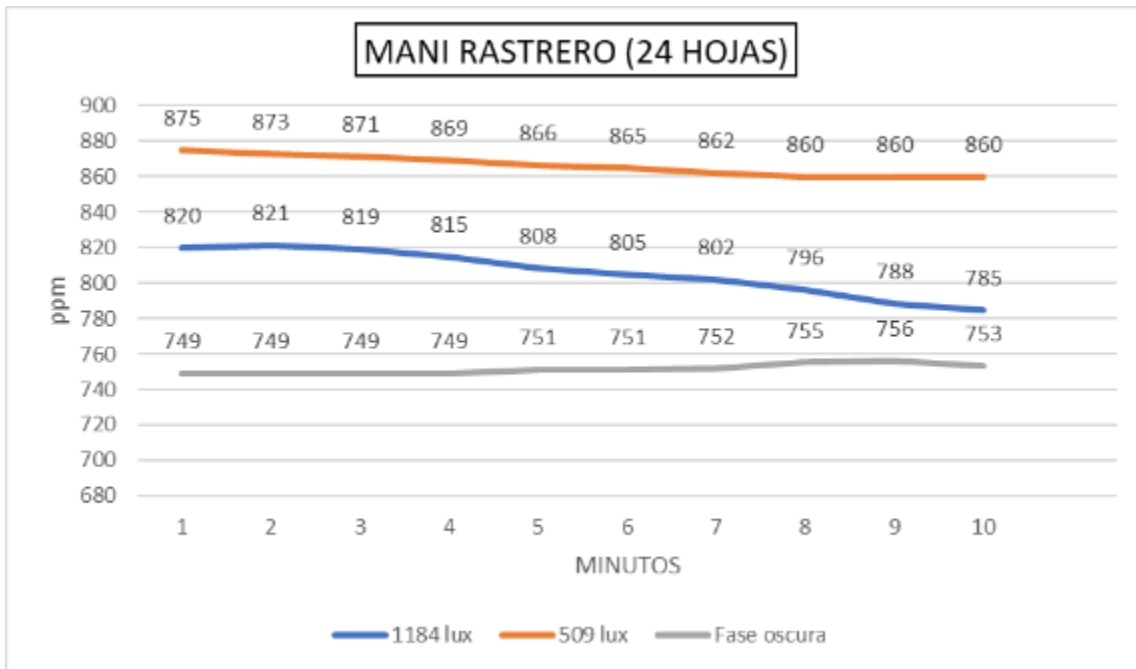


Gráfico 7. Prueba de captura de CO<sub>2</sub> en 24 hojas de Maní rastrero.

Diferencia de absorción de CO<sub>2</sub> aplicando 1184 lx: 35 ppm

=0,0409 x 35 ppm x 44 g/mol = 62.98 mg/m<sup>3</sup> de absorción de CO<sub>2</sub> durante 10 minutos.

Diferencia de absorción de CO<sub>2</sub> aplicando 509 lx : 15 ppm

=0,0409 x 15 ppm x 44 g/mol = 26.99 mg/m<sup>3</sup> de absorción de CO<sub>2</sub> durante 10 minutos.

Diferencia de incremento de CO<sub>2</sub> en fase oscura: 4 ppm.

=0,0409 x 4 ppm x 44 g/mol = 7.19 mg/m<sup>3</sup> de incremento de CO<sub>2</sub> durante 10 minutos.

En esta prueba según los datos obtenidos se puede observar que en las fases en las que más se absorbió CO<sub>2</sub> es en la fase lumínica, comenzando con la prueba de 1184 lx, en el cual en el minuto 1 se inició con 820 ppm y se finalizó en el minuto 10 con 785 ppm, es decir que hubo una absorción de 35 ppm en un lapso de 10 minutos, la segunda prueba más favorable fue en la que se aplicó un nivel de iluminación de 509 lx, ya que en el lapso de 10 minutos hubo una absorción de 15 ppm de CO<sub>2</sub>, por último en la fase oscura se puede observar que la planta comenzó a producir mayor cantidad de ppm, como respuesta natural a la falta de luz, en este caso se produjo 4 ppm de CO<sub>2</sub> en el lapso de 10 minutos, comenzando en el minuto 1 con 749 ppm y finalizando con 753 ppm.

### 5.3.8 Resultados de pruebas de absorción de CO<sub>2</sub> en la planta Maní rastrero.

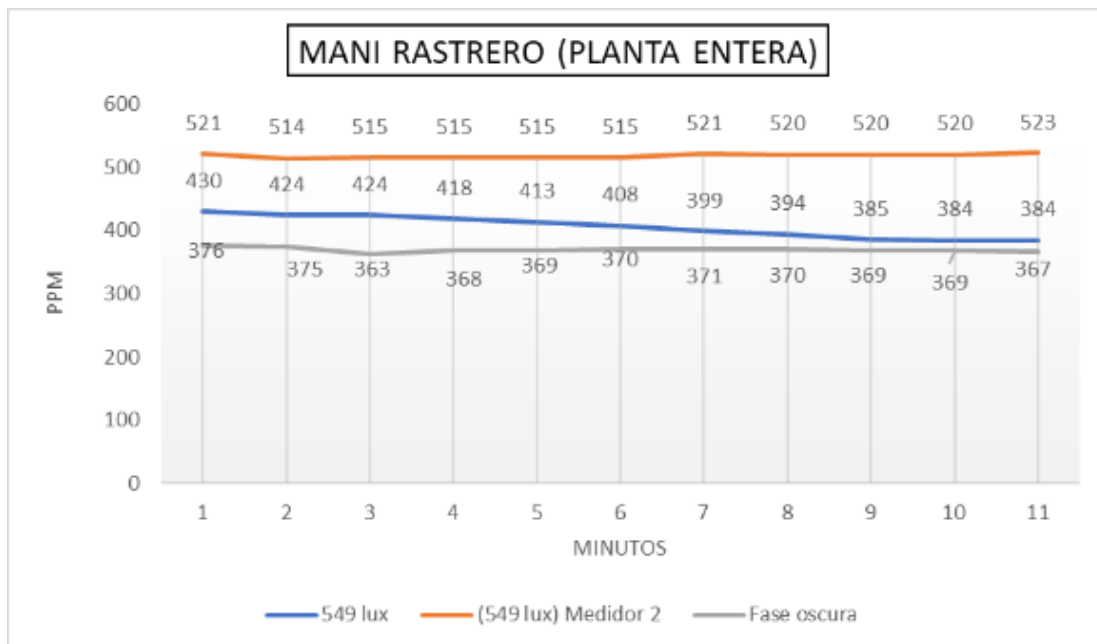


Gráfico 8. Prueba de captura de CO<sub>2</sub> en una planta entera de Maní rastrero.

Diferencia de absorción de CO<sub>2</sub> aplicando 549 lx: 46 ppm

=0,0409 x 46 ppm x 44 g/mol = 82.78 mg/m<sup>3</sup> de absorción de CO<sub>2</sub> durante 10 minutos.

Diferencia de absorción de CO<sub>2</sub> en fase oscura: 9 ppm

=0,0409 x 9 ppm x 44 g/mol = 16.19 mg/m<sup>3</sup> de absorción de CO<sub>2</sub> durante 10 minutos.

Según los datos observados se puede determinar que en la fase lumínica aplicando 549 lx es donde hubo una óptima absorción de CO<sub>2</sub>, ya que en el minuto 1 se inició con 430 ppm y en el minuto 10 se finalizó con 384 ppm, es decir que hubo una absorción total de 46 ppm en un lapso de 10 minutos, de igual manera se pudo observar que en la fase oscura hubo una reducción de ppm de CO<sub>2</sub>, solo que en este caso solo se redujo 9 ppm, dando a notar que en la fase lumínica la planta tiene una mayor capacidad de absorción.

### 5.3.9 Resultados de pruebas de absorción de CO<sub>2</sub> 5 hojas de la planta Mala madre.

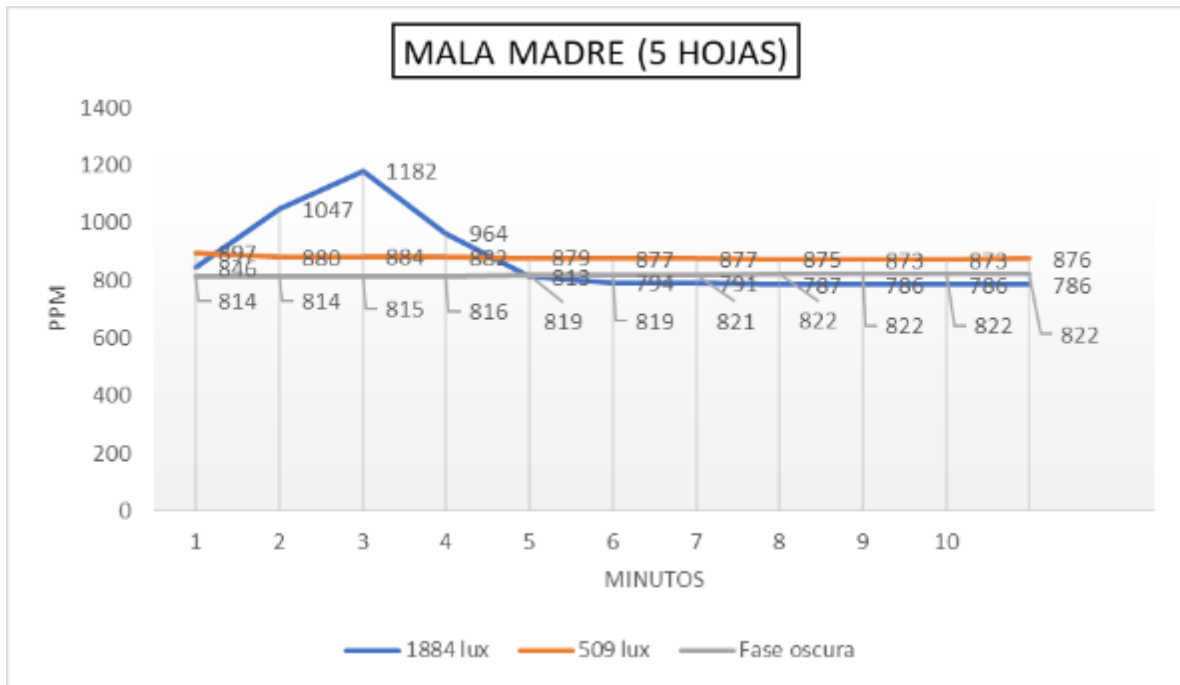


Gráfico 9. Prueba de captura de CO<sub>2</sub> en 5 hojas de mala madre.

Diferencia de absorción de CO<sub>2</sub> aplicando 1880 lx: 60 ppm.

=0,0409 x 60 ppm x 44 g/mol = 107.97 mg/m<sup>3</sup> de absorción de CO<sub>2</sub> durante 10 minutos.

Diferencia de absorción de CO<sub>2</sub> aplicando 509 lx: 21 ppm.

=0,0409 x 21 ppm x 44 g/mol = 37.79 mg/m<sup>3</sup> de absorción de CO<sub>2</sub> durante 10 minutos.

Diferencia de incremento de CO<sub>2</sub> en fase oscura: 8ppm.

=0,0409 x 8 ppm x 44 g/mol = 14.39 mg/m<sup>3</sup> de incremento de CO<sub>2</sub> durante 10 minutos.

Tras los datos obtenidos de la prueba de CO<sub>2</sub> en 5 hojas de mala madre, se pudo observar que en el nivel de iluminación de 1880 lx, la absorción de CO<sub>2</sub> fue mucho más favorable, ya que se inició con 846 ppm en el minuto 1 y se finalizó con 786 ppm al cabo de 10 minutos, es decir que se redujo 60 ppm de CO<sub>2</sub>, la segunda respuesta de absorción de CO<sub>2</sub> más favorable fue aplicando 509 lx, dado que en el lapso de 10 minutos se logró una absorción de 21 ppm de CO<sub>2</sub>; caso contrario en la fase oscura, en la que se dio una respuesta contraria ya que se dio un incremento de 8 ppm de CO<sub>2</sub> como respuesta a la falta de luz que tuvo la planta.

### 5.3.10 Resultados de pruebas de absorción de CO<sub>2</sub> en la planta Mala madre.

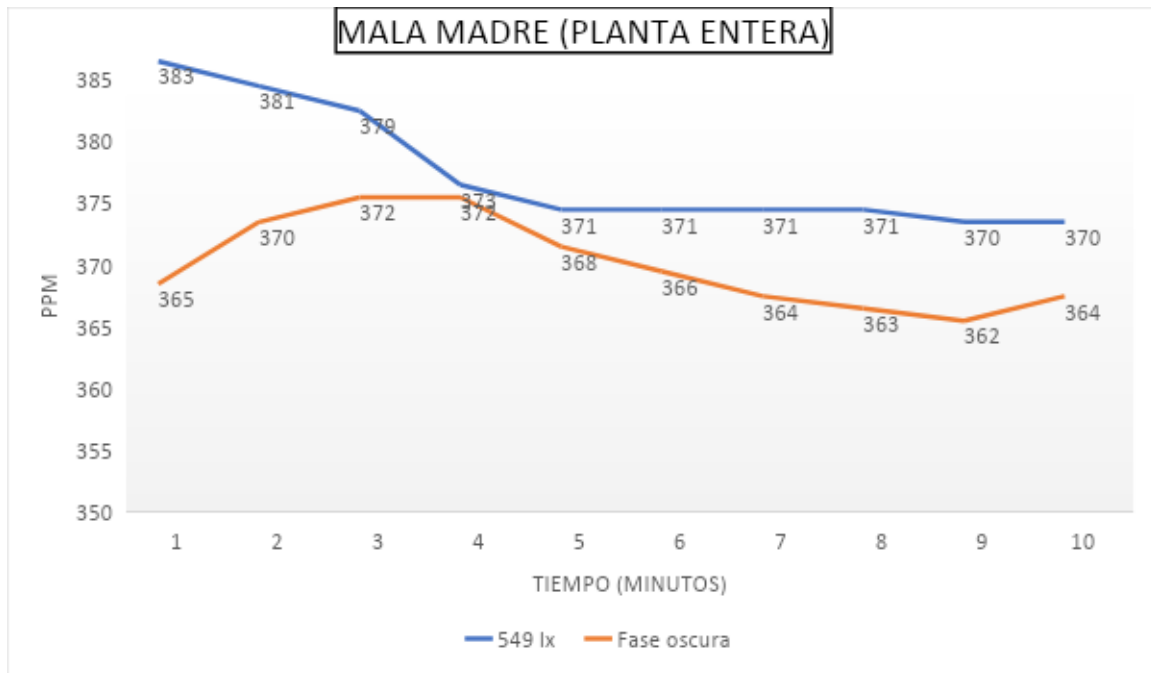


Gráfico 10. Prueba de absorción de CO<sub>2</sub> en una planta entera de mala madre.

Diferencia de absorción de CO<sub>2</sub> aplicando 549 lx: 13 ppm.

=0,0409 x 13 ppm x 44 g/mol = 23.39 mg/m<sup>3</sup> de absorción de CO<sub>2</sub> durante 10 minutos.

Diferencia de absorción de CO<sub>2</sub> en fase oscura: 1 ppm.

=0,0409 x 1 ppm x 44 g/mol = 1.79 mg/m<sup>3</sup> de absorción de CO<sub>2</sub> durante 10 minutos.

Dados los datos obtenidos tras la prueba, se puede determinar que en la fase lumínica aplicando 549 lx, la planta de mala madre es capaz de realizar una óptima absorción de CO<sub>2</sub>, ya que se inició en el minuto 1 con 383 ppm y se finalizó con 370 ppm, es decir que se logró

reducir 13ppm en un lapso de 10 minutos; en el caso de la fase oscura se puede observar que hubo bastante irregularidad pero dio un indicio en que la producción de ppm iba en un estado de mantenimiento o aumento, ya que inició con 365 ppm y al cabo de 10 minutos finalizó con 364 ppm, es decir solo se redujo 1 ppm.

#### 5.4 Planteamiento del experimento de la capacidad absorción de CO<sub>2</sub> en las distintas especies de plantas establecidas en los paneles verdes, bajo la influencia de distintos niveles de luxes.

Tras las pruebas realizadas dentro del proyecto acerca de la capacidad de absorción de CO<sub>2</sub>, se obtuvo como resultado el planteamiento de un experimento a mayor escala para evaluar la capacidad de captación de CO<sub>2</sub> de las especies implementadas dentro de los paneles verdes.

Investigación y planteamiento del experimento de la capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> en: <https://docs.google.com/document/d/1ID2ZPx7aZ8g6aBvtBWichJDm-YZD9Owd/edit>



Fig 4. Esquema de pasos metodológicos para la evaluación de la capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> de las distintas especies implementadas en los paneles verdes.

## 5.5 Pruebas experimentales de la influencia de luxes recibidos en las distintas especies de plantas implementadas en los paneles verdes.

### 5.5.1 Resultados de la influencia de luxes en la planta Maní rastrero.

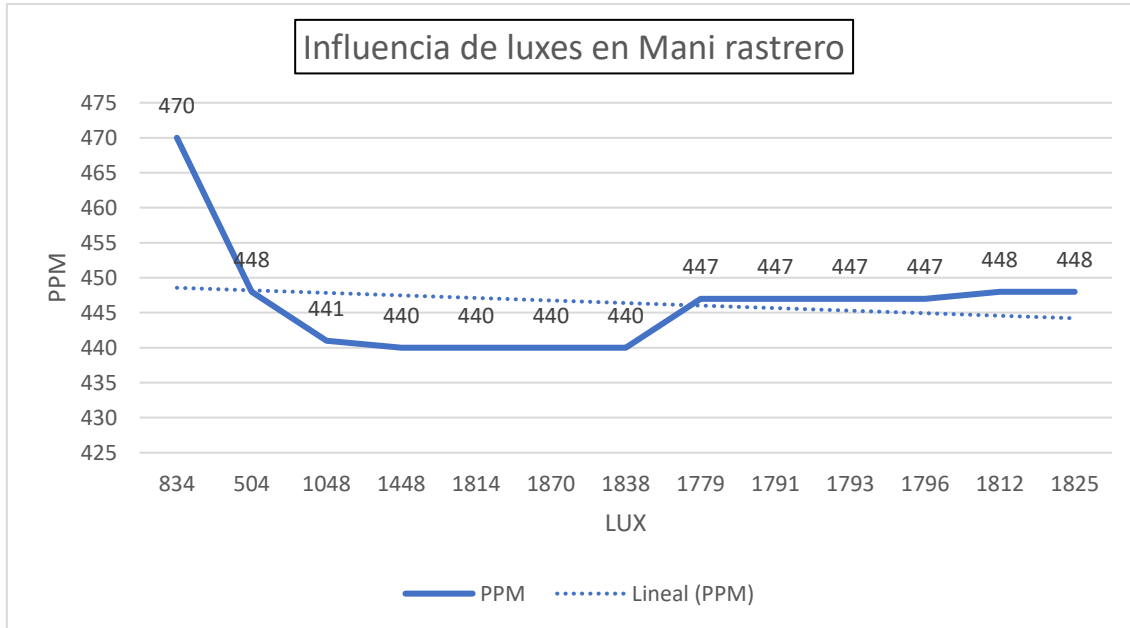


Gráfico 11. Influencia de luxes sobre el Maní rastrero.

Dados los datos obtenidos tras la prueba para evaluar la influencia de los luxes sobre la planta Maní rastrera, se pudo observar que hubo una absorción de  $\text{CO}_2$  ya que en el minuto uno se inició con 470 ppm y se finalizó 448 ppm, es decir que hubo una reducción de 22 ppm a medida que el nivel de luxes iba en incremento.



### 5.5.2 Resultados de la influencia de luxes en la planta Mala madre.

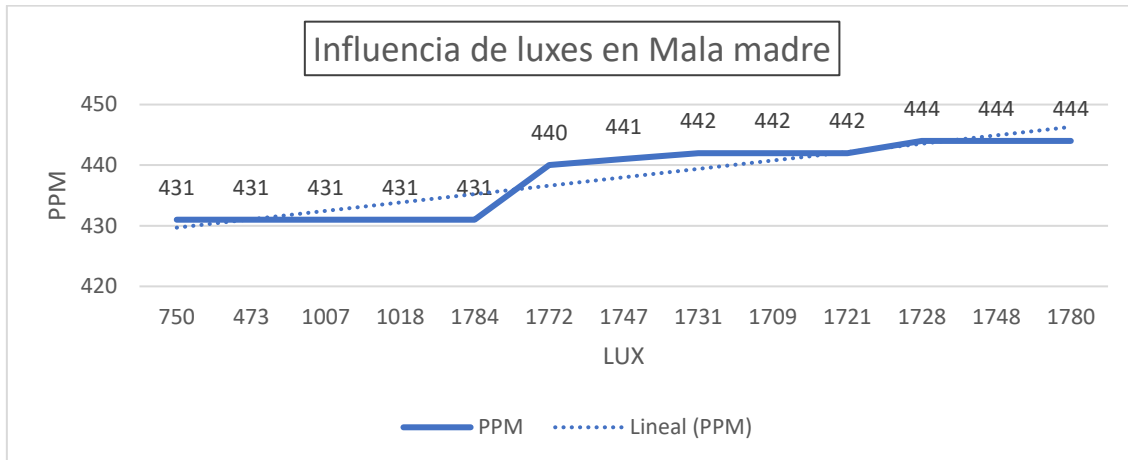


Gráfico 12. Influencia de luxes sobre Mala madre.

Dados los datos obtenidos tras la prueba para evaluar la influencia de los luxes sobre la planta Mala madre, se pudo observar que hubo un pequeño incremento de ppm CO<sub>2</sub>, ya que se inició en el minuto uno con 431 ppm y conforme se iba incrementando el nivel de los luxes el dato final de ppm llegó a 444 ppm, sin embargo, los datos obtenidos fueron prácticamente estables y no demasiado disparados.

### 5.5.3 Resultados de la influencia de luxes en la planta Lengua de suegra.

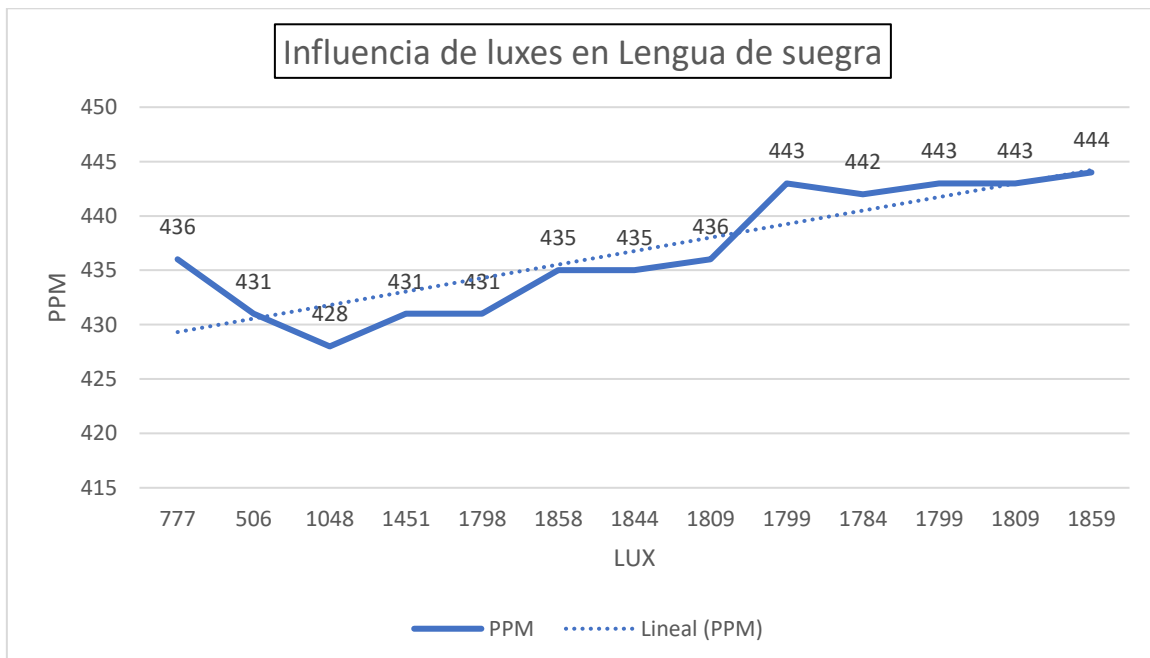


Gráfico 13. Influencia de luxes sobre Lengua de suegra

Tras los datos obtenidos en las pruebas de evaluación de la capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> bajo la influencia de luxes sobre la planta Lengua de Suegra se pudo observar que el comportamiento de CO<sub>2</sub> fue en incremento, ya que se inició con 436 ppm y aumento a 444 ppm, lo que indica que a mayor influencia de luxes la planta es posible que sufra de una sobresaturación fotosintética.

#### 5.5.4 Resultados de la influencia de luxes en la planta Portulaca.

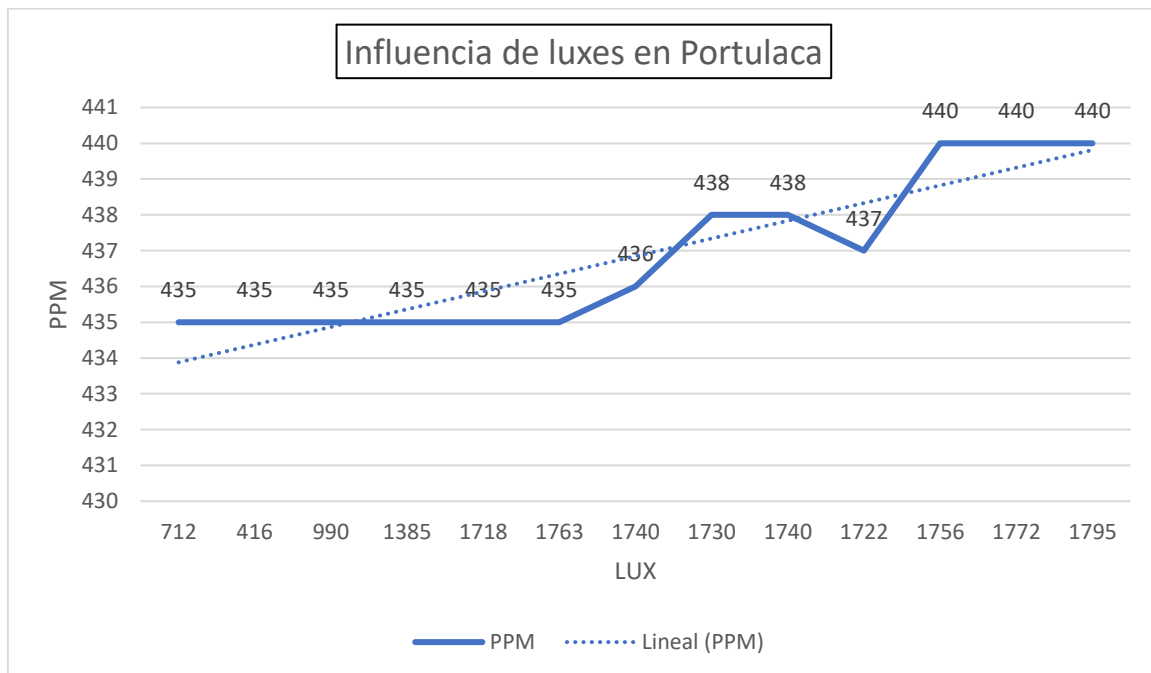


Gráfico 14. Influencia de luxes sobre Portulaca

Según los datos obtenidos se observa que la capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> de la planta Portulaca bajo la influencia de los luxes es directamente proporcional, ya que a mayor cantidad de luxes que recibe la planta produjo mayor cantidad de ppm de CO<sub>2</sub>, ya que se inició con 435 ppm en el minuto 1 y terminó con 440 ppm.

### 5.5.5 Resultados de la influencia de luxes en la planta Purpurina.

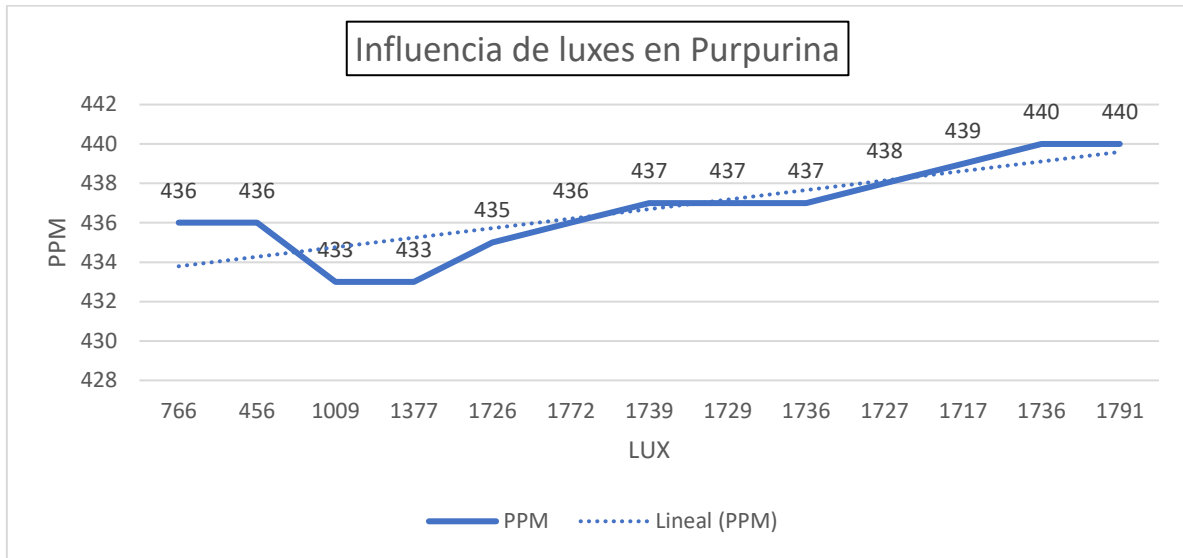


Gráfico 15. Influencia de luxes en Purpurina

Dados los datos obtenidos en la evaluación de la influencia de los luxes sobre la capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> de la planta purpurina, se pudo observar que a mayor cantidad de luxes aplicados la planta produjo mayor cantidad de CO<sub>2</sub>, por lo que tuvo una tendencia directamente proporcional, ya que en un inicio se registró 436 ppm y la prueba finalizó con 440 ppm.

### 5.5.6 Resultados de la influencia de luxes en la planta Lirio de Lino.

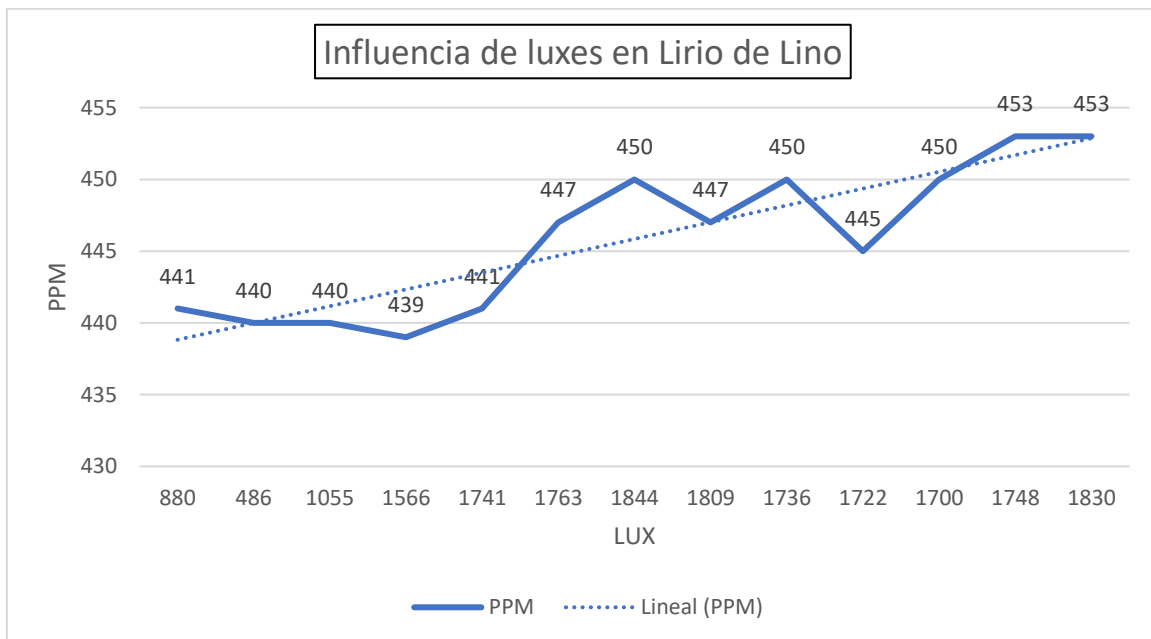


Gráfico 16. Influencia de luxes sobre Lirio de Lino.

De acuerdo con la prueba realizada acerca de la influencia de los luxes en la planta Lirio de Lino se pudo observar que la capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> fue directamente proporcional a la cantidad de luxes recibidos, ya que a mayor nivel de lux hubo mayor cantidad de ppm, viéndose esto reflejado desde que se inició la prueba con 441 ppm y finalizando dicha prueba con 453 ppm.

### 5.6 Resultados de las pruebas de transferencia térmica.

Los resultados comparativos a lo largo del día revelan diferencias de hasta 31 grados Celsius entre los techos verdes y sin cobertura. Considerando paneles de 2 metros cuadrados y diferencias de temperatura promedio de 7 grados Celsius, se registraron transferencias térmicas de 2518.55 Watts durante la máxima insolación. Esto implica que, para aumentar en tiempo real la temperatura en 1 grado, se requiere esa potencia incidente en la cobertura. En promedio, cada metro cuadrado de panel verde absorbe 1,25 kW de energía solar por segundo.

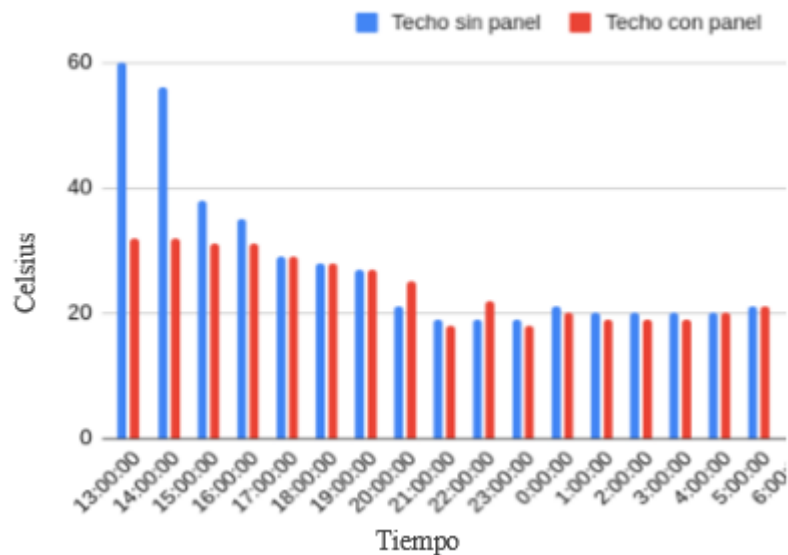


Gráfico 17. Pruebas de transferencia térmica.

### 5.7 Elaboración de manual de mantenimiento de paneles verdes

Se creó un manual de mantenimiento de paneles verdes con el objetivo de brindar a las personas las herramientas necesarias para mantener óptimamente sus paneles. Este manual abarca diversos aspectos, desde la poda de diferentes especies de plantas hasta la frecuencia adecuada de riego, abono y la reincorporación de sustrato necesaria para garantizar el buen

estado de los paneles a lo largo de su período de establecimiento. El principal es permitir que los usuarios aprovechen al máximo los beneficios medioambientales que ofrecen los paneles verdes al proporcionar pautas detalladas para su cuidado adecuado.

Documento de manual de mantenimiento se podrá encontrar en:  
<https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1nucvGU9s9HuAWUFBR2WGJRwQo18hzjq3>

### 5.8 Planteamiento de procedimiento de propagación de musgos.

Se realizó un planteamiento de metodología práctica de la propagación de musgos en base a su reproducción asexual, ya que fue el tipo de reproducción fácil y rápida según las investigaciones científicas consultadas.

Documento del planteamiento propagación de musgos:  
[https://docs.google.com/document/u/1/d/1mtUxUIFLge4UHeEsost9bfp3at3cadPh/edit?usp=drive\\_web&oid=115481732447380156405&rtpof=true](https://docs.google.com/document/u/1/d/1mtUxUIFLge4UHeEsost9bfp3at3cadPh/edit?usp=drive_web&oid=115481732447380156405&rtpof=true)

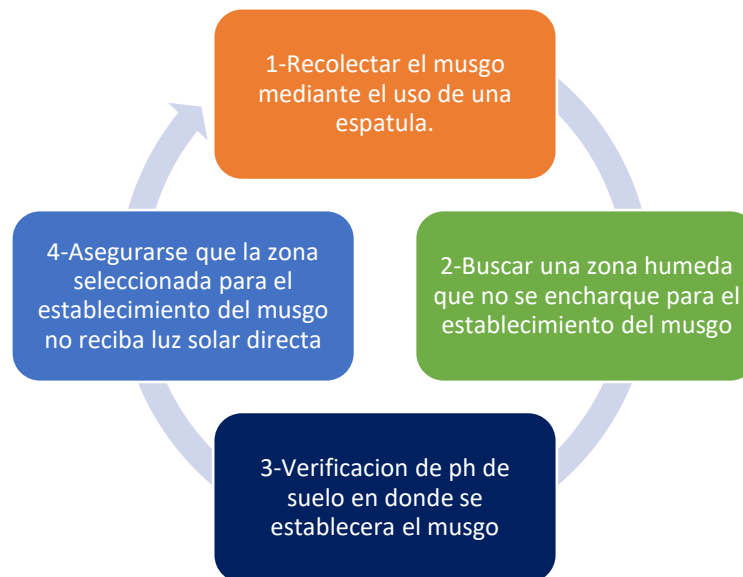


Fig 5. Recolección de musgos.

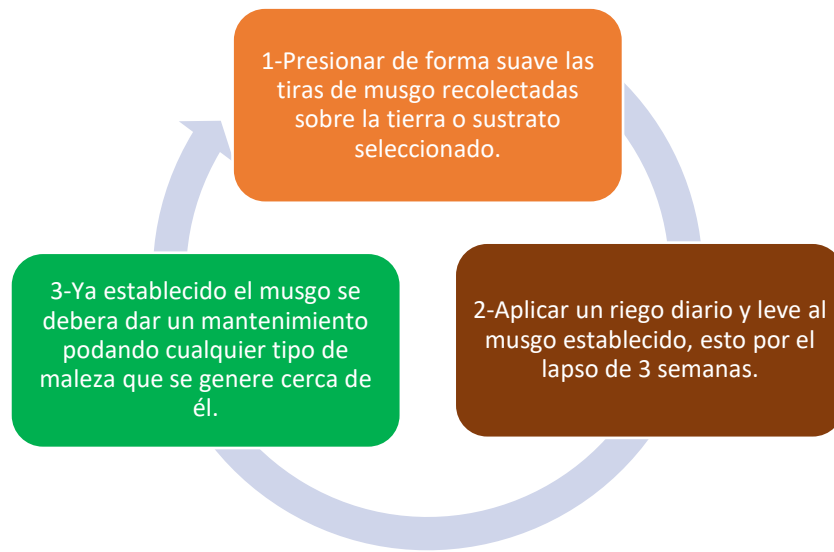


Fig 6. Propagación de musgos.

## 6. Conclusiones

Las especies vegetativas más adaptadas y resistentes al clima, plagas, y con rápida reproducción dentro de los paneles verdes fueron el Maní rastrero, Purpurina, Lengua de suegra, Mala madre y Zebrina. Su alta resistencia se evidencia tras 5 meses desde su establecimiento en los paneles verdes.

El sustrato elaborado con cascarilla de arroz tuvo resultados excelentes, reduciendo el peso de los paneles en un 50 % y permitiendo un óptimo desarrollo de las plantas.

Se puede concluir que la planta comúnmente llamada Lengua de suegra y Portulaca fueron las que demostraron tener la capacidad de captura de CO<sub>2</sub> en la fase oscura, ya que absorbieron 10 ppm y 20 ppm en dicha fase, por lo que tuvieron una tendencia indirectamente proporcional a la cantidad de luxes recibidos.

Las plantas Mala madre y Maní rastrero, fueron las que presentaron mayor capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> en la fase lumínica, absorbiendo 40 ppm y 81 ppm totales en dicha fase, por lo que tuvieron un comportamiento directamente proporcional a la cantidad de luxes recibidos, es decir que a mayor cantidad de luxes recibidos estas capturaron mayor cantidad de CO<sub>2</sub>.

Las plantas lengua de suegra, Portulaca, Purpurina y Lirio de lino, presentaron de manera inmediata un punto de saturación de luz, ya que desde los 712 luxes recibidas en el minuto 1 dejaron de absorber el CO<sub>2</sub> y comenzaron a producirlo, lo que indica que las plantas llegaron a su punto de saturación y cerraron sus estomas generando un 0% de captura de CO<sub>2</sub>.

Un manejo adecuado desde el inicio en el mantenimiento de los paneles verdes favorece al 100% su óptimo funcionamiento a lo largo del tiempo. Esto implica la captura continua de mayores cantidades de CO<sub>2</sub> y la reducción efectiva de las islas de calor en el entorno urbano.

Dado el fenómeno de las islas de calor en la zona urbana se puede determinar que estos poseen un 44% de capacidad de retención de transferencia térmica según las máximas mediciones de retención sobre las distintas estructuras donde se establecieron.

En base a la literatura consultada acerca de la propagación de musgos, el método más fácil y efectivo es la propagación asexual. Este enfoque no solo reduce el tiempo necesario, sino que también asegura la propagación del musgo en un 90%. Además, este método es

especialmente útil para aquellos sin mucha experiencia en la multiplicación o propagación de esta especie.

El uso de sistemas de techos verdes demuestra un alto potencial en no solo reducir la contaminación del aire, sino que pueden revolucionar la agricultura urbana, aprovechando el uso de distintos espacios de las viviendas de la ciudad es capaz de generar zonas verdes y más autosuficientes, capaces de dar sostenibilidad y la seguridad alimentaria a la población urbana del país.



## **7. Recomendaciones**

Al establecer paneles verdes se debe de considerar las condiciones abióticas y bióticas a las que estará expuesto, ya que en base a ello se deberán de seleccionar las plantas que se establecerían en los paneles verdes.

Se recomienda utilizar el sustrato con el 50 % de tierra negra, 25 % de cascarilla de arroz y 25% de materia orgánica ya que es ligero y posee una óptima nutrición, por el hecho de que se debe de buscar reducir el peso para que los paneles puedan establecerse en distintas estructuras.

Utilizar plantas que posean la capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> en distintas fases lumínicas, ya que mientras algunas hagan su retención de CO<sub>2</sub> en el lapso del día, las otras estarán haciendo la captura en el lapso de la noche, por lo cual habrá una efectividad en ambas fases

Es necesario que en al establecer un panel verde darle a este un mantenimiento ideal desde la fase de establecimiento, ya que esto promoverá un lapso de vida mayor del panel, y que pueda tener un óptimo funcionamiento.

Al instalar un panel verde horizontal en un techo, se debe asegurar una evacuación adecuada del agua lluvia para evitar la sobresaturación del panel.

Se debe de considerar el peso total del panel en su estado seco y húmedo, ya que se tendrá que evaluar con un ingeniero civil si la estructura en donde se quiera establecer es lo suficientemente capaz de sostener el peso de dicho panel.

En la propagación de musgos, es crucial elegir un lugar con luz solar indirecta y mantener el musgo lo suficientemente húmedo para promover su crecimiento y obtener resultados óptimos.

## 8. Bibliografía

**Adonay, P. 2021.** ¿Qué son las islas de calor urbano? (en línea, sitio web). Consultado 9 feb. 2023. Disponible en <https://transecto.com/2021/01/que-son-las-islas-de-calor-urbano/>

**BID (Banco Interamericano de Desarrollo). 2023.** Nuestros países (en línea). Consultado 30 nov. 2023. Disponible en <https://www.iadb.org/es/quienes-somos/estructura-organizacional#:~:text=En%201959%20se%20fund%C3%B3%20el,Rep%C3%ABblica%20Dominicana%2C%20Uruguay%20y%20Venezuela.>

**Gartland, L. 2008.** "Understanding and mitigating heat in urban areas. Londres". Editorial Earthscan Publications Ltd. 200 p. Consultado 17 feb. 2023. Disponible en <https://www.scielo.cl/pdf/rgeong/n43/art09.pdf>

**Google Maps. 2023.** Ubicación de la Universidad Don Bosco (en línea, fotografía). Consultado 21 feb. 2023. Disponible en <https://www.google.com/maps/place/Universidad+Don+Bosco/@13.7159087,89.1558927,979m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8f63375d2edc6a6f:0x5101ecc11020bce6!8m2!3d13.7159035!4d-89.1536987!5m1!1e2>

**OPAMSS (Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador). 2023.** ¿Qué es la OPAMSS? (en línea). Consultado 20 nov. 2023. Disponible en <https://opamss.org/sv/opamss/#:~:text=La%20Oficina%20de%20Planificaci%C3%B3n%20del,eminentemente%20t%C3%A9cnica%2C%20descentralizada%20y%20aut%C3%B3noma.>

**Perini, K; Rosasco, P. 2013.** Cost–benefit analysis for green façades and living wall systems, Building and Environment 70. 110- 121 p. Consultado 10 feb. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.012>

**Raji, B; Tenpierik, MJ; Dobbelte, A. 2015.** The impact of greening systems on building energy performance: a literature review Renew (en línea). Sustain. Energy Rev; 45, pp. 610–623 p. Consultado 10 feb. 2023. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032115000994>

**UDB (Universidad Don Bosco, El Salvador). 2023.** Nuestra historia (en línea). Consultado 30 nov. 2023. Disponible en [https://www.udb.edu.sv/udb/pagina/nuestra\\_historia](https://www.udb.edu.sv/udb/pagina/nuestra_historia)

## 9. Anexos



Anexo 1. Maní forrajero (*Arachis pintoi* Krap)



Anexo 2. Portulaca (*Portulaca oleracea*)



Anexo 3. Lengua de suegra o sansevieria (*Sansevieria trifasciata*)



Anexo 4. Mala madre (*Chlorophytum comosum*)



Anexo 5. Lirio de lino (*Dianella tasmanica*)



Anexo 6. Purpurina o amor de hombre (*Tradescantia purpurea ex Boom*)





Anexo 7. Zebrina péndula (*Tradescantia zebrina*).



Anexo 8. Verbena (*Verbena officinalis*)



Anexo 9. Ejemplares de plantas que se van a establecer en el panel verde.



Anexo 10. Elaboración de caja de madera para realización de pruebas de CO<sub>2</sub>.



Anexo 11. Realización de reuniones con el equipo de trabajo, para la discusión de avances de investigaciones.



Anexo 12. Preparación de sustrato para siembra de plantas para pruebas de CO<sub>2</sub>.



Anexo 13. Siembra y mantenimiento de plantas que se utilizaran para pruebas de absorción de CO<sub>2</sub>.



Anexo 14. Sellado de caja de acrílico para pruebas de CO<sub>2</sub>.



Anexo 15. Inicio de pruebas de absorción de CO<sub>2</sub> en la planta Mala madre.



Anexo 16. Preparación de prueba de  $\text{CO}_2$  en determinada área foliar de las plantas preseleccionadas.



Anexo 17. Realización de pruebas de  $\text{CO}_2$  aplicando 1180 lux en cierta proporción vegetativa.



Anexo 18. Realización de pruebas de absorción de  $\text{CO}_2$ , aplicando 509 lux en cierta proporción vegetativa.

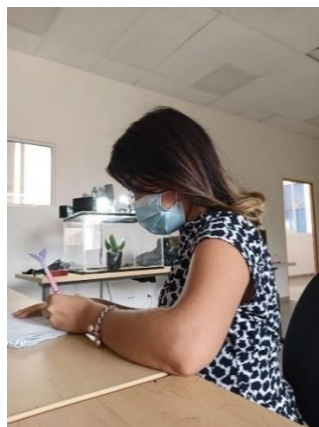




Anexo 19. Toma de medidas de absorción de  $\text{CO}_2$ , para evaluar el comportamiento a luz directa del sol.



Anexo 20. Realización de pruebas de absorción de  $\text{CO}_2$  a mayor escala con una planta entera, aplicando 549 lux.



Anexo 21. Toma de datos de prueba de absorción de  $\text{CO}_2$  en plantas enteras, aplicando 549 lux.



Anexo 22. Preparación de material filtrante a base de piedra pómez para la implementación del módulo.



Anexo 23. Preparación de sustrato a base de tierra negra, materia orgánica y cascarilla de arroz.



Anexo 24. Siembra de plantas en modulo.



Anexo 25. Modulo verde terminado a base de Maní rastrero y Purpurina.



Anexo 26. Riego y mantenimiento de modulo verde.



Anexo 27. Preparación de piedra pómez para modulo pequeño.





Anexo 28. Modulo pequeño ya finalizado, con la incorporación de maní rastro y purpurina.



Anexo 29. Realización de pruebas de CO<sub>2</sub> dentro de una caja de acrílico, aplicando diferentes niveles de iluminación.



Anexo 30. Pruebas de absorción de CO<sub>2</sub> en maní forrajero.



Anexo 31. Pruebas de absorción de CO<sub>2</sub> de una porción vegetal de maní forrajero dentro de un Erlenmeyer.



Anexo 32. Toma de datos de pruebas de absorción de CO<sub>2</sub> a diferentes niveles de iluminación.



Anexo 33. Preparación de sustrato para la implementación del módulo verde vertical.



Anexo 34. Implementación del módulo verde vertical en instalaciones de la UDB.



Anexo 35. Modulo verde vertical implementado en instalaciones de la UDB.



Anexo 36. Construcción de módulos.



Anexo 37. Módulos ya listos para ser instalados.



Anexo 38. Pedido de plantas a utilizar para el techo verde.



Anexo 39. Paneles ya instalados.





Anexo 40. Módulo ya instalado con piedra pómez.



Anexo 41. Preparación de modulo para realización de siembra.



Anexo 42. Siembra de plantas en módulos.





Anexo 43. Proceso del 25% del establecimiento de los módulos.



Anexo 44. Proceso del 50% del establecimiento de módulos.



Anexo 45. Proceso del 75% del establecimiento de módulos.



Anexo 46. Pasante realizando siembra en módulos.



Anexo 47. Instalación del techo verde finalizada al 100%.

	<b>CONTENIDO</b>	
	1. INTRODUCCIÓN ..... 4 2. OBJETIVOS ..... 5 3. Paneles o muros verdes ..... 6 4. Descripción de la implementación de un panel verde ..... 6 4.1. Purificación del aire ..... 6 4.2. Reducción de la temperatura ambiente ..... 6 4.3. Aumenta la sensación de bienestar ..... 7 4.4. Preparación una reserva de agua de lluvia ..... 7 5. Tipo de panel verde implementado ..... 7 5.1. Muro verde tipo modular ..... 7 6. Tipo de vegetación ..... 8 6.1. Especies vegetales para paneles verdes ..... 8 7. Plantas implementadas ..... 8 7.1. Miel Estragón ( <i>Artemisa princeps</i> (Rag)) ..... 8 7.2. Peralina ( <i>Persea odorata</i> ) ..... 9 7.3. Lengua de vaca o saniclay ( <i>Scaevola taccada</i> ) ..... 10 7.4. Mula mañá ( <i>Chaptalia coccinea</i> ) ..... 12 7.5. Lino de Ica ( <i>Chenopodium leucomerum</i> ) ..... 13 7.6. Borraja o acaes de borraja ( <i>Pharbitanella purpurea</i> en Borel) ..... 14 7.7. Zuhua piculala ( <i>Pharbitanella adonax</i> ) ..... 15 7.8. Verbena ( <i>Verbena officinalis</i> ) ..... 16 8. Aspectos a considerar en el mantenimiento de plantas ..... 17 8.1. Insumos necesarios para el mantenimiento de módulos ..... 17 8.2. Eficiencia de riego y adaptación de plantas ..... 17 8.3. Etapa de crecimiento ..... 18 8.4. Fertilización ..... 18 8.5. Riego ..... 18 8.6. Poda ..... 19 8.7. Fertilización ..... 20 8.8. Sustrato ..... 20	8.8.1. Proceso para hacer mantenimiento al sustrato ..... 21 8.9. Capa filtrante ..... 22 8.10. Sistema de drenaje ..... 22 8.11. Manejo de plagas ..... 23 9. Frecuencia de mantenimiento ..... 23 9.1. Mantenimiento permanente ..... 23 9.2. Mantenimiento mensual ..... 24 9.3. Mantenimiento trimestral ..... 24 9.4. Mantenimiento anual ..... 24 10. RESULTADOS Y CONCLUSIONES ..... 25 11. RECOMENDACIONES ..... 25 12. BIBLIOGRAFÍA ..... 26

Anexo 48. Manual de mantenimiento de paneles verdes.





Anexo 49. Poda de panel verde horizontal.



Anexo 50. Poda de paneles verdes instalados en techo.



Anexo 51. Presentación de los módulos verdes