



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL OZONO TROPOSFÉRICO EN LAS  
CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LA ESPECIE *Lactuca sativa*.

Autor

Oscar Ramiro Andrade Durán

Año  
2017



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL OZONO TROPOSFÉRICO EN LAS CARACTERÍSTICAS  
MORFOLÓGICAS DE LA ESPECIE *Lactuca sativa*.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos  
para optar por el título de Ingeniero Ambiental en Prevención y Remediación

Profesor Guía

MSc. Yasser Alejandro González Romero

Autor

Oscar Ramiro Andrade Durán

Año

2017

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA**

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

---

Msc. Yasser Alejandro González Romero  
Magister en Ingeniería y Gestión Ambiental  
C.I: 070373762-7

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR**

“Declaro haber revisado éste trabajo, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

---

Ph.D. Rasa Zalakeviciute  
Doctora en Ingeniería Civil  
C.I: 175707679-7



## **DECLARACIÓN DEL ESTUDIANTE**

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

---

Oscar Ramiro Andrade Durán

C.I: 172306330-9

## **AGRADECIMIENTOS**

Principalmente a mis padres por su comprensión, tolerancia y apoyo; a mi familia en general por sus buenos deseos y consejos; al Ing. Alejandro González por ser mi mentor durante mi carrera universitaria y brindarme motivación sobre todo en este proceso de titulación; a la Ing. Paola Posligua por su confianza, ayuda y apoyo; a la Dra. Raza Zalakeviciute por su apoyo y guía en este proyecto; y a mis amigos por conseguir que esta etapa universitaria fuera más amena y agradable. También a la Secretaría de Ambiente Quito en especial a Valeria Díaz por proporcionar información y soporte para realizar este trabajo de titulación.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Gualberto y María Judith, por estar presentes en cada etapa de mi vida y por su apoyo incondicional; a mis familiares, Piedad, Luis Mauricio y Diego, que guiaron mi camino y sirvieron de ejemplo para continuar avanzando.

## RESUMEN

La contaminación atmosférica es un fenómeno que se ha incrementado a través de los años principalmente por el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Estos contaminantes en la atmósfera terrestre interactúan produciendo contaminantes secundarios. Uno de ellos el ozono ( $O_3$ ) que si bien ubicado en la estratósfera forma una capa que provee protección para el planeta, cuando se ubica en la tropósfera terrestre puede ser perjudicial para los seres vivos. Las concentraciones de ozono no son constantes durante el día sino que alcanzan una concentración elevada cerca del mediodía. En Ecuador las concentraciones en los meses de septiembre y octubre se encuentran entre los 60 y 85  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que en los meses de abril y mayo rondan los 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mostrando una variación significativa entre los meses de verano e invierno. El ozono ha sido estudiado principalmente por sus repercusiones en humanos pero en los últimos años por el incremento en sus concentraciones a nivel troposférico se ha investigado su influencia en la vegetación, mostrando que el ozono genera afecciones a una amplia gama de cultivos. La lechuga con su nombre científico *Lactuca sativa* es uno de los cultivos vegetales de mayor demanda y que cada vez se incrementa su aplicación en agricultura urbana. Este estudio se plantea como objetivo evaluar los efectos del ozono troposférico en ésta especie vegetal diseñando y construyendo un sistema experimental para la exposición de la especie a niveles conocidos de ozono. Para esta experimentación se utilizó la variedad *Lactuca sativa* L. conocida por su nombre común “lechuga romana”, la cual fue sometida a 2 tratamientos con diferentes concentraciones de ozono siendo éstas de 40 y 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente y realizando una observación e identificación de los cambios presentados en el desarrollo de la misma. Los resultados obtenidos sugieren que las hojas de la lechuga son sensibles a la concentración de ozono, y dicha sensibilidad se presenta visiblemente en la aparición de manchas en las hojas inferiores de la planta, teniendo una relación directa entre la formación de manchas y la concentración del contaminante.

**Palabras clave:** Ozono ( $O_3$ ), efectos, lechuga, contaminación, cultivo.

## ABSTRACT

Air pollution is a phenomenon that has increased over the years, mainly by the increase in emissions of greenhouse effect pollutants. These contaminants interact with each other and with the environment producing secondary pollutants. Ozone ( $O_3$ ), when located in the stratosphere forms a layer that protects the planet from ultra violet radiation, but when in the troposphere can be harmful to life. Studies have shown that the concentrations of ozone are not constant throughout the day and reach their maximum concentrations at noon. The ozone concentrations also present a variation between months. In Ecuador, ozone concentration at midday in September and October vary between 60 and 85  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , whereas in April and May are set to 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , showing a significant variation between summer and winter months. Ozone have been studied mainly because of the repercussions that can have for human health, but in recent years due to its increase in tropospheric concentrations, studies have been indicating its effect on vegetation as well. Some of the studies have shown that ozone generates imperfections on a wide range of crops. Lettuce with scientific name *Lactuca sativa* is one of the crops that has a great demand in the market and in the last years, more cases have appeared of these crops used in urban agriculture. This study aims to evaluate the effects of tropospheric ozone on the plant species by designing and building an experimental system for the variety *Lactuca sativa* L. known by its common name “romaine lettuce”. The study was performed from march 4<sup>th</sup> to may 20<sup>th</sup> 2017 in central Quito, Ecuador .The plants were exposed to two different treatments with different ozone concentrations of 40 and 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectively, performing observations and identifying the changes occurred on the plants development. The results confirm that lettuce leaves are sensible to ozone concentrations, and this sensitivity were show in the appearance of spots on the leaves closer to the ground. This work suggest that the increase in urban ozone concentrations could result in significant economic losses due to the esthetic damage to the leaves – the economic value of tis species.

**Key words:** Ozone ( $O_3$ ), effects, lettuce, pollution, crops.

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
Antecedentes: .....	1
Alcance .....	4
Justificación .....	4
Objetivos: .....	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos:.....	5
1. CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Contaminantes del Aire.....	5
1.2. El ozono.....	7
1.3. Efecto del ozono troposférico sobre las plantas .....	11
1.4. Agricultura urbana.....	13
1.5. Sistemas de cultivo hidropónicos .....	14
2. CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	17
2.1. Esquema de presentación de Metodología.....	17
2.2. Diseño Experimental .....	18
2.3. Diseño y construcción del modelo para exposición de plantas al ozono .....	23
2.4. Determinación de alteraciones en la planta.....	50
2.5. Análisis de cambios evidenciados.....	62
2.6. Evaluación de los efectos del ozono .....	65
3. CAPÍTULO III. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	65
3.1. Esquema de presentación de resultados y análisis .....	65
3.2. Resultados del diseño y construcción del módulo de exposición .....	65
3.3. Alteraciones en la morfología de las plantas .....	68

3.3.1. Exposición al contaminante .....	68
3.4. Control de la solución nutritiva.....	69
3.5. Control de pH.....	69
3.6. Control de conductividad eléctrica .....	70
3.7. Cambios observados .....	72
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>91</b>
4.1. Conclusiones.....	91
4.2. Recomendaciones .....	93
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>94</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>116</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Disposición del ozono en la atmósfera terrestre. ....	9
Figura 2: Resumen de metodología .....	17
Figura 3. Diagrama de la disposición y funcionamiento del sistema. ....	22
Figura 4. Curvas de concentración horaria en la estación Belisario.....	24
Figura 5. Curvas de concentración horaria en el DMQ con indicadores de varianza.....	25
Figura 6. Espacio de separación entre plantas. ....	27
Figura 7: Fotografías de detalles de lechuga romana: .....	29
Figura 8: Crecimiento esperado de la planta de lechuga: .....	30
Figura 9: Fotografías sistema de cultivo:.....	31
Figura 10. Dimensiones del módulo de exposición. ....	32
Figura 11: Fotografías de los módulos sellados con plástico: .....	33
Figura 12: Fotografías de las mangueras utilizados para el ingreso del gas:...	33
Figura 13: Fotografía equipo generador de ozono .....	34
Figura 14: fotografías tuberías utilizadas: .....	35
Figura 15: Fotografías de plástico transparente: .....	35
Figura 16: Fotografías de válvulas del sistema de cultivo: .....	36
Figura 17: Fotografía de mangueras de plástico utilizadas .....	36
Figura 18: Fotografías de mangueras para agua utilizadas: .....	37
Figura 19: Fotografía de bomba sumergible.....	38
Figura 20: Fotografías del contenedor utilizado: .....	38
Figura 21: Fotografías vigas de madera usadas para formar el módulo: .....	39
Figura 22: Fotografías del timer utilizado: .....	40
Figura 23: Fotografías de estructura de módulos:.....	41
Figura 24: Fotografías del sistema Hidropónico: .....	42
Figura 25: Fotografías de colocación del plástico transparente: .....	43
Figura 26: Ubicación de Proyecto en Mapa de DMQ: .....	43
Figura 27: Fotografías de la ubicación del proyecto:.....	44
Figura 28: Fotografías de calibración con sensores de O <sub>3</sub> :.....	45
Figura 29: Fotografías colocación de medidores pasivos: .....	46
Figura 30: Fotografías medidores pasivos: .....	47



Figura 31: Fotografías sistema medidor por cromatografía iónica: .....	48
Figura 32: Fotografías del equipo medidor utilizado:.....	49
Figura 33: Fotografías de las plántulas entregadas por PILVICSA: .....	50
Figura 34: Fotografías de la prueba de selección de variedad de lechuga: .....	51
Figura 35: Colocación de plantas en el sistema de cultivo: .....	52
Figura 36: Fotografías de calibración módulos de concentración cero: .....	53
Figura 37: Fotografías de control de riego aplicado en el experimento:.....	58
Figura 38: Fotografías preparación de solución nutritiva:.....	59
Figura 39: Fotografías control de pH:.....	60
Figura 40: Fotografías calibración de equipos medidores de pH: .....	60
Figura 41: Fotografías control de CE: .....	61
Figura 42: Fotografías calibración de medidores de CE: .....	61
Figura 43: Fotografías de las mediciones de altura de las plantas.....	62
Figura 44: Fotografías de la medición de longitud de las raíces: .....	63
Figura 45: Fotografías de medición de peso de las plantas: .....	63
Figura 46: Fotografías de inspección de plantas:.....	64
Figura 47: Resumen resultados y análisis.....	65
Figura 48: Fotografía de módulos de exposición contruidos y en funcionamiento .....	66
Figura 49: Fotografía de prueba de funcionamiento del sistema de riego.....	67
Figura 50: Fotografías de los módulos cubiertos por techo transparente:.....	68
Figura 51: Gráfica del control de pH durante el experimento .....	70
Figura 52: Gráfica de control de CE durante el experimento.....	71
Figura 53: Fotografías de revisión de crecimiento de plantas en los módulos: 73	
Figura 54: Fotografías de diferencia de crecimiento de las plantas: .....	74
Figura 55: Fotografías de deterioro en las plantas de módulos superiores:.....	74
Figura 56: Gráfica de resultados de altura de las plantas .....	75
Figura 57: Gráfica de resultados de longitud de las raíces .....	77
Figura 58: Gráfica de resultados de pesos de las plantas.....	78
Figura 59: Gráfica de resultados de número de hojas.....	80
Figura 60: Fotografías de afectación en los bordes de las plantas: .....	81
Figura 61: Gráfica de resultados de número de hojas con bordes afectados ..	82

Figura 62: Fotografías de manchas iniciales en las hojas de las plantas: .....	84
Figura 63: Fotografías de cambio de color en las manchas: .....	85
Figura 64: Gráfica de resultados de número de manchas.....	86
Figura 65: Fotografías de variación de manchas entre tratamientos:.....	87

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Detalle de diseño experimental .....	19
Tabla 2: Cálculo de ANOVA.....	20
Tabla 3: Codificación de los módulos de exposición .....	22
Tabla 4: Mediciones de ozono por sensores pasivos.....	49
Tabla 5: Resultados máximos y mínimos calculados para pH .....	69
Tabla 6: Resultados máximos y mínimos calculados para la CE .....	71
Tabla 7: Tabla ANOVA de la variable altura de la planta .....	76
Tabla 8: Tabla ANOVA de la variable longitud de raíz .....	77
Tabla 9: Tabla ANOVA de la variable peso de la planta .....	79
Tabla 10: Tabla ANOVA de la variable número de hojas .....	80
Tabla 11: Tabla ANOVA de la variable número de hojas con borde afectado .	82
Tabla 12: Tabla ANOVA de la variable número de manchas .....	88
Tabla 13: Tabla ANOVA general.....	89

## INTRODUCCIÓN

### **Antecedentes:**

Conocemos que las actividades humanas son la principal fuente de emisiones de gases y partículas que afectan al medio en que nos desarrollamos, alterando el equilibrio de la atmósfera del planeta. Estas variaciones pueden deberse a cambios en sus componentes o a la alteración de las concentraciones de los mismos, el conjunto de estos cambios se los conoce como contaminación atmosférica (Matus, 2017 y Peña y Ramírez, 2016).

Según National Aeronautics and Space Administration (NASA) y la Dirección de Monitoreo Atmosférico de México (SEDEMA), el ozono es un poderoso oxidante capaz de reaccionar rápidamente frente a otros compuestos químicos. Éste es un componente natural presente en la atmósfera, en altas concentraciones a nivel de la atmósfera terrestre es considerado un contaminante del aire capaz de provocar efectos nocivos a la salud tanto de personas como de animales y plantas. Además es uno de los gases que aportan al calentamiento global (National Aeronautics and Space Administration, 2006 y SEDEMA, 2016).

El ozono pese a ser un gas característico del planeta tierra que se sitúa en la estratósfera terrestre formando una capa que protege al planeta de la incidencia de los rayos UV y permite que se desarrolle la vida en todos los ecosistemas. El ozono troposférico en cambio es el causante de daños sobre los seres vivos como irritación en las mucosas o cambios en el funcionamiento de los pulmones. En las plantas la presencia de ozono produce modificaciones en la coloración de las hojas, además reduce la fotosíntesis por ende el número y crecimiento de las hojas. Interviene también en el desarrollo del tallo y puede reducir o eliminar el crecimiento de microorganismos beneficiosos para la planta (Scholis, Castillo y Muñoz Florinella, 2012). En estudios realizados en los países de China, Estados Unidos, además de los efectuados en la zona de

Levante, España, se demuestra que en estas zonas, el ozono tiene la capacidad para generar una reducción en la productividad de ciertos cultivos. Se evidenció una reducción de un 39% en las sandías, un 31% en judías, un 26% en tomates, 10% en trigo, un 5% en arroz, entre otras frutas, hortalizas y cereales (Bermejo, Alonso del Amo, Cozar, García y Rabago, 2009; Emberson et al., 2009; y Wang, Manning, Feng, y Yongguan, 2007).

Según estadísticas proporcionadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), cerca de un tercio de alimentos que se producen en el mundo es desperdiciado, esto quiere decir que cerca de 1300 millones de toneladas de alimentos son desaprovechados al año. La mayor parte se produce durante las etapas de distribución y consumo debido a que los alimentos son descartados por que no son “aptos para su exhibición y venta” (Torres, 2016). Esto se debe a sus características organolépticas no aceptadas por las políticas comerciales. En Ecuador el Ministerio del Ambiente (MAE) estima que cerca de 4.06 millones de toneladas métricas son desechadas cada año, de las cuales un 60% corresponde a desechos alimenticios. En México según la Secretaría de Desarrollo Social de México (SEDESOL), se estima que cada minuto se desperdician 19 toneladas de alimento en buen estado. Estos desechos conllevan una afectación ambiental, principalmente el impacto que tiene en el calentamiento global ya que según los estudios de la FAO la Huella de carbono de la comida producida pero no consumida es de 3300 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> al año, lo equivalente a 2 veces lo que genera el tráfico aéreo mundial (Franco E., 2016; Hualpa, Castillo y Martinez, 2014 y Torres, 2016).

A causa de las concentraciones de ozono registradas alrededor del mundo pueden ocurrir grandes efectos nocivos para la agricultura, si bien estos daños son variables respecto a las concentraciones de ozono, a la etapa de desarrollo de las plantas y de las condiciones edáficas y meteorológicas a las que está expuesta la planta, se pueden observar síntomas principalmente en las hojas, en la calidad del producto y también en la reducción de la productividad de la

misma. En Beijing, China y en España, principalmente en la Península Ibérica se han realizado estudios sobre el efecto del ozono en la agricultura enfocándose en la producción hortícola del mediterráneo debido a las pérdidas económicas que se pueden producir en los cultivos cuyo valor se basa en las apariencias de las hojas (Bermejo et al., 2009; Feng, Paoletti, Bytnerowicz, y Harmens, 2015 y Wan et al., 2014).

Desde 1980 a 2005 se ha visto un incremento notable en la producción agrícola del mundo, creciendo de 324 millones a 881 millones de toneladas de productos agrícolas, con un crecimiento anual de 4.1%, siendo China el principal productor de hortalizas aportando un 50% del mercado mundial. Entre las hortalizas de mayor crecimiento está la lechuga, la cual tuvo, en el periodo mencionado, un crecimiento de 4.1% y es actualmente la segunda hortaliza más consumida en Estados Unidos después de la papa. Entre los principales países productores de lechuga se encuentran China, Bélgica, Francia, Italia, Japón, México, España y Estados Unidos (Castro, Garzón, Niño y Rico, 2015; Ferrato y Mondino, 2008 y United States Department of Agriculture (USDA), 2007). La Lechuga con su nombre científico *Lactuca sativa* es una especie originaria de las regiones templadas de Norteamérica, Asia y Europa, pero fue domesticada por los egipcios y posteriormente ampliada a todo el mundo. Es una planta herbácea anual rústica que se caracteriza por tener hojas grandes y blandas que sirven como alimento (García M., 2011).

En Ecuador la producción de hortalizas por medio de la hidroponía, principalmente lechuga ha tomado importancia especialmente en las ciudades de Quito y Cuenca. La producción de lechugas en el país se estima que alcanza una extensión de 1.145 ha con un rendimiento promedio de 0.928 kg/ha, la cual mayoritariamente se la realiza en medios de cultivo y el porcentaje de cultivos de lechuga en campo abierto es muy reducido. Esta producción de lechugas es principalmente destinada al mercado gourmet nacional y la exportación (Castillo L., 2015 y Rendón y Yance, 2012).

## **Alcance**

En este proyecto de titulación se realizó el diseño e implementación de un prototipo para el cultivo de *Lactuca sativa* por medio del método de hidroponía y la exposición a ozono en base a análisis de datos de concentraciones horarias medias mensuales presentadas en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). En los años 2007 al 2015 de acuerdo a los datos de la Red de Monitoreo de Contaminación Atmosférica. Realizando la evaluación de la incidencia del ozono en el desarrollo de la especie comparando características físicas como el número de manchas en el haz de la hoja y el incremento de peso en la planta, entre plantas expuestas a tres diferentes concentraciones del contaminante. Para así interpretar la relación que posee la concentración del gas en la afectación a las características fisiológicas y morfológicas de la planta de *Lactuca sativa* L.

## **Justificación**

La contaminación del aire por ozono troposférico representa un gran riesgo medioambiental y económico para la producción agrícola del mundo entero, debido a las lesiones foliares que aparecen en la vegetación lo que conlleva a una reducción de la cosecha y pérdida de la producción de semillas. Estos efectos de acuerdo a la sensibilidad de la planta frente al ozono se pueden incluso presentar a concentraciones inferiores a las que se registran en el aire ambiente (Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), 1998).

En Ecuador la ausencia de estudios realizados que proporcionen información concreta acerca de la incidencia del ozono troposférico en los cultivos productivos y que la concentración histórica de ozono sigue en aumento. Se presenta la necesidad de obtener información actualizada que aborde esta temática. Por tales motivos se realizó el presente trabajo de titulación.

La investigación se realizó para comprobar la hipótesis referente a que el ozono produce alteraciones en la morfología de la planta. Para demostrarlo se elaboró un diseño y posteriormente se construyó el mismo, de un prototipo con una infraestructura replicable a escala de laboratorio que evita la influencia de factores externos para la exposición de *Lactuca sativa* a concentraciones conocidas de ozono gaseoso.

### **Objetivos:**

#### **Objetivo General**

Evaluar los efectos del ozono troposférico en la especie vegetal *Lactuca sativa*.

#### **Objetivos Específicos:**

- Construir un modelo para la determinación de la influencia del ozono troposférico en la morfología de la especie vegetal *Lactuca sativa*.
- Determinar el grado en el que diferentes niveles de concentración de ozono afectan a la morfología de la especie seleccionada.
- Evaluar la influencia de la concentración de ozono en la producción de la lechuga.

## **1. CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO**

### **1.1. Contaminantes del Aire**

La contaminación del aire con el pasar de los años ha sido reconocida como un problema de salud pública, principalmente en las zonas urbanas donde se presentan mayor concentración de contaminantes y un incremento de problemas de salud de diversa índole. Varios autores definen a la contaminación atmosférica como la presencia de elementos considerados



contaminantes con la capacidad de alterar la composición inicial del recurso aire y que pueden generar un efecto en los diferentes componentes de los ecosistemas (Cortina, 2012; Calderón, Medina y Mora, 2012, p. 142-147 y Cruz, Cabello, Sorinas, Varela y Costa, 2015).

Con el pasar de los años la humanidad ha tomado conciencia y ha empezado a preocuparse por el deterioro atmosférico y su relación principalmente con la salud humana, tomando más relevancia en las últimas décadas debido a la constatación de un acelerado cambio climático. En 1952 sucedió un evento que influyó directamente en el cambio de comportamiento del ser humano, en la ciudad de Londres. El uso masivo de carbón para la calefacción de los hogares y las fábricas produjo una contaminación del aire que ocasionó 4000 muertes en cuatro días y aproximadamente 12000 en los 3 meses subsiguientes (Palacios Espinoza y Espinoza Molina, 2014; Abrutzky, Dawidowski, Murgida y Natenson, 2014 y García, Ramirez, Ulloa, Arias y Perez, 2012).

Los contaminantes atmosféricos pueden ser clasificados según su fuente en 2 grandes grupos, los contaminantes antropogénicos que son los producidos como subproductos de las actividades humanas, y los naturales, generados por erupciones volcánicas, eventos sísmicos, polen en suspensión, entre otros. Estos contaminantes pueden ser primarios cuando son emitidos directamente por la fuente de contaminación, como el monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), compuestos orgánicos volátiles (COV's) y material particulado (PM). Y secundarios en el caso de que sean derivados de alguna reacción que involucre a los contaminantes primarios, en este grupo tenemos al O<sub>3</sub>, PM e incluimos a los ácidos nítricos y sulfúricos (Blanco y Porta, 2013; Manzur, Benzal y González, 2012 y Sanchez et al., 2013).

En Ecuador la temática de la calidad del aire y su manejo es uno de los temas menos estudiados dentro de la gestión pública del país, debido a esto no hay una cantidad de información adecuada con respecto a la magnitud de los

problemas que puede representar esta temática. Dentro de este panorama cabe resaltar el esfuerzo realizado principalmente por el DMQ. El mismo que busca obtener posibles escenarios de las emisiones en conjunto con modelos de transporte y procesos químicos, por lo tanto un mayor conocimiento de la contaminación del aire de la ciudad, a través del Sistema de Gestión del Inventario de Emisiones Atmosféricas del DMQ (SIGIEQ). El cual toma en cuenta focos de contaminación como carreteras, rellenos sanitarios, procesos industriales, entre otros, considerando los contaminantes precursores para la formación de ozono troposférico y demás gases de efecto invernadero que corresponden a los identificados como comunes según la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire (Jaramillo, 2013; Parra, 2012; Secretaría de Ambiente DMQ, 2016 y SIGIEQ, 2015).

En el país la normativa vigente con respecto a la calidad del aire es el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente, libro VI reformado mediante Acuerdo Ministerial No. 61 publicado en el Registro oficial en 2015. En este se mencionan definiciones de calidad del aire, métodos de monitoreo y los contaminantes criterios del aire. En el anexo 4 del libro VI se describen los siguientes contaminantes criterio del aire: Partículas sedimentables, Material Particulado, Dióxido de Nitrógeno, Dióxido de Azufre, Monóxido de Carbono y ozono. En éste mismo anexo se indica que “La máxima concentración de ozono, obtenida mediante muestra continua en un período de (8) ocho horas, no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), más de una vez en un año” (TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE, 2015).

## **1.2. El ozono**

El ozono está conformado por una molécula triatómica la cual está formada por la unión de 3 átomos de oxígeno. Éste es un compuesto mucho más reactivo que el oxígeno atmosférico o diatómico ( $\text{O}_2$ ), debido a su poder oxidante que reacciona fácilmente con otros compuestos. El ozono es un componente natural de la atmósfera, el cual se clasifica en 2 según su origen: estratosférico

cuando se encuentra en la parte de la atmósfera de 11 a 48 km de altitud y troposférico cuando se encuentra en la parte inferior de la atmósfera, representados en la Figura 1. Se estima que el 90% del ozono atmosférico se encuentra ubicado en la estratósfera formando la conocida capa de ozono la cual es esencial para la vida del ser humano (SEDEMA, 2016).

- a) La existencia de ozono en la estratósfera fue propuesta en 1880 pero fue detectada en 1913, es de estos descubrimientos que se deriva el concepto de capa de ozono, el mismo que es considerado un gas de efecto invernadero. El ozono se forma por la interacción del oxígeno con descargas eléctricas, en la estratósfera se forma por acción de la radiación ultravioleta de origen solar la cual a su vez interactúa con otros compuestos químicos que actúan de forma catalítica para la formación del ozono (Cisneros, 2014; Costa, 2015 y Molina, 2017).
  
- b) El ozono troposférico que se encuentra cerca de la superficie terrestre en contraste al ozono estratosférico, es perjudicial, tanto para la salud humana como para el medio ambiente, debido a esto el ozono se lo describe como “Bueno arriba y Malo de cerca”, (Figura 1) (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2010). El ozono troposférico es uno de los componentes básicos del smog y es un contaminante que se lo considera sin umbral debido a que así sea en pocas cantidades puede generar efectos nocivos para los seres vivos. Se indica que es uno de los principales responsables del smog fotoquímico y lluvia ácida debido a sus reacciones de oxidación (Cano, Morales, Sanchez, Colina y Torres, 2016; Castillo, 2013 y Oyarzún, Sánchez, Dussaubat, Miller y Gonzalez, 2017).

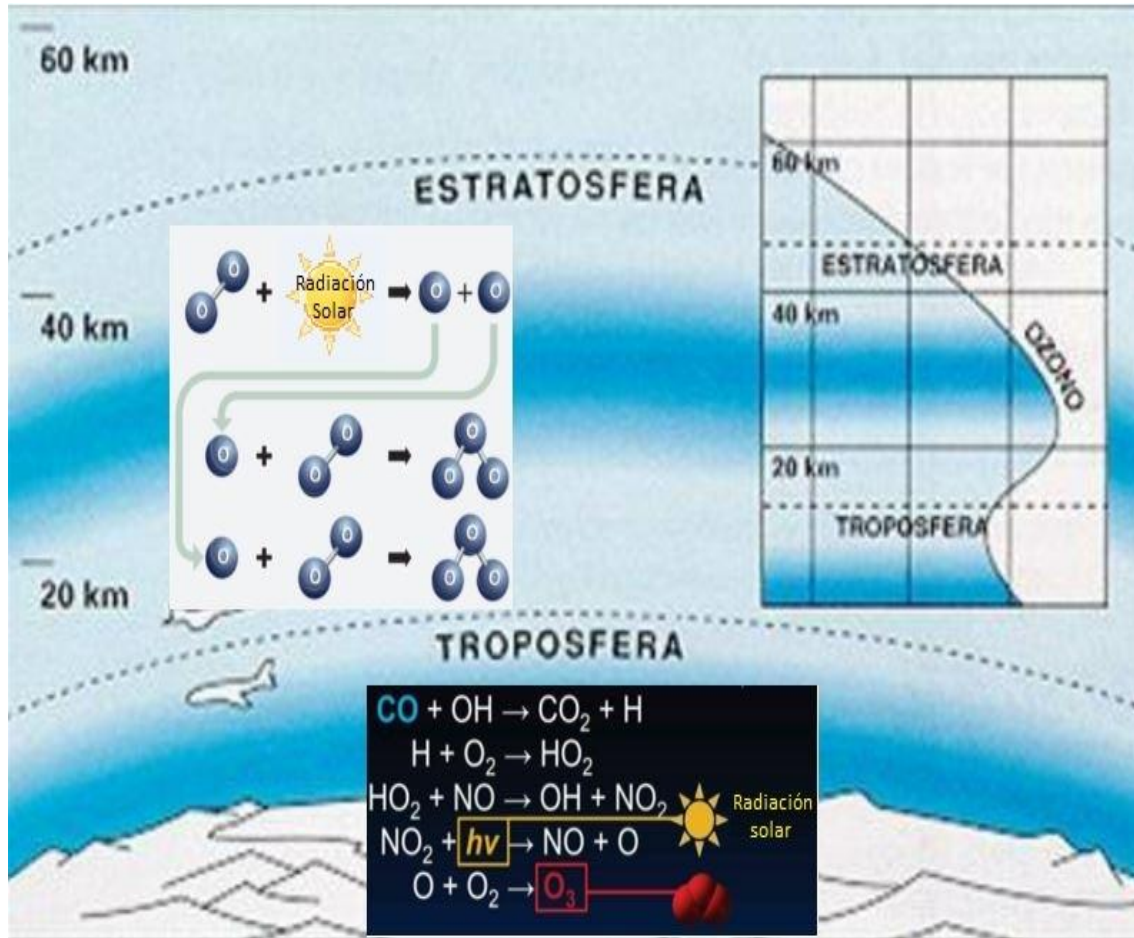


Figura 1. Disposición del ozono en la atmósfera terrestre.

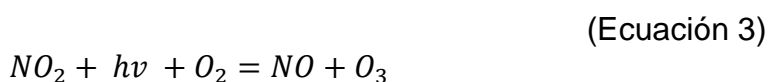
Adaptado de: (Fahey, 2002) y (Global Ozone Project Curriculum, 2013)

Gráfica en donde se muestra la disposición de las capas de la atmósfera en las cuales se encuentra el ozono y las reacciones de formación y destrucción del mismo.

El ozono troposférico se produce por reacciones que ocurren entre los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles. Estas reacciones fotoquímicas se dan por medio de la intervención de los rayos del sol. Por estas reacciones los niveles de ozono son más altos en días calurosos o en zonas más elevadas debido a la influencia directa de la radiación solar. Esta fuente de energía disgrega moléculas estables que forman radicales libres, que en la presencia de los  $\text{NO}_x$  actúan como catalizadores para la oxidación de los hidrocarburos. Debido a la alta concentración de  $\text{NO}_x$  en la zona urbana, las concentraciones de  $\text{O}_3$  son elevadas y por acción de las corrientes de aire, el ozono puede ser trasladado a zonas alejadas incidiendo en la concentración de

otras regiones (Alvear et al., 2015; Departamento Administrativo del Medio Ambiente BOGOTÁ, 2014 y Maldonado, 2012).

Para que las reacciones influyentes en el proceso de formación de ozono ocurran, una parte importante es la radiación solar, para el ozono estratosférico la longitud de onda requerida es menor de 242 nm y para el troposférico se requieren menos de 424 nm. Los cuales actúan principal entente con los óxidos de nitrógeno para formar el contaminante. Por lo mencionado se derivan las siguientes ecuaciones para la formación de ozono en la tropósfera terrestre (Plummer, 2003) ecuaciones 1-3:



El ozono como contaminante puede afectar principalmente al sistema respiratorio y cardiovascular de los seres humanos, según el Ministerio de Salud de Canadá en 8 centros poblados examinados cerca de 6000 muertes al año pueden ser atribuidas a la contaminación del aire siendo el componente mayoritario el ozono. Según estudios presentados por la OMS el incremento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en la concentración de ozono genera un incremento de un 0.3% la mortalidad (Enviromental Protection Agency (EPA), 2015; López, 2013 y Vallero, 2014).

En un estudio realizado en la ciudad de Quito del 2007 al 2012 se evidencia la relación entre las concentraciones de ozono con respecto a la radiación solar entrante, evidenciándose un incremento de concentración en los meses de verano y una reducción en los meses de invierno. Se pueden apreciar que en contrario a los contaminantes primarios que registran sus picos de concentración en las horas pico el ozono es dependiente de la radiación solar. Según datos de la Secretaría de Ambiente del DMQ en 2015 se registró la misma tendencia observada en los estudios, es por esto que para este proyecto se realizó un estudio de variación de las concentraciones de O<sub>3</sub> donde se aprecia un incremento en las concentraciones diarias de ozono en los meses de julio y agosto, llegando a las máximas concentraciones en los meses de septiembre y octubre (Cazorla, 2013 y Secretaría de Ambiente DMQ, 2016).

### **1.3. Efecto del ozono troposférico sobre las plantas**

A más de los efectos que el ozono troposférico puede presentar en la salud del ser humano también se evidencian afectaciones en la vegetación ya sea en etapas de germinación, crecimiento y cosecha. En la etapa de crecimiento de la planta se pueden apreciar lesiones foliares presentes en forma de manchas en las hojas de la planta, las cuales pueden ser numerosas y de color pardo o blanquecino. En la etapa de cosecha se puede evidenciar una reducción en la biomasa de las plantas en caso de que la exposición haya sido reiterada durante la fase de crecimiento. Estos efectos comúnmente no son reconocidos por los agricultores debido a que generalmente son atribuidos a las heladas, sequías y demás (Andreu, Rojas, Morales, Pérez y Capull, 2010; Espín, 2015 y Jarma, Cardona y Araméndiz, 2012).

Las plantas tienen diferentes respuestas frente a la exposición al ozono, presentan alteraciones estomáticas, reducción de los pigmentos fotosintéticos y una reducción en la actividad y cantidad de la enzima rubisco. Estas alteraciones generan un deterioro fotosintético reduciendo la capacidad de asimilación de CO<sub>2</sub> de la planta, interviniendo específicamente en la movilización de carbohidratos. El ozono ingresa a las plantas por medio de los estomas, influyendo en este proceso: la luz, temperatura, humedad, altitud,

viento y la cantidad de agua de riego. Una vez que el ozono ha ingresado en la planta, éste reacciona con moléculas orgánicas produciendo oxidantes secundarios como ozónidos primarios o hidróxihidroperóxido, los cuales reaccionan con las proteínas que componen la membrana celular, lo que puede ocasionar cambios en las concentraciones internas de iones (Callisaya, 2015; Mendieta, 2014; Vazquez, 2015 y Veloz, 2013).

Podemos anotar que el ozono representa un riesgo para las actividades agrícolas, forestales y la economía de un país. En las últimas décadas se han llevado a cabo investigaciones acerca de la afectación del ozono en los cultivos, la mayoría en cámaras con techo descubierto. En estos estudios principalmente realizados por la “National Crop Loss Assessment Network” (NCLAN) e Investigadores en países asiáticos y americanos, se identifica que los cultivos perdían valor estético y comercial debido a la reducción del peso y volumen de los productos (Gómez, Calderón, Saiz y Manzanera, 2012, p. 25-33). Nuevas investigaciones demuestran que el ozono afecta comercialmente a cultivos de remolachas, cebollas, patatas, soya, judías verdes y blancas, espinaca, maíz, tomate, tabaco, nabos, trigo y lechuga (Emberson et al., 2009 y Wang et al., 2007).

En cuanto a la lechuga, algunas investigaciones difieren de los efectos presentes en esta especie. Según Olszyk et al. (1986), el ozono no provoca deterioro en las lechugas, pero Mills et al. (2003), explica que la lechuga por su amplia extensión foliar es susceptible a los efectos del ozono. En su estudio Goumenaki et al. (2007), menciona que una planta de lechuga expuesta al ozono presenta una necrosis en los bordes y unas marcas en la superficie de la hoja. Además demuestra que dos variedades de lechuga usadas en su experimento fueron sensibles en cuanto a la acumulación de biomasa (Goumenaki, González, Papanikolaou y Barnes, 2007; Mills et al., 2003 y Olszyk et al., 1986).

#### **1.4. Agricultura urbana**

Con el incremento poblacional, principalmente en áreas urbanas y su periferia, nace la necesidad de una nueva forma de producción agrícola que tenga mayor eficiencia de producción y que requiera un espacio físico menor. Es por esto que nacen pequeñas empresas agrícolas, principalmente productoras de cultivos hortícolas, florícolas y frutícolas. En este contexto la agricultura urbana se refiere a superficies pequeñas que pueden ser terrazas, huertos, patios o solares situados en los perímetros urbanos en donde se desarrollan actividades de cultivo intensivo o incluso cría de pequeños animales. Desde el año de 1980 los huertos han ganado importancia en las sociedades urbanas buscando una mejor calidad en los productos, una producción orgánica, generación de trabajo y desarrollo sustentable, en pocas palabras representan la soberanía alimentaria (Cabrera, Vera, Echeverría y Amtmann, 2013 y Chucho, 2013 y Zaar, 2011).

Cada vez la agricultura urbana es de mayor importancia tanto para los consumidores como para los gobiernos. La implementación de sistemas de cultivo en zonas urbanas permite maximizar la producción de los mismos, afianzando la seguridad alimentaria de una zona, la reducción de terrenos inutilizados, el apoyo a medidas de reciclaje y la solución de problemas de abastecimiento. También puede usarse como medida de reducción del desempleo y la pobreza. Según la FAO la horticultura urbana puede generar 1 empleo por cada 100 m<sup>2</sup> de huerto. Pese a los beneficios que puede aportar la agricultura urbana al desarrollo de un país, los gobiernos no muestran interés en generar políticas para el impulso de estas prácticas, las mismas que no requerirían un exagerado presupuesto debido a que se ha identificado que un 77.3% de los agricultores urbanos inician su negocio con fondos propios (Arredondo, 2013; FAO, 2015 y Holguín, 2015).

En el Ecuador la agricultura urbana no está muy difundida, son pocos los proyectos de emprendimiento que se pueden mencionar con respecto a este tipo de agricultura. Uno de los proyectos para el desarrollo de estas prácticas



se realiza en el DMQ por medo del proyecto “AGRUPAR”, el cual funciona en 8 zonas de Quito. La producción está a cargo de los grupos comunitarios familiares, mismos que establecen alianzas con centros de atención a ancianos, niños, migrantes, instituciones de rehabilitación social, entre otras. Con este proyecto se estima que se ayudó a crear 1072 huertos. Los técnicos de AGRUPAR son los encargados de proporcionar semillas y plántulas para estos cultivos, además de las capacitaciones necesarias para el manejo de los huertos. Generalmente se siembran papas, maíz, quinua y hortalizas, de lo cual un 47% se destina a la comercialización generando un ingreso mínimo de 55 USD al mes y generando al menos 72 USD de ahorro por la compra de alimentos (FAO, 2015). Con estos proyectos que abarcan un 94% del territorio de la ciudad, más de 61 mil personas han sido beneficiadas directamente (Clavijo, 2013 y CONQUITO, 2016).

### **1.5. Sistemas de cultivo hidropónicos**

La hidroponía es una técnica o conjunto de técnicas relativamente actuales que surgen como alternativas a la agricultura tradicional. Etimológicamente la palabra hidroponía proviene del griego HIDRO (agua) y PONOS (trabajo), lo que literalmente significa un trabajo en el agua. A partir de esta definición el término ha evolucionado y actualmente se usa para referirse a sistemas de cultivos sin suelo. Los primeros cultivos de este tipo realizados por una civilización son atribuidos a la antigua Babilonia en sus famosos jardines colgantes. Estos jardines se alimentaban de agua que corría por medio de canales. El agua llegaba al punto más alto de las terrazas y por gravedad regaban el resto. También existen referencias que las técnicas de hidroponía fueron utilizadas en antiguas civilizaciones Chinas, Indias, Egipcias e incluso la cultura Maya. Ésta última era reconocida por construir balsas de caña o madera y colocar en las mismas, suelos del fondo del lago en el que se asentaban. Estos al ser ricos en nutrientes favorecían el crecimiento y cosecha abundante de cereales, verduras y flores que crecían flotando en el lago (Astudillo, 2016; Fernández y Guailas, 2012 y Pérez, López y Romero, 2016).

La hidroponía como técnica de cultivo tuvo sus inicios en 1699, cuando John Woodwar hizo crecer plantas en recipientes que contenían agua con diferentes cantidades de suelos. Posteriormente en los años de 1860, Sachs y Knop aislaron por completo las plantas del suelo creciendo por medio de una solución de minerales. En 1930 William Gerike fue el que empezaría a utilizar el término hidroponía, instaló una unidad de cultivo sin tierra al aire libre. En la actualidad se estima que un 70% de la vegetación presente en el planeta se puede considerar hidropónica ya que un elevado porcentaje de vegetación crece de manera natural en los océanos u otros cuerpos de agua (Beltrano y Gimenez, 2015, p. 10-15; Jaramillo S. R., 2012 y Jiménez, 2013).

Las técnicas de hidroponía facilitan la producción de plantas principalmente herbáceas en estructuras simples o complejas utilizando superficies menores a los de los métodos de producción tradicionales, lo que permite utilizar lugares no aptos para agricultura como por ejemplo terrazas, terrenos escabrosos, suelos infértiles, entre otros. A partir del concepto de hidroponía se derivan técnicas que se basan en el apoyo de sustratos para el crecimiento de la planta o en la utilización de soluciones de nutrientes estáticos o circulantes para el desarrollo de la misma. Estas técnicas permiten la creación de un sistema de cultivo aislado del suelo capaz de producir cultivos de alta calidad y sanidad, permitiendo un uso eficiente de los recursos (Aparicio, 2013; Delgado, 2016 y Madariaga, 2012).

Dentro de las técnicas para la producción de cultivos por hidroponía podemos encontrar la técnica de "Nutrient Film Technique" o conocido por sus siglas en Ingles NFT, desarrollada por Allan Cooper. Este sistema se basa en la presencia de un flujo permanente de una solución nutritiva que circula a través de tuberías donde se ubican los cultivos. El principio es que las raíces de la planta estén en contacto directo con la solución nutritiva manteniéndolas siempre húmedas, oxigenadas y en constante crecimiento. El pH es uno de los aspectos de la solución que se deben controlar con mayor frecuencia, para garantizar la adecuada absorción de los nutrientes por parte de las plantas. Éste debe mantenerse en un rango de 5.5 a 6.5. Pese a ciertas dificultades que

puede presentar la instalación del sistema NFT como por ejemplo la capacidad de reducir el consumo de agua debido a que la solución nutritiva es recirculada constantemente, ésta no es desechada. Otro aspecto que podemos observar en este sistema es que en comparación a otros métodos de cultivo hidropónico la calidad obtenida en los cultivos principalmente hortícolas es mayor. Además se destaca el tiempo de cosecha debido a que este sistema permite realizar las cosechas en cortos periodos de tiempo lo que conlleva a un aumento en el rendimiento de los cultivos (Flores C. , 2015; Inca, 2013,; Manqueros, 2015 y Brenes y Jiménez, 2014).

## 2. CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Esquema de presentación de Metodología

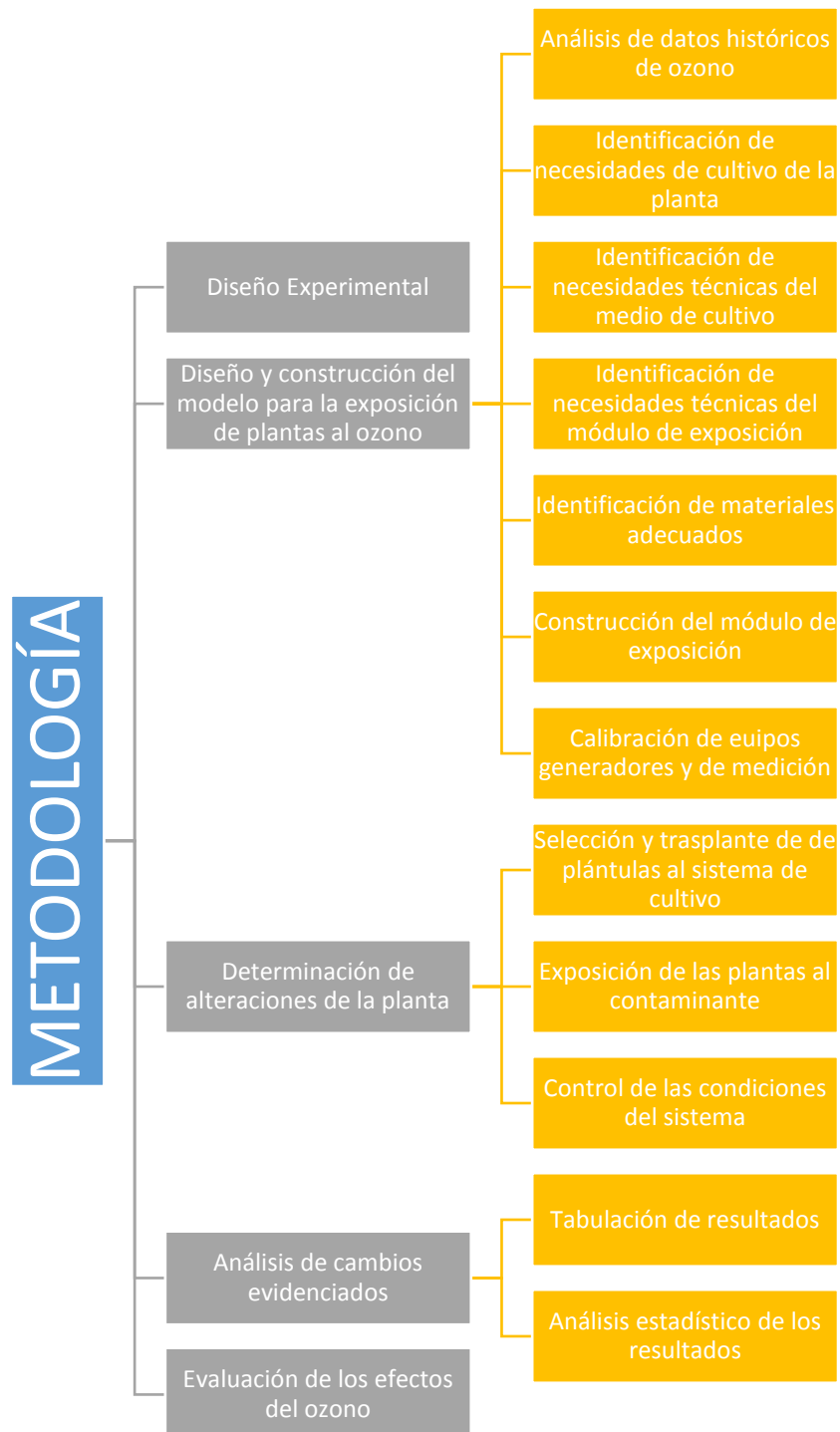


Figura 2: Resumen de metodología

## 2.2. Diseño Experimental

Para el desarrollo de este proyecto se planteó la realización de un diseño experimental a parcela dividida en donde se realizó la exposición de plantas de la especie *Lactuca sativa* L. (Lechuga romana) a ozono troposférico artificial. Anteriormente se efectuó una preselección de la variedad de lechuga a ser utilizada entre 3 variedades producidas comúnmente en sistemas hidropónicos, siendo la más apta para este proyecto la lechuga “Romana”. Para ejecutar el diseño de las unidades experimentales se utilizó únicamente como tratamiento la concentración de ozono. Las demás variables fueron controladas mediante la implementación de un módulo de exposición basado en la tecnología de cultivos por hidroponía, principalmente el método conocido como NTF, los factores controlados en este proyecto son los siguientes:

- Frecuencia de riego.
- Cantidad de nutrientes ingresados.
- Densidad de siembra
- pH
- Conductividad eléctrica (CE).

La exposición de la especie vegetal se realizó a 3 diferentes concentraciones de ozono. La primera, la concentración 0 o control, para la cual se colocó filtros de carbón activado para simular el ingreso de aire filtrado. Se utilizó carbón activado debido a la evidencia bibliográfica, en donde mencionan la capacidad del carbón activado de retener ozono en fase tanto líquida como gaseosa con una eficiencia bastante alta llegando hasta un 99.8% de remisión del contaminante (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2013 y Ramírez, 2009). La segunda, una concentración baja que fue determinada en base a los datos de las estaciones de la Secretaría de Ambiente DMQ. Para la concentración baja se determinó  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{O}_3$ . La tercera, una concentración alta superior a la anterior en la cual se puedan evidenciar un mayor efecto en las características físicas de las hojas de *Lactuca Sativa*, se determinó para esta concentración  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

El diseño se basa en la aplicación de diferentes tratamientos sobre la especie seleccionada para identificar la significancia de los mismos. En la Tabla 1 se detalla el diseño usado para este proyecto

Tabla 1.

*Detalle de diseño experimental*

<b>Tratamiento</b>	<b>Denominación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de Repeticiones</b>	<b>Número de plantas por tratamiento</b>
Tratamiento 1	Concentración 0 o Control	Para este tratamiento se someterá al sujeto experimental a una concentración de ozono de 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , suministrada mediante aire filtrado	3	9
Tratamiento 2	Concentración Baja	Para este tratamiento se someterá al sujeto experimental a una concentración de ozono de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ suministrada por medio de un generador de ozono	3	9
Tratamiento 3	Concentración Alta	Para este tratamiento se someterá al sujeto experimental a una concentración de ozono de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ suministrada por medio de un generador de ozono	3	9

Para el cálculo de la significancia en la variación de los distintos tratamientos se utilizó un análisis ANOVA. La Tabla 2 y las ecuaciones 4-13 muestran el proceso realizado según los modelos estadísticos planteados (Juarez, 2015; Porras, 2001 y Zúñiga, 2010).

(Ecuación 4)

$$y_{kb} = \mu + \tau_k + \gamma_b + \varepsilon_{kb}$$

Donde:

$y$  = Efecto (Variable Respuesta)

$k$  = Tratamiento

$b$  = Bloque

$\tau_k$  = Efecto por el tratamiento

$\gamma_b$  = Efecto por el Bloque

$\varepsilon_{kb}$  = Error Aleatorio

Para la determinación de la significancia se utilizó una confiabilidad del 95%

(Ecuación 5)

$$\alpha = 1 - \left( \frac{\text{Confiabilidad}}{100} \right)$$

Tabla 2.

*Cálculo de ANOVA*

<b>Fuente de variabilidad</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F<sub>0</sub></b>	<b>Valor-p</b>
Tratamientos	k-1	SC <sub>trat</sub>	CM <sub>trat</sub>	$F_0 = \left( \frac{CM_{trat}}{CM_E} \right)$	p(F ≥ F <sub>0</sub> )
Bloques	b-1	SC <sub>b</sub>	CM <sub>b</sub>	$F_0 = \left( \frac{CM_b}{CM_E} \right)$	p(F ≥ F <sub>0</sub> )
Error	(k-1) (b-1)	SC <sub>E</sub>	CM <sub>E</sub>		
Total	(k * b) -1	SC <sub>T</sub>			

Donde:

$$SC_{\text{trat}} = \sum \frac{y_k^2}{b} - \frac{\bar{Y}^2}{N} \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$Y = \text{Media}$$

$$N = (k * b)$$

$$SC_b = \sum \frac{y_b^2}{k} - \frac{Y^2}{N} \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$SC_T = \sum \sum y_{kb}^2 - \frac{Y^2}{N} \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$SC_E = SC_T - SC_{\text{trat}} - SC_b \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$CM_T = \frac{SC_T}{N-1} \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$CM_{\text{trat}} = \frac{SC_{\text{trat}}}{k-1} \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$CM_b = \frac{SC_b}{b-1} \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$CM_E = \frac{SC_E}{(k-1)(B-1)} \quad (\text{Ecuación 13})$$

En este proyecto se realizaron 3 repeticiones resultantes en una totalidad de 9 unidades experimentales, y cada unidad experimental o modulo contó con 3 plantas. Esto se representa en la Figura 3.



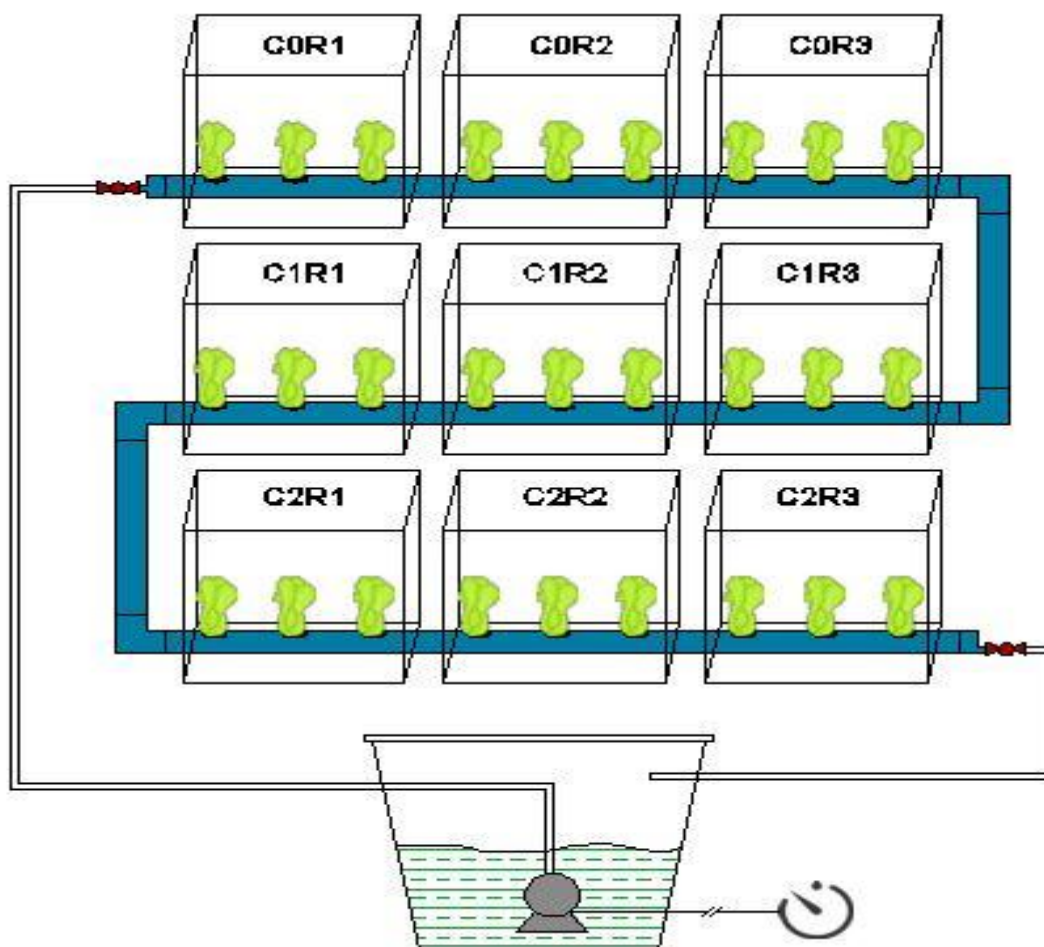


Figura 3. Diagrama de la disposición y funcionamiento del sistema.

Diagrama elaborado mediante la herramienta informática AutoCAD en donde se representan los principales componentes del proyecto, además de la codificación y planteamiento descritos en el diseño experimental.

Para el desarrollo de este proyecto se determinó las siguientes codificaciones que corresponden a cada módulo.

Tabla 3.

*Codificación de los módulos de exposición*

C0R1	C0R2	C0R3
C1R1	C1R2	C1R3
C2R1	C2R2	C2R3

Donde:

C0= Concentración 0 con aire filtrado

C1= Concentración baja de O<sub>3</sub>

C2= Concentración alta de O<sub>3</sub>

Las variables analizadas en este estudio son algunas de las características morfológicas de la planta. Se revisaron dichas variables tanto pre cosecha como postcosecha de la planta

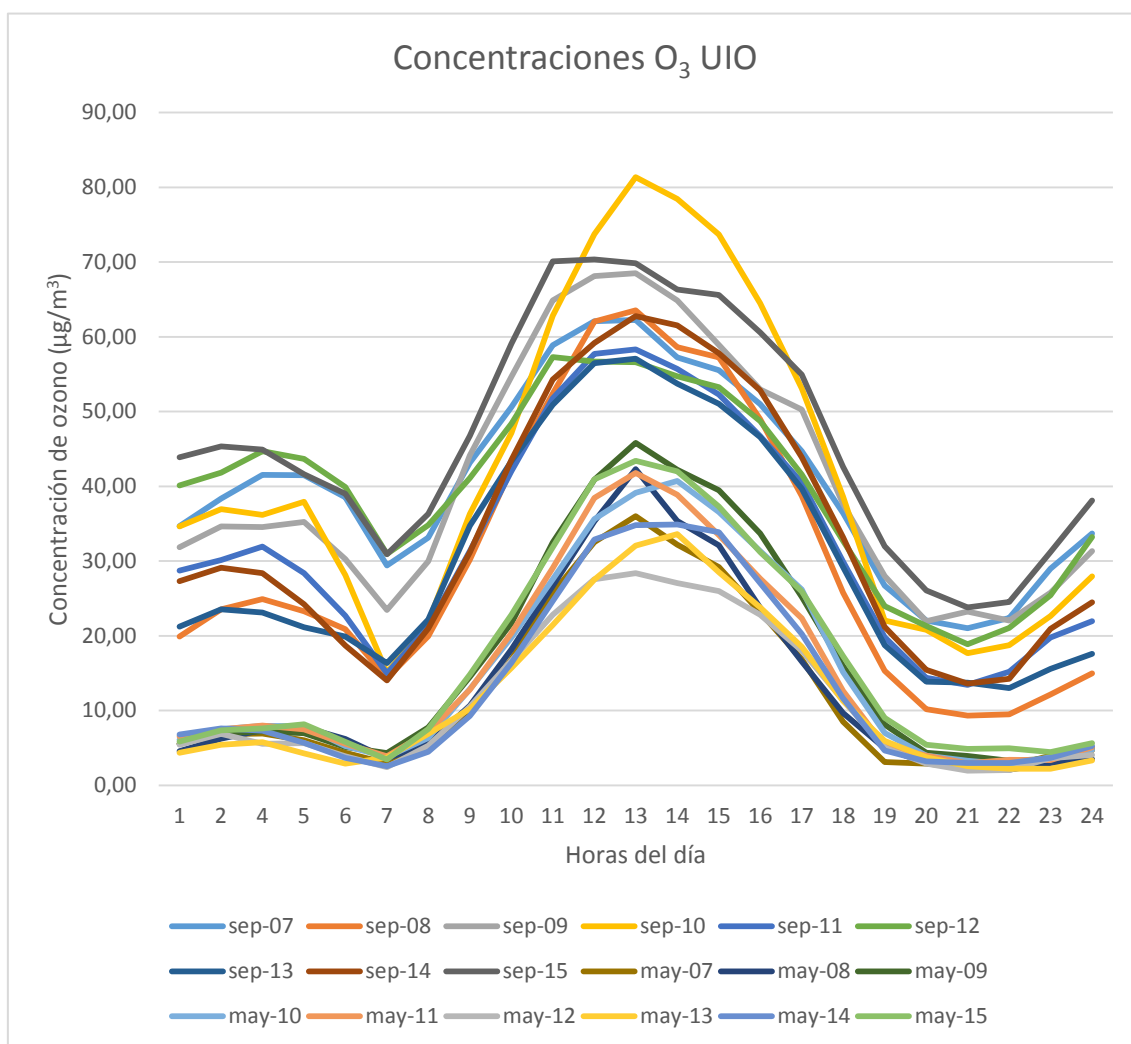
Una vez las plántulas fueron expuestas al contaminante ozono y se obtuvo datos de las afectaciones observadas se realizó un análisis estadístico de varianza ANOVA para determinar la importancia de los tratamientos aplicados.

### **2.3. Diseño y construcción del modelo para exposición de plantas al ozono**

#### **a. Análisis de datos históricos de O<sub>3</sub>**

Para determinar las concentraciones utilizadas en este proyecto se revisaron datos públicos pertenecientes a la Red de Monitoreo de Contaminación atmosférica perteneciente a la Secretaría de Ambiente de la ciudad de Quito. Los datos utilizados son las concentraciones de ozono en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  registrados por la estación "Belisario" (Centro Norte de la Ciudad). Para el análisis de los datos de concentraciones de ozono, se realizó una descarga de los datos con concentraciones diarias del año 2015 y se realizó una evaluación preliminar en donde se identificó que el mes que presenta mayor concentración era el mes de septiembre, de igual manera se identificó que el mes de mayo es uno de los que presentan concentraciones más bajas. Una vez realizado este reconocimiento se procedió a descargar los datos horarios de los meses mencionados previamente en el periodo 2007-2015 de la página de la Secretaría de Ambiente DMQ, los datos fueron descargados en archivos CSV delimitados por comas. Un ejemplo de los archivos utilizados en este punto se encuentra en el Anexo 1.

Se procedió a reorganizar los datos proporcionados por la Secretaría de Ambiente DMQ, de tal manera que sea posible el cálculo del promedio horario de cada mes, realizando curvas de cada mes para permitir una fácil visualización de los datos procesados.



**Figura 4.** Curvas de concentración horaria en la estación Belisario.

Adaptado de: Secretaría de Ambiente DMQ, (2017).

Curvas de concentración horaria a partir de los datos de los meses de mayo y septiembre en el periodo 2007 a 2015. En el gráfico se observan que las concentraciones de los meses de septiembre son considerablemente superiores a las del mes de mayo.

Se realizó un gráfico en donde se muestra una curva que representa los meses de septiembre desde 2007 hasta 2015, y los meses de mayo del mismo periodo, a éste se le agregó indicador de la varianza de cada curva (Figura 5).

Determinando las concentraciones altas que representan a los meses de septiembre, y las concentraciones bajas que representan los meses de mayo.

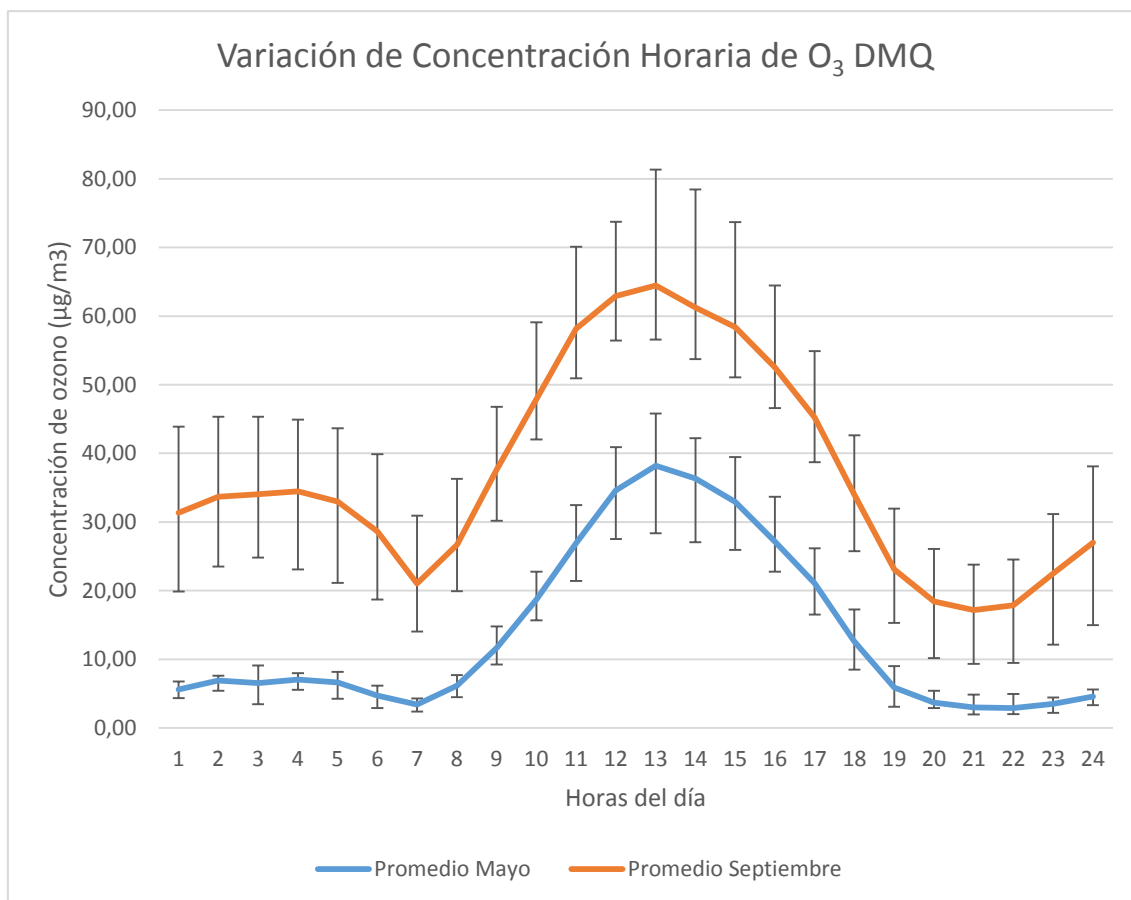


Figura 5. Curvas de concentración horaria en el DMQ con indicadores de varianza.

Adaptado de: Secretaría de Ambiente DMQ, (2017).

Curvas de concentración horaria a partir de los datos de los meses de mayo y septiembre en el periodo 2007 a 2015, se agruparon las curvas de cada mes en una sola que representa el promedio del mes, resultando en 2 curvas 1 para cada mes respectivamente. Se agregó indicadores de varianza calculados a partir de los datos de la Secretaría de Ambiente DMQ.

### b. Identificación de necesidades de cultivo de la planta

En esta etapa se realizó la revisión bibliográfica de las necesidades y requerimientos de la especie *Lactuca sativa* para su crecimiento en condiciones de laboratorio y hogar. Se identificaron requerimientos como: riego, temperatura, altitud, espacio físico, luz, nutrientes.

Para este proyecto debido a la factibilidad al momento de la obtención de la planta y a las características de las hojas de la misma las cuales facilitan la observación de variaciones en las características físicas de la planta de *Lactuca sativa*, se utilizó la variación conocida como lechuga “Romana”. Según lo indicado por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural-Antioquia (2016) y Gutierrez (2011) los requerimientos de la especie *Lactuca sativa* para los cultivos hidropónicos son los siguientes (Gutierrez, 2011 y Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural-Antioquia, 2016):

- Riego: Al igual que la mayoría de hortalizas la lechuga demanda altos consumos de agua, es por esto que se recomienda que para sistemas alternativos de agricultura se los realice 6 veces al día, teniendo cada riego una duración de entre 5 y 10 min. Pese a las grandes demandas de agua de la planta, el riego excesivo puede resultar contraproducente.
- Temperatura: La temperatura óptima para la producción de lechuga oscila entre los 18 a 23 °C en las mañanas y en la noche entre 7 y 15 °C, pudiéndose considerar como temperaturas máximas de tolerancia de la planta de 30 °C a 1 °C.
- Nutrientes: El requerimiento nutricional para esta especie se estima que para la producción de una tonelada de cultivo se necesitan 2 kg de nitrógeno, 4.3 kg de potasio, 0.9 kg de calcio, 0.2 kg de fósforo y 0.2 kg de magnesio. Ciertos autores difieren con respecto a la formulación de la solución nutritiva para esta especie.
- pH: El pH recomendado para la solución nutritiva aplicada para el cultivo de lechuga se debe mantener en el rango de 5.5 a 6.5 para asegurar una óptima absorción de los nutrientes.
- Conductividad eléctrica: La CE para los sistemas hidropónicos se recomienda que se encuentre entre los 1.5 mS/cm<sup>2</sup> y los 2.5 mS/cm<sup>2</sup>.

- Espacio de siembra: El espacio de siembra considerado para estas plantas es muy variable, pero se aconseja que el espacio necesario entre planta sea de entre 20 cm a 30 cm con variedades foliares y de 35 a 40 cm en variedades denominadas de cabeza.
- Tiempos de crecimiento: la revisión bibliográfica muestra que el tiempo de cosecha recomendable para cultivos hidropónicos comerciales desde el trasplante de los semilleros al sistema es de 45 días, pero pueden ser recolectadas hasta los 54 días.
- Humedad relativa: Se reporta que las plantas de lechuga son sensibles a la falta de humedad por lo que no soportan un periodo de sequía, es por esto que la humedad relativa indicada para estos cultivos es del 60 a 80%.

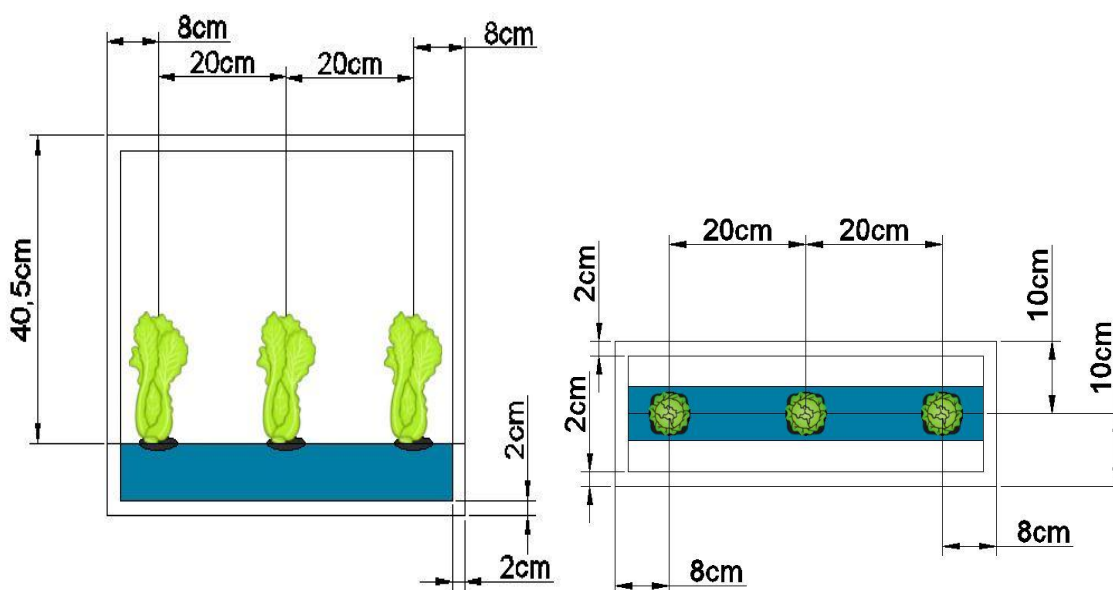


Figura 6. Espacio de separación entre plantas.

Diagrama elaborado mediante la herramienta informática AutoCAD en donde se representan las medidas de los espacios que se contemplan para las plantas para el desarrollo del proyecto.

La variedad de lechuga seleccionada para el desarrollo del experimento, es la denominada "Romana" (Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de Plagas, 2015 y Romero, 2015). Esta variedad con nombre científico *Lactuca*

*sativa* var. *Longifolia*, es una de las variedades que se caracterizan principalmente por no desarrollar una “cabeza” o que ésta sea muy floja, posee hojas alargadas y ásperas de color verde oscuro.

Según la Universidad Católica de Chile (s.f.) la *Lactuca sativa* var. *Longifolia*, también es conocida como lechugas cos. La descripción botánica de esta variedad menciona que presenta hojas obovadas, erguidas y grandes que pueden llegar a medir de 20 a 30 cm de largo, con un ancho de 6 a 10 cm. Esta variedad presenta una nervadura prominente, con una superficie ligeramente ondulada y un borde un poco ondulado. De cierta forma el tallo presenta mayor longitud que las otras variedades de esta especie, el cual permanece protegido por el conjunto de hojas. Éstas forman una especie de cabeza cónica o cilíndrica. En su conjunto la planta puede llegar a pesar hasta 2 kg.

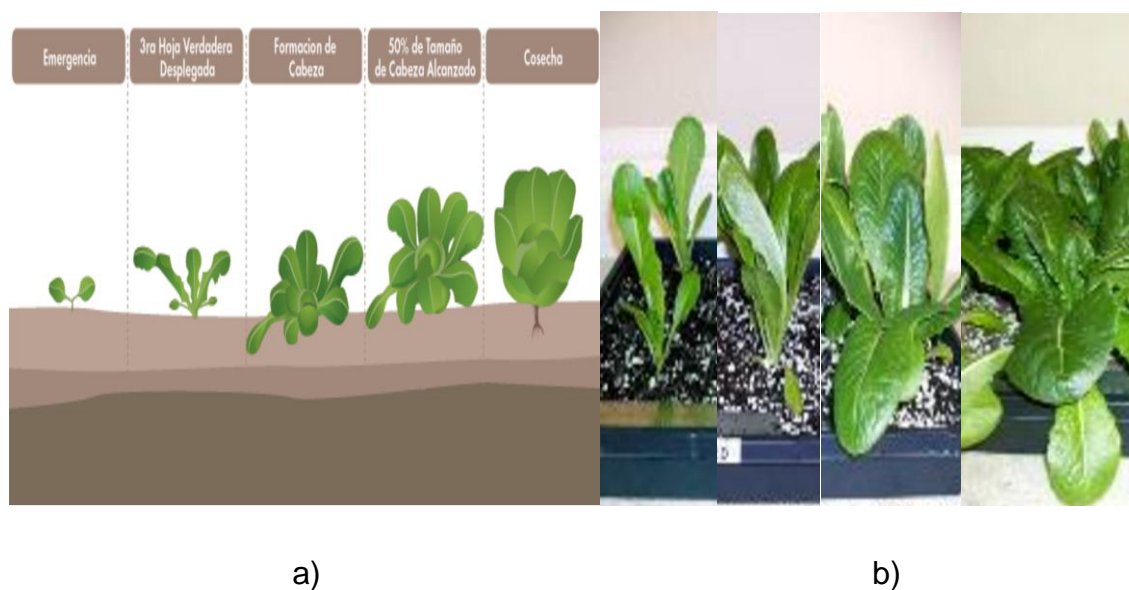




**Figura 7:** Fotografías de detalles de lechuga romana:

- a) Lechuga romana, ángulo superior (Monty Rakusen)
- b) Lechuga romana en crecimiento (Laurence Mouton)
- c) Hojas de lechuga romana (Steve Gorton)
- d) Cultivo de lechuga romana (Shu Suehiro)
- e) Ángulo lateral de lechuga romana (Roger Phillips)
- f) Nervadura de la hoja de lechuga romana (Batista Moon Studio)





*Figura 8:* Crecimiento esperado de la planta de lechuga:

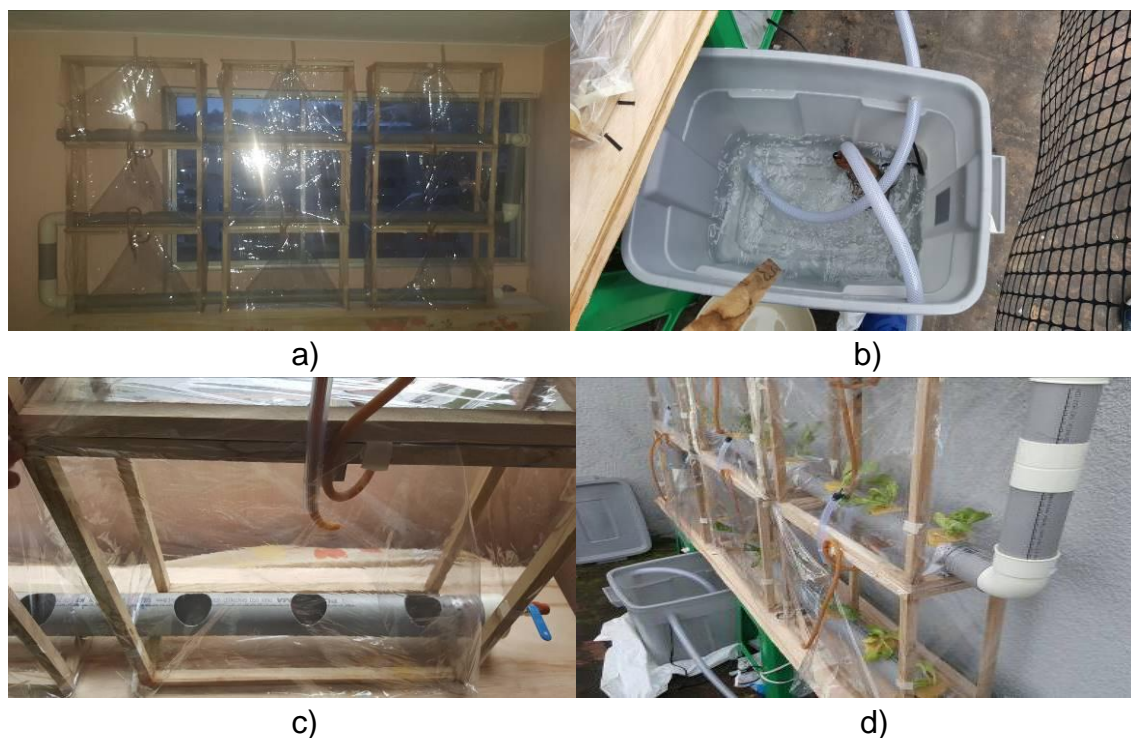
a) Gráfica de crecimiento de la lechuga (Jonathan Hernandez)

b) Fotografías evolución de la lechuga romana (Radiant Silicon Technology, 2008)

### **c. Identificación de necesidades técnicas del medio de cultivo**

Se realizó una revisión bibliográfica acerca de los medios de cultivo que pueden ser utilizadas para agricultura urbana, se seleccionó la técnica de hidroponía.

El método utilizado en este proyecto de titulación es el de cultivos por hidroponía NFT. Para lo cual se requiere aplicar un flujo laminar de nutrientes en donde se recircula la solución nutritiva (Brenes y Jiménez, 2014). Estos sistemas NFT se basan en una serie de tuberías o caños por la cual se transporta una solución de nutrientes. El sistema consta principalmente del sistema de tuberías, un tanque de almacenamiento de la solución, una bomba sumergible y un timer para controlar los tiempos de riego (Inca, 2013).

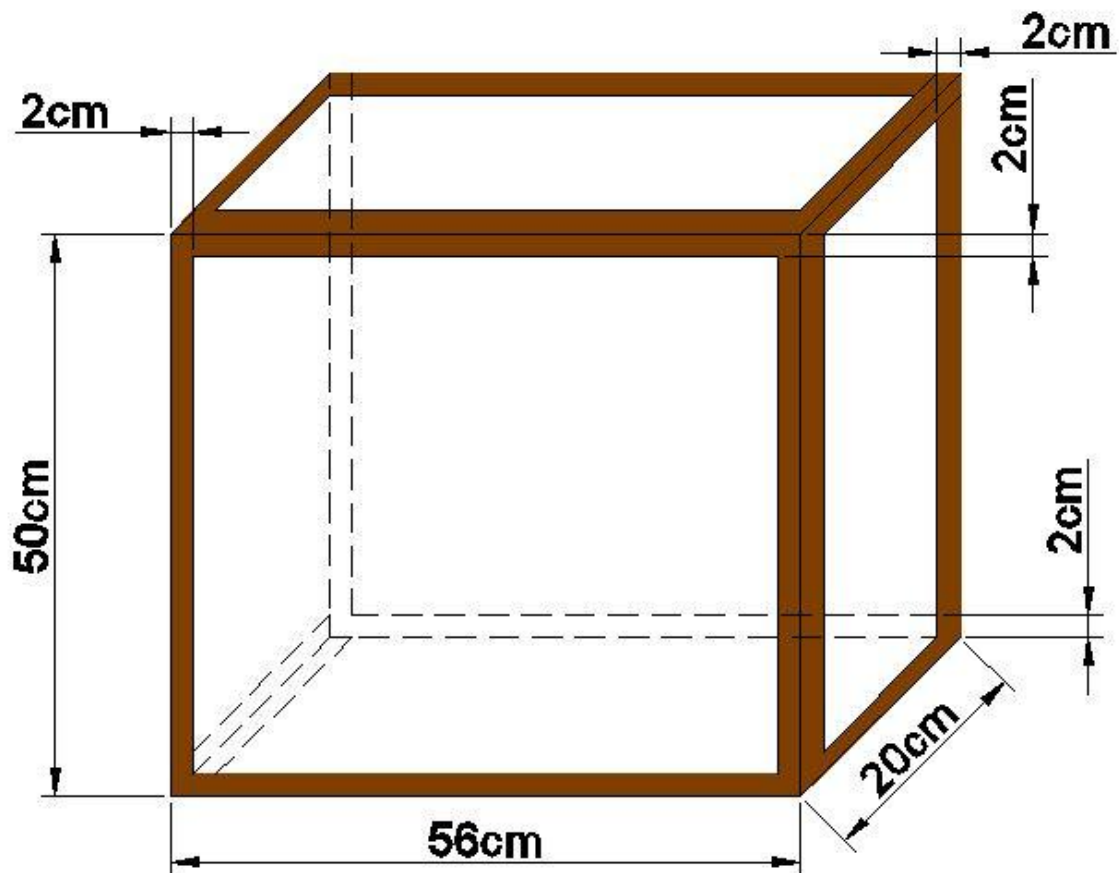


*Figura 9: Fotografías sistema de cultivo:*

- a) Disposición de sistema de cultivo
- b) Tanque de almacenamiento de solución nutritiva
- c) Tuberías de sistema de cultivo
- d) Sistema de cultivo en funcionamiento

#### **d. Identificación de necesidades técnicas del módulo de exposición**

En esta etapa se realizó una identificación de las especificaciones técnicas que debía poseer el módulo de exposición. En este se consideraron ciertas limitaciones en cuanto a la realización de este proyecto. Para la elaboración de los módulos se tomó en cuenta el espacio necesario para las plantas y una separación suficiente entre los módulos. Se estableció que cada módulo sería una infraestructura separada para facilitar el transporte de los módulos y después unida mediante las tuberías y plástico. Las medidas establecidas para la elaboración de los módulos en concordancia con las necesidades de espacio de la planta fueron de 56 cm de largo, 50 cm de alto y 20 cm de profundidad.



*Figura 10.* Dimensiones del módulo de exposición.

Diagrama elaborado mediante la herramienta informática AutoCAD en donde se representan las medidas de los módulos de exposición.

Para que el módulo tenga la capacidad de contener el gas contaminante se estableció que para el recubrimiento de los módulos era necesario utilizar plástico, con esto se definió que éste recubrimiento sea transparente para no evitar el paso de la luz hacia las plantas. Teniendo en cuenta que el contaminante se encuentra en estado gaseoso fue necesario sellar el módulo, para lo cual se adoptó la medida de juntar las uniones del plástico que recubre los módulos y asegurarlas con calor, para lo cual fue necesario la utilización de un sellador de bolsas comercial “Handy Seal”.



a)

b)

**Figura 11.** Fotografías de los módulos sellados con plástico:

a) Vista frontal del módulo de prueba

b) Vista lateral superior del módulo de prueba

Se definió para la inyección de gas a los módulos de exposición se requerían mangueras de goma para gas, esto debido a su facilidad para su manipulación. Se identificó que, para comunicar el interior del módulo con el exterior para el ingreso del contaminante, se generaba una abertura en el plástico de recubrimiento, para completar el sellado en esta abertura se utilizó silicona fría.



a)

b)

**Figura 12.** Fotografías de las mangueras utilizados para el ingreso del gas:

a) Vista frontal de mangueras para el contaminante en módulo de prueba

b) Vista superior de mangueras para el contaminante en módulo de prueba

### e. Identificación de materiales adecuados

En esta etapa se identificaron los equipos y materiales necesarios para la construcción del módulo, los implementos necesarios para la construcción del módulo fueron generador de ozono, tuberías de PVC, plástico transparente para invernadero, mangueras de plástico, válvulas de agua, entre otros mencionados a continuación.

- Generador de ozono

Para el generador de ozono se utilizó un equipo ozonificador perteneciente a la marca “Singstek” con capacidad de generar 500 mg/h de  $O_3$  según especificaciones del fabricante. El generador cuenta con una salida de aire la cual se puede conectar a una manguera de goma para facilitar la introducción del ozono a los módulos de exposición.

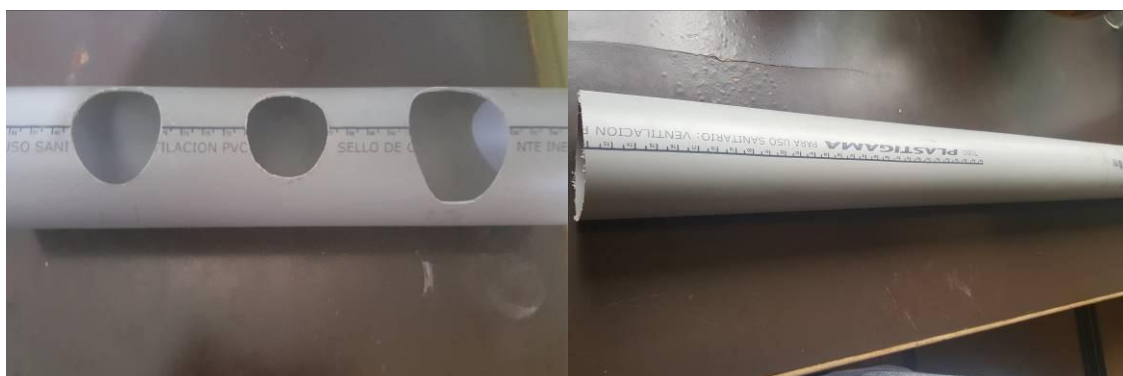


Figura 13. Fotografía equipo generador de ozono

- Tuberías de PVC y uniones

Las tuberías utilizadas en este proyecto son tuberías PVC de la marca “Plastigama” de 3 pulgadas o 75 mm, utilizando codos y uniones de las mismas medidas. Se contempló este tipo de tubería debido al tamaño necesario para contener las plantas.





a)

b)

*Figura 14.* Fotografías tuberías utilizadas:

- a) Tubería con perforaciones para las plantas
- b) Tubería utilizada en el proyecto

- Plástico para invernadero transparente

El plástico utilizado es transparente debido a la necesidad de permitir la entrada de la luz solar a los módulos de exposición. Se seleccionó un plástico tipo mica en vez de plástico de invernadero debido a que éste permitía un mayor ingreso de luz solar a los módulos de exposición.



a)

b)

*Figura 15.* Fotografías de plástico transparente:

- a) Plástico transparente en los módulos de exposición
- b) Plástico transparente utilizado en el proyecto

- Válvulas de agua

Se utilizaron llaves de agua de la marca “FV” para regular la entrada y salida de la solución de nutrientes para consumo de las plantas, y así asegurar que se mantenga un flujo laminar durante todo el recorrido.



*Figura 16.* Fotografías de válvulas del sistema de cultivo:

- a) Válvulas de agua implementadas
- b) Conexión de válvulas en sistema de cultivo

- Mangueras de plástico para aire

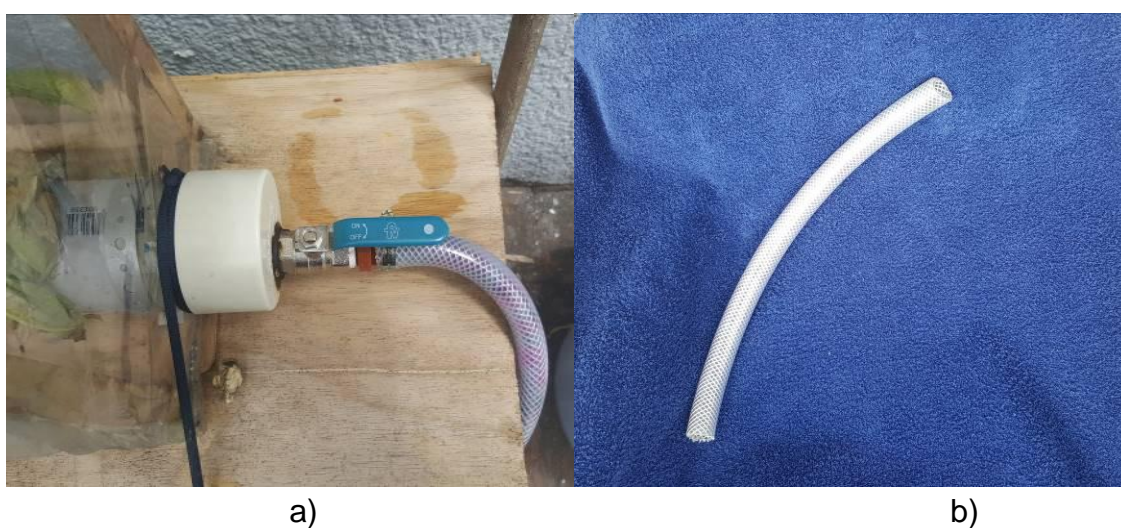
Se utilizaron mangueras para el ingreso del aire de goma flexible con un diámetro que permitió la conexión con el generador de ozono para ingresar el gas a los módulos de exposición. La salida del gas será ubicada en la parte central superior de los módulos para asegurar una distribución adecuada del  $O_3$  en el interior de los módulos.



*Figura 17.* Fotografía de mangueras de plástico utilizadas

- Mangueras de plástico para agua

Las mangueras cumplen la función de transportar la solución nutritiva hacia las tuberías. Las mismas están conectadas desde la bomba sumergible hasta la tubería y de la tubería al tanque de almacenamiento. Las mangueras tienen un diámetro de 12.7 mm para adaptarse a los acoples que tendrán las tuberías. Las mangueras serán conectadas mediante el uso de calor, arandelas y empaques para evitar filtraciones. Las mangueras seleccionadas son versiones comerciales para jardinería.



*Figura 18.* Fotografías de mangueras para agua utilizadas:

- a) Manguera en sistema de cultivo
- b) Manguera utilizada para el transporte de fluidos

- Bombas sumergibles

Para el desarrollo del proyecto se utilizó una bomba sumergible de 30 Watts con capacidad de transportar fluidos a una altura máxima de 1.94 m. La bomba fue colocada dentro del tanque de almacenamiento y conectada a las mangueras para agua para distribuir la solución al sistema hidropónico.





Figura 19. Fotografía de bomba sumergible

- Tanques de almacenamiento de agua

Para el tanque de almacenamiento se utilizó un contenedor con capacidad de 16 galones. Éste contenedor está elaborado con plástico, además de poseer una tapa del mismo material para evitar el ingreso de agentes extraños a la solución nutritiva. En éste se realizaron pequeños orificios en los costados para ingresar las mangueras para que la solución nutritiva circule por el sistema de riego.



Figura 20. Fotografías del contenedor utilizado:

- Vista lateral del contenedor de la solución nutritiva
- Vista frontal del contenedor de la solución nutritiva

- Vigas de madera

Se utilizarán vigas de madera de 2 cm x 2 cm para la construcción de los armazones para los módulos de exposición. Las mismas serán unidas en las esquinas por medio de clavos de metal para madera. Este armazón será ensamblado previo a la colocación del plástico transparente y las tuberías necesarias en los módulos.



*Figura 21.* Fotografías vigas de madera usadas para formar el módulo:

a) Estructura madera utilizada

b) Vista lateral de estructura madera utilizada para los módulos

- Timer

En el transcurso del proyecto se utilizó un timer digital de la marca “Maviju” modelo FD60-U6, el cual posee 2 entradas para la corriente y una batería que regula el reloj del equipo con capacidad programable de 8 eventos diarios. El timer fue programado para encenderse durante 10 minutos cada 4 horas, resultando en 6 eventos programados en el equipo, la programación del equipo asegura que la bomba sumergible se encienda a las 04:00, 08:00, 12:00, 16:00, 20:00 y 24:00.



Figura 22. Fotografías del timer utilizado:

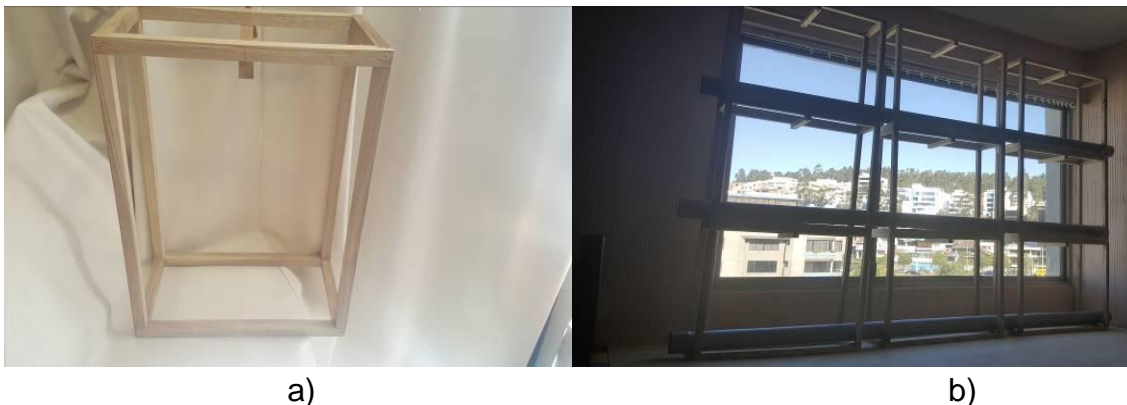
a) Timer utilizado en funcionamiento

#### f. Construcción del módulo de exposición

Se realizó la construcción del módulo juntando las especificaciones detalladas anteriormente.

- Construcción de la infraestructura del módulo

Para la construcción de las estructuras de soporte para los módulos de exposición se utilizó vigas de madera de 2 cm de espesor y se las unió para formar un paralelepípedo rectangular con medidas 56 cm x 50 cm x 20 cm. Las vigas de madera fueron recortadas en ángulos para garantizar su unión en las esquinas, las cuales fueron ensambladas por medio de clavos para madera. En el centro de los marcos se colocaron travesaños para facilitar el transporte y la manipulación de los mismos, además de servir como soporte para la colocación de las mangueras que ingresan el ozono al módulo.



*Figura 23.* Fotografías de estructura de módulos:

- a) Módulo utilizado en proyecto
- b) Disposición de módulos en sistema hidropónico

- Construcción del sistema hidropónico

La construcción del sistema hidropónico se lo realizó con tubería de PVC de 2m conectadas entre sí por medio de codos de PVC. En las tuberías se marcó con rotulador permanente los sitios en donde serían colocadas las plantas y los límites de los módulos. En los lugares marcados para las plantas utilizando un taladro y un sacabocado, se perforó cavidades en los tubos para que las plantas fueran colocadas durante el desarrollo del proyecto.

Una vez colocados los módulos de exposición en los lugares señalados en las tuberías se colocó tapas de PVC en los extremos del sistema. Las tapas fueron perforadas para colocar llaves de agua que regularían el caudal de la solución nutritiva. Para evitar las fugas en el sistema de tubería se utilizó pegamento comercial para tubo en las uniones tanto de codos como de tapas, también se utilizó arandelas en las uniones de las llaves de agua.

Se colocó un recipiente de plástico para albergar la solución nutritiva y se utilizó una bomba sumergible de 30 Watts para transportar la solución desde el contenedor hacia la parte superior del sistema para que la solución circule por gravedad recorriendo el sistema de tuberías y de vuelta al contenedor, para el transporte desde la bomba hasta las tuberías y del final de las tuberías hacia el



contenedor se ocupó una manguera de jardinería, silicona de baño y arandelas para asegurar las uniones y evitar fugas. También se agregó una bomba oxigenadora, con la finalidad de reducir la formación de algas en la solución nutritiva.



*Figura 24. Fotografías del sistema Hidropónico:*

- a) Sistema hidropónico en prueba preliminar
- b) Sistema hidropónico en funcionamiento

- Colocación del plástico transparente

Para sellar los módulos de exposición se utilizó plástico transparente. Se recortó moldes de plástico transparente añadiendo 2 cm a las medidas de las estructuras de los módulos. Se procedió a realizar la unión de los solapes por medio de un sellador de bolsas plásticas “HandySeal”. Después se le dio forma de un cobertor para que las estructuras entren en el plástico, dejando una cara sin pegar, y se recortó orificios en los lados para que la tubería del sistema de hidropónico atraviese el módulo. Una vez colocado e instalado el módulo con las planas adentro se procedió a sellar la última cara del módulo asegurando que no existan fugas que permitan escapar el ozono.

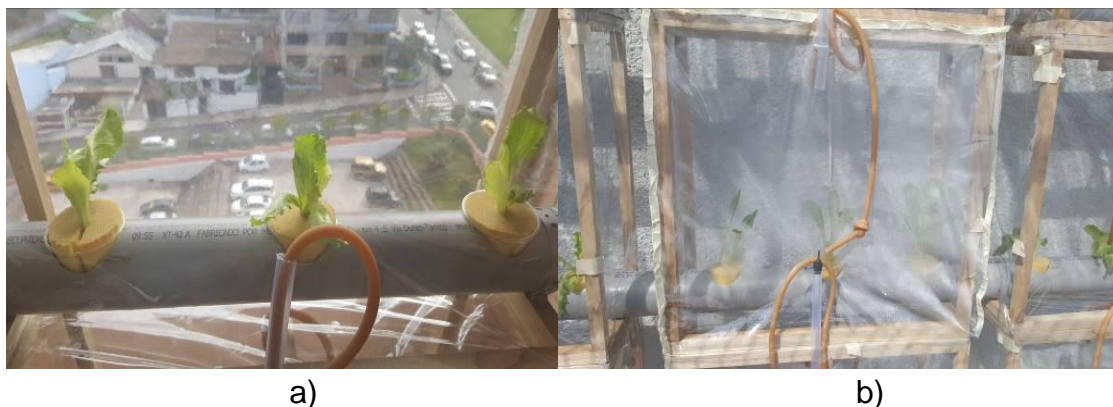


Figura 25. Fotografías de colocación del plástico transparente:

- a) Plantas detrás del plástico transparente
- b) Módulos recubiertos por el plástico transparente

- Ubicación del módulo en la superficie y ubicación designada.

La ubicación en donde se colocó el proyecto sirvió como referencia para la recolección y análisis de los datos de la estación de monitoreo “Bellisario”. Ésta es la estación más cercana más cercana al lugar de instalación del prototipo (Figura 26).

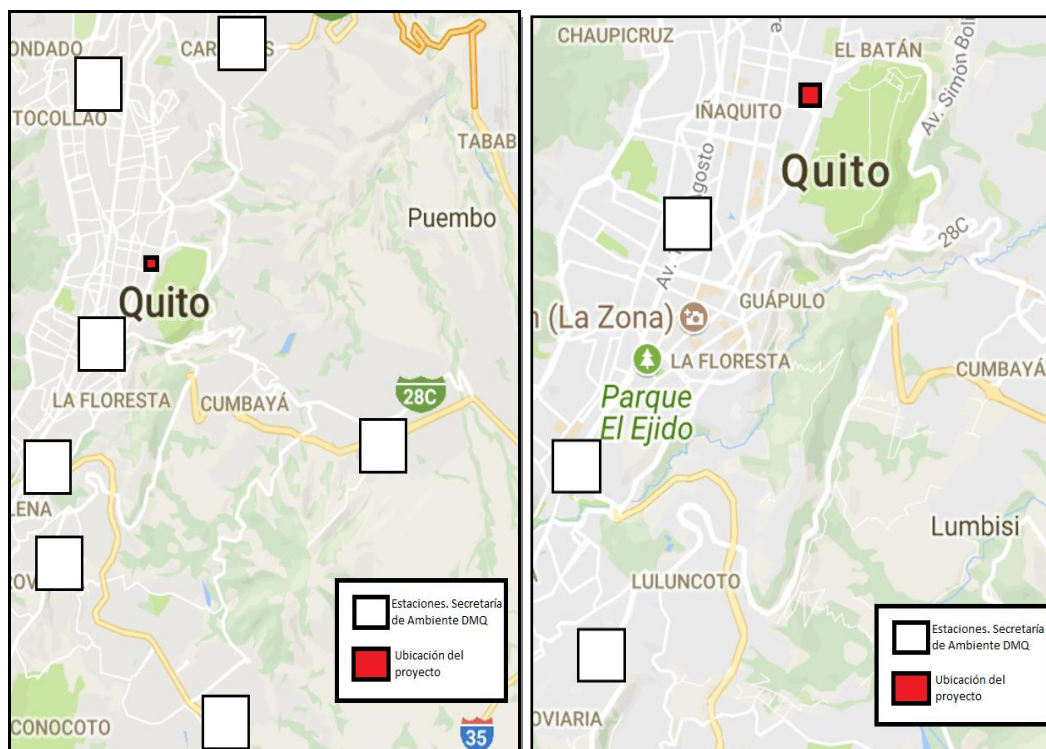
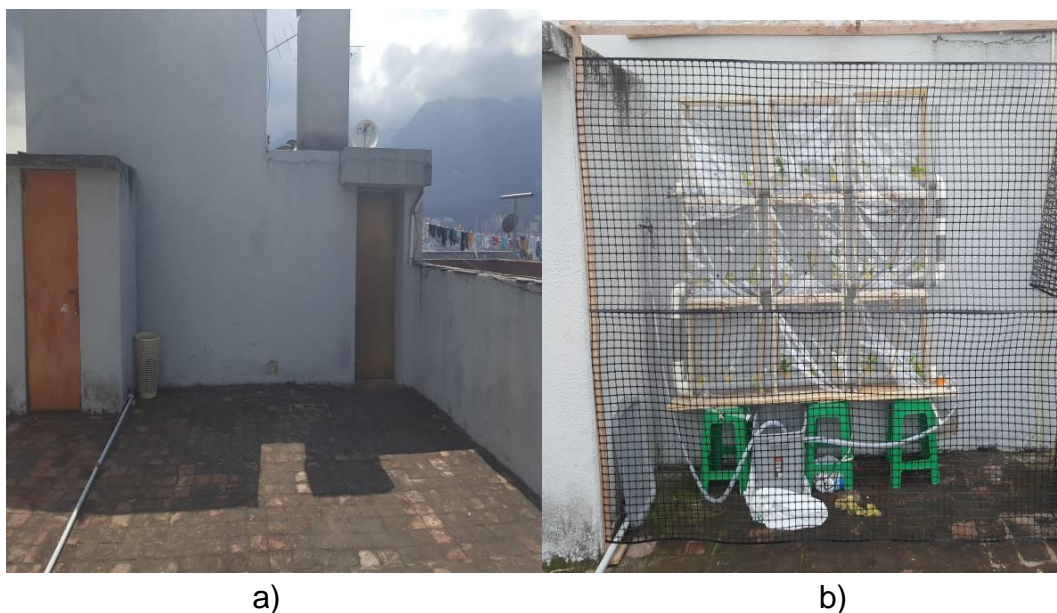


Figura 26. Ubicación de Proyecto en Mapa de DMQ:  
Adaptado de: Google Maps, 2017

Los módulos de exposición fueron colocados en la terraza de un edificio ubicado en el DMQ. Los módulos fueron ubicados bajo techo transparente y con una de sus caras con orientación hacia el Este, asegurando que las plantas puedan recibir la mayor cantidad de luz del día. También se seleccionó esta orientación debido a que en los meses que se realizó el proyecto se presentaron lluvias en horas de la tarde reduciendo la cantidad de radiación solar disponible para las plantas. Al estar un espacio de uso comunal del edificio se vio la necesidad de colocar una malla de plástico para evitar que personas ajenas al proyecto puedan manipular los componentes del sistema. Se colocó de igual manera una puerta de malla asegurada con candados para permitir únicamente el pasó de personas para controlar el desarrollo del proyecto.



*Figura 27.* Fotografías de la ubicación del proyecto:

- a) Sitio utilizado en el experimento
- b) Experimento en el sitio designado

### **g. Calibración de equipos generadores y de medición**

Para la verificación del funcionamiento adecuado del equipo generador de ozono se realizó una prueba en los módulos de exposición. En ésta se colocaron medidores pasivos de ozono preparados por la Secretaría de Ambiente DMQ, en 2 de los módulos sellados (Figuras 28-30). Se conectó el

equipo generador en el primer módulo por el tiempo de 1 segundo (resultando en una concentración dentro del módulo de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), en el siguiente módulo se conectó el equipo generador de ozono por un tiempo de 2 segundos (resultando en una concentración dentro del módulo de  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Los medidores pasivos se entregaron a los laboratorios pertenecientes a la Secretaría de Ambiente para la determinación de la concentración. Los cálculos efectuados para determinar el tiempo necesario para la exposición de los módulos están descritos por las ecuaciones 16-22.

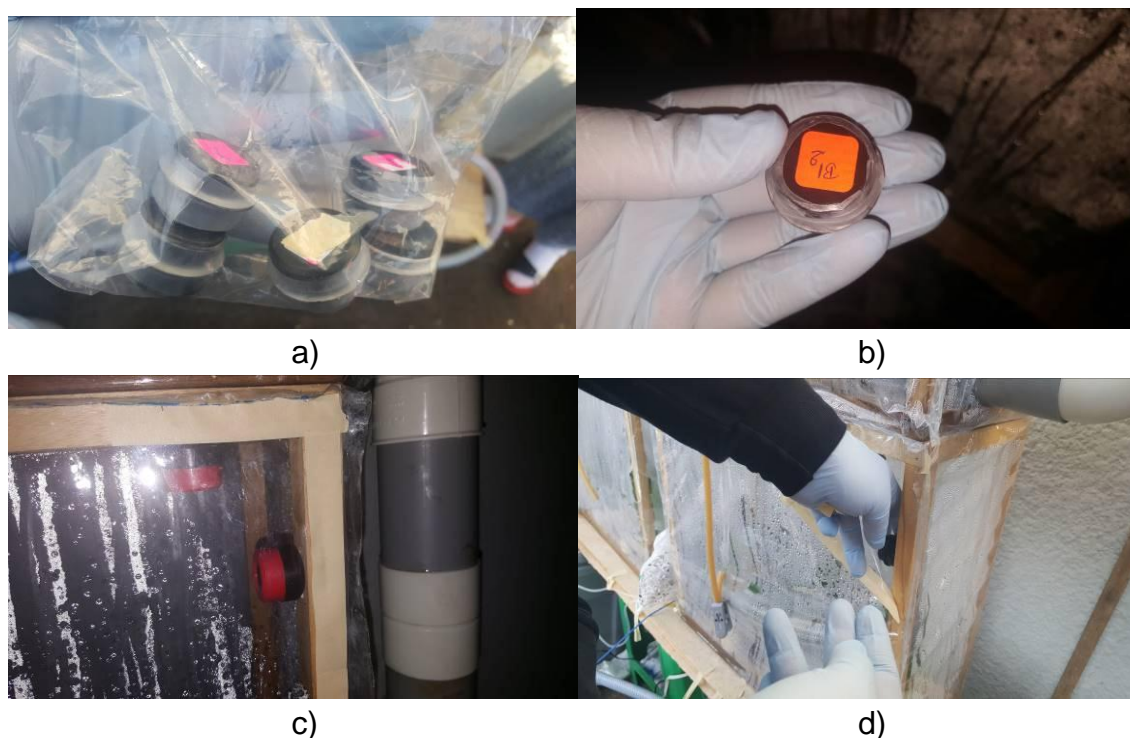


*Figura 28.* Fotografías de calibración con sensores de  $\text{O}_3$ :

- a) Procedimiento para medición de concentraciones de ozono
- b) Procedimiento para retirar sensores pasivos de ozono

Para la colocación de los medidores pasivos de ozono primero se recolectó los mismos de las oficinas de la Secretaría de Ambiente. Éstos fueron entregados envueltos en papel film y colocados en bolsas herméticas que fueron membretadas. Los medidores se colocaron bajo refrigeración a cerca de  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  en un lugar cercano a sitio donde se ubican los módulos. Se realizó la colocación de los medidores en horas de la noche, para evitar la incidencia de la radiación solar en la concentración de ozono dentro de los módulos. Utilizando guantes de nitrilo se extrajo de las bolsas los detectores y con cuidado se retiró la tapa del medidor dejando expuesto el filtro. Mediante cinta doble faz se adhirió los medidores a la estructura del módulo. Se colocaron 2 medidores por cada módulo y luego se cerró el plástico de los módulos para evitar fugas de ozono. Se realizó esta serie de procesos según lo indicado por el laboratorio de monitoreo de la Secretaría de Ambiente.





*Figura 29. Fotografías colocación de medidores pasivos:*

- a) Medidores de ozono en bolsas selladas
- b) Sensores pasivos utilizados
- c) Colocación de los sensores de ozono
- d) Retiro de sensores de ozono

Los medidores utilizados para la medición de ozono son similares a los medidores pasivos de la marca “Ogawa” desarrollados en 1991 por (Koutrakis et al., 1993). Los cuales son ampliamente utilizados en campañas de medición de calidad del aire ambiente y ozono troposférico. Éstos constan de un cuerpo de plástico cilíndrico de 2 cm de diámetro y 3 cm de longitud en donde se encuentran un conjunto de mallas y filtros que son los que captarán el ozono. Los filtros dentro del medidor se encuentran impregnados de una solución de nitrito sódico, carbonato potásico y glicerol. El ozono reacciona con la solución de nitrito generando nitrato. La concentración de nitrato es la que será utilizada para calcular la concentración de ozono. Una vez captado el ozono los medidores son sometidos a un proceso de extracción por ultrasonido para ser analizados por cromatografía iónica (Cano y Delgado, 2009; Comunidad de Madrid, 2013; Jimenez, 2007 y Martinez y Romieu, 1997). La ecuación que describe este proceso es la siguiente:

(Ecuación 14)

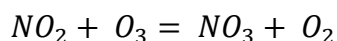
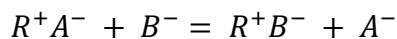


Figura 30. Fotografías medidores pasivos:

- a) Sensores utilizados
- b) Manipulación de sensores

Para la medición de las concentraciones de ozono la Secretaría de Ambiente DMQ utiliza el método de cromatografía iónica (Figura 31), el cual permite una separación de moléculas de acuerdo a sus propiedades de carga eléctrica. En este proceso se desarrollan 2 fases, denominadas estacionaria y móvil. La fase estacionaria o también denominada de intercambio iónico, se encuentra en estado insoluble y en su superficie lleva cargas electrostáticas fijas con la capacidad de retener contraiones móviles que pueden ser intercambiados por iones de la fase móvil, la cual generalmente es una disolución acuosa con pequeñas cantidades de disolventes orgánicos que sean miscibles en agua. El principio básico de este método de medición es que moléculas cargadas se adhieren a los intercambiadores de manera reversible, de tal modo que pueden ser asociadas o disociadas cambiando el ambiente iónico, dentro de las dos fases del proceso, En la primera, las sustancias que deben separarse se unen al intercambiador utilizando condiciones que permitan una unión estable y fuerte, para luego en la siguiente fase eluir o extraer estas sustancias por medio de soluciones buffers de diferentes pH o fuerzas iónicas. En pocas palabras se utilizan soluciones denominadas como cambiadores de iones que poseen cargas fijas, estas soluciones pueden tomar e intercambiar iones que posean la misma carga, permitiendo que por los equilibrios de intercambio se

puedan intercambiar iones de una disolución con iones que se encuentren retenidos sobre una superficie (Álvarez et al., 2015 y Ayora, 2006). Este proceso se sintetiza en la siguiente ecuación:



(Ecuación 15)

$R^+A^-$  Siendo un intercambiador iónico y  $B^-$  representando los iones a intercambiar



a)

b)

**Figura 31.** Fotografías sistema medidor por cromatografía iónica:

- a) Equipo de intercambio iónico
- b) Funcionamiento del equipo de intercambio iónico

El equipo utilizado para la medición de la concentración del contaminante fue un “Metrohm 940 professional ic vario” perteneciente a la Secretaría de Ambiente, utilizado para la separación y determinación de iones en conjunto con su análisis (Figura 32). Este equipo presenta un nuevo sistema de cromatografía iónica de alto rendimiento que se ajusta a las necesidades del usuario debido a su capacidad de intercambio en sus componentes (Metrohm, 2016). El personal del laboratorio de la secretaría fue el encargado de realizar la medición de las concentraciones de ozono.

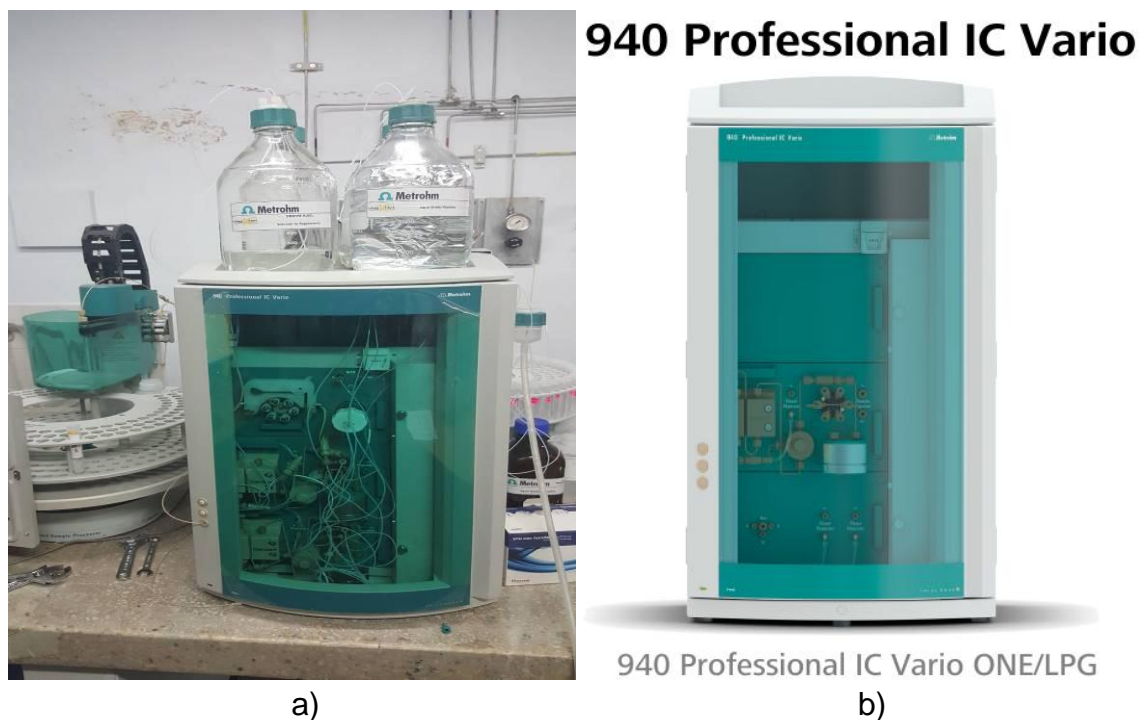


Figura 32. Fotografías del equipo medidor utilizado:

- a) Equipo de medición de ozono utilizado  
 b) Marca y modelo del equipo de medición (Metrohm, 2016)

Las mediciones obtenidas en este proceso se presentan en la Tabla 4

Tabla 4.

*Mediciones de ozono por sensores pasivos*

CÓDIGO	RESULTADO O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PROMEDIO (µg/m <sup>3</sup> )
M1 Tratamiento 1 40 µg/m <sup>3</sup>	26.48	27.16
	28.28	
	30.52	
	23.35	
M2 Tratamiento 2 80 µg/m <sup>3</sup>	91.17	85.48
	79.79	
	92.43	
	78.52	

Adaptado de: Secretaría de Ambiente DMQ, 2017

## 2.4. Determinación de alteraciones en la planta

### h. Selección y trasplante de plántulas al sistema de cultivo

Se realizó la selección de plántulas de *Lactuca sativa* las cuales fueron proporcionadas por la empresa particular PILVICSA S.A., ésto para obtener una mayor homogeneidad en las plántulas.

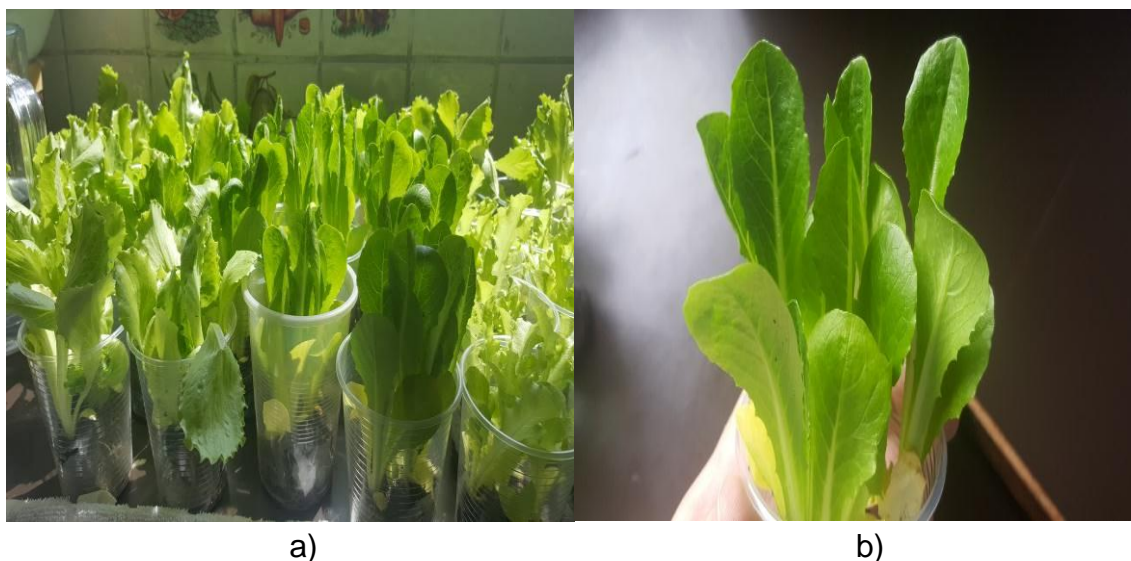


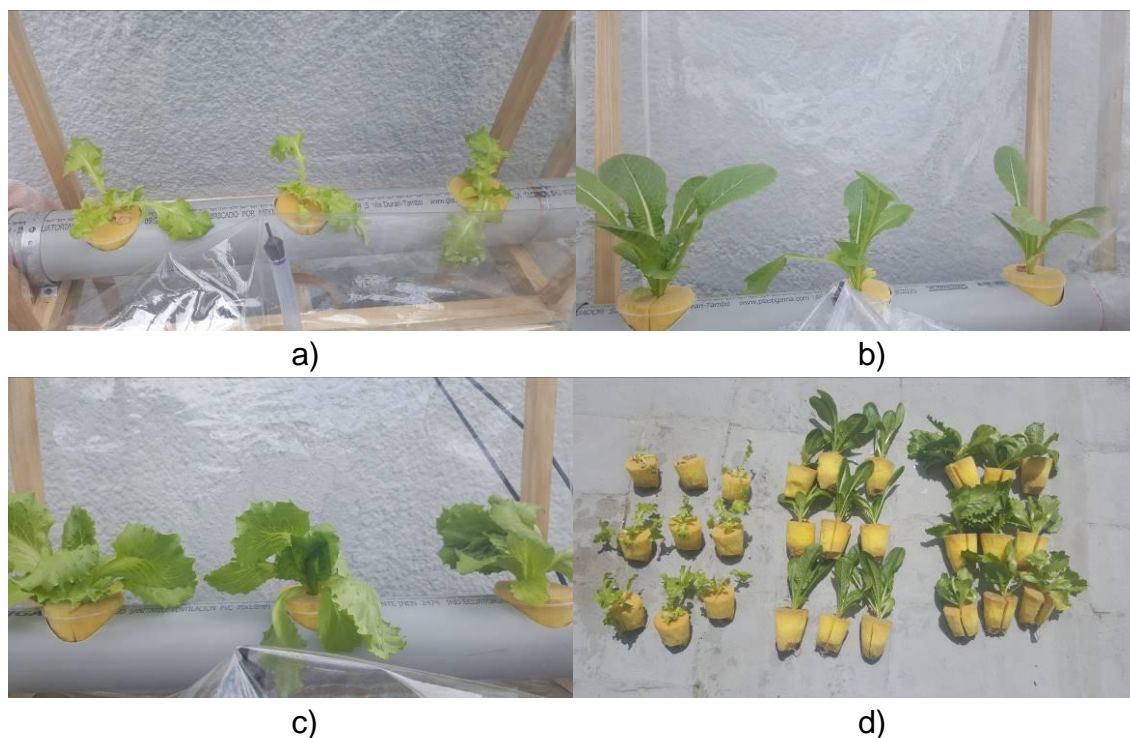
Figura 33. Fotografías de las plántulas entregadas por PILVICSA:

a) Conjunto de plántulas entregadas

b) Plántulas seleccionadas para el experimento

En una prueba preliminar se colocaron 3 variedades de lechuga en el sistema hidropónico y se evaluó su crecimiento y resistencia frente a las condiciones en las que se iban a desarrollar (Figura 34). En esta evaluación se determinó que la variedad más adecuada de *Lactuca sativa* para la realización de este proyecto es la variedad “Romana”, debido a que presentó un mayor crecimiento y una total resistencia a las condiciones del sistema.





**Figura 34.** Fotografías de la prueba de selección de variedad de lechuga:

- a) Crecimiento de lechuga variedad crispa
- b) Crecimiento de lechuga variedad romana
- c) Crecimiento de lechuga variedad repollo
- d) Variación en el crecimiento y adaptación de las variedades

Se procedió a realizar el lavado de las raíces para retirar parte de la tierra que poseían. Una vez las raíces fueron lavadas se las colocó en un pedazo de esponja cortado a la mitad procurando que las raíces de la planta queden un poco libres en la parte inferior de la esponja. Luego los pilotes fueron colocados en vasos de plástico recortados para asegurar que los pilotes quedaran suspendidos en la tubería de PVC (Figura 35).



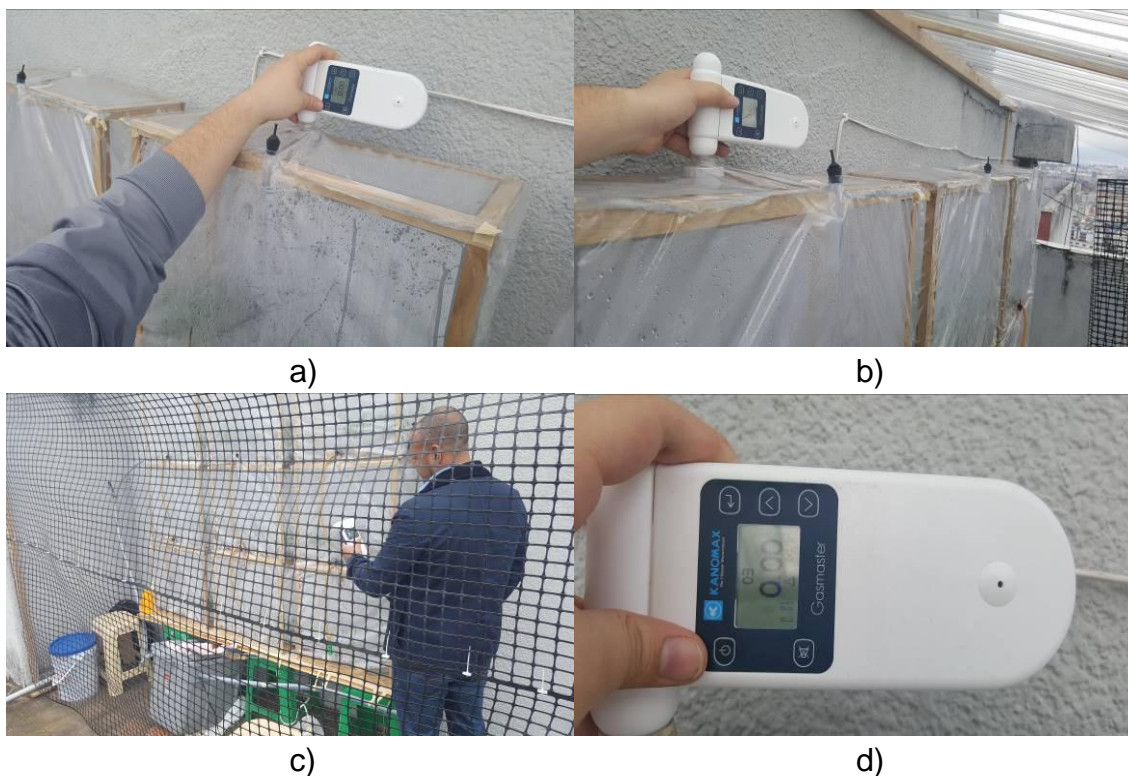
**Figura 35.** Colocación de plantas en el sistema de cultivo:

- a) Plantas de lechuga colocadas en el sistema de cultivo
- b) Vista superior de plantas ubicadas en los módulos

### **i. Exposición de las plantas al contaminante**

Se realizó la exposición de las plantas de *Lactuca sativa* L. a 3 diferentes concentraciones de ozono generado de manera artificial e ingresado al módulo mediante mangueras para aire. Se utilizó un generador de ozono comercial para realizar la inyección de ozono al módulo, el cual se conecta a cada módulo durante un determinado tiempo para llegar a concentración establecida para cada tratamiento.

Para la concentración 0, se colocaron filtros de carbón activado conectando el interior de los módulos con el exterior para simular el ingreso de aire filtrado. La efectividad del sistema de filtro fue verificada mediante la utilización de un detector de ozono de marca “AEROQUAL”, modelo “KANOMAX” serie 500. En estas pruebas se validó que la concentración de ozono medida por el sensor se reducía a  $0 \text{ mg/m}^3$  (Figura 36). Para esta concentración no se ingresó ozono de manera artificial a los módulos.



**Figura 36.** Fotografías de calibración módulos de concentración cero:

- a) Medición de ozono en tercer módulo de control
- b) Medición de ozono en primer módulo de control
- c) Personal de empresa de medición utilizando el equipo
- d) Resultados de medición en módulos de control

Para las demás concentraciones se realizó el cálculo del tiempo de exposición necesaria para alcanzar cada concentración definida. Las fórmulas utilizadas se detallan a continuación.

Se identificó la necesidad de reducir el caudal de salida del equipo debido a que generaba 500 mg/h. El caudal del equipo se redujo agregando un sistema de venoclisis conectado a la salida del equipo. Esta medida redujo el caudal de salida del gas. Para el cálculo de los caudales la ecuación utilizada fue la siguiente:



(Ecuación 16)

$$Q = \pi r_{sg}^2 * v$$

$Q$ = Caudal ( $m^3/s$ )

$r_{sg}$ = Radio de la salida del gas (m)

$v$ = Velocidad del gas (m/s)

Las velocidades fueron determinadas mediante un anemómetro en una práctica de laboratorio. Se determinaron caudales 1 y 2 para identificar la variación de las medidas de reducción de caudal, utilizando la ecuación 16.

Caudal 1: Caudal del equipo sin obstrucciones

$$Q1 = \pi \left( \frac{0.004}{2} \right)^2 * 1.65$$

$$Q1 = 2.0734 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Caudal 2: Caudal con sistema de venoclisis

$$Q2 = \pi \left( \frac{0.002}{2} \right)^2 * 0.15$$

$$Q2 = 4.7124 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$$

Para la determinación de la cantidad de ozono en la salida se utilizó la siguiente fórmula:

(Ecuación 17)

$$\dot{m}1 * Q2 = \dot{m}2 * Q1$$

$\dot{m}1$ = Flujo másico del equipo ( $\mu\text{g/s}$ )

$\dot{m}2$ = Flujo másico del equipo con venoclisis ( $\mu\text{g/s}$ )

$Q1$ = Caudal del equipo sin obstrucciones ( $m^3/s$ )

$Q2$ = Caudal con sistema de venoclisis ( $m^3/s$ )

Reemplazando en la Ecuación 17 los datos correspondientes el cálculo es el siguiente:

$$\dot{m}_2 = \frac{138 * 4.7124 \times 10^{-7}}{2.0734 \times 10^{-5}}$$

$$\dot{m}_2 = 3.136 \mu\text{g/s}$$

Se consideró que en la conexión entre el equipo y el sistema de venoclisis la existencia de fugas que afectan a la cantidad de ozono a la salida. Es por esto que se consideró un coeficiente de fugas del 40% que fue aplicado al valor de salida multiplicándolo por 0.60 (Ayrful, 2013).

$$\dot{m}_2 = 3.136 * 0.6 = 1.88 \mu\text{g/s}$$

Para continuar se realizó la determinación del Volumen del módulo, utilizando las formulas siguientes:

$$V_r = V_m - V_E - V_t$$

(Ecuación 18)

$V_r$  = Volumen real ( $\text{m}^3$ )

$V_m$  = Volumen del módulo ( $\text{m}^3$ )

$V_E$  = Volumen de la estructura ( $\text{m}^3$ )

$V_t$  = Tubería ( $\text{m}^3$ )

A continuación, se presentan las ecuaciones utilizadas para calcular los volúmenes correspondientes:

$$V_m = b_m * a_m * h_m$$

(Ecuación 19)

$b_m$  = Base del módulo (m)

$a_m$  = Ancho del módulo (m)

$h_m$  = Altura del módulo (m)

$$V_E = (4 * A_{E1} * l_{E1}) + (4 * A_{E2} * l_{E2}) + (4 * A_{E3} * l_{E3}) \quad (\text{Ecuación 20})$$

$A_E$  = Area del parante de la estructura (m<sup>2</sup>)

$l_E$  = Longitud del parante de la estructura (m)

$$V_t = \pi r_t^2 * h_t \quad (\text{Ecuación 21})$$

$r_t$  = Radio de la tubería (m)

$h_t$  = Longitud de la tubería (m)

Se procedió a reemplazar los datos en las ecuaciones 18-21 para calcular cada volumen necesario y posteriormente el volumen real del módulo de exposición. Los cálculos realizados se presentan a continuación:

$$V_m = 0.5 * 0.56 * 0.20$$

$$V_m = 0.056 \text{ m}^3$$

$$V_E = (4 * 0.0004 * 0.56) + (4 * 0.0004 * 0.46) + (4 * 0.0004 * 0.16)$$

$$V_E = 0.001888 \text{ m}^3$$

$$V_t = \pi 0.075^2 * 0.56$$

$$V_t = 0.009896 \text{ m}^3$$

$$V_r = 0.056 - 0.001888 - 0.009896$$

$$V_r = 0.0443 \text{ m}^3$$

Una vez determinado el volumen real del módulo, mediante la siguiente ecuación se determinó los tiempos de exposición que fueron aplicados a cada módulo según el diseño experimental planteado previamente.

(Ecuación 22)

$$t = \frac{C_i * V_r}{\dot{m}_2}$$

$t$  = Tiempo de exposición (s)

$C_i$  = Concentración necesaria ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

$V_r$  = Volumen real del módulo ( $\text{m}^3$ )

$\dot{m}_2$  = Flujo másico del equipo con venoclisis ( $\mu\text{g}/\text{s}$ )

A partir de la Ecuación 22 se determinaron los tiempos a los que serían expuestos los respectivos módulos teniendo en cuenta las concentraciones para cada tratamiento siendo estas de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

$$t_{C1} = \frac{40 * 0.0443}{1.88}$$

$$t_{C1} = 0.94 \text{ s}$$

$$t_{C2} = \frac{80 * 0.0443}{1.88}$$

$$t_{C2} = 1.88 \text{ s}$$

Estos cálculos fueron corroborados a nivel de laboratorio por la Secretaría de Ambiente DMQ mediante las mediciones realizadas en los módulos, presentados previamente en este documento.

Para las concentraciones 1 y 2, en base a las mediciones realizadas, se determinó mantener el tiempo de conexión entre el generador de ozono y el módulo durante el tiempo de 1 y 2 segundos respectivamente para realizar la exposición a la concentración necesaria. Se realizaron exposiciones diarias a cada módulo durante el periodo de 1 mes.

## j. Control de las condiciones del sistema

En el módulo se controlaron los tiempos de exposición al contaminante, la cantidad de riego, la cantidad de nutrientes ingresados, el pH de la solución nutritiva y la CE de la solución.

- Control de riego

Para el proyecto se realizó el control del riego a las plantas mediante el uso de un timer o temporizador programado para encender la bomba de agua durante 10 minutos cada 4 Horas, es decir 6 veces al día. Diariamente se comprobó la funcionalidad de la bomba sumergible (Figura 37). En cada cambio de solución nutritiva se realizaba un lavado de la bomba para asegurar que esta continúe trabajando durante todo el proceso.

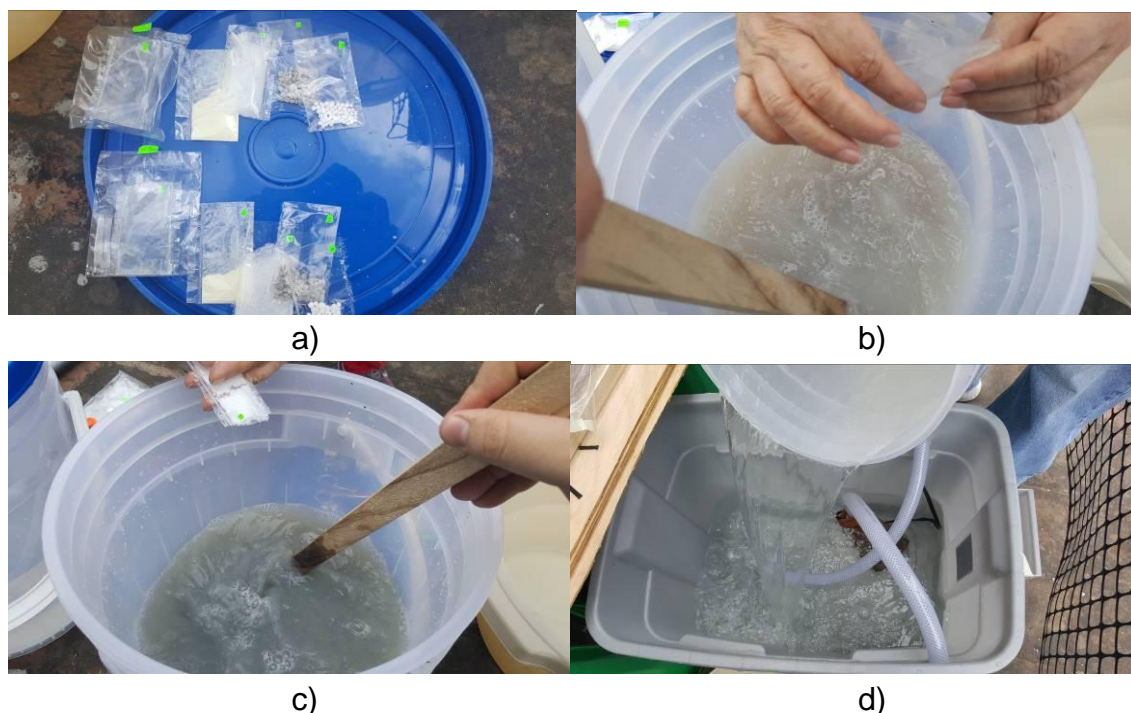


*Figura 37.* Fotografías de control de riego aplicado en el experimento:

- a) Sistema de bombeo en funcionamiento
- b) Sistema de riego

- Control de nutrientes

Para el cultivo de las lechugas se utilizaron nutrientes comerciales los cuales se encontraban en kits donde ya se encontraba la formulación adecuada para la formación de la planta. Los kits fueron preparados según las instrucciones del proveedor para obtener la solución nutritiva que fue usada durante el transcurso del proyecto (Figura 38). Cada dos semanas se realizó el cambio de la solución nutritiva para evitar la formación de algas en la misma, en adición a esto se añadió una bomba oxigenadora que aportaba a la misma función del cambio de solución.



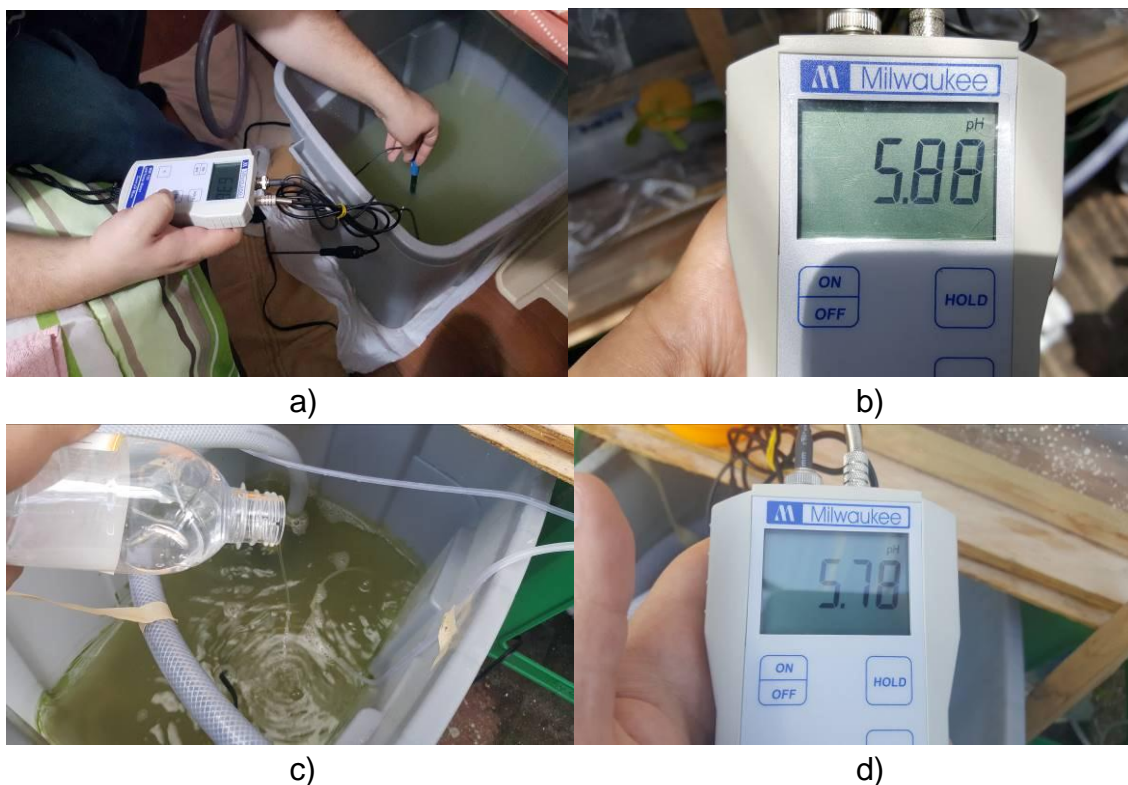
*Figura 38.* Fotografías preparación de solución nutritiva:

- a) Componentes de la solución nutritiva
- b) Mezcla del primer conjunto de componentes
- c) Mezcla del segundo conjunto de componentes
- d) Mezcla realizada en el contenedor

- Control de pH

Para el control de pH en la solución de nutrientes se utilizó equipos de campo proporcionados por la Universidad de Las Américas (UDLA). Se controló diariamente el pH de la solución el cual se reguló para que entrara en el rango de 5.5 a 6.5. Se realizó la medición del pH por medio de un equipo "MILWAUKEE" modelo "MW-102", se utilizó agua destilada para limpiar el electrodo para luego sumergirlo en la solución nutritiva, durante el transcurso del proyecto se realizó una medición por día, la cual se repitió tres veces. Para regular el pH se utilizó vinagre natural comercial (Figura 39). Cada día se evaluó el pH y de ser necesario se agregaba vinagre para que se reduzca a los rangos óptimos para la absorción de nutrientes. Para comprobar el funcionamiento adecuado del equipo una vez por semana se realizaba la calibración del mismo mediante soluciones buffer de pH 4, 7 y 10, también se

analizaron muestras de la solución nutritiva en equipos “HANNA” modelo “HI2550” pertenecientes al laboratorio de la UDLA.



**Figura 39.** Fotografías control de pH:

- a) Proceso de medición de pH
- b) Medición de pH
- c) Regulación de pH con vinagre
- d) Control de la regulación del pH



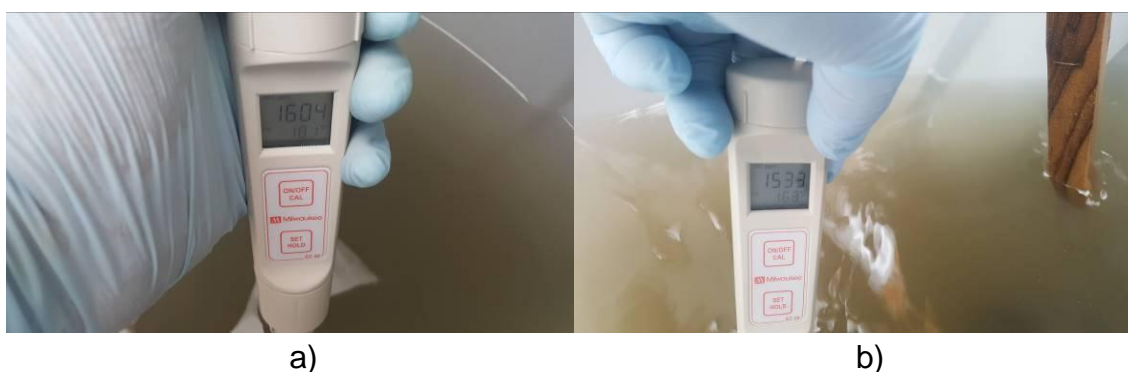
**Figura 40.** Fotografías calibración de equipos medidores de pH:

- a) Medición de pH con equipo de campo
- b) Medición de pH con equipo de laboratorio



- Control de conductividad eléctrica

Para el control de CE en la solución de nutrientes se utilizó equipos de campo proporcionados por la UDLA. Se utilizó un equipo de la marca “MILWAUKEE” modelo “EC59”, utilizando agua destilada para lavar el sensor del equipo, para luego sumergirlo en la solución nutritiva. Se realizó durante el transcurso del experimento una medición al día la cual constaba en tres repeticiones seguidas realizadas en campo. Para comparar resultados de las mediciones también se analizaron muestras de la solución nutritiva en equipos disponibles en el laboratorio de la UDLA marca “HANNA” modelo “HI2550”.



**Figura 41.** Fotografías control de CE:

- Medición de CE de la solución nutritiva en reposo
- Control de CE de la solución nutritiva circulación



**Figura 42.** Fotografías calibración de medidores de CE:

- Medición de CE con equipo de campo
- Medición de CE con equipo de laboratorio



## 2.5. Análisis de cambios evidenciados

### k. Tabulación de resultados

Se realizó una revisión diaria de las características y la evolución de la planta en el medio de cultivo, en el caso de presentarse una irregularidad como pequeños puntos de color morado, rojo, amarillo, negro o blanco. Similares a las mencionadas por Callisaya (2015) y Wan et al., (2014) se registró la observación manualmente. Cada día fueron inspeccionadas las hojas en busca de manchas o marchites en los bordes de las mismas. En la fase de exposición esta revisión se efectuó observando las plantas a través del plástico transparente de los módulos tocando suavemente el plástico para retirar parte de la humedad formada en el interior del módulo.

Una vez culminado el período de exposición al contaminante, se procedió a retirar las plantas de los respectivos módulos e inspeccionar detalladamente todas las hojas de las plantas en busca de irregularidades en las mismas y recolectando la información necesaria de cada hoja, plántula y módulo.

Dentro de la inspección de las plantas se realizó la medición de la longitud de la misma, mediante el uso de una regla se evaluó la longitud de la planta tomando las medidas desde la base del tallo hasta el extremo de la hoja más larga.



*Figura 43.* Fotografías de las mediciones de altura de las plantas

a) Medición de altura de la planta

b) Medición de altura de la planta

Además se realizó la medida de la longitud de las raíces de la planta, se utilizó una regla para determinar la extensión de las mismas, se inició la medida desde la base de la raíz más larga hasta la punta de ésta.



a)

b)

*Figura 44.* Fotografías de la medición de longitud de las raíces:

a) Medición de longitud de la raíz de la planta

b) Medición de longitud de la raíz de la planta

El peso de los sujetos de experimento fue uno de los parámetros evaluados dentro de este experimento. Se colocó las plantas en un contenedor y se las pesó utilizando una balanza de alimentos de la marca “CAMRY”, previamente ajustada a la masa del recipiente. Estos pesos fueron registrados manualmente el instante de la medición.



a)

b)

*Figura 45.* Fotografías de medición de peso de las plantas:

a) Medición del peso de la planta

b) Medición del peso de la planta

Se contabilizó la cantidad de hojas presentes en cada planta, manualmente se evaluó cada sujeto contando el número de éstas, incluyendo las superiores de menor edad.



*Figura 46.* Fotografías de inspección de plantas:

- a) Inspección en hojas de la planta
- b) Identificación de cambios en la hoja de la planta

Todos los resultados y registros generados en la fase de experimentación fueron obtenidos e ingresados manualmente en una libreta de laboratorio (Anexo 3). Para efecto de su análisis esta información se compiló mediante el uso de la herramienta Informática Microsoft EXCEL. Se elabora un documento con éste formato en el cual se clasificaron los datos en diferentes hojas de cálculo, la tabla en mención se presenta en el Anexo 2.

## **I. Análisis estadístico de los resultados**

Para el análisis estadístico de la información obtenida en este proyecto se utilizaron herramientas informáticas para automatizar y agilizar los cálculos estadísticos presentados previamente en este documento.

## 2.6. Evaluación de los efectos del ozono

Una vez realizados los diferentes análisis de los resultados y la comparación de los efectos obtenidos con estudios similares o comparables adecuados para este estudio, se procedió a interpretar una relación entre la concentración ambiente de ozono y las alteraciones registradas en las características morfológicas en las hojas de las plantas de *Lactuca sativa* L., de esta manera mediante la utilización del método científico se procedió a comprobar o descartar la hipótesis planteada para este proyecto.

## 3. CAPÍTULO III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1. Esquema de presentación de resultados y análisis

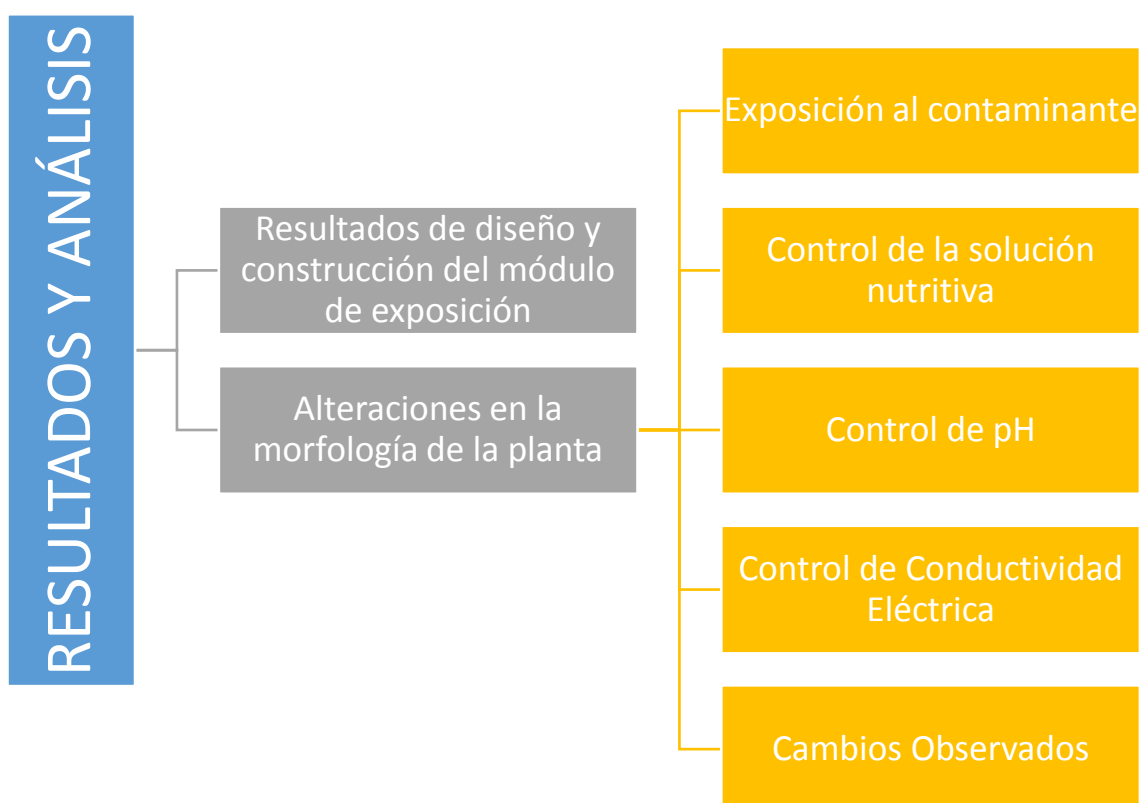


Figura 47. Resumen resultados y análisis

### 3.2. Resultados del diseño y construcción del módulo de exposición



Los módulos de exposición fueron construidos satisfactoriamente en base a los diseños planteados previamente en este documento. Los materiales usados para la construcción y ensamblaje del sistema hidropónico usado en el experimento fueron los detallados previamente permitiendo el correcto funcionamiento del sistema y asegurando que el diseño se cumpla estrictamente (Figura 48).



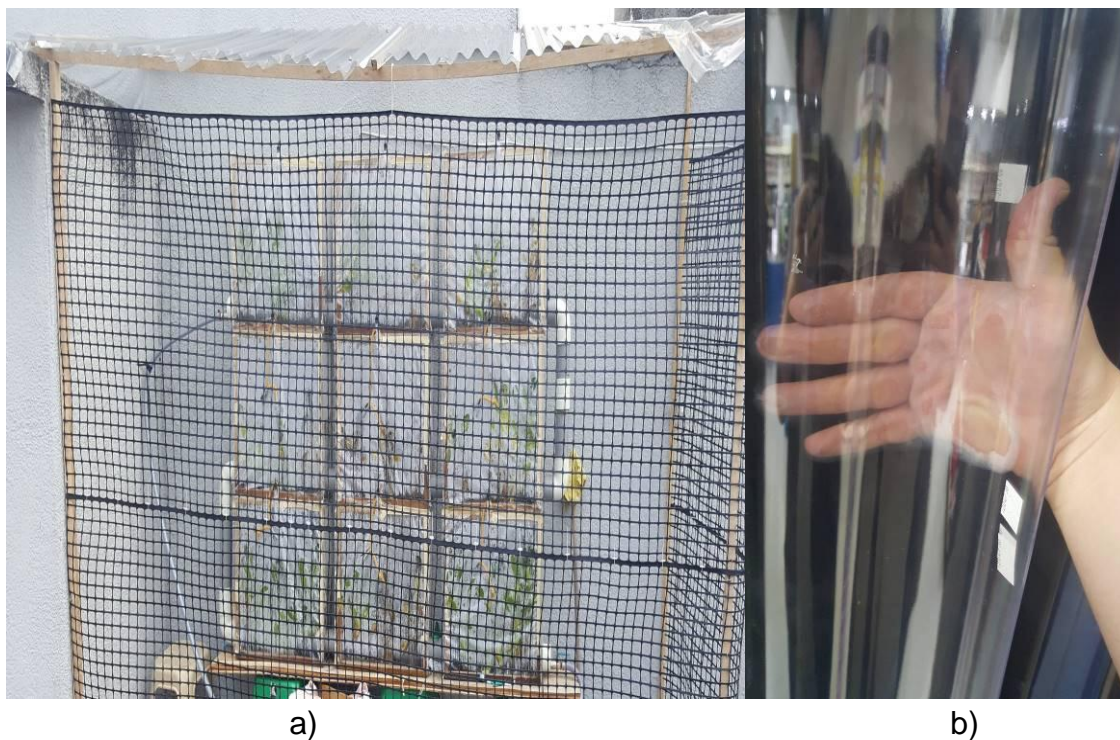
*Figura 48.* Fotografía de módulos de exposición construidos y en funcionamiento

Para poner en práctica el método hidropónico se realizó una prueba del funcionamiento del sistema completo utilizando agua regular y se observó que no existieron filtraciones y que el fluido no se acumuló en las tuberías (Figura 49). Se utilizó niveles y topes para asegurar que los fluidos salgan del medio si ningún inconveniente. Se verificó que la regulación en las válvulas de entrada y salida para controlar el flujo dentro de los canales funcionó de manera adecuada, manteniendo permanentemente un flujo laminar.



*Figura 49.* Fotografía de prueba de funcionamiento del sistema de riego

Teniendo en cuenta el clima de la ciudad se construyó una estructura para colocar un techo de traslúcido transparente que permitía el paso de los rayos UV (Figura 50). Se evidenció que estas medidas implementadas evitaron el ingreso de agua de lluvia a los módulos o al tanque y a su vez permitieron el desarrollo normal de las plantas.



**Figura 50.** Fotografías de los módulos cubiertos por techo transparente:

- a) Módulos ubicados bajo techo transparente
- b) Plástico utilizado para el techo

### **3.3. Alteraciones en la morfología de las plantas**

#### **3.3.1. Exposición al contaminante**

Se realizó la exposición diaria de las plantas de *Lactuca sativa* L. a las concentraciones de ozono determinadas, el generador de ozono se conectó a los módulos a diferente tiempo según el tratamiento aplicado respectivamente, una vez realizada la conexión se permitió el ingreso del gas a las plantas, una vez transcurrido el lapso idóneo para alcanzar la concentración adecuada.

La eficacia de los métodos de bloqueo fue probada tanto en campo como en laboratorio evidenciando que se limitó la entrada y salida de gases a los módulos, asegurando que el ozono se mantenga en los mismos y actúe en el desarrollo de las plantas.

### 3.4. Control de la solución nutritiva

Durante el período en el que se desarrolló el experimento se realizaron cambios periódicos de la solución nutritiva. Esto permitió un control adecuado en las propiedades de la solución nutritiva durante el transcurso del proyecto. Al ser kits de preparación comerciales se utilizó varios de los mismos pertenecientes al mismo lote de producción, lo que aseguró que cada mezcla ingresada al sistema conste con las mismas concentraciones que las demás. La selección e implementación de la metodología con respecto a la solución nutritiva mostro ser la adecuada, evidenciada en el crecimiento regular de las plantas.

### 3.5. Control de pH

Los datos obtenidos del control de pH fueron registrados en campo manualmente, para luego ingresarlos en un documento utilizando el programa Microsoft EXCEL, presentados en el anexo 4. De estas mediciones se realizó un gráfica explicativa en donde se visualiza el mantenimiento del pH dentro de los rangos establecidos previamente (Figura 51).

Se tabuló los datos y se obtuvo valores promedios, máximos y mínimos los cuales se presentan en la Tabla 5

Tabla 5.  
*Resultados máximos y mínimos calculados para pH*

Promedio del pH	Máximos registrados	Mínimos registrados
5.76	5.98	5.55

Se observa que la variación en las mediciones de pH es mínima lo que aseguró una regularidad en la solución nutritiva para las plantas. No se superaron los valores establecidos para este tipo de cultivos, y se observa un rango reducido entre los máximos y mínimos de 0.43.



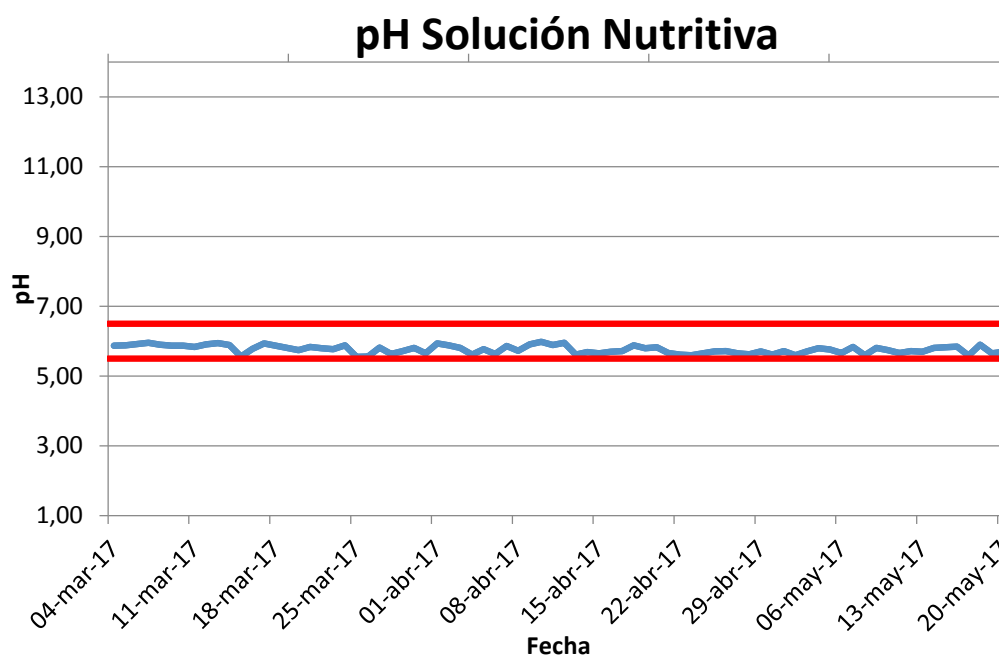


Figura 51: Gráfica del control de pH durante el experimento

Para la estabilización del pH dentro de los rangos establecidos se evidenció la necesidad de la aplicación diaria de vinagre. Al igual que lo descrito por Gilsanz (2007) fue necesario la implementación de una bomba oxigenadora para reducir el crecimiento de las algas, que junto a la acción esperada por las lechugas incrementaron la alcalinización de la solución nutritiva. Sin embargo Velazquez (2015) menciona en su estudio que la alcalinización de la solución nutritiva fue menos elevada requiriendo regulaciones del pH menos continuas que las realizadas en este estudio.

### 3.6. Control de conductividad eléctrica

Los datos medidos por el equipo fueron recolectados en campo para luego ingresarlos en un documento EXCEL, presentados en el Anexo 5. Con los datos obtenidos se elaboró una gráfica explicativa donde se visualiza la evolución de la CE en la solución nutritiva (Figura 52).

De los datos recopilados se calcularon valores promedios, máximos y mínimos los cuales se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6.

*Resultados máximos y mínimos calculados para la CE*

Promedio del CE	Máximos registrados	Mínimos registrados
2.30	3.09	1.89

Se evidencia una amplia variación en las mediciones de la conductividad eléctrica. Se observan picos de CE en ciertas etapas del proyecto los cuales descendían progresivamente. Se observa que se superaron los valores recomendados para la conductividad de la solución nutritiva en las etapas iniciales del cultivo pero en el período de exposición se evidencia que se mantuvo la mezcla en los rangos adecuados.

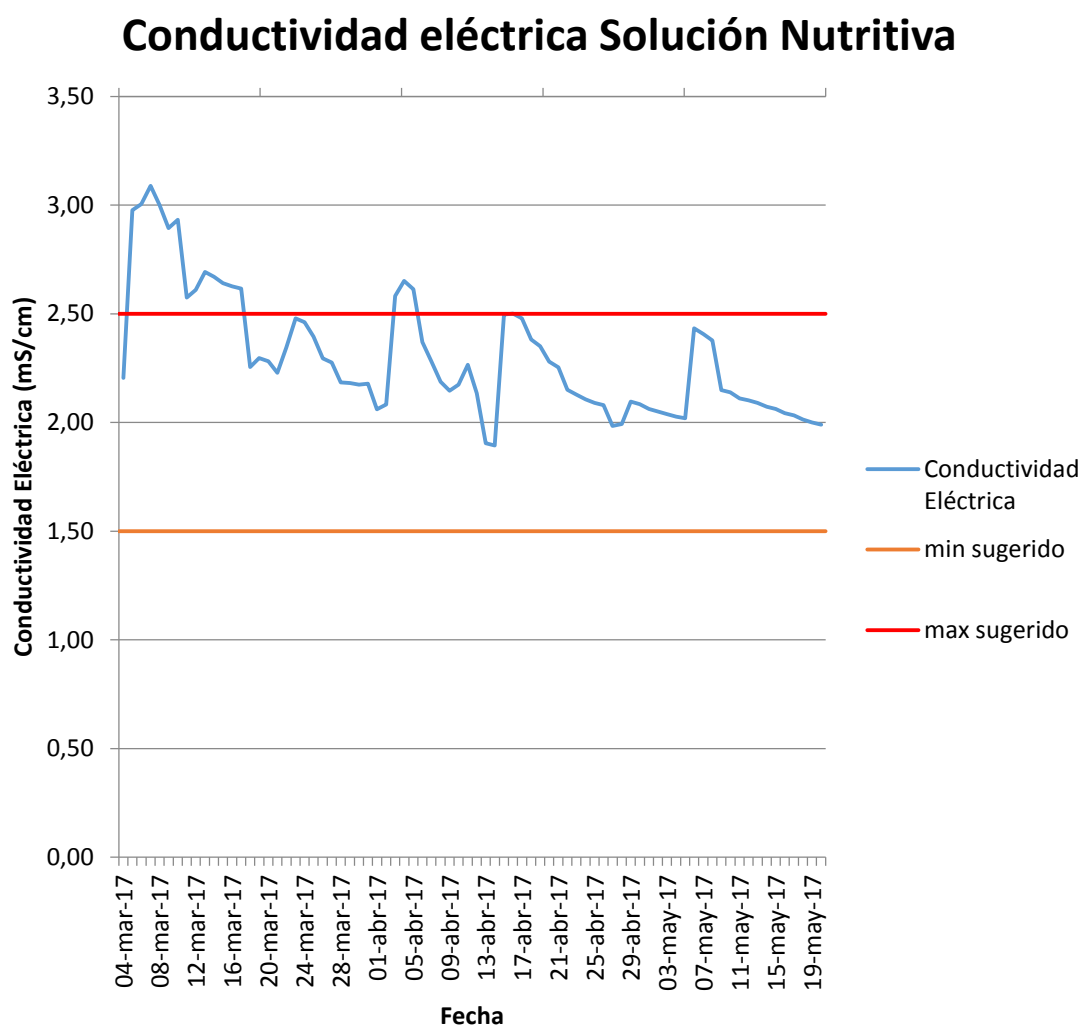


Figura 52. Gráfica de control de CE durante el experimento

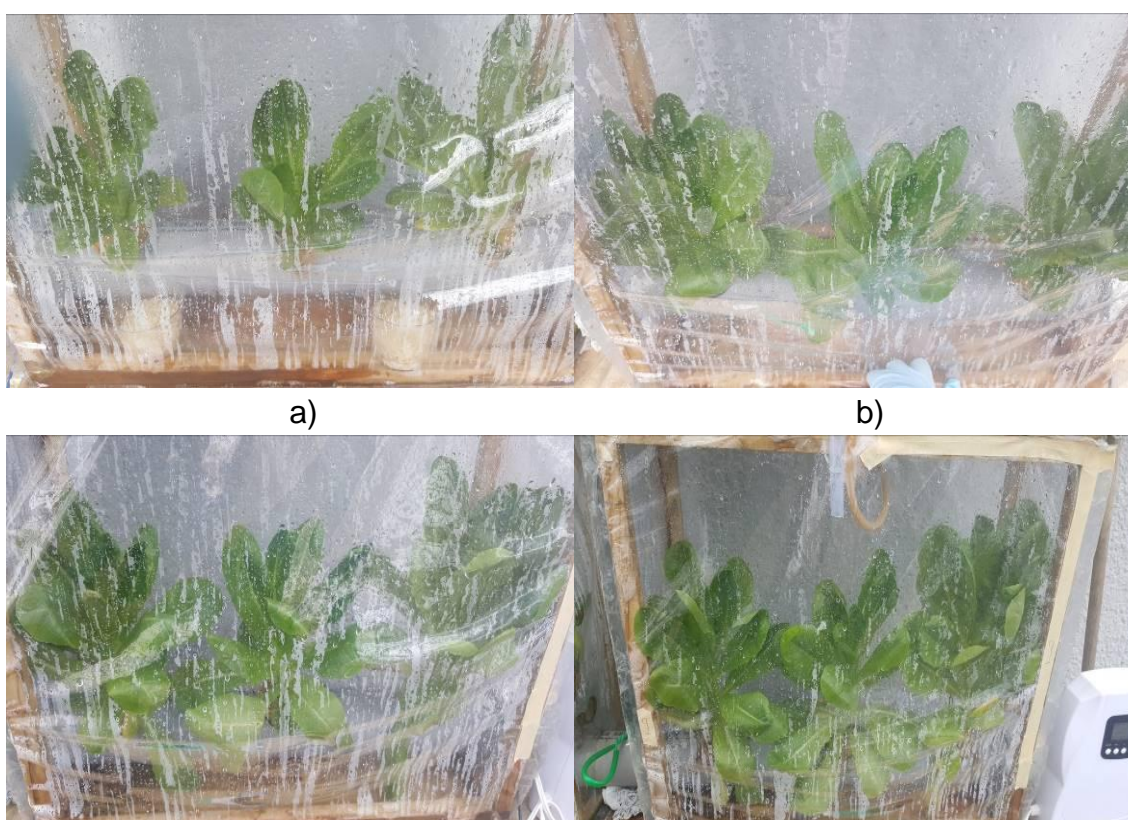
Los incrementos en la conductividad eléctrica de la solución nutritiva surgieron los días en los que se realizaron cambios de las mezclas, estos picos en la concentración se deben al incremento en la carga nutritiva del fluido como lo mencionado por Simón, Peralta, y Costa (2013). En el caso de este parámetro no se utilizó ningún aditamento para mantenerlo dentro de los límites especificados, el cambio de la solución nutritiva en el tanque de almacenamiento fue suficiente para mantenerlo bajo las condiciones deseadas. Se presentó un inconveniente al momento de la comprobación de las mediciones realizadas por el equipo de campo, al comparar el resultado obtenido in situ, junto al obtenido en el laboratorio, se evidenció una discrepancia entre las mediciones. Se realizaron pruebas los días siguientes en los 2 equipos para establecer un factor de corrección para los datos tomados previamente con el equipo de campo.

### **3.7. Cambios observados**

Para identificación de los efectos del ozono sobre las plantas de lechuga se observó diariamente a cada una de ellas buscando posibles daños similares a los planteados por (USDA, 2002), durante los 28 días que duró la exposición se tomaron registros manuales en donde se colocó la evolución que tenía la planta día a día (Anexo 3). Los datos recolectados permitieron un seguimiento progresivo del desarrollo de las plantas y sus interacciones con el contaminante.

Para el análisis estadístico de este proyecto se utilizó la herramienta informática Microsoft EXCEL con su paquete necesario para realizar los mismos. La utilización de esta herramienta automatizó y simplificó el cálculo de la significancia de las variables. En concordancia con lo planteado en el diseño experimental del este proyecto, se utilizó una confiabilidad del 95% para determinar la influencia de los tratamientos, por tanto la variable deberá presentar una probabilidad menor a 0.05.

En la fase inicial del experimento previo a la exposición del contaminante, se evaluó el ritmo de crecimiento de las plantas de lechuga (Figura 53), según la evolución observada en los estudios de Radiant Silicon Technology (2008), esperando que el crecimiento de todas las plántulas sea uniforme. Sin embargo se presentaron irregularidades en el crecimiento de las mismas independientemente de la ubicación de la planta (Figura 54). Se evidencia que el ritmo de crecimiento en algunas de las plántulas pudo verse alterado en los procesos de traslado y trasplante de las mismas.



**Figura 53.** Fotografías de revisión de crecimiento de plantas en los módulos:

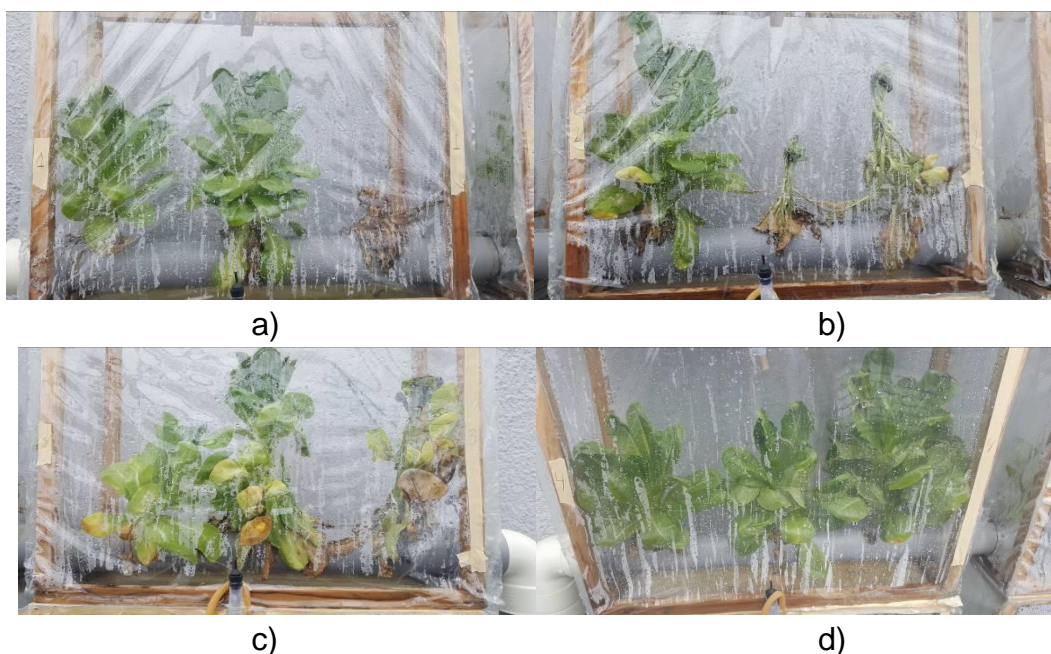
- a) Revisión de crecimiento de plantas semana 4
- b) Revisión de crecimiento de plantas semana 5
- c) Revisión de crecimiento de plantas semana 6
- d) Revisión de crecimiento de plantas semana 7



**Figura 54.** Fotografías de diferencia de crecimiento de las plantas:

- a) Variación de crecimiento entre plantas
- b) Variación de crecimiento entre plantas

Durante la fase de exposición cerca del final del experimento se evidenció que las plantas ubicadas en los módulos superiores del sistema hidropónico empezaron a marchitarse con mayor rapidez que sus semejantes (Figura 55). Este rápido deterioro de esta planta pudo surgir debido a las condiciones externas del experimento en la fase de exposición se pospuso durante algunas semanas ocasionando que las plantas pasen su punto óptimo de cosecha.



**Figura 55.** Fotografías de deterioro en las plantas de módulos superiores:

- a) Plantas módulo 1 con deterioro visible
- b) Plantas módulo 2 con deterioro visible
- c) Plantas módulo 3 con deterioro visible
- d) Plantas módulo 4 sin deterioro visible



El momento de realizar la cosecha de las plantas se evidenció que la mayoría se encontraban caídas. Éste imprevisto se debió a que los factores climáticos en la ciudad proporcionaron una ausencia de sol durante los 3 últimos días del experimento debido a las lluvias, esto se puede evidenciar en los registros de radiación solar de la Secretaría de Ambiente DMQ (2017) en su página web, en donde se registra que en los últimos días del experimento el promedio de radiación solar diario rondaba los  $100 \text{ W/m}^2$  mientras que en un día soleado el promedio es de  $200 \text{ W/m}^2$ , frenando la capacidad de realizar el proceso de fotosíntesis por parte de las plantas.

Una vez recolectados los datos tomados el día final de la exposición al contaminante acerca de las alturas presentadas por las plantas se realizó la tabulación de los resultados y se tomó un promedio para cada módulo o repetición, calculado a partir de sus 3 plantas. Estos datos son presentados en la Figura 56. En esta se evidencia una variabilidad entre todos los tratamientos y repeticiones. También se observa que todos los promedios de las plantas superan los 20 cm de altura permitiendo reconocer el crecimiento adecuado de las plantas de lechuga en el sistema de cultivo.

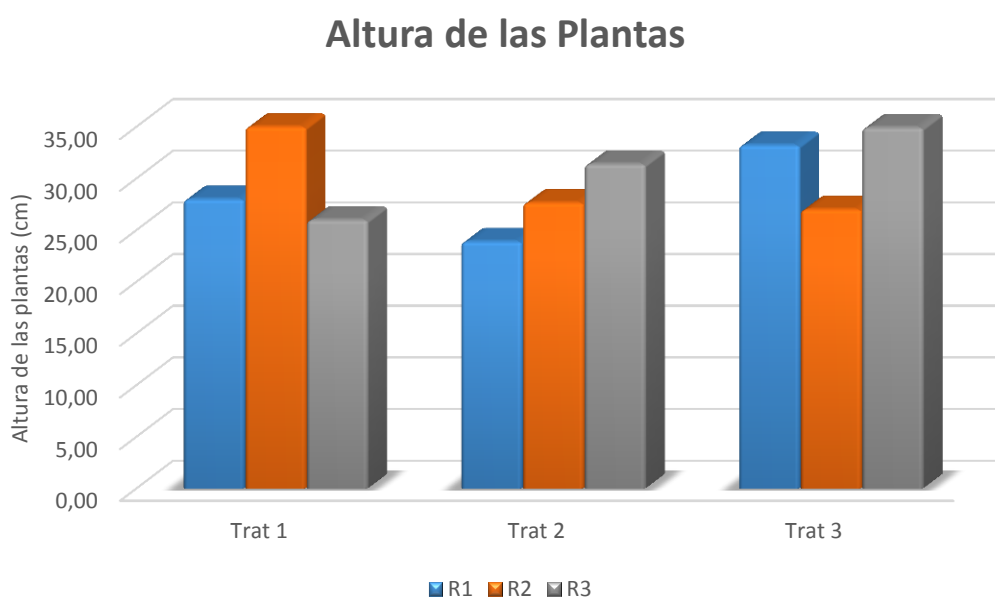


Figura 56. Gráfica de resultados de altura de las plantas.

Tabla 7.  
*Tabla ANOVA de la variable altura de la planta*

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo				
ALTURA DE LA PLANTA				
RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Tratamiento 1	3	89	29.6666667	22.3333333
Tratamiento 2	3	82.95	27.65	14.0625
Tratamiento 3	3	95.1666667	31.7222222	17.447037
Repetición 1	3	85.1333333	28.3777778	21.8848148
Repetición 2	3	89.65	29.8833333	19.7408333
Repetición 3	3	92.3333333	30.7777778	20.2414815

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	24.8752469	2	12.4376235	0.50324692	0.63834081	6.94427191
Repeticiones	8.8267284	2	4.4133642	0.17857205	0.84278371	6.94427191
Error	98.8590123	4	24.7147531			
Total	132.560988	8				

En el caso de la variable que toma en cuenta la altura de la planta como elemento de variación, podemos observar (Tabla 7) que los valores de probabilidad tanto en tratamientos como en repeticiones son superiores al valor estipulado de confiabilidad de 0.05. Esto nos indica que la aplicación de ozono en las plantas no influyo o disturbó la capacidad de la planta para crecer verticalmente.

Con los resultados recolectados se elaboró gráficas presentadas en la Figura 57 donde se muestran los promedios de la longitud de la raíz para cada módulo de exposición. Se observa que los promedios determinados no superan los 10 cm de longitud. Se pudo identificar que debido a la profundidad limitada por la tubería del sistema de cultivo pudo influir en los resultados obtenidos, sin embargo se observó que había una mayor distribución y cantidad de raíces en plantas sanas que en comparación a las plantas que se encontraban marchitas el momento de la inspección.

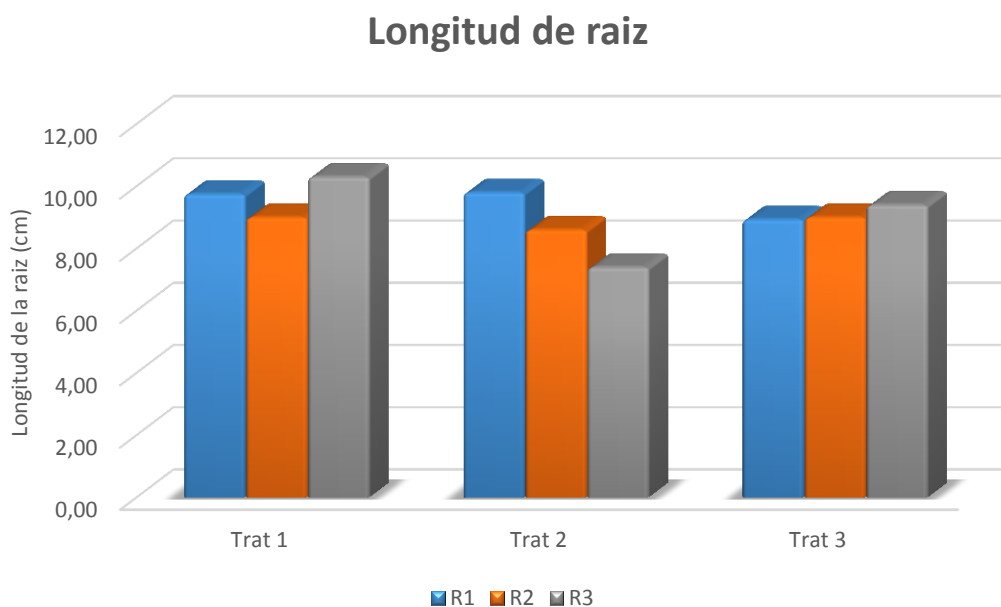


Figura 57. Gráfica de resultados de longitud de las raíces

Tabla 8.

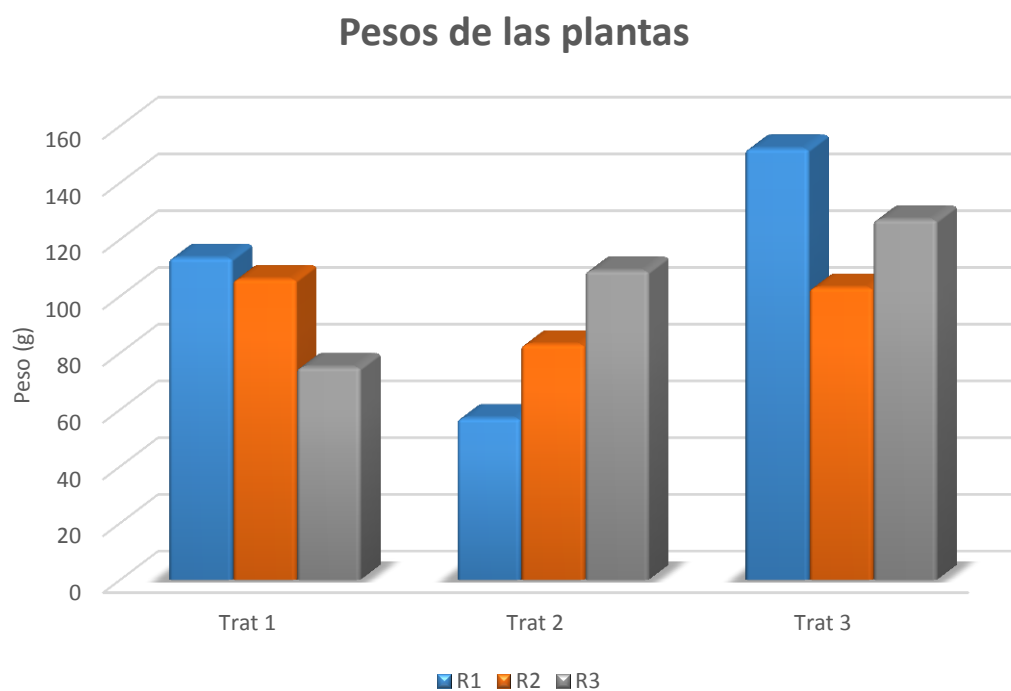
Tabla ANOVA de la variable longitud de raíz

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo						
LONGITUD DE RAIZ						
RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Tratamiento 1	3	29.05	9.68333333	0.42583333		
Tratamiento 2	3	25.8	8.6	1.44		
Tratamiento 3	3	27.33333333	9.11111111	0.0637037		
Repetición 1	3	28.48333333	9.49444444	0.23675926		
Repetición 2	3	26.6	8.86666667	0.05333333		
Repetición 3	3	27.1	9.03333333	2.20333333		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	1.76228395	2	0.88114198	1.09303572	0.41810958	6.94427191
Repeticiones	0.63450617	2	0.31725309	0.39354493	0.69819514	6.94427191
Error	3.2245679	4	0.80614198			
Total	5.62135802	8				



Para la variable correspondiente a la longitud de las raíces se observa que los valores de probabilidad son superiores al 0.05 que representa una no significancia, por este motivo el análisis corrobora las observaciones realizadas en campo que mencionan que la profundidad del sistema de cultivo puede intervenir en la longitud final de las raíces (Tabla 8).

En la Figura 58 se presentan los promedios de cada repetición calculados con los datos recolectados en campo con respecto a los pesos de las plantas obtenidos al final del periodo del proyecto. Se observa que los promedios se muestran variables tanto entre tratamientos como en repeticiones.



*Figura 58.* Gráfica de resultados de pesos de las plantas

Tabla 9.  
*Tabla ANOVA de la variable peso de la planta*

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo						
<i>RESUMEN</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Tratamiento 1	3	294.5	98.1666667	416.583333		
Tratamiento 2	3	249	83	676		
Tratamiento 3	3	382	127.333333	600.333333		
Repetición 1	3	322.5	107.5	2283.25		
Repetición 2	3	292	97.3333333	156.333333		
Repetición 3	3	311	103.666667	697.333333		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Tratamientos	3046.16667	2	1523.08333	1.88753485	0.26467407	6.94427191
Repeticiones	158.166667	2	79.0833333	0.09800682	0.90875372	6.94427191
Error	3227.66667	4	806.916667			
Total	6432	8				

En cuanto al peso de la planta podemos mencionar que de igual manera a las variables anteriores, esta no presenta una significancia tanto de la perspectiva de tratamiento como de repeticiones, estos cálculos muestran que para el peso final de las plantas cultivadas el efecto que pudo ocasionar el ozono no es relevante estadísticamente (Tabla 9). Esto también lo menciona González et al. (2016) en su estudio donde comenta que en la evaluación estadística de la biomasa de las plantas no se encontró diferencias entre los tratamientos.

En la Figura 59 se muestran el promedio del número de hojas contabilizadas por planta para cada módulo, el momento de la inspección final. Se observa que para esta variable el módulo con un mayor conteo de hojas es la segunda repetición de la concentración cero. Esta concentración es la que presenta mayor variabilidad con respecto a las demás.

## Numero de Hojas

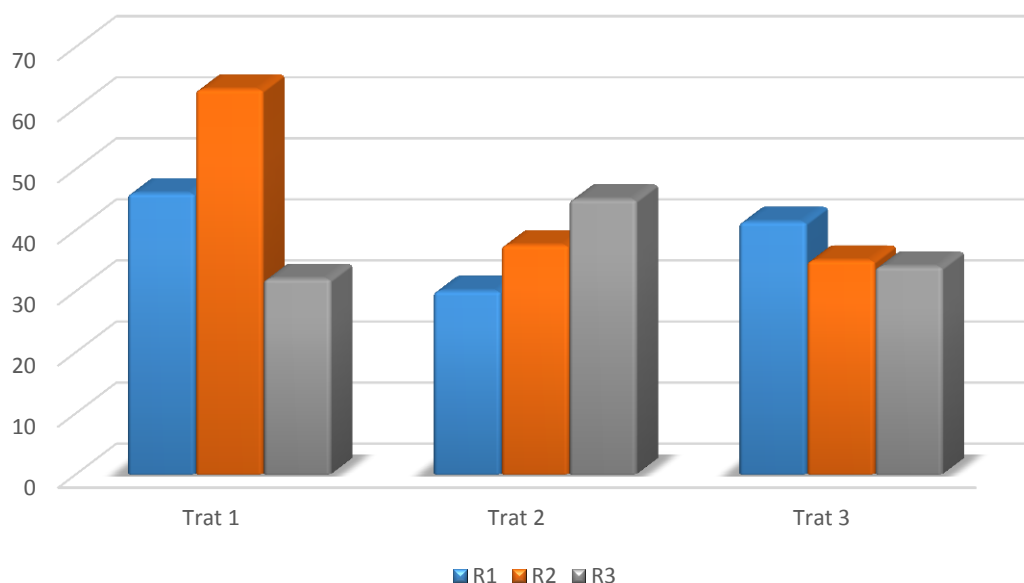


Figura 59. Gráfica de resultados de número de hojas

Tabla 10

Tabla ANOVA de la variable número de hojas

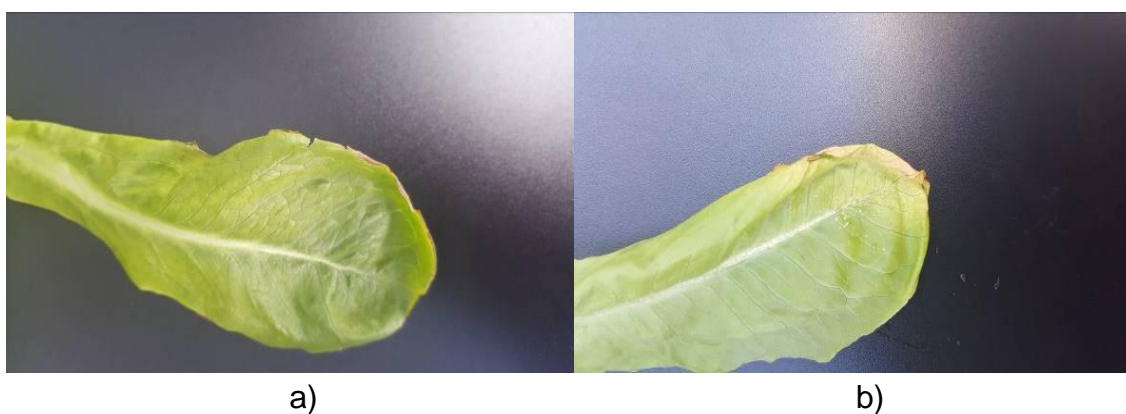
Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo				
NÚMERO DE HOJAS				
RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Tratamiento 1	3	141	47	241
Tratamiento 2	3	112.5	37.5	56.25
Tratamiento 3	3	110.333333	36.7777778	15.8148148
Repetición 1	3	117.333333	39.1111111	67.7037037
Repetición 2	3	135.5	45.1666667	240.083333
Repetición 3	3	111	37	49

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	195.265432	2	97.632716	0.75347164	0.5275927	6.94427191
Repeticiones	107.820988	2	53.9104938	0.41604935	0.68524897	6.94427191
Error	518.308642	4	129.57716			
Total	821.395062	8				

Podemos observar que en esta variable que consta de la cuantificación de las hojas presentes en la planta los valores de probabilidad en el sentido de tratamientos y repeticiones son superiores a 0.05 (Tabla 10), por lo que se interpreta que no existe una variación considerable entre las diferentes concentraciones aplicadas, por lo que la exposición al ozono no afectó considerablemente el número de hojas por planta.

Los bordes de las hojas fueron un punto primordial de observación, se registró que tanto las plantas de los grupos de control como las expuestas presentaron algunas hojas que exhiben la anomalía, las cuales cambiaron de color amarillo claro a un marrón (Figura 60). Los resultados obtenidos muestran una aparición general de bordes marchitos a diferencia de lo mencionado por Callisaya (2015), que en sus estudios menciona que las alteraciones que se presentan en los bordes de las hojas afectadas por ozono.



*Figura 60.* Fotografías de afectación en los bordes de las plantas:

- a) Bordes afectados en las hojas de una planta
- b) Extremos afectados en las hojas de una de las plantas

Se muestra los resultados del promedio de cada módulo obtenido del número de hojas que presentaban las plantas de las respectivas unidades experimentales en la Figura 61. Se observa que para los módulos que fueron expuestos al contaminante el promedio de bordes marchitos se incrementó un poco, sin embargo se evidencia variabilidad entre repeticiones.

### Número de Hojas con bordes marchitos

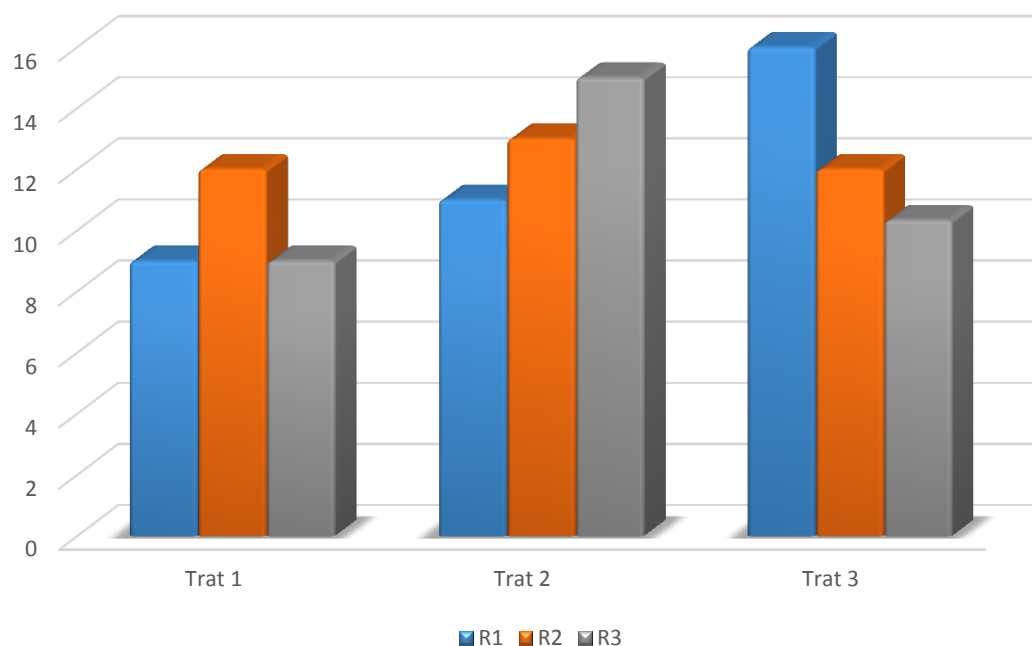


Figura 61 Gráfica de resultados de número de hojas con bordes afectados

Tabla 11.

Tabla ANOVA de la variable número de hojas con borde afectado

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo						
RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Tratamiento 1	3	30	10	3		
Tratamiento 2	3	39	13	4		
Tratamiento 3	3	38.3333333	12.7777778	8.48148148		
Repetición 1	3	36	12	13		
Repetición 2	3	37	12.3333333	0.33333333		
Repetición 3	3	34.3333333	11.4444444	9.92592593		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	16.7654321	2	8.38271605	1.12697095	0.40908381	6.94427191
Repeticiones	1.20987654	2	0.60493827	0.0813278	0.92337693	6.94427191
Error	29.7530864	4	7.4382716			
Total	47.7283951	8				

Una de las variables consideradas influyentes para este estudio fue la aparición de signos de marchitez o deterioro en los bordes de la planta, según lo descrito por Alonso et al. (2014) y USDA (2002). Sin embargo estadísticamente en este proyecto la afectación a los bordes de las hojas por acción del ozono no es significativa. Tanto en los casos de tratamientos y repeticiones los valores obtenidos en la probabilidad son superiores a 0.05 (Tabla 11). Si bien estadísticamente no hay evidencia de la afección por ozono en los bordes de las hojas, puede haber intervenido el tiempo de cosecha para la evaluación de este parámetro.

Uno de los efectos más fácilmente identificables fue la aparición de manchas en el haz de la hoja (Figura 62), se registró estas irregularidades en los sujetos expuestos, estas manchas aparecieron a los 13 y 14 días de iniciada la exposición al contaminante, de similar manera como menciona en su investigación Goumenaki et al (2007). Donde relatan que estas manchas surgieron a las 2 semanas. Se registró que sin importar la concentración de ozono las manchas o lunares aparecieron en las hojas de las plantas expuestas casi simultáneamente.



a)



b)

*Figura 62.* Fotografías de manchas iniciales en las hojas de las plantas:

- a) Manchas en el haz de una hoja en los módulos expuestos
- b) Manchas pequeñas en el haz de una hoja de los módulos expuestos

Al inicio las manchas o lunares observados en la parte superior de las hojas fueron de un color blanquecino, que desde el día 20 de exposición y con el paso de los días fueron tomando un color marrón claro (Figura 63). De manera



similar a lo mencionado por Andreu et al. (2010), en donde comentan este cambio de color registrado.



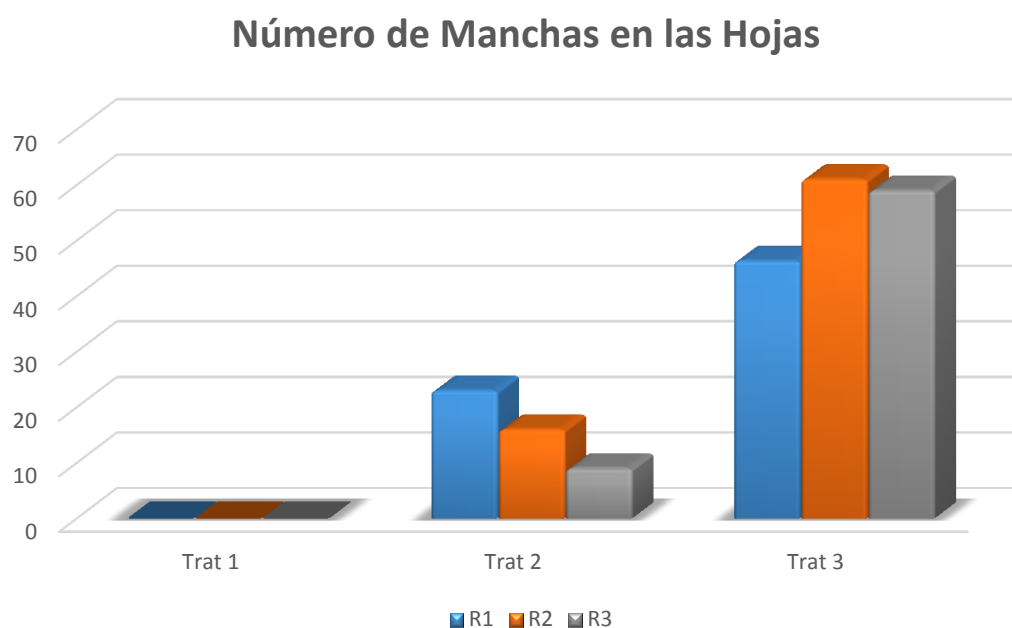
*Figura 63.* Fotografías de cambio de color en las manchas:

a) Manchas al inicio de su aparición de color blanco día 16

b) Manchas después de su aparición cambiando a color pardo día 22

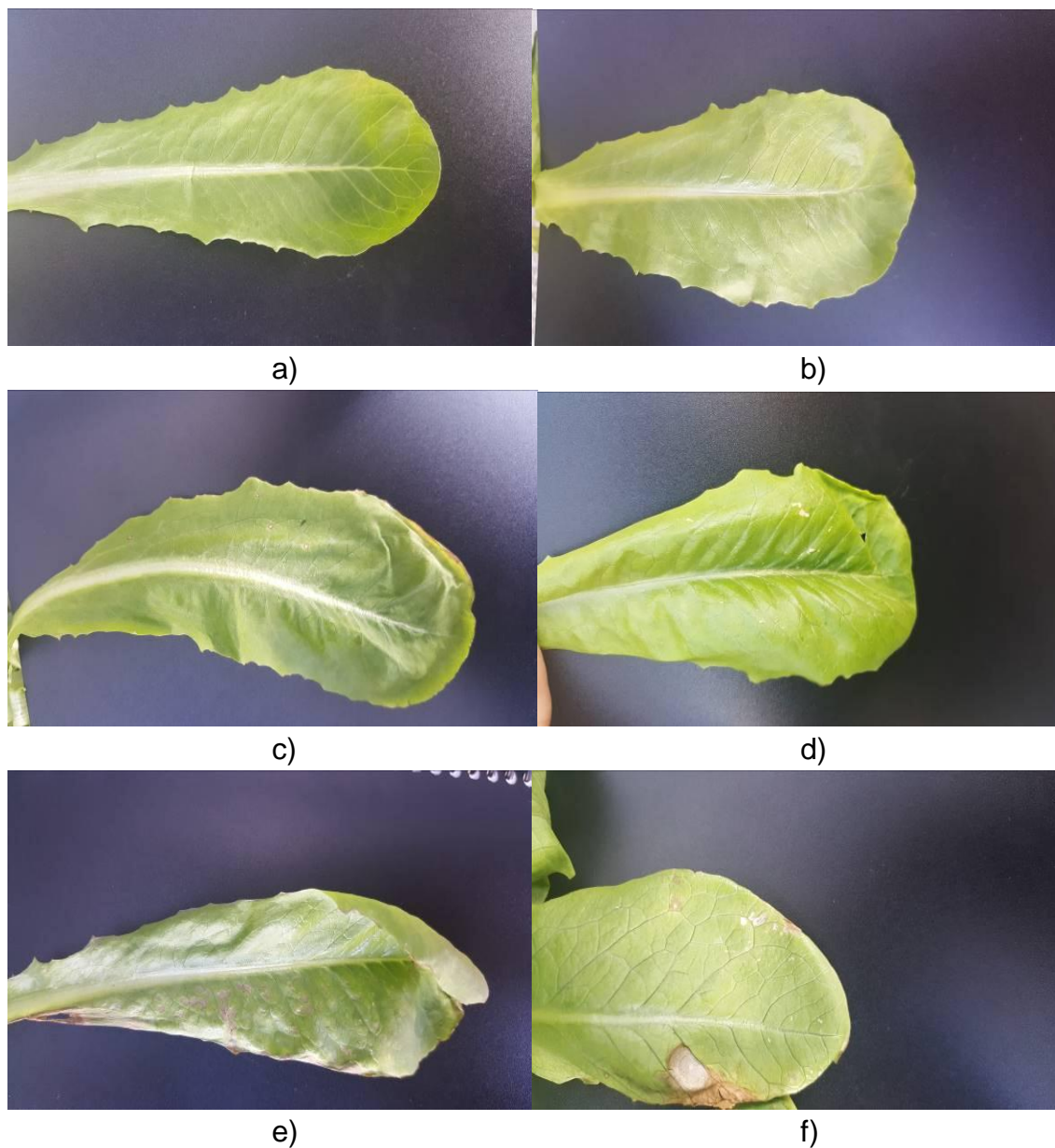
Se identificó en las hojas que las manchas con características similares que menciona United States Department of Agriculture (USDA) (2002), las cuales en los módulos en los que se aplicó una dosis de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  aparecían en menor número que en las plantas a las que se les aplicó una dosis de  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Con el pasar de los días el número de hojas que presentaban manchas se incrementó. En la Figura 64 se muestran los promedios del número de manchas registradas en los módulos respectivos, donde se observa un evidente incremento en la aparición de manchas en las hojas de las plantas de lechuga.





*Figura 64.* Gráfica de resultados de número de manchas

Dentro de los datos obtenidos durante el proceso de exposición y corroboradas el momento de la inspección final de los sujetos de estudio, es la ausencia de manchas en las hojas de las plantas contenidas en los módulos de control (Figura 65). Las hojas de estos módulos presentaron una morfología y color similares a las imágenes presentadas por Radiant Silicon Technology (2008), utilizadas de referencia para esta especie de lechuga.



**Figura 65.** Fotografías de variación de manchas entre tratamientos:

- a) Hoja de planta de módulo con concentración 0
- b) Hoja de planta de módulo con concentración 0
- c) Hoja de planta de módulo con concentración 1
- d) Hoja de planta de módulo con concentración 1
- e) Hoja de planta de módulo con concentración 2
- f) Hoja de planta de módulo con concentración 2

Tabla 12  
 Tabla ANOVA de la variable número de manchas

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo					
NÚMERO DE MANCHAS					
RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	
Tratamiento 1	3	0	0	0	
Tratamiento 2	3	48	16	49	
Tratamiento 3	3	166.333333	55.4444444	63.2592593	
Repetición 1	3	69.3333333	23.1111111	536.703704	
Repetición 2	3	77	25.6666667	1000.33333	
Repetición 3	3	68	22.6666667	1010.33333	

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	4885.95062	2	2442.97531	46.8025071	0.00167948	6.94427191
Repeticiones	15.7283951	2	7.86419753	0.15066225	0.86479977	6.94427191
Error	208.790123	4	52.1975309			
Total	5110.46914	8				

El análisis estadístico realizado de los resultados obtenidos en relación al número de manchas en las hojas de la planta, muestra que los valores correspondientes a la probabilidad calculada con respecto a los tratamientos es menor a 0.05, agregado que la probabilidad calculada frente a las repeticiones es superior a 0.05 (Tabla 12). Se determina una significancia en la variación, lo que demuestra una afección por parte de la concentración de ozono en las características de la hoja de la lechuga. Estos resultados concuerdan con lo mencionado por Goumenaki et al. (2007) y Schaub y Calatayud (2013), los cuales catalogan a la lechuga como una especie sensible al ozono, además de apoyar la relación entre concentración de ozono y daños fisiológicos en las hojas.

Tabla 13  
*Tabla ANOVA general*

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo						
ANÁLISIS GENERAL						
<i>RESUMEN</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Tratamiento 1	3	868.21667	289.405556	7120.924		
Tratamiento 2	3	828.91667	276.305556	702.7784		
Tratamiento 3	3	946.16667	315.388889	189.7315		
Repetición 1	3	817.11667	272.372222	1788.26		
Repetición 2	3	997.41667	332.472222	2567.475		
Repetición 3	3	828.76667	276.255556	1451.123		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Tratamiento	2374.250556	2	1187.12528	0.513937	0.63292355	6.94427191
Repetición	6787.403889	2	3393.70194	1.46922	0.33235042	6.94427191
Error	9239.463889	4	2309.86597			
Total	18401.11833	8				

Para finalizar se realizó un análisis estadístico de todas las variables presentadas previamente. Usando el mismo procedimiento precedente se calculó una sumatoria de todos los resultados recolectados, los cuales fueron ingresados en una matriz para la determinación del ANOVA. Una vez el programa realizó los cálculos respectivos, se puede observar que tanto en tratamientos como en repeticiones el valor de probabilidad supera ampliamente el valor de 0.05 establecidos para determinar la significancia de las concentraciones aplicadas (Tabla 13). Los resultados obtenidos revelan que desde una perspectiva general la exposición al ozono no tiene significancia en el desarrollo de la planta, este postulado también lo mencionan Calatayud, Alvarado y Barreno (2002) y Temple, Jones y Lennox (1990), indican que no hay variación estadística en los resultados obtenidos pese a observar síntomas de daño en las hojas de la planta.

Si bien de manera general los efectos del ozono sobre las plantas de la especie *Lactuca sativa* no son estadísticamente relevantes, se debe considerar que la principal cualidad de las lechugas está en sus hojas al ser estas la estructura primordial para su comercialización. Los efectos observados en este proyecto como las manchas en el haz de las mismas, tienen la capacidad de afectar notoriamente el precio del producto generando pérdidas económicas para el agricultor, además de un desperdicio del alimento el cual generalmente no es tratado adecuadamente. Teniendo en cuenta lo expuesto, de la misma manera que lo menciona Mills y Emberson (2003), los efectos del ozono representan una gran amenaza al valor comercial de los cultivos.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

La concentración de ozono troposférico mostró tener influencia en el desarrollo de las plantas de la especie vegetal *Lactuca sativa* L. también conocida por su nombre común “lechuga romana”. En sus hojas se evidenció mediante observación y cálculos estadísticos una notable manifestación de manchas en el haz de la misma al ser expuestas al contaminante ya indicado dentro de los módulos construidos. Frente a las características como la dimensión de la planta y la raíz, forma y desarrollo de éstas, no se evidenció que el ozono haya generado influencia en los elementos indicados como para alterar las características descritas.

El modelo diseñado y construido en este proyecto demostró tener las capacidades y condiciones adecuadas para ser utilizado en la exposición de plantas a un determinado contaminante. Las estructuras construidas mostraron soportar de manera eficiente el sistema de cultivo instalado permitiendo regular las necesidades del sistema como requerimientos de caudal de agua, inclinación y tipo de flujo, la forma de sellar los módulos permitió la retención del contaminante en estado gaseoso. Además de permitir su ingreso desde el exterior para alcanzar una concentración interna conocida. Por último permite asegurar que todos los sujetos de control se desarrollen bajo las mismas condiciones.

Se identificó que las plantas de *Lactuca sativa* L. son susceptibles o sensibles a las concentraciones de ozono, principalmente en forma de manchas desarrolladas en el haz de las hojas, la relación registrada entre el número de manchas con respecto a la concentración aplicada del contaminante, visiblemente y estadísticamente probó ser una relación directa.

Teniendo en cuenta que las hojas de la lechuga son el objeto del comercio de la misma, una afectación en las características morfológicas de ésta genera

una pérdida del valor comercial de esta planta debido a que los distribuidores consideran que los productos en estas condiciones no poseen una aptitud comercial.

Se conoce de antemano que las predicciones sobre los contaminantes atmosféricos mencionan que éstos tendrán un incremento en sus concentraciones, entre ellos el ozono, el cual por su mecanismo de acción en las plantas puede generar problemas en una sociedad en la que cada vez se reportan más casos de emprendimientos en el sector de la agricultura urbana, teniendo en cuenta que las concentraciones de oxidantes fotoquímicos son más elevadas en zonas urbanas. Estos sectores productivos se pueden ver afectados y resulten en un desequilibrio en la oferta alimentaria de la sociedad.

Por lo mencionado dentro de este documento el ozono como contaminante atmosférico presenta grandes riesgos para los cultivos de lechuga, se puede señalar que el contaminante representa una amenaza para los cultivos en donde la parte aprovechable de la planta son las hojas. Si bien en este proyecto la lechuga en la mayoría de las características no presentó una variación significativa, las manchas detectadas denotan un efecto negativo y perjudicial tanto para la planta como para la economía del agricultor.

Los cultivos de ciclo corto producidos bajo condiciones controladas tendrán una mayor productividad en los meses de invierno en donde la concentración de ozono troposférico desciende por las condiciones climáticas. Debido a que en los meses de verano, la influencia de la radiación solar y su interacción con los  $\text{NO}_x$  para formar ozono, las plantas producidas presentarán una mayor cantidad de imperfecciones en sus hojas lo que genera pérdidas para los agricultores.



## 4.2. Recomendaciones

Para estudios similares en los que se incluya a la hidroponía como medio de cultivo, se sugiere utilizar soluciones madre en estado líquido para realizar la mezcla correspondiente que servirá de medio nutritivo a las plantas, debido a que puede reducir la demanda de tiempo requerida para disolver los componentes sólidos necesarios para completar la formulación.

Para futuras experimentaciones se puede sugerir la necesidad de implementar algún mecanismo para reducir la humedad que se adhiere a las paredes de los módulos, esto con el único objetivo de obtener una visión clara y sin obstrucciones de los sujetos de estudio a fin de poder realizar una observación completamente a detalle de los efectos que pueda tener un contaminante.

El modelo diseñado en este proyecto, para un sistema de exposición controlada, probó ser eficiente en su objetivo, es por lo que se sugiere a los centros de investigación construir estos prototipos con materiales de mejor calidad y duración ya que los sistemas pueden ser utilizados para la exposición de una gran variedad de especies vegetativas a los principales contaminantes atmosféricos.

Se recomienda también realizar investigaciones en las cuales se utilicen más concentraciones del contaminante a fin de realizar una curva en la que sea posible cuantificar los efectos a futuro, teniendo en cuenta que las concentraciones de ozono se han incrementado en los últimos años y se pronostica que éstas tengan una tendencia ascendente en el futuro.

## REFERENCIAS

- Abrutzky, R., Dawidowski, L., Murgida, A., & Natenson, C. (septiembre de 2014). Contaminación del aire en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires: el riesgo de hoy o el cambio climático futuro, una falsa opción. *Ciência & Saúde Coletiva*, 19(9). Recuperado el 9 de marzo de 2017, de [http://www.scielo.org/article\\_plus.php?pid=S1413-81232014000903763&tlng=es&lng=en](http://www.scielo.org/article_plus.php?pid=S1413-81232014000903763&tlng=es&lng=en)
- Agencia Europea de Medio Ambiente. (22 de Junio de 1998). El Medio Ambiente en Europa: Segunda evaluación. Recuperado el 06 de Noviembre de 2016, de <http://www.eea.europa.eu/es/publications/92-828-3351-8/page005.html>
- Alonso, R., Bermejo, V., Calvete, H., Elvira, S., García, H., Gonzalez, I., . . . Valiño, F. (2014). Ecotoxicología de la Contaminación Atmosférica - CIEMAT. Recuperado el 17 de mayo de 2017, de Efectos del ozono en la vegetación: [http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/09efectosdelozonoenlavegetacion\\_tcm7-425096.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/09efectosdelozonoenlavegetacion_tcm7-425096.pdf)
- Alvarado, J. C. (2016). AGRICULTURA URBANA EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALECIANA SEDE CUENCA Y SU APOORTE AL CAMBIO CLIMÁTICO. Recuperado el 24 de MARZO de 2017, de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12828/6/UPS-CT006698.pdf>
- Álvarez, Constanzo, Diaz, Gerez, Hollman, Hurtado, Strack. (junio de 2015). CROMATOGRAFIA DE INTERCAMBIO IONICO. Recuperado el 22 de abril de 2017, de <http://ufq.unq.edu.ar/Docencia-Virtual/BQblog/Cromatografia%20de%20intercambio%20ionico.pdf>
- Alvear, Ó., Calafate, C., Cano, J., Manzoni, P., Hernández, E., & Herrera, J. (2015). Metodología para la Monitorización de Ozono en Valencia mediante Sensores de gama baja. Recuperado el 19 de marzo de 2017, de <http://www.disca.upv.es/enheror/pdf/2015-Sarteco-JCE.pdf>

- Andreu, C., Rojas, M., Morales, Y., Pérez, G., & Capull, R. (marzo de 2010). Efectos del ozono troposférico en tabaco plantado en el territorio central de Cuba. *Revista electrónica de Veterinaria*, 11(03B). Recuperado el 11 de marzo de 2017, de [http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n030310B/0310B\\_DN01.pdf](http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n030310B/0310B_DN01.pdf)
- Aparicio, J. O. (2013). PRODUCCIÓN DE CHILE DE AGUA EN HIDROPONÍA BAJO INVERNADERO: UNA OPCIÓN PRODUCTIVA PARA LOS ESPACIOS PERIURBANOS. Recuperado el 23 de marzo de 2017, de [http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/2202/Aparicio\\_Moral\\_JO\\_MC\\_EDAR\\_2013.pdf?sequence=1](http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/2202/Aparicio_Moral_JO_MC_EDAR_2013.pdf?sequence=1)
- Arredondo, D. (2013). *Agricultura en la Ciudad. De la Utopía a la Conciencia de Lugar*. Granada, España: Editorial de la Universidad de Granada.
- Astudillo, M. F. (2016). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD PARA EL CULTIVO DE LECHUGA HIDROPONICO. Recuperado el 23 de marzo de 2017, de <http://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/804/IET-GUE-SEM-16.pdf?sequence=1>
- Ayora, M. J. (2006). TÉCNICAS CROMATOGRÁFICAS. Recuperado el 22 de abril de 2017, de [http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia\\_archivos/Quimica%20analitica%20ambiental/Tema6.pdf](http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia_archivos/Quimica%20analitica%20ambiental/Tema6.pdf)
- Ayrful. (2013). Caudal, Presión y Calidad de Aire. Recuperado el 26 de mayo de 2017, de <http://www.ayrful.com.ar/industrias.htm>
- Ballester, F. (Marzo de 2005). CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA, CAMBIO CLIMÁTICO Y SALUD. *Revista Española de Salud Pública*, 79, 159-175. Recuperado el 12 de marzo de 2017, de <http://scielo.isciii.es/pdf/resp/v79n2/colaboracion3.pdf>
- Beltrano, J., & Gimenez, D. (2015). *Cultivo en hidroponía (Vol. Primera Edición)*. La Plata, Buenos Aires, Argentina: Universidad de la Plata.
- Bermejo, V., Alonso del Amo, R., Cozar, S. E., García, M., & Rabago, I. (2009). *El ozono troposférico y sus efectos en la vegetación*. Madrid, España: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Recuperado el

13 de octubre de 2016, de [http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/Ozono\\_tcm7-152613.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/Ozono_tcm7-152613.pdf)

Blanco, E., & Porta, A. A. (2013). LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y LA SALUD DE LA POBLACIÓN EN LA MICRO REGIÓN LA PLATA BERISSO Y ENSENADA – DEFINICIÓN DE VARIABLES E INDICADORES DE GESTIÓN EN EL MARCO DE POLÍTICAS PÚBLICAS. Recuperado el 18 de marzo de 2017, de [http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini\\_2013/trabajos/COA20\\_TC.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2013/trabajos/COA20_TC.pdf)

Brenes, L., & Jiménez, M. (2014). Manual de producción hidropónica para hortalizas de hoja en sistema NFT. Recuperado el 2017 de enero de 15, de <http://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6581/manual-hidroponia-NFT.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Brenes, L., & Jiménez, M. F. (2014). Experiencia de producción de lechuga americana (*Lactuca sativa*) hidropónica, tipo NFT. *Tecnología en Marcha*, 27(2). Recuperado el 23 de marzo de 2017, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835886>

Bucio, C. M., Díaz, F. R., Martínez, O. A., & Torres, J. J. (2016). EFECTO DEL OZONO SOBRE LA POBLACIÓN MICROBIANA DEL SUELO Y EL CRECIMIENTO DE PLANTAS DE FRESA. *erra Latinoamericana*, 34(2). Recuperado el 24 de mayo de 2017, de <http://www.redalyc.org/html/573/57345272007/>

Cabrera, R. P., Vera, M. B., Echeverría, R. A., & Amtmann, C. A. (diciembre de 2013). Agricultura urbana en la ciudad de Valdivia, Chile. Un proceso de asentamiento. *Idesia*, 31(4). Recuperado el 22 de marzo de 2017, de [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292013000400007&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292013000400007&script=sci_arttext)

Caizaluisa, D. (enero de 2016). LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR EMISIÓN DE GASES TÓXICOS VULNERA EL DERECHO DEL BUEN VIVIR, EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO BARRIO LOS DOS PUENTES, DURANTE EL AÑO 2014. Recuperado el 19 de

marzo de 2017, de  
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/5967/1/T-UCE-0013-Ab-088.pdf>

Calatayud, A., Alvarado, J. W., & Barreno, E. (2002). *Similar effects of ozone on four cultivars of lettuce in open top chambers during winter. PHOTOSYNTHETICA*, 40(2), 195-200.

Calderón, L., Medina, J. H., & Mora, A. (2012). Impacto de la contaminación ambiental en el niño clínicamente sano. *Acta Pediátrica*, 142-147. Recuperado el 18 de marzo de 2017, de <http://www.medigraphic.com/pdfs/actpedmex/apm-2012/apm123h.pdf>

Callisaya, I. (julio de 2015). Sensibilidad de las especies vegetales a los principales contaminantes atmosféricos. *Revista de la Carrera de Ingeniería Agronómica - UMSA*, 1(1), 94-104.

Cano, V. (enero de 2005). VALIDACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS DE CAPTACIÓN PASIVA PARA EL ESTUDIO DE LOS NIVELES Y EFECTOS DE OZONO TROPOSFÉRICO Y DIÓXIDO DE NITRÓGENO. Recuperado el 11 de marzo de 2017, de EFECTOS DEL OZONO Y DEL CO<sub>2</sub>: <http://www.tdx.cat/handle/10803/10539>

Cano, V., & Delgado, J. M. (febrero de 2009). MEDIDA DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS: MÉTODOS PASIVOS FRENTE A MÉTODOS AUTOMÁTICOS. Recuperado el 20 de abril de 2017, de <http://www.upv.es/upl/U0455035.pdf>

Cano, Y., Morales, J., Sanchez, L., Colina, M., & Torres, J. (febrero de 2016). *Evaluation of ozone levels in the city of Maracaibo, Zulia State, Venezuela. Revista internacional de contaminación ambiental*, 32(1). Recuperado el 10 de marzo de 2017, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992016000100025](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992016000100025)

Canziani, P. (2008). *CONICET MENDOZA*. Recuperado el 10 de marzo de 2017, de Ozono: <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Ozono.htm>

- Castillo, G. (2013). Estimación Bayesiana de tendencia en los niveles muy altos de un contaminante de aire (Ozono). Recuperado el 19 de marzo de 2017, de [http://www.biblio.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/10521/1974/2/Castillo\\_Flores\\_Gabriel\\_MC\\_Estadistica\\_2013.pdf](http://www.biblio.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/10521/1974/2/Castillo_Flores_Gabriel_MC_Estadistica_2013.pdf)
- Castillo, L. (30 de abril de 2015). Los cultivos hidropónicos toman impulso en Cuenca. *El Comercio*.
- Castro, D., Garzón, M., Niño, S., & Rico, P. (2015). BIOESTIMULANTE PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHUGA LACTUCA SATIVA L. *Inventum*(19), 15-22. Recuperado el 27 de marzo de 2017, de <http://biblioteca.uniminuto.edu/ojs/index.php/Inventum/article/view/1316/1241>
- Cazorla, M. (2013). Análisis de los datos horarios de radiación solar y abundancia de ozono del Distrito Metropolitano de Quito del 2007 al 2012. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 5(2), C67-C78. Recuperado el 23 de marzo de 2017, de [https://www.researchgate.net/profile/M\\_Cazorla/publication/281389833\\_Analisis\\_de\\_los\\_datos\\_horarios\\_de\\_radiacion\\_solar\\_y\\_abundancia\\_de\\_ozono\\_del\\_Distrito\\_Metropolitano\\_de\\_Quito\\_del\\_2007\\_al\\_2012/links/55e5153a08ae6abe6e903c5c/Analisis-de-los-datos-horarios](https://www.researchgate.net/profile/M_Cazorla/publication/281389833_Analisis_de_los_datos_horarios_de_radiacion_solar_y_abundancia_de_ozono_del_Distrito_Metropolitano_de_Quito_del_2007_al_2012/links/55e5153a08ae6abe6e903c5c/Analisis-de-los-datos-horarios)
- Cerdas Araya, M. d., & Montero Calderón, M. E. (2004). GUIAS TÉCNICAS DEL MANEJO POSCOSECHA DE APIO Y LECHUGA PARA EL MERCADO FRESCO. Recuperado el 27 de Octubre de 2016, de LECHUGA: [http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/manual\\_apio\\_lechuga\\_II.pdf](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/manual_apio_lechuga_II.pdf)
- Chucho, L. F. (marzo de 2013). Centro de difusión de agricultura urbana. Recuperado el 22 de marzo de 2017, de <http://repositorioacademico.upc.edu.pe/upc/handle/10757/273327>
- Cisneros, J. M. (2014). El Ozono Atmosférico. *Tiempo y Clima*, 4(15). Recuperado el 19 de marzo de 2017, de <http://pkp.ame-web.org/index.php/TyC/article/view/710/724>

- Clavijo, C. E. (septiembre de 2013). LA AGRICULTURA URBANA EN QUITO: ANÁLISIS DE LA SUSTENTABILIDAD DE LAS HUERTAS DE TRES PROYECTOS. Recuperado el 22 de marzo de 2017, de <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/6801/2/TFLACSO-2013CECP.pdf>
- Comisión para la Cooperación Ambiental. (2010). El mosaico de América del Norte: panorama de los problemas ambientales más relevantes. Recuperado el 10 de marzo de 2017, de Ozono troposférico: <http://www3.cec.org/islandora/es/item/986-north-american-mosaic-overview-key-environmental-issues-es.pdf>
- Comunidad de Madrid. (12 de julio de 2013). Evaluación de las emisiones difusas mediante la utilización de captadores pasivos. Recuperado el 21 de abril de 2017, de [http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-Disposition&blobheadervalue1=filename%3DATM-E-ED-07\\_IT\\_Evaluaci%C3%B3n\\_emisiones\\_difusas\\_mediante\\_captadores\\_pasivos\\_12-07-13.pdf&blobkey=id&blobtable=](http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-Disposition&blobheadervalue1=filename%3DATM-E-ED-07_IT_Evaluaci%C3%B3n_emisiones_difusas_mediante_captadores_pasivos_12-07-13.pdf&blobkey=id&blobtable=)
- Comunidad de Madrid. (2015). Evaluación de la red SESMAF y contaminación en Pinares. Recuperado el 21 de abril de 2017, de <http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-Disposition&blobheadervalue1=filename%3DNiveles+contaminantes+2015.pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1352919444946&ssbinary=true>
- CONQUITO. (4 de mayo de 2016). 14 años de la agricultura urbana participativa en Quito. Recuperado el 11 de marzo de 2017, de <http://www.conquito.org.ec/14-anos-de-la-agricultura-urbana-participativa-en-quito/>
- Consepción, L. E. (2016). Evolución temporal de concentración de ozono en la Troposfera. Recuperado el 12 de marzo de 2017, de [http://200.62.146.130/bitstream/cybertesis/5042/1/Concepcion\\_gl.pdf](http://200.62.146.130/bitstream/cybertesis/5042/1/Concepcion_gl.pdf)



- Cortina, M. G. (2012). APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL A LA PREDICCIÓN DE CONTAMIANES ATMOSFÉRICOS. Recuperado el 18 de marzo de 2017, de [http://oa.upm.es/11206/1/MARIA\\_GUADALUPE\\_CORTINA\\_JANUCHS.pdf](http://oa.upm.es/11206/1/MARIA_GUADALUPE_CORTINA_JANUCHS.pdf)
- Costa, I. (2015). Estudio de la concentración de compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno y ozono en el núcleo urbano de la ciudad de Cartagena y evaluación de la exposición de la población. Recuperado el 19 de marzo de 2017, de <https://digitum.um.es/xmlui/handle/10201/48341>
- Cruz, I., Cabello, J. J., Sorinas, L., Varela, A., & Costa, I. (2015). Propuesta de procedimiento para el Control de Emisiones Atmosféricas en ambientes urbanos. *Ingeniería Industrial*, 36(1), 2-16. Recuperado el 18 de marzo de 2017, de <http://scielo.sld.cu/pdf/rii/v36n1/rii02115.pdf>
- Delgado, J. A. (2016). EVALUACIÓN DE TRES VARIEDADES DE ACELGA (*Beta vulgaris* L.) CULTIVADAS EN EL SISTEMA HIDROPÓNICO. Recuperado el 23 de marzo de 2017, de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/9604>
- Departamento Administrativo del Medio Ambiente BOGOTÁ. (2014). OZONO TROPOSFÉRICO. Recuperado el 10 de marzo de 2017, de METEOROLOGIA AERONAUTICA: <http://www.meteoaeronautica.gov.co/ozono-troposferico>
- Dirección General del Medio Ambiente Madrid. (2015). MEDICIÓN DE NIVELES DE CONTAMINACIÓN MEDIANTE DOSÍMETROS PASIV EN PINARES. (C. d. Madrid, Ed.) Recuperado el 15 de abril de 2017, de <http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-Disposition&blobheadervalue1=filename%3DNiveles+contaminantes+2015.pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1352919444946&ssbinary=true>

- Emberson, L. D., Buker, P., Ashmore, M. R., Mills, G., Jackson, L. S., Agrawal, M., . . . Wahid, A. (2009). *A comparison of North American and Asian exposure–response data for ozone effects on crop yields. Atmospheric Environment, 49*, 1945-1953.
- Environmental Protection Agency. (2015). El Ozono y Su Salud. Recuperado el 10 de marzo de 2017, de: <https://airnow.gov/index.cfm?action=elozono.page1>
- Espín, M. E. (octubre de 2015). Evaluación de efectos de la contaminación ambiental en la productividad de los cultivos agrícolas en los barrios La Morita, La Tola, El Arenal, La Esperanza y Collaquí ubicados en la parroquia de tumbaco, Distrito Metropolitano de Quito. Recuperado el 21 de marzo de 2017, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11852>
- European Environment Agency. (1998). El Medio ambiente en Europa:segunda evaluación. Europa: EEA.
- Fahey, D. W. (2002). *Twenty Questions and Answers About the Ozone Layer*. Recuperado el 28 de junio de 2017, de [https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/documents/11\\_quest\\_ans.pdf](https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/documents/11_quest_ans.pdf)
- FAO. (2015). Agricultura urbana. Recuperado el 11 de marzo de 2017, de <http://www.fao.org/urban-agriculture/es/>
- FAO. (2015). Agricultura urbana y periurbana en América Latina y el Caribe. Recuperado el 11 de marzo de 2017, de QUITO: <http://www.fao.org/ag/agp/greenercities/es/CMVALC/quito.html>
- Feng, Z., Paoletti, E., Bytnerowicz, A., & Harmens, H. (2015). *Ozone and plants. Environmental Pollution*. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2015.02.004>
- Fernández, J. L., & Morán, N. (mayo de 2012). Nos plantamos! Urbanismo participativo y agricultura urbana en los huertos comunitarios de Madrid. *Hábitat y Sociedad, 4*, 55-71. Recuperado el 23 de marzo de 2017, de [http://oa.upm.es/16691/1/INVE\\_MEM\\_2012\\_135977.pdf](http://oa.upm.es/16691/1/INVE_MEM_2012_135977.pdf)

- Fernández, S. E., & Guailas, B. (2012). PROYECTO DE FACTIBILIDAD PARA LA CREACIÓN DE UNA EMPRESA DE PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO UBICADO EN LA PARROQUIA EL VALLE PERTENECIENTE AL CANTÓN CUENCA. Recuperado el 23 de MARZO de 2017, de <http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2983/1/UPS-CT002495.pdf>
- Ferrato, J., & Mondino, M. C. (abril de 2008). Producción, consumo y comercialización de hortalizas el mundo. (F. d. UNR, Ed.) Recuperado el 06 de noviembre de 2016, de Revista Agromensajes: <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/24/4AM24.htm>
- Flores, C. (2015). Estudio del cultivo de lechuga romana sembrada mediante el sistema de NFT en la zona de Babahoyo. Recuperado el 12 de marzo de 2017, de <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/49000/1074/1/T-UTB-FACIAG-AGROP-000047.pdf>
- Flores, O. (2008). Agricultura Urbana: Nuevas Estrategias de Integración Social y Recuperación Ambiental en la Ciudad. Recuperado el 11 de marzo de 2017, de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/117766>
- Franco, E. (2016). Recuperado el 27 de marzo de 2017, de El desperdicio de alimentos: una perspectiva desde los estudiantes de Administración de Empresas de la UPS Guayaquil: 10.17163/ret.n11.2016.04
- Franco, J. (2012). Contaminación atmosférica en centros urbanos. Desafío para lograr su sostenibilidad: caso de estudio Bogotá. *Revista EAN*(72). Recuperado el 12 de marzo de 2017, de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-81602012000100013&script=sci\\_arttext&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-81602012000100013&script=sci_arttext&tlng=es)
- García, M. (2011). Determinación de Nitratos en Plantas de Lechuga Fertilizadas con abonos orgánicos. Recuperado el 25 de marzo de 2017, de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6420/T18901%20GARCIA%20MORALES%2c%20MANUEL%20DE%20JESUS%20%2061963.pdf?sequence=1>

- García, M., Ramirez, H., Ulloa, H., Arias, S., & Perez, A. (2012). LAS INVERSIONES TÉRMICAS Y LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA (MÉXICO). *Investigaciones geográficas*, 58, 9-29.
- Gilsanz, J. (septiembre de 2007). Hidroponía. Recuperado el 17 de enero de 2017, de <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/520/1/11788121007155745.pdf>
- Global Ozone Project Curriculum. (2013). *Ozone Formation in the Troposphere*. Recuperado el 28 de junio de 2017, de <http://www.go3project.com/network2/curriculum/Lesson2.pdf>
- Gómez, A., Calderón, C., Saiz, J. A., & Manzanera, J. A. (2012). Efectos sobre la fotosíntesis por exposición a ozono en especies leñosas. *Reduca (Biología). Serie Botánica. (Fisiología vegetal)*, 5(2), 25-33. Recuperado el 21 de marzo de 2017, de <http://www.revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/941/1027>
- Gonzalez Kirchner, B. (2009). Ozono troposférico. Madrid, España. Recuperado el 06 de noviembre de 2016, de <http://habitat.aq.upm.es/temas/a-ozono-troposferico.html#13>
- González, I., Elvira, S., Calatayud, V., Calvo, E., Aparicio, P., Sánchez, M., . . . Bermejo, V. (2016). *Ozone effects on the physiology and marketable biomass of leafy vegetables under Mediterranean conditions: Spinach (Spinacia oleracea L.) and Swiss chard (Beta vulgaris L. var. cycla). Agriculture, Ecosystems and Environment*, 235, 215-228.
- Goumenaki, E., González, I., Papanikolaou, A., & Barnes, J. (Mayo de 2007).. *Derivation of ozone flux-yield relationships for lettuce: A key horticultural crop*, 146(3), 699-706. Recuperado el 26 de marzo de 2017, de [https://www.researchgate.net/publication/6741030\\_Derivation\\_of\\_ozone\\_flux-yield\\_relationships\\_for\\_lettuce\\_A\\_key\\_horticultural\\_crop](https://www.researchgate.net/publication/6741030_Derivation_of_ozone_flux-yield_relationships_for_lettuce_A_key_horticultural_crop)
- Gutierrez, J. (diciembre de 2011). PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA DE LA LECHUGA CON Y SIN RECIRCULACIÓN NUTRITIVA. Recuperado el

- 08 de marzo de 2017, de <https://chapingo.mx/horticultura/pdf/tesis/TESISMCH2011120908126441.pdf>
- Guzmán, G. (2004). Hidroponía: Una actividad familiar. Recuperado el 15 de enero de 2017, de [http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/Hidroponia.pdf](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/Hidroponia.pdf)
- Health-Canada and Environment-Canada. (1999). *National ambient air quality objectives for ground-level ozone*. Health-Canada and Environment-Canada.
- Hernández, C., Álvarez, P., & Zapa, J. (septiembre de 2016). Técnicas analíticas para el control de la contaminación ambiental. *Ciencia UNEMI*, 9(20), 118-131. Recuperado el 21 de abril de 2017, de <http://ojs.unemi.edu.ec/ojs/index.php/cienciaunemi/article/view/243/310>
- HIDROPONICOS DE BOQUETE, S. A. (2005). HISTORIA DE LA HIDROPONIA. Recuperado el 12 de marzo de 2017, de COLEGIO INGENIEROS AGRÓNOMOS DE PANAMÁ: <https://www.cinap.org/docs/files/50-hidroponicos-presentacion.pdf>
- Holguín, C. (noviembre de 2015). Agricultura Urbana en Quito: Estudio comparativo de los beneficios y perspectivas de la Agricultura Urbana en cuatro barrios de la ciudad de Quito. Recuperado el 22 de marzo de 2017, de <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/5011/1/122618.pdf>
- Hualpa, D., Castillo, M., & Martínez, R. (2014). *AlimentarYa*. Recuperado el 27 de marzo de 2017, de DESPERDICIO DE ALIMENTOS: <http://www.alimentosecuador.com/2016/06/29/desperdicio-de-alimentos/>
- Ibarra, B., Parra, R., Valencia, V., & Paez, C. (Junio de 2006). Inventario de emisiones atmosféricas de Quito año 2003 y su distribución espacial y temporal. *ACTA NOVA*, 3(2). Recuperado el 10 de marzo de 2017, de <http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/31209869/v3.n2.ibarra.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1489165096&Signature=yCcqBLkqanxBo1vUJeJ791%2F7JUI%3D&respon>

se-content-

disposition=inline%3B%20filename%3DInventario\_de\_emisiones\_atmosfer

- Inca, S. (2013). AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA NFT PARA CULTIVOS HIDROPÓNICOS. Recuperado el 12 de marzo de 2017, de [http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/405/1/Inca\\_sa.pdf](http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/405/1/Inca_sa.pdf)
- Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP). (206). Hidroponía: Sistema de cultivo NFT. Recuperado el 15 de enero de 2017, de [http://www.incap.int/portaleducativo/index.php/es/recursos/reservorio-san/doc\\_view/425-ficha-tecnologica-6-sistema-nft](http://www.incap.int/portaleducativo/index.php/es/recursos/reservorio-san/doc_view/425-ficha-tecnologica-6-sistema-nft)
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2013). Notas Técnicas de Prevención. Recuperado el 16 de abril de 2017, de Calidad de aire interior: Filtros de carbón activo para su mejora: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/NTP/NTP/Ficheros/961a972/989%20w.pdf>
- Jaramillo, F. (Agosto de 2013). ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN EL ECUADOR – ESTUDIO DE CASO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO: POLÍTICAS APLICADAS Y PROPUESTAS. Recuperado el 18 de marzo de 2017, de <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/6841/2/TFLACSO-2013FPJP.pdf>
- Jaramillo, S. R. (2012). EFECTOS DE SUPLEMENTACIÓN CON CULTIVO HIDROPÓNICO EN LA CRIANZA DE TERNERAS DESDE TRES HASTA OCHO MESES DE EDAD EN LA HACIENDA PIGANTA AGRÍCOLA S.A. PARROQUIA ATAHUALPA. Recuperado el 23 de marzo de 2017, de <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/724/1/UDLA-EC-TIAG-2012-18.pdf>
- Jarma, A., Cardona, C., & Araméndiz, H. (2012). EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA FISIOLOGÍA DE LAS PLANTAS CULTIVADAS: UNA REVISIÓN. *Fisiología plantas y cambio climático*,

15(1), 63-76. Recuperado el 21 de marzo de 2017, de [https://www.researchgate.net/profile/Alfredo\\_Jarman-Orozco/publication/260773955\\_EFFECT\\_OF\\_CLIMATE\\_CHANGE\\_ON\\_THE\\_PHYSIOLOGY\\_OF\\_CROP\\_PLANTS\\_A\\_REVIEW/links/53d6a6630cf220632f3dc4ed.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Alfredo_Jarman-Orozco/publication/260773955_EFFECT_OF_CLIMATE_CHANGE_ON_THE_PHYSIOLOGY_OF_CROP_PLANTS_A_REVIEW/links/53d6a6630cf220632f3dc4ed.pdf)

Jimenez, E. (2007). Estudio Diseño y Gestión de Sistemas de Medición de la Contaminación Atmosférica en Tarragona. Recuperado el 20 de abril de 2017, de <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/1130pub.pdf>

Jiménez, J. A. (2013). PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE TRIGO Y CEBADA, EN DIFERENTES ÉPOCAS DE COSECHA EN LA QUINTA EXPERIMENTAL PUNZARA. Recuperado el 23 de marzo de 2017, de <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5369/1/PRODUCCION%20DE%20FORRAJE%20VERDE%20HIDROPONICO.pdf>

Juarez, C. S. (2015). Análisis de varianza de un factor ANOVA. Recuperado el 19 de mayo de 2017, de <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/34186>

Koutrakis, P., Wolfson, J. M., Bunyaviroch, A., Froelich, S. E., Hirano, K., & Mulik, J. D. (1993). *Measurement of ambient ozone using a nitrite-saturated filter. Analytical Chemistry*, 65, 210-214.

Londoño, J., Correa, M., & Palacio, C. (2011). ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS PROVENIENTES DE FUENTES MÓVILES EN EL ÁREA URBANA DE ENVIGADO, COLOMBIA. *Escuela de Ingeniería de Antioquia*(16), 149-162.

López, J. (2013). EFECTOS EN LA SALUD POR OZONO TROPOSFÉRICO EN LA CIUDAD DE POZA RICA, VER. Recuperado el 19 de marzo de 2017, de <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/40147/1/lopezspanajavier.pdf>



- Machado, I., Valdés, R., & Cárdenas, M. (2015). Efecto del ozono (O<sub>3</sub>) sobre el vigor de las semillas de sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) variedad UDG-11. *Centro Agrícola*, 41(1), 11-16. Recuperado el 24 de mayo de 2017, de [http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V42-Numero\\_1/cag02115.pdf](http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V42-Numero_1/cag02115.pdf)
- Madariaga, M. (abril de 2012). DISEÑO DE UN SISTEMA DE CULTIVO DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO DE MAIZ PARA LA ALIMENTACION DE LOS ANIMALES DEL PROYECTO CAPRINO DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA. Recuperado el 23 de marzo de 2017, de <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/314/1/25217.pdf>
- Maldonado, D. (2012). PREVALENCIA DE ASMA Y SU RELACIÓN CON LA CONTAMINACIÓN DEL MEDIO EXTERNO EN NIÑOS DE 2 A 5 AÑOS EN LOS CENTROS DE DESARROLLO INFANTIL COMUNITARIOS, CUENCA. Recuperado el 19 de marzo de 2017, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4057/1/MEDP35.pdf>
- Manqueros, V. E. (Marzo de 2015). Mediciones Nutritivas En Un Sistema Hidropónico NFT Mediante El Uso De Sensores De Iones Selectivos Y LabVIEW. *1er Congreso Internacional de Ciencias de la Ingeniería*. Recuperado el 23 de marzo de 2017, de [https://www.researchgate.net/profile/Victor\\_Manqueros\\_Aviles/publication/274073422\\_Mediciones\\_Nutritivas\\_En\\_Un\\_Sistema\\_Hidroponico\\_NFT\\_Mediante\\_El\\_Uso\\_De\\_Sensores\\_De\\_Iones\\_Selectivos\\_Y\\_LabVIEW/links/5548bda60cf271a91dc10513/Mediciones-Nutritivas-En-Un-Sis](https://www.researchgate.net/profile/Victor_Manqueros_Aviles/publication/274073422_Mediciones_Nutritivas_En_Un_Sistema_Hidroponico_NFT_Mediante_El_Uso_De_Sensores_De_Iones_Selectivos_Y_LabVIEW/links/5548bda60cf271a91dc10513/Mediciones-Nutritivas-En-Un-Sis)
- Manzur, M. E., Benzal, G., & González, S. (2012). MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS. Recuperado el 18 de marzo de 2017, de [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26838/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26838/Documento_completo.pdf?sequence=1)

- Martinez, A. P., & Romieu, I. (1997). INTRODUCCIÓN AL MONITOREO ATMOSFÉRICO. Mexico.
- Matus, P. (2017). Contaminación atmosférica: la composición química incide en su riesgo. *Revista Médica Chile*, 145, 7-8. Recuperado el 27 de marzo de 2017, de <http://revistamedicadechile.cl/ojs/index.php/rmedica/article/view/5758/2739>
- Mendieta, A. (septiembre de 2014). EFECTOS DEL OZONO Y SU INTERACCIÓN CON EL NITRÓGENO EN SEIS VARIEDADES DE HORTALIZAS. Recuperado el 21 de marzo de 2017, de <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1756/1/T-SENECYT-00950.pdf>
- Metrohm. (2016). Cromatógrafo iónica / ultravioleta / UV/VIS / de laboratorio. Recuperado el 23 de abril de 2017, de 940 Professional IC Vario: <http://www.directindustry.es/prod/metrohm/product-15372-1324659.html>
- Mills, G., & Emberson, L. (2003). *Report from Working Group on Agricultural Crops. Establishing Ozone Critical Levels II*. Recuperado el 10 de mayo de 2017, de <http://www.ivl.se/download/18.343dc99d14e8bb0f58b743d/1445515534230/B1523A.pdf>
- Mills, G., Holland, M., Buse, A., Cinderby, S., Hayes, F., Emberson, L., . . . Terry, A. (2003). *Introducing response modifying factors into a risk assessment for ozone effects on crops in Europe*. Recuperado el 11 de marzo de 2017, de *Establishing Ozone Critical Levels II*: <http://www.ivl.se/download/18.343dc99d14e8bb0f58b743d/1445515534230/B1523A.pdf>
- Mills, G., Sanz, M. J., & Fischer, R. (2002). *Exposure of wheat to ozone using open top chambers*. Recuperado el 10 de mayo de 2017, de: <http://icpvegetation.ceh.ac.uk/publications/documents/ICPsVegetationandForestsozoneinjurybrochure2002.pdf>
- Molina, M. (2017). Cambio climático. Aprendiendo de los retos del ozono estratosférico. *PLURALIDAD Y CONSENSO*, 7(29), 159-165.

Recuperado el 19 de marzo de 2017, de <http://revista.ibd.senado.gob.mx/index.php/PluralidadyConsenso/article/view/370/356>

National Aeronautics and Space Administration. (04 de abril de 2006). *The Good, the Bad and the Ozone*. Recuperado el 18 de marzo de 2017 <https://www.nasa.gov/missions/earth/f-ozone.html>

OASIS Grower Solutions. (2008). Manual de hidroponia. Recuperado el 15 de enero de 2017, de <http://www.oasisfloral.mx/pdf/manual-hidroponia.pdf>

Olszyk, D., Bytnerowicz, A., Kats, G., Dawson, P., Wolf, J., & Thompson, R. (1986). *Effects of Sulfur Dioxide and Ambient Ozone on Winter Wheat and Lettuce*. Recuperado el 11 de marzo de 2017, de <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/abstracts/15/4/JEQ0150040363?access=0&view=pdf>

OMS. (Septiembre de 2016). *OZONE (O3)*. Recuperado el 6 de Noviembre de 2016, de Calidad del aire ambiente (exterior) y salud: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>

Ospina, A., & Garrido, M. A. (2013). Técnicas de medición de ozono: Métodos tradicionales frente al método de cámara de absorción con led ultravioleta como fuente de luz. *Gestión y ambiente*, 16(2). Recuperado el 21 de abril de 2017, de <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/39570/42036>

Oyarzún, M. G. (marzo de 2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 26. Recuperado el 11 de marzo de 2017 [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-73482010000100004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-73482010000100004&script=sci_arttext)

Oyarzún, M., Sánchez, S., Dussaubat, N., Miller, M., & Gonzalez, S. (2017). Efecto del sulfato de cobre en el daño pulmonar inducido por la exposición crónica intermitente a ozono. *Revista Médica de Chile*, 145, 9-16. Recuperado el 19 de marzo de 2017, de <http://revistamedicadechile.cl/ojs/index.php/rmedica/article/view/5346/2740>

- Pacific Credit Rating. (2015). ECUADOR: AGRÍCOLA. Recuperado el 6 de noviembre de 2016, de INFORME SECTORIAL: [http://www.ratingspcr.com/uploads/2/5/8/5/25856651/sectorial\\_agr%C3%ADcola.pdf](http://www.ratingspcr.com/uploads/2/5/8/5/25856651/sectorial_agr%C3%ADcola.pdf)
- Paez, C. (2009). *Flacso Andes*. Recuperado el 10 de marzo de 2017, de: <http://www.flacsoandes.edu.ec/web/imagesFTP/10088.ContaminacionQuito.pdf>
- Palacios Espinoza, E., & Espinoza Molina, C. (2014). CONTAMINACIÓN DEL AIRE EXTERIOR CUENCA - ECUADOR 2009- 2013 POSIBLES EFECTOS EN LA SALUD. *Revista de la facultad de Ciencias Médicas Universidad de Cuenca*, 32(2). Recuperado el 9 de marzo de 2017, de <http://192.188.48.56/ojs/index.php/medicina/article/view/883/781>
- Palomares, A. (2010). Niveles de ozono y riesgos para la vegetación en la Comunidad Valenciana. Recuperado el 11 de marzo de 2017, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/9098/Memoria.pdf;jsessionid=2E3A4DA611473EE798B93061254C97EC?sequence=1>
- Parra, R. (2012). Simulación numérica del transporte fotoquímico de los contaminantes gaseosos del aire en la ciudad de Cuenca - Ecuador. Recuperado el 18 de marzo de 2017, de [https://www.researchgate.net/profile/Rene\\_Parra/publication/268522314\\_Simulacion\\_numerica\\_del\\_transporte\\_fotoquimico\\_de\\_los\\_contaminantes\\_gaseosos\\_del\\_aire\\_en\\_la\\_ciudad\\_de\\_Cuenca\\_-\\_Ecuador/links/546f81ad0cf216f8cfa9e001.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rene_Parra/publication/268522314_Simulacion_numerica_del_transporte_fotoquimico_de_los_contaminantes_gaseosos_del_aire_en_la_ciudad_de_Cuenca_-_Ecuador/links/546f81ad0cf216f8cfa9e001.pdf)
- Peña, J. M., & Ramírez, J. A. (2016). MÉTODOS ESPECTRALES MODERNOS PARA EL POST PROCESO DE MEDICIONES EXPERIMENTALES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA. *Jóvenes en la Ciencia*, 2(1), 1188-1192. Recuperado el 27 de marzo de 2017, de <http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/1208/835>
- Pérez, J. A., López, L. E., & Romero, R. D. (2016). AUTOMATIZACION DE INVERNADERO PARA CULTIVOS HIDROPÓNICOS EN EL SALVADOR. Recuperado el 23 de marzo de 2017, de

<http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/2843/1/Automatizaci%C3%B3n%20de%20Invernadero%20para%20Cultivos%20Hidrop%C3%B3nicos%20en%20El%20Salvador.pdf>

- Plummer, D. (2003). *Tropospheric Ozone Chemistry*. Recuperado el 28 de junio de 2017, de [https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj0hoXGy-HUAhWEOCYKHVPEAkQQFghgMAk&url=http%3A%2F%2Fwww.atmosp.physics.utoronto.ca%2FMAM%2Fplummer.ppt&usg=AFQjCNHNc5bPi4wW0\\_Jad2\\_2mVMe30UM0w](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj0hoXGy-HUAhWEOCYKHVPEAkQQFghgMAk&url=http%3A%2F%2Fwww.atmosp.physics.utoronto.ca%2FMAM%2Fplummer.ppt&usg=AFQjCNHNc5bPi4wW0_Jad2_2mVMe30UM0w)
- Porras, A. M. (2001). *Diseño estadístico de experimentos, análisis de la varianza y temas relacionados: tratamiento informático mediante SPSS*. Proyecto Sur.
- Quintero, J. J. (1977). LA LECHUGA. Recuperado el 28 de octubre de 2016, de Hojas Divulgadoras: [http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1977\\_10.pdf](http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1977_10.pdf)
- Radiant Silicon Technology. (2008). *Grow test between a 400 watt high pressure sodium bulb and our 100*. Recuperado el 2 de mayo de 2017, de <http://radiantsilicon.com/testing.html>
- Ramírez, C. A. (2009). *El Carbón activado para el tratamiento del agua*. Recuperado el 9 de marzo de 2017, de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20980/Capitulo1.pdf>
- Rendón, V., & Yance, M. A. (2012). *Establecimiento del cultivo hidropónico de Lechuga (Lactuca sativa L.) variedad Great Lakes 188, mediante la utilización de diferentes tipos de sustratos sólidos en la zona de Babahoyo*. Recuperado el 25 de marzo de 2017, de <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/49000/201/6/T-UTB-FACIAG-AGR-000061.pdf>
- Romero, C. (2015). *Evaluación de dos variedades de lechuga (Lactuca sativa L.), sometido a tres dosis de sedimento de la Laguna de Yahuarcocha, cantón Ibarra, provincia de Imbabura*. Recuperado el 08 de abril de

- 2017, de <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/49000/1052/1/T-UTB-FACIAG-AGR-000204.pdf>
- Salazar, G. (27 de mayo de 2001). HISTORIA DE LA HIDROPONIA Y DE LA NUTRICION VEGETAL. Recuperado el 12 de marzo de 2017, de [http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Historia\\_de\\_la\\_Hidroponia/Historia\\_de\\_la\\_Hidroponia.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Historia_de_la_Hidroponia/Historia_de_la_Hidroponia.htm)
- Sánchez, E. (2014). *Pythium sp.*, causante de marchitez de la lechuga romana en cultivo hidropónico. Recuperado el 17 de mayo de 2017, de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7144/EVERARDO%20SANTIAGO%20S%C1NCHEZ.pdf?sequence=1>
- Sanchez, J., Urrego, J., Zakzuk, J., Bornacelly, A., Castro, I., & Caraballo, L. (septiembre de 2013). Niveles de Contaminantes en el aire de Cartagena, Colombia. *Universidad Industrial de Santander, Salud*, 45(3), 35-44. Recuperado el 18 de marzo de 2017, de <http://revistas.uis.edu.co/index.php/revistasaluduis/article/view/3893/4246>
- Schaub, M., & Calatayud, V. (2013). *Assessment of Visible Foliar Injury Induced by Ozone*. Recuperado el 10 de mayo de 2017, de [http://www.wsl.ch/info/mitarbeitende/schaub/Schaub\\_Calatayud\\_2013\\_Assessment\\_of\\_Visible\\_Foliar\\_Injury\\_Induced\\_Ozone.pdf](http://www.wsl.ch/info/mitarbeitende/schaub/Schaub_Calatayud_2013_Assessment_of_Visible_Foliar_Injury_Induced_Ozone.pdf)
- Scholis, M. J., Castillo, P., & Florinella, M. (Diciembre de 2012). Estudio del efecto de una atmósfera ozonificada sobre la actividad peroxidásica algunas propiedades físicas en las hojas de rábano. *Revista Politécnica*, 31. Recuperado el 9 de octubre de 2016, de [http://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/view/198](http://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/198)
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural-Antioquia. (2016). MODELO TECNOLÓGICO PARA EL CULTIVO DE LECHUGA BAJO BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS. Medellín, Colombia: Fotomontajes S.A.S.
- Secretaría de Ambiente, Quito. (julio de 2016). CALIDAD DEL AIRE EN QUITO *Informa Anual 2015*. Recuperado el 18 de marzo de 2017, de

[http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria\\_Ambiente/red\\_monitoreo/informacion/ICA2015.pdf](http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/ICA2015.pdf)

SEDEMA. (Abril de 2016). ¿Qué es el ozono? Recuperado el 6 de Noviembre de 2016, de El ozono como contaminante del aire: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/noticias/que-es-ozono/que-es-ozono.pdf>

SIGIEQ. (2015). Simulación numérica de la calidad del aire del Distrito Metropolitano de Quito. Recuperado el 10 de marzo de 2017, de El SIGIEQ:

<http://modelos.quitoambiente.gob.ec/EmisionesWWW/modelo/modnum2>

Simón, M., Peralta, N., & Costa, J. L. (2013). Relación entre la conductividad eléctrica aparente con propiedades del suelo y nutrientes. *Ciencia del suelo*, 31(1).

Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de Plagas. (2015). *Lactuca sativa*. Recuperado el 09 de abril de 2017, de <http://www.sinavimo.gov.ar/cultivo/lactuca-sativa>

SOLAGRO. (2012). Cultivos - Información Completa. Obtenido de Lechuga: <http://www.solagro.com.ec/web/cultdet.php?vcultivo=LECHUGA>

Temple, P. j., Jones, T., & Lennox, R. (1990). *Yield Loss Assessments for Cultivars of Broccoli, Lettuce*. *Environmental Pollution*, 66, 289-299.

TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE, Registro Oficial Suplemento 316 (4 de Mayo de 2015).

Torres, J. M. (15 de octubre de 2016). ¡Cómetela Toda! México DF, México. Recuperado el 18 de Octubre de 2016, de <https://www.youtube.com/watch?v=LEUdQ8RL1Gs&index=20&list=PLbNCjq0q-mrqvjcwSsUK974OYwb4MFNx5>

United States Department of Agriculture [USDA]. (junio de 2007). *The U.S. and World Situation: Lettuce*. Recuperado el 25 de junio de 2017, de <http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/current/lettuce/lettuce-01-14-2009.pdf>

- United States Department of Agriculture USDA. (julio de 2002). *Effects of Ozone Air Pollution on Plants*. Obtenido de Air Quality Program: <http://www.rst2.edu/ties/ozone/university/ozonepdfs/1g27.pdf>
- Universidad Católica de Chile. (s.f.). *Lechuga*. Recuperado el 20 de abril de 2017, de Hortalizas de estación fría: [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/hort0498/HTML/p133.html](http://www7.uc.cl/sw_educ/hort0498/HTML/p133.html)
- Urrestarazu, M. A. (2015). *Manual práctico del cultivo sin suelo e Hidroponía*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Valadez, F. (2011). Aprovechamiento de Agua de Lluvia en la Producción Hidropónica de Lechuga (*Lactuca sativa* L.). Recuperado el 11 de mayo de 2017, de [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1488/APROVECHAMIENTO%20DE%20AGUA%20DE%20LLUVIA%20EN%20LA%20PRODUCCION%20HIDROPONICA%20DE%20LECHUGA%20\(Lactuca%20sativa%20L.\)..pdf?sequence=1](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1488/APROVECHAMIENTO%20DE%20AGUA%20DE%20LLUVIA%20EN%20LA%20PRODUCCION%20HIDROPONICA%20DE%20LECHUGA%20(Lactuca%20sativa%20L.)..pdf?sequence=1)
- Vallero, D. (2014). *Fundamentals of Air Pollution* (5 ed.). ELSEVIER.
- Vazquez, J. A. (2015). EFECTO DEL OZONO EN EL DESARROLLO DE LECHUGA Y PIMIENTO MORRON EN HIDROPONÍA. Recuperado el 21 de marzo de 2017, de [http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/2612/Vazquez\\_Ibarra\\_JA\\_MC\\_Fisiologia\\_Vegetal\\_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/2612/Vazquez_Ibarra_JA_MC_Fisiologia_Vegetal_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Velazquez, R. (noviembre de 2015). Evaluación del rendimiento de tres cultivares de *Lactuca sativa* L. en sistema hidropónico a raíz flotante en Santiago de Chuco, La Libertad. Recuperado el 23 de mayo de 2017, de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7600/63697%20VELAZQUEZ%20RODRIGUEZ%2c%20ROLANDO%20%20TESIS.pdf?sequence=1>
- Veloz, S. M. (mayo de 2013). EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA PRODUCTIVIDAD DE LOS CULTIVOS EN LOS BARRIOS LA MORITA, LA TOLA, EL ARENAL, LA ESPERANZA



- Y COLLAQUÍ UBICADOS EN LA PARROQUIA DE TUMBACO, CANTÓN QUITO, PROVINCIA DE PICHINCHA. Recuperado el 21 de marzo de 2017, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1740>
- Vera, B. (2009). AGRICULTURA URBANA Y SUSTENTABILIDAD EN VALDIVIA, CHILE. UNA NUEVA ALTERNATIVA MICROEMPRESARIAL. *CIUDAD Y SUSTENTABILIDAD*, 12(20), 7-12. Recuperado el 11 de marzo de 2017, de <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RU/article/view/321>
- Wan, W., Manning, W. J., Wang, X., Zhang, H., Sun, X., & Zhang, Q. (2014). *Ozone and ozone injury on plants in and around Beijing, China. Environmental Pollution*, 191, 215-222.
- Wang, X., Manning, W., Feng, Z., & Yongguan, Z. (2007). *Ground-level ozone in China: Distribution and effects on crop yields. Environmental Pollution*, 147, 394-400.
- Zaar, M. (15 de octubre de 2011). AGRICULTURA URBANA: ALGUNAS REFLEXIONES SOBRE SU ORIGEN E IMPORTANCIA ACTUAL. *REVISTA BIBLIOGRÁFICA DE GEOGRAFÍA Y CIENCIAS SOCIALES*, XVII(944). Recuperado el 11 de marzo de 2017, de <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-944.htm>
- Zapata, C. E., Quijano, R., Molina, E., Rubiano, C., & Londoño, G. (mayo de 2008). Fortalecimiento de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire en el Valle de Aburra con Medidores Pasivos. *Gestión y Ambiente*, 11(8), 67-84. Recuperado el 15 de abril de 2017, de <http://www.redalyc.org/pdf/1694/169414452004.pdf>
- Zúñiga, E. (2010). DISEÑO EN PARCELAS DIVIDIDAS. Recuperado el 19 de mayo de 2017, de [http://estadistica.260mb.com/Efrain\\_DPD.pdf?i=1](http://estadistica.260mb.com/Efrain_DPD.pdf?i=1)

## **ANEXOS**

**Anexo 1.** Ejemplo de archivo .csv de la Secretaría de Ambiente Quito. Se utilizaron 12 archivos .csv correspondientes a los meses de mayo y septiembre de los años 2007 hasta 2012.

MAGNITUD - UNIDAD	FECHA	Belisario
OZONO - µg/m3	01/09/2007 01:00	66.11
	01/09/2007 02:00	65.96
	01/09/2007 03:00	65.96
	01/09/2007 04:00	71.37
	01/09/2007 05:00	71.54
	01/09/2007 06:00	66.17
	01/09/2007 07:00	57.8
	01/09/2007 08:00	49.57
	01/09/2007 09:00	59.56
	01/09/2007 10:00	68.87
	01/09/2007 11:00	66.41
	01/09/2007 12:00	81.75
	01/09/2007 13:00	76.66
	01/09/2007 14:00	77.12
	01/09/2007 15:00	67.37
	01/09/2007 16:00	64.79
	01/09/2007 17:00	62.69
	01/09/2007 18:00	53.4
	01/09/2007 19:00	57.2
	01/09/2007 20:00	58.41
	01/09/2007 21:00	53.35
	01/09/2007 22:00	40.36
	01/09/2007 23:00	48.94
	01/09/2007 24:00	32.9
	02/09/2007 01:00	21.17
	02/09/2007 02:00	23.47
	02/09/2007 03:00	14.78
	02/09/2007 04:00	13.63
	02/09/2007 05:00	54.49
	02/09/2007 06:00	71.24
	02/09/2007 07:00	69.99
	02/09/2007 08:00	67.15
	02/09/2007 09:00	73.39
	02/09/2007 10:00	82.25
	02/09/2007 11:00	80.84
	02/09/2007 12:00	80.63
	02/09/2007 13:00	74.45
	02/09/2007 14:00	72.37
	02/09/2007 15:00	74.62
	02/09/2007 16:00	66.01
	02/09/2007 17:00	63.05
	02/09/2007 18:00	65.46
	02/09/2007 19:00	59.05
	02/09/2007 20:00	54.99
	02/09/2007 21:00	64.71
	02/09/2007 22:00	69.41
	02/09/2007 23:00	76.5
	02/09/2007 24:00	80.8

## Anexo 2. Registro de resultados

PESO DE LA PLANTA					
TRATAMIENTOS	REPETICIONES				
	R1	R2	R3	Sumatoria	Promedio
Trat 1	113.5	106	75	294.5	98.1666667
Trat 2	57	83	109	249	83
Trat 3	152	103	127	382	127.3333333
Sumatoria	322.5	292	311		
Promedio	107.5	97.33333333	103.6666667		

NÚMERO DE HOJAS					
TRATAMIENTOS	REPETICIONES				
	R1	R2	R3	Sumatoria	Promedio
Trat 1	46	63	32	141	47
Trat 2	30	38	45	113	37.5
Trat 3	41	35	34	110	36.7777778
Sumatoria	117	136	111		
Promedio	39.11111111	45.16666667	37		

NÚMERO DE BORDES MARCHITOS					
TRATAMIENTOS	REPETICIONES				
	R1	R2	R3	Sumatoria	Promedio
Trat 1	9	12	9	30	10
Trat 2	11	13	15	39	13
Trat 3	16	12	10	38	12.7777778
Sumatoria	36	37	34		
Promedio	12	12.33333333	11.44444444		

ALTURA DE LA PLANTA					
TRATAMIENTOS	REPETICIONES				
	R1	R2	R3	Sumatoria	Promedio
Trat 1	28.00	35.00	26.00	89.00	29.6666667
Trat 2	23.90	27.65	31.40	82.95	27.65
Trat 3	33.23	27.00	34.93	95.17	31.7222222
Sumatoria	85.13	89.65	92.33		
Promedio	28.3777778	29.88333333	30.7777778		

LONGITUD DE RAIZ					
TRATAMIENTOS	REPETICIONES				
	R1	R2	R3	Sumatoria	Promedio
Trat 1	9.75	9.00	10.30	29.05	9.683333333
Trat 2	9.80	8.60	7.40	25.80	8.6
Trat 3	8.93	9.00	9.40	27.33	9.111111111
Sumatoria	28.48	26.60	27.10		
Promedio	9.494444444	8.866666667	9.033333333		

<b>NÚMERO DE MANCHAS</b>					
<b>TRATAMIENTOS</b>	<b>REPETICIONES</b>				
	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Promedio</b>
<b>Trat 1</b>	0	0	0	0	0
<b>Trat 2</b>	23	16	9	48	16
<b>Trat 3</b>	46	61	59	166	55.4444444
<b>Sumatoria</b>	69	77	68		
<b>Promedio</b>	23.11111111	25.66666667	22.66666667		

**Anexo 3. Agenda de campo donde se recolectó las observaciones diarias**

**REGISTRO DE OBSERVACIONES  
EVALUACIÓN DE EFECTOS DE OZONO**

**COR1 PLANTA1**

FECHA	OBSERVACIONES
26-04	tallo visible alto planta pequeña hojas inferiores marchitas, borde de una de las hojas empezando marchitarse 30% hoja
27-04	tallo visible alto planta mediana hojas inferiores verdes, marchitas bordes empezando 5% hoja
28-04	tallo visible alto, planta mediana, hojas verdes hojas inferiores poca marchitarse bordes marchitarse
29-04	crecimiento de la planta estable, signos de marchitez en la parte inferior de la planta, hojas inferiores 10% marchitas, bordes rosas
30-04	hojas superiores sin observaciones, hojas inferiores de la mariposa, y hojas inferiores marchitas
31-04	crecimiento normal de la planta, hojas inferiores continúan bordes marchitos, 10%
01-05	hojas caídas en mayor cantidad sin signos de marchitez, plantas con bordes marchitos, 10% general de la planta
02-05	planta grande, hojas superiores como presentaban signos de marchitez, crecimiento normal en el haz de la hoja
03-05	plantas siguen proceso de crecimiento normal, de las plantas marchita completamente, continúan con bordes en proceso de marchitez
04-05	plantas con signos de quemadura o bordes que de las paredes del plástico, hojas inferiores signos de marchitez, hojas superiores en proceso
06-05	los colores en los bordes de las hojas se expresan proceso de marchitez, aparecen cambios de color a café, el crecimiento general de marchitez 10%
07-05	hojas inferiores continúan marchitez, 2 hojas bajas aparecen caídas pero sin signos de marchitez ni en los bordes, crecimiento normal
08-05	hojas superiores sin marchitez, hojas inferiores continúan proceso de marchitez, no se observan más cambios en las hojas superiores
09-05	las caídas empiezan proceso de marchitez, cambiando de color en los bordes, se suma una hoja caída y marchita completamente en el suelo

#### Anexo 4. Registros control de pH

Fecha	pH			
	r1	r2	r3	prom
4-mar-17	5.87	5.88	5.87	5.87
5-mar-17	5.89	5.87	5.88	5.88
6-mar-17	5.91	5.92	5.93	5.92
7-mar-17	5.95	5.96	5.95	5.95
8-mar-17	5.9	5.89	5.9	5.90
9-mar-17	5.86	5.87	5.87	5.87
10-mar-17	5.8	5.91	5.9	5.87
11-mar-17	5.83	5.83	5.83	5.83
12-mar-17	5.88	5.92	5.93	5.91
13-mar-17	5.94	5.95	5.95	5.95
14-mar-17	5.89	5.88	5.89	5.89
15-mar-17	5.55	5.56	5.57	5.56
16-mar-17	5.78	5.78	5.77	5.78
17-mar-17	5.94	5.93	5.93	5.93
18-mar-17	5.88	5.87	5.86	5.87
19-mar-17	5.8	5.81	5.81	5.81
20-mar-17	5.75	5.75	5.74	5.75
21-mar-17	5.84	5.83	5.84	5.84
22-mar-17	5.79	5.8	5.79	5.79
23-mar-17	5.78	5.77	5.76	5.77
24-mar-17	5.89	5.88	5.87	5.88
25-mar-17	5.54	5.56	5.56	5.55
26-mar-17	5.56	5.56	5.57	5.56
27-mar-17	5.82	5.82	5.81	5.82
28-mar-17	5.64	5.64	5.63	5.64
29-mar-17	5.72	5.73	5.7	5.72
30-mar-17	5.81	5.8	5.81	5.81
31-mar-17	5.66	5.64	5.66	5.65
1-abr-17	5.94	5.93	5.94	5.94
2-abr-17	5.89	5.87	5.88	5.88
3-abr-17	5.8	5.81	5.81	5.81
4-abr-17	5.6	5.62	5.61	5.61
5-abr-17	5.77	5.77	5.78	5.77
6-abr-17	5.64	5.63	5.64	5.64
7-abr-17	5.86	5.87	5.86	5.86
8-abr-17	5.72	5.72	5.73	5.72
9-abr-17	5.91	5.9	5.92	5.91
10-abr-17	5.99	5.98	5.98	5.98
11-abr-17	5.89	5.88	5.89	5.89
12-abr-17	5.96	5.96	5.95	5.96
13-abr-17	5.62	5.61	5.6	5.61

14-abr-17	5.68	5.68	5.69	5.68
15-abr-17	5.65	5.66	5.65	5.65
16-abr-17	5.69	5.7	5.69	5.69
17-abr-17	5.7	5.72	5.72	5.71
18-abr-17	5.88	5.88	5.88	5.88
19-abr-17	5.8	5.79	5.8	5.80
20-abr-17	5.83	5.83	5.82	5.83
21-abr-17	5.65	5.66	5.67	5.66
22-abr-17	5.61	5.62	5.61	5.61
23-abr-17	5.59	5.6	5.6	5.60
24-abr-17	5.65	5.65	5.65	5.65
25-abr-17	5.72	5.7	5.71	5.71
26-abr-17	5.71	5.72	5.72	5.72
27-abr-17	5.65	5.66	5.65	5.65
28-abr-17	5.62	5.63	5.63	5.63
29-abr-17	5.72	5.71	5.7	5.71
30-abr-17	5.6	5.62	5.61	5.61
1-may-17	5.73	5.72	5.7	5.72
2-may-17	5.59	5.61	5.59	5.60
3-may-17	5.7	5.7	5.71	5.70
4-may-17	5.8	5.79	5.79	5.79
5-may-17	5.77	5.75	5.76	5.76
6-may-17	5.65	5.66	5.66	5.66
7-may-17	5.83	5.84	5.83	5.83
8-may-17	5.6	5.6	5.6	5.60
9-may-17	5.8	5.83	5.8	5.81
10-may-17	5.75	5.73	5.75	5.74
11-may-17	5.66	5.66	5.66	5.66
12-may-17	5.72	5.71	5.72	5.72
13-may-17	5.69	5.69	5.7	5.69
14-may-17	5.8	5.8	5.81	5.80
15-may-17	5.83	5.82	5.82	5.82
16-may-17	5.83	5.85	5.85	5.84
17-may-17	5.59	5.59	5.59	5.59
18-may-17	5.89	5.9	5.9	5.90
19-may-17	5.65	5.65	5.66	5.65
20-may-17	5.7	5.7	5.7	5.70



## Anexo 5. Registros control CE

Fecha	Conductividad eléctrica			
	r1	r2	r3	prom
4-mar-17	2185	2236	2193	2205
5-mar-17	3373	3168	2988	3176
6-mar-17	3298	3306	3312	3305
7-mar-17	3394	3381	3390	3388
8-mar-17	3120	3225	3256	3200
9-mar-17	3088	3091	3105	3095
10-mar-17	3132	3136	3128	3132
11-mar-17	2783	2756	2786	2775
12-mar-17	2803	2813	2815	2810
13-mar-17	2895	2892	2889	2892
14-mar-17	2853	2856	2903	2871
15-mar-17	2838	2845	2838	2840
16-mar-17	2820	2832	2825	2826
17-mar-17	2818	2819	2810	2816
18-mar-17	2430	2481	2454	2455
19-mar-17	1391	1399	1398	1396
20-mar-17	1388	1382	1375	1382
21-mar-17	1324	1325	1335	1328
22-mar-17	1428	1452	1456	1445
23-mar-17	1575	1578	1586	1580
24-mar-17	1564	1546	1572	1561
25-mar-17	1491	1497	1499	1496
26-mar-17	1382	1403	1398	1394
27-mar-17	1375	1360	1394	1376
28-mar-17	1280	1293	1282	1285
29-mar-17	1248	1305	1293	1282
30-mar-17	1230	1305	1289	1275
31-mar-17	1275	1268	1293	1279
1-abr-17	1124	1182	1175	1160
2-abr-17	1172	1195	1180	1182
3-abr-17	1680	1689	1676	1682
4-abr-17	1742	1760	1753	1752
5-abr-17	1728	1698	1715	1714
6-abr-17	1465	1476	1469	1470
7-abr-17	1371	1384	1390	1382
8-abr-17	1275	1298	1290	1288
9-abr-17	1264	1235	1240	1246
10-abr-17	1268	1275	1280	1274
11-abr-17	1356	1370	1371	1366
12-abr-17	1228	1235	1240	1234

13-abr-17	1003	1012	998	1004
14-abr-17	989	990	1002	994
15-abr-17	1598	1598	1592	1596
16-abr-17	1602	1603	1598	1601
17-abr-17	1577	1582	1576	1578
18-abr-17	1481	1480	1483	1481
19-abr-17	1452	1450	1449	1450
20-abr-17	1378	1382	1380	1380
21-abr-17	1355	1357	1350	1354
22-abr-17	1248	1252	1254	1251
23-abr-17	1230	1225	1231	1229
24-abr-17	1200	1209	1209	1206
25-abr-17	1180	1195	1197	1191
26-abr-17	1179	1179	1182	1180
27-abr-17	1069	1091	1093	1084
28-abr-17	1095	1096	1090	1094
29-abr-17	1198	1197	1193	1196
30-abr-17	1178	1191	1185	1185
1-may-17	1163	1159	1165	1162
2-may-17	1149	1149	1152	1150
3-may-17	1139	1139	1138	1139
4-may-17	1125	1125	1129	1126
5-may-17	1119	1126	1115	1120
6-may-17	1533	1533	1536	1534
7-may-17	1505	1507	1509	1507
8-may-17	1485	1470	1476	1477
9-may-17	2147	2149	2150	2149
10-may-17	2130	2145	2143	2139
11-may-17	2110	2111	2113	2111
12-may-17	2103	2105	2100	2103
13-may-17	2085	2089	2095	2090
14-may-17	2069	2072	2075	2072
15-may-17	2054	2063	2069	2062
16-may-17	2039	2040	2050	2043
17-may-17	2024	2039	2037	2033
18-may-17	2009	2019	2015	2014
19-may-17	1993	2005	2003	2000
20-may-17	1978	1998	1992	1989

**Anexo 6. Fotografías módulo 1**





**Anexo 7. Fotografías módulo 2**



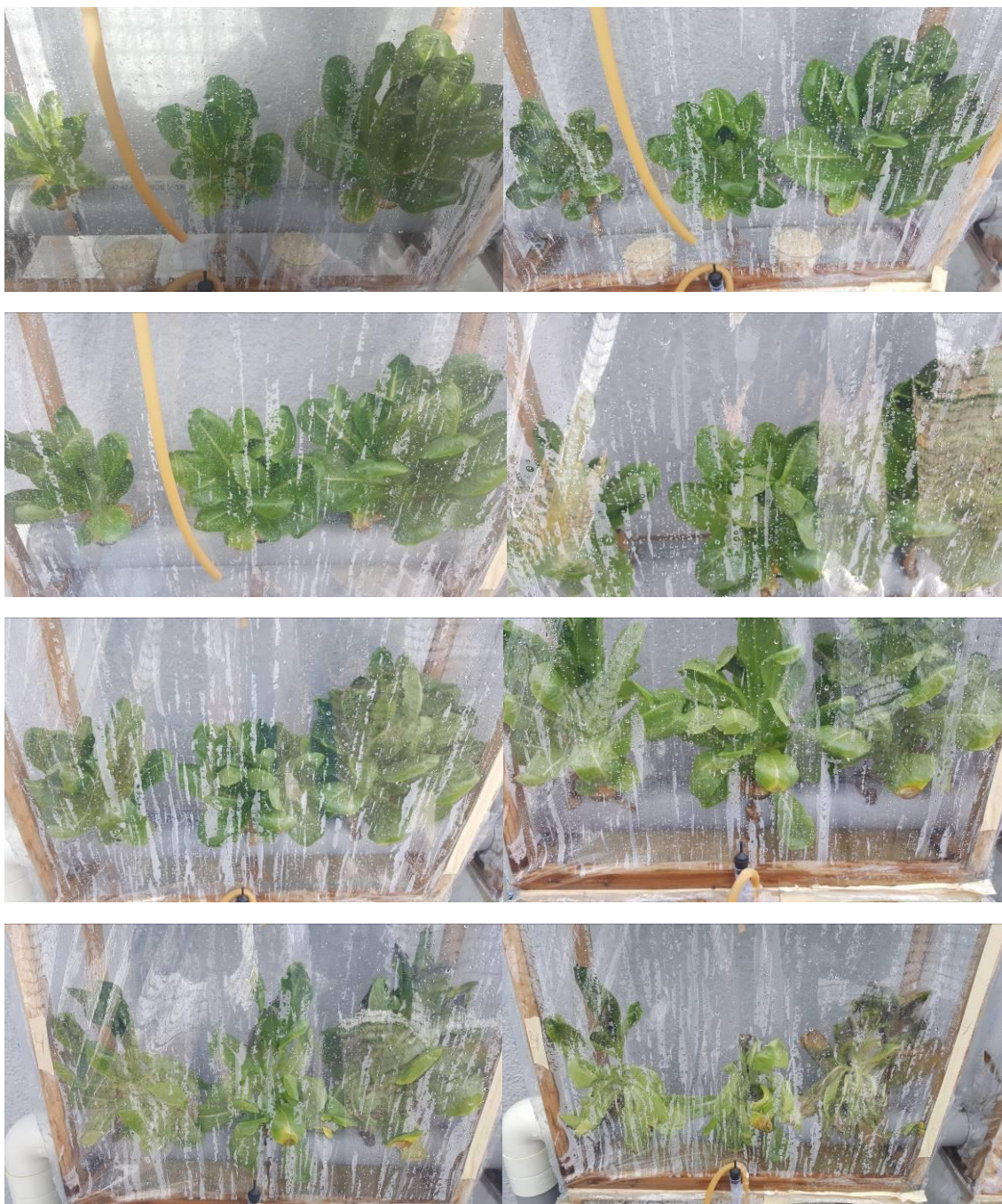


**Anexo 8. Fotografías módulo 3**



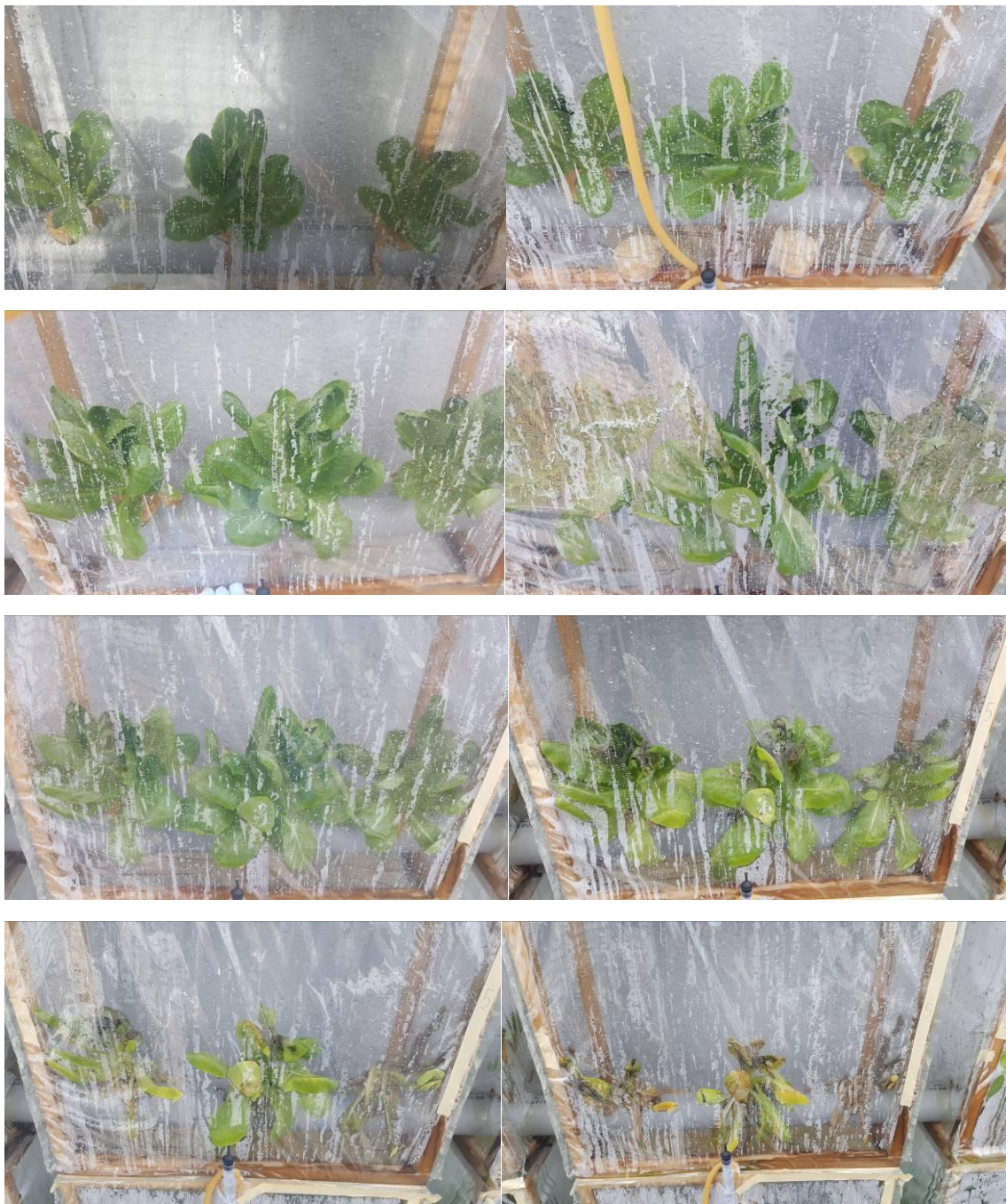


Anexo 9. Fotografías módulo 4





**Anexo 10. Fotografías módulo 5**



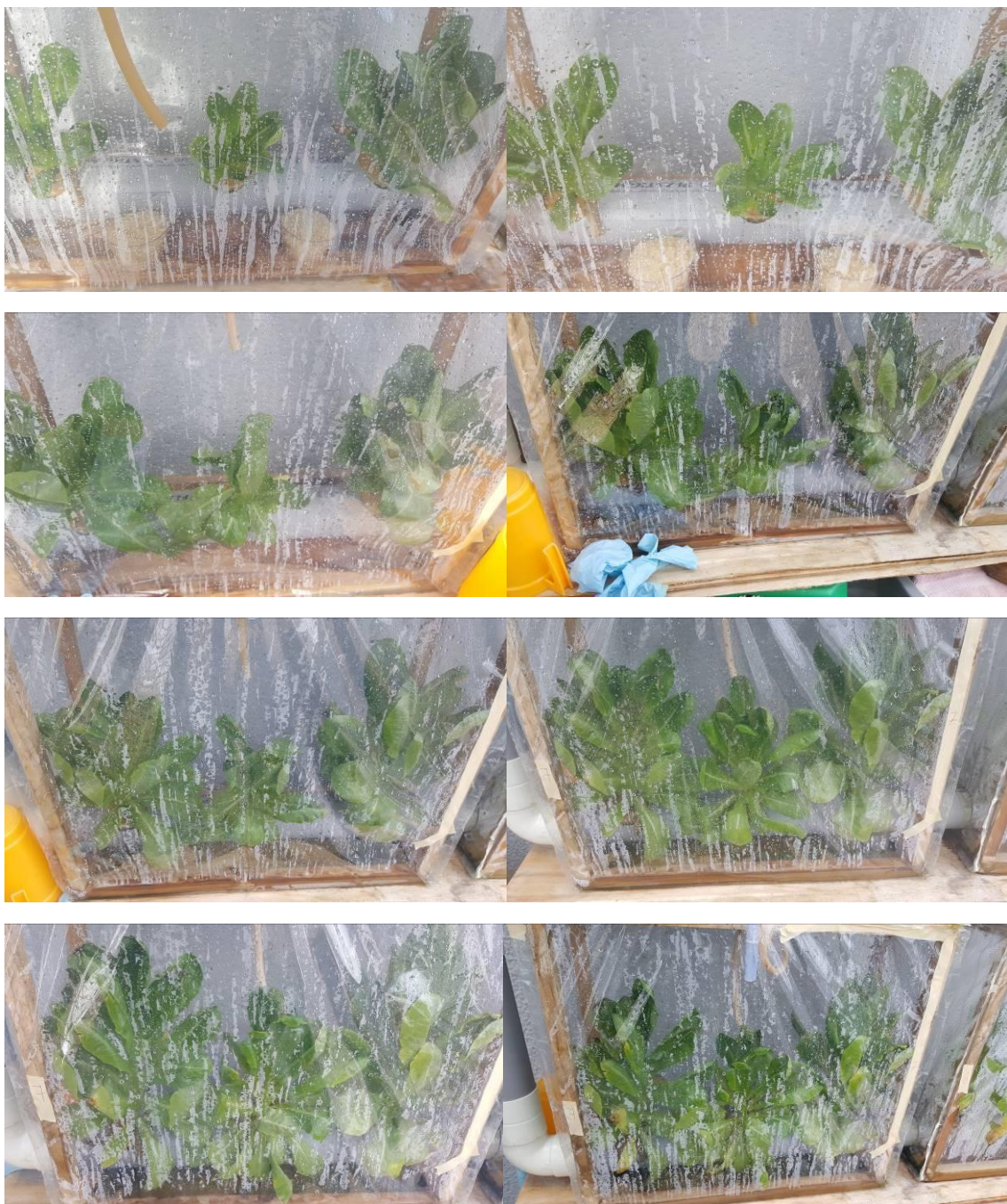


**Anexo 11. Fotografías módulo 6**





Anexo 12. Fotografías módulo 7





**Anexo 13. Fotografías módulo 8**





**Anexo 14. Fotografías módulo 9**





**Anexo 15. Efectos del ozono en las hojas de las plantas (Manchas)**

