



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

INFLUENCIA DEL OZONOTROPOSFÉRICO EN LA CAPACIDAD DE CAPTACIÓN DE CO₂ EN *OCIMUM TENUIFLORUM*

Autor

Luis Miguel Quishpe Quishpe

Año
2017



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

INFLUENCIA DEL OZONO TROPOSFÉRICO EN LA CAPACIDAD DE
CAPTACIÓN DE CO₂ EN *OCIMUM TENUIFLORUM*

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

Luis Miguel Quishpe Quishpe

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.”

Yasser Alejandro González Romero
Magíster 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.”

Rasa Zalakeviciute
Doctor of Philosophy
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.”

Luis Miguel Quishpe Quishpe

C.I: 150084304-8

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por cada día de vida, por la salud y el bienestar. A los ingenieros: Alejandro González, Rasa Zalakeviciute y Paola Posligua, por su guía, por la confianza y por su paciencia durante mi carrera universitaria.

A La Secretaría de Ambiente, DMQ, especialmente Valeria Diaz Suarez, por su ayuda con análisis de datos, y datos históricos críticos para el éxito de este trabajo. Al Ingeniero Santiago Solórzano y la Unidad de Innovación Tecnológica FICA-UDLA, durante el proceso de investigación.

DEDICATORIA

A mi tío Gavicho, que descanse en paz. A mis abuelitos Miguel, Teodolinda, Elías y Delia. A mis padres Rodrigo y Tomasa. A mis hermanos Andrés, José y Livia.

Por su apoyo incondicional, por los momentos compartidos, por cada palabra de aliento, por los consejos y los regaños, por enseñarme a no desmayar ante las adversidades, a saber levantarme ante cada derrota. Y sobre todo, a trabajar duro y con esfuerzo para alcanzar mis objetivos.

RESUMEN

El deterioro de la calidad de aire, va en aumento conforme avanzan los años. Cada vez las concentraciones de contaminantes primarios COVs, óxidos de azufre, carbono y nitrógeno, son mayores debido al desarrollo industrial y el permanente uso de combustibles fósiles. Las cantidades de ozono troposférico (O_3) de la misma manera han crecido, ya que este se forma a través de la fotólisis de los contaminantes primarios ya mencionados.

El presente estudio, analiza la influencia del O_3 en la captación de CO_2 . A partir de la exposición de plantas de la misma especie *Ocimum tenuiflorum*, a distintas concentraciones de O_3 : T.1: Tratamiento 1 o testigo concentración ambiente, T.2: Tratamiento 2, $40 \mu g/m^3$ y T.3: Tratamiento $3,80 \mu g/m^3$. Y se realizaron 9 réplicas de cada tratamiento.

El análisis se realizó desde 2 puntos de vista: macroscópico y microscópico. En el estudio macroscópico se terminó que la planta disminuye su captación de CO_2 , ya el contaminante incide en el desarrollo de biomasa. Representado en la altura de tallo, peso seco y cantidad de hojas. De acuerdo a los resultados, el desarrollo de biomasa es inversamente proporcional a la concentración de O_3 . El análisis microscópico develó que el O_3 afecta la conductancia estomática, haciendo que la planta disminuya la apertura de estomas como mecanismo para evitar más ingreso del contaminante pero a la vez disminuye su capacidad de captar CO_2 . Además, por el estrés oxidativo generado por especies de oxígeno reactivo (ROS), se da un desequilibrio iónico. Que afecta la permeabilidad de las membranas, degradación de la pared celular y la muerte de la célula, vista superficialmente como manchas necróticas.

Mediante sensores electroquímicos se evaluó la cantidad de CO_2 (ppm) captado por cada tratamiento. Donde el Tratamiento 1, es el que asimiló mayor cantidad de carbono, que justifica un mayor desarrollo de biomasa. Otro aspecto que justifica una mejor captación en comparación con los otros

tratamientos se debe a que el Tratamiento 1 no sufre o sufre en mínimas proporciones de estrés oxidativo.

Finalmente se realizó un análisis de Spearman, para analizar las correlaciones antes mencionadas, de los resultados obtenidos el dato más resaltante fue un valor de -1 en el índice de correlación, entre la concentración de O_3 y la cantidad de CO_2 captado. Lo que determina una influencia lineal inversamente proporcional entre los 2 factores.

ABSTRACT

The deterioration of air quality is increasing as the years progress. Concentrations of primary pollutants VOCs, sulfur oxides, carbon and nitrogen are increasing due to industrial development and the continued use of fossil fuels. The quantities of tropospheric ozone (O_3) in the same way have grown, since this is formed through the photolysis of the already mentioned primary contaminants.

The present study analyzes the influence of O_3 on the uptake of CO_2 . From the exposure of plants of the same species *Ocimum tenuiflorum*, at different concentrations of O_3 : T.1: Treatment 1, ambient concentration, T.2: Treatment 2, $40\mu g / m^3$ and T.3: Treatment 3, $80\mu g / m^3$. Nine replicates of each treatment were performed.

The analysis was performed from 2 points of view: macroscopic and microscopic. In the macroscopic study it was concluded that the plant decreases its uptake of CO_2 , since the pollutant affects the development of biomass. Represented in stem height, dry weight and number of leaves. According to the results, the development of biomass is inversely proportional to the concentration of O_3 . Microscopic analysis revealed that O_3 affects stomatal conductance, causing the plant to decrease stomatal opening as a mechanism to prevent further pollutant ingress but at the same time decreases its ability to capture CO_2 . In addition, because of the oxidative stress generated by the reactive oxygen species (ROS), an ionic imbalance occurs. It affects the permeability of membranes, cell wall degradation and cell death, seen superficially as necrotic spots.

The amount of CO_2 captured by each treatment was evaluated by electrochemical sensors. Where Treatment 1, is the one that assimilated greater amount of carbon, which justifies a greater development of biomass. Another aspect that justifies a better uptake in comparison to the other

treatments is due to the fact that the Treatment 1 did not suffer or suffered in minimal proportions of oxidative stress.

Finally, a Spearman analysis was performed to analyze the above-mentioned correlations of the results obtained. The most relevant data was a value equal to -1 in the correlation index, between the concentration of O₃ and the amount of CO₂ captured. This determines a linearly and inversely proportional influence between the two factors.

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1. 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1.1 Antecedentes	1
1.1.2 Alcance	2
1.1.3 Justificación	2
1.1.4 Objetivos	3
2. CAPÍTULO II. DESARROLLO DEL TEMA	4
2.1 Marco teórico	4
2.1.1 Contaminación atmosférica	4
2.1.2 Tecnologías de monitoreo de gases	4
2.1.3 Calidad de aire en el Ecuador	5
2.1.4 Efectos de la contaminación atmosférica en seres humanos	6
2.1.5 Ozono troposférico	7
2.1.6 Captación de CO ₂	8
2.1.7 Albahaca como sujeto de experimentación	8
2.2 Metodología	9
2.2.1 Diseño experimental y diagrama de proceso	9
2.2.2 Preparación de escenarios y sujetos de experimentación	13
2.3 Cuantificación de CO ₂ captado	19
3. CAPÍTULO III: RESULTADOS Y ANÁLISIS	20
3.1 Fase 1: Pre trasplante	21
3.2 Fase 2: Monitoreo	29
3.3 Fase 3: Cosecha	51
3.4 Fase 4: Determinación de influencia del Ozono sobre la captación de dióxido de carbono en plantas	54
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
4.1 Conclusiones	56
4.2 Recomendaciones	57

REFERENCIAS	58
ANEXOS	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de tratamientos.....	11
Figura 2. Resumen general de la metodología a utilizar.....	12
Figura 3. Modelo de germinación.....	13
Figura 4: Proceso de trasplante.....	14
Figura 5. Sujetos de experimentación cosechados para peso seco.....	14
Figura 6. Diseño de celda experimental.....	15
Figura 7. Estructura de ozonificador de agua.....	16
Figura 8. Ubicación de muestreadores pasivos, vista lateral y superior.....	17
Figura 9. Proceso de secado de plantas.....	19
Figura 10. Proceso de análisis de resultados.....	20
Figura 11. Variación de altura de tallo pre trasplante.....	22
Figura 12. Variación de peso pre trasplante.....	23
Figura 13. Variación de cantidad de hojas pre trasplante.....	24
Figura 14. Variación de longitud media hojas pre trasplante.....	25
Figura 15. Variación de longitud máxima de hojas pre trasplante.....	26
Figura 16. Variación de altura de tallo durante 30 días	30
Figura 17. Variación cantidad de hojas durante 30 días.....	32
Figura 18. Variación cantidad de longitud media de hojas durante 30 días.....	34
Figura 19. Variación cantidad de longitud máxima de hojas durante 30 días...36	
Figura 20. Variación de altura de tallo entre sujetos de experimentación sujetos de experimentación, en el día 0 pre trasplante y el día 30 cosecha	38
Figura 21. Variación de peso entre sujetos de experimentación sujetos de experimentación, en el día 0 pre trasplante (color rojo) y el día 30 cosecha (color azul).....	39
Figura 22. Variación de cantidad de hojas entre sujetos de experimentación sujetos de experimentación, en el día 0 pre trasplante (color rojo) y el día 30 cosecha (color azul).....	40

Figura 23. Variación de longitud media de hojas entre sujetos de experimentación sujetos de experimentación, en el día 0 pre trasplante (color rojo) y el día 30 cosecha (color azul).....	41
Figura 24. Variación de longitud máxima de hojas entre sujetos de experimentación sujetos de experimentación, en el día 0 pre trasplante (color rojo) y el día 30 cosecha (color azul).....	42
Figura 25. Variación de longitud media y máxima de hojas entre sujetos de experimentación sujetos de experimentación, en el día 0 pre trasplante (color rojo) y el día 30 cosecha (color azul).....	45
Figura 26. Variación de estructura celular y conductancia estomática.....	48
Figura 27. Variación captación de CO ₂ en ppm y % entre tratamientos, cada 5 días. Durante los 30 días de desarrollo de las plantas.....	51
Figura 28. Variación de peso seco entre tratamientos, al final de los 30 días de desarrollo de las plantas.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales efectos de los contaminantes primarios en seres humanos.....	6
Tabla 2. Diseño factorial exploratorio 3 ¹ para determinación de influencia del ozono troposférico en la capacidad de captación de CO ₂ en <i>Ocimum tenuiflorum</i>	9
Tabla 3. Codificación de tratamientos y réplicas.....	9
Tabla 4. Registro de monitoreo de captación de CO ₂	19
Tabla 5. Resultado análisis físico pre trasplante.....	21
Tabla 6. Resumen de análisis estadístico descriptivo.....	22
Tabla 7. Resumen de análisis estadístico descriptivo.....	23
Tabla 8. Resumen de análisis estadístico descriptivo.....	24
Tabla 9. Resumen de análisis estadístico descriptivo.....	25
Tabla 10. Resumen de análisis estadístico descriptivo.....	26
Tabla 11. Resultados análisis de varianza.....	27
Tabla 12. Resultados test Tukey de comparaciones múltiples.....	27
Tabla 13. Resultados de comparaciones múltiples, mediante HSD Tukey.....	31
Tabla 14. Resultados de comparaciones múltiples, mediante HSD Tukey.....	33
Tabla 15. Resultados de comparaciones múltiples, mediante HSD Tukey.....	35
Tabla 16. Resultados de comparaciones múltiples, mediante HSD Tukey.....	37
Tabla 17. Resumen resultados estadísticos descriptivos día 30.....	38
Tabla 18. Resumen resultados estadísticos descriptivos día 30.....	39
Tabla 19. Resumen resultados estadísticos descriptivos día 30.....	40
Tabla 20. Resumen resultados estadísticos descriptivos día 30.....	41
Tabla 21. Resumen resultados estadísticos descriptivos día 30.....	42
Tabla 22. Resumen resultados análisis de varianza.....	43
Tabla 23. Análisis Tukey variables controladas pre trasplante.....	43
Tabla 24. Resumen de resultados obtenidos del análisis de CO ₂ captado.....	50
Tabla 25. Análisis estadístico de comparaciones múltiples de resultados de peso seco.....	52
Tabla 26. Análisis estadístico de correlaciones Rho de Spearman.....	54

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1. 1 INTRODUCCIÓN

1.1.1 Antecedentes

En el último siglo, la calidad de aire ha ido deteriorándose en mayor grado, debido a la contaminación atmosférica. Al punto de convertirse en un problema representativo para los seres vivos. De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, este factor generó un incremento de enfermedades en la población. Provocando que el bienestar de los seres vivos se vea alterado. A través de estudios realizados en el 2012 por la organización, se determinó que cada año existen 3 millones de defunciones prematuras por dicha problemática (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2016).

La calidad de aire se ha estudiado a través del monitoreo de las concentraciones de contaminantes como: óxidos de carbono, compuestos de azufre, óxidos de nitrógeno, clorofluorocarbonos, hidrofluorocarbonos, ozono troposférico (O_3), material particulado y su relación con los efectos en los organismos vivos (Godish, Davis y Fu, 2014, p.34-72).

Respecto al O_3 los incrementos han sido notables en la atmósfera, se han analizado las causas de este aumento e incluso se realizaron modelos predictivos en Brasil (Luna, Paredes, Oliveira y Correa, 2014), e India (Kumar, Middey y Rao, 2017) que indican un incremento de 7 ppb para los próximos 10 años. Otro estudio que resume investigaciones en Europa, asevera que el incremento se mantendrá y se existirán concentraciones entre 50 a 60 ppb para el 2020 (Karlsson et al., 2017).

De acuerdo, al informe de calidad de aire del Distrito Metropolitano de Quito del 2016 presentado en Mayo del 2017, se conoce que el promedio anual de las 7 estaciones de monitoreo es de $25,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Los meses de menor concentración son Abril y Mayo con valores de concentración promedio de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y máximos de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Los meses de mayor concentración son agosto

y septiembre con valores de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ concentración promedio y máximos de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Quitoambiente, 2017).

Los estudios de los efectos del O_3 en los seres vivos, se han focalizado en los humanos y las plantas (Lefohn et al., 2017). Entre los principales están: la asimilación de CO_2 en plantas (Kumari, Agrawal y Singh, 2015) y la incidencia en el sistema cardiovascular de los animales (Wagner et al., 2014).

1.1.2 Alcance

El estudio se realizó en el área del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), durante los meses Abril, Mayo y Junio. Se procedió a realizar una comparación entre *Ocimum tenuiflorum* cultivada en ambiente controlado de O_3 a diferentes concentraciones y una muestra testigo a condiciones ambiente, para determinar la influencia del contaminante en la capacidad de captación de CO_2 mediante análisis de biomasa.

1.1.3 Justificación

A pesar de que a nivel mundial ya se están estudiando los efectos del O_3 , cada investigación se ha realizado con distintas especies de plantas. Sin embargo, aún no hay datos sobre como el contaminante afecta a la albahaca, sujeto de experimentación del presente estudio. Además, en la actualidad, no se han realizado investigaciones en el país que relacionen el O_3 troposférico y la capacidad de captación de CO_2 llevado a cabo por las plantas.

En todo el mundo se están llevando a cabo estudios sobre las pérdidas en cultivos debido a la presencia de este contaminante y sus consecuencias desde el punto de vista económico y de seguridad alimentaria. Además existen investigaciones en especies forestales que indican como estos sumideros de carbono cada vez asimilan menor cantidad de dicho elemento, debido a las concentraciones de ozono alcanzadas en los últimos años (The Royal Society, 2008, p.75-84).

Ya que el estudio se realizará a distintas concentraciones de O₃ en una especie vegetal se puede conocer el grado de influencia del contaminante y los efectos a futuro para meses de menor y mayor cantidad de O₃.

De determinarse la influencia negativa del O₃ troposférico, los resultados aportarían para que entidades públicas y privadas, justifiquen la necesidad de buscar soluciones a la problemática ambiental.

Finalmente, se aportaría a la comunidad científica, para corroborar investigaciones sobre los efectos del O₃ troposférico en las cuales se ha basado la presente tesis.

1.1.4 Objetivos

1.1.4.1 Objetivo General

- Determinar la influencia del O₃ troposférico en la capacidad de captación de CO₂ en *Ocimum tenuiflorum*, mediante cuantificación de CO₂

1.1.4.2 Objetivos Específicos

- Generar escenarios de experimentación mediante construcción de celdas, producción de O₃ troposférico y sujetos de investigación.
- Monitorear variables micro y macroscópicas, para análisis de la capacidad de captación de CO₂
- Cuantificar la capacidad de captación de CO₂ mediante celdas electroquímicas y gravimetría de biomasa.

2. CAPÍTULO II. DESARROLLO DEL TEMA

2.1 Marco teórico

2.1.1 Contaminación atmosférica

Si bien es cierto, el aire es una mezcla de gases, que ha sufrido un proceso de miles de años para llegar a la composición actual (Ledesma, 2013, p.1). Se denomina contaminación atmosférica, a la presencia en la atmósfera de gases en una concentración que genere impactos al bienestar de los seres vivos (Apheis, 2014). Dichas sustancias pueden ser producidas de dos maneras ya por fuentes naturales o por fuentes antropogénicas (Martínez y Díaz, 2014, p.13). En los últimos años, se ha evidenciado un incremento de los compuestos que forman parte de esta problemática (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2016). Entre los compuestos resaltantes tenemos: material particulado, ozono troposférico y óxidos de: azufre, nitrógeno y carbono. (Caselli, 2013, p.57).

2.1.2 Tecnologías de monitoreo de gases

La contaminación atmosférica es un problema de suma importancia para la sociedad y la obtención de información siempre va a ser necesaria (Peterson, 2000). El nivel de detalle de los datos, dependerá del tipo de investigación que se realice (Alegret, Valle y Merkoçi, 2004). Esto define la utilización desde pequeños muestreadores fijos, hasta estaciones de monitoreo complejas para el monitoreo y la recolección de datos (Aravind, Haneef, Sulthan y Solomon, 2016).

Actualmente, los sensores electroquímicos son las principales herramientas en equipos de monitoreo (Abraham, S., & Li, X. 2014), cuyo principio de funcionamiento radica a la relación potenciométrica que se da entre los electrodos del sensor y los iones de los contaminantes (Cuartero, 2014).

2.1.3 Calidad de aire en el Ecuador

En nuestro país se maneja el “Plan Nacional de Calidad de Aire” desde el 2010 que posee tres programas que engloban la prevención, el monitoreo y la disminución de la contaminación atmosférica (Ministerio del Ambiente [MAE], 2015).

Sin embargo, no se ha evidenciado el cumplimiento de los tres programas a nivel nacional. No se cuenta con una red de monitoreo nacional que podría proporcionar datos sobre la calidad de aire, a nivel de país. De tal manera que es necesario recurrir a datos de entidades exteriores como el Banco Mundial, para conocer información sobre emisiones. Dicha organización, identificó que las emisiones de CO₂ del Ecuador han tenido un crecimiento exponencial rondando hasta el año 2015 las 3.8 toneladas métricas per cápita (Banco Mundial, 2016).

Este incremento de emisiones, se es directamente proporcional al aumento actividades industriales en el país. Los efectos en el bienestar ciudadano, han sido analizados por diversas universidades en ciudades como Cuenca (Espinoza y Molina, 2014, p. 7-17), Loja (Ochoa, Cueva., Prieto, Aragón y Benítez, 2015, p.330-340) y Quito, determinando que existe incidencia de la contaminación atmosférica en el aumento de enfermedades cardiorrespiratorias. Por último, solo Quito cuenta con una red de monitoreo formada por más de 40 estaciones entre remotas y automáticas, con capacidad para analizar continua y automáticamente la calidad de aire del distrito metropolitano (Quitoambiente, 2017).

Por último, es necesario mencionar que normativa vigente para emisiones. Se rige por la literatura del Anexo 4, actualizada de acuerdo al Acuerdo Ministerial 050 en la Norma de Calidad de Aire Ambiente del Texto de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA, 2015).

2.1.4 Efectos de la contaminación atmosférica en seres humanos

En el caso de los seres humanos se evidencia en la siguiente Tabla los principales efectos estudiados, debido a la exposición a contaminantes primarios.

Tabla 1.

Principales efectos de los contaminantes atmosféricos en seres humanos

Contaminantes atmosféricos	Principales efectos en la salud
Aerosoles	Alteración del sistema cardiorrespiratorio (Gascon y Sunyer, 2015).
Óxidos de Azufre	Daño a nivel de pulmones (Ghozikali, Mosaferi, Safari, y Jaafari, 2015).
Óxidos de Nitrógeno	Afecta en el tracto respiratorio (Beelen et al., 2014).
Óxidos de Carbono	Incide sobre el transporte de oxígeno a través de la sangre. A concentraciones muy altas causa estragos en el sistema nervioso central (Huamán, 2016)
Hidrocarburos	Existe variabilidad en sus efectos, sin embargo las principales afecciones son de características, cancerígenas y teratogénicas (Parra, Vargas, y Gélvez, 2014).

La incidencia de la contaminación atmosférica en la salud del ser humano, va ir en incremento sino se toman medidas de mitigación para los contaminantes.

Solo teniendo en cuenta el informe del 2014, realizado por del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, las emisiones de CO₂ generadas por el uso combustibles fósiles y actividades de manufactura aportaron con un 78%, de las emisiones totales. Que representa un 25% del volumen atmosférico (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático [IPCC], 2015).

La necesidad de cambiar la industria con tecnologías limpias será necesaria para minorar la problemática ambiental que actualmente estamos pasando (Jacobson, 2012).

2.1.5 Ozono troposférico

Como se puede observar tanto en las ecuaciones 1-2, es un contaminante secundario, que se produce por procesos fotoquímicos, entre contaminantes primarios y la radiación solar. Su generación dependerá de la cantidad de radiación y la presencia de contaminantes como el NO_x, SO_x, COVs y Co_x, que liberan un oxígeno por fotólisis y éste se combina con el O₂ que normalmente se encuentra en el aire para formar O₃. (Sciencedaily, 2016). Como se mencionó en los antecedentes es un contaminante que puede generar daños en las plantas, inhibiendo la asimilación de CO₂ para la fotosíntesis al actuar sobre la enzima *Rubisco* (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas [CIEMAT], 2015).



2.1.6 Captación de CO₂

La capacidad de captación de CO₂ que poseen las plantas, se da gracias a la fotosíntesis donde se realiza una metabolización del compuesto para obtener azúcares y otros elementos necesarios para el crecimiento de la planta. (Macías, Bueno y Monterroso, 2001). Es así, como toman el carbono del aire (en forma de CO₂) y fijan en sí mismas en forma de biomasa (Carvajal, Mota, Alcaraz e Iglesias, 2014).

Se estima que a través de toda la flora del mundo, se fija alrededor de 2.000.000 toneladas/año de carbono (UNESA, 2005). Para concluir, una captación correcta de CO₂ engloba, el crecimiento adecuado de las plantas su calidad como producto en el caso de ser cultivos, y la seguridad alimentaria. (Doménech, 2010).

2.1.7 Albahaca como sujeto de experimentación

Ocimum tenuiflorum también conocida como albahaca. Es un tipo de cultivo herbáceo que en la actualidad genera grandes réditos económicos por su uso en fines gastronómicos, médicos y de horticultura. Su alta productividad se debe a que es una planta resistente a enfermedades, que se adapta fácilmente al suelo y solo necesita condiciones de humedad altas para un desarrollo adecuado. Su producción se da al cabo de tres meses y puede plantarse durante todo el año, siempre y cuando se disponga de invernaderos que protejan a la planta de condiciones ambientales adversas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2015).

Por lo antes mencionado, y por ser una especie vegetal C3 (Iglesias, M. 2014). Que involucra una fotorrespiración mediante la fijación del CO₂ realizando el ciclo de Calvin, catalizado por la enzima *Rubisco* (Doménech, J. 2015), la albahaca se perfila como un individuo de experimentación adecuado para el presente trabajo de tesis.

2.2 METODOLOGÍA

2.2.1 Diseño experimental y diagrama de proceso

Se trabajará con 3 grupos de 3 individuos, unos sometidos al F.1 (-1), F.0 (0) y F.1 (+1), realizando 2 repeticiones de cada tratamiento.

Tabla 2.

Diseño factorial exploratorio 3¹ para determinación de influencia del ozono troposférico en la capacidad de captación de CO₂ en Ocimum tenuiflorum

Código	Factores	Niveles		
		(-1)	(0)	(+1)
F.1	Concentración de ozono troposférico	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Ozono del ambiente (promedio 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para abril-junio en Belisario)	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
F.C	<i>Ocimum tenuiflorum</i>	C		

Nota. F.1= Factor 1; F.C= Factor constante

Las concentraciones de ozono utilizadas para cada factor, como se mencionó en los antecedentes. Son estimadas a partir de datos de la Secretaria de Ambiente de Quito, determinando los promedios en los meses de menor y mayor presencia del contaminante. Debido a esto, se utilizó para la experimentación 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono para los Tratamientos 2 y 3.

A continuación, en la Tabla 3 se presentan los 3 tratamientos, sus 9 réplicas y la respectiva codificación usada en el diseño exploratorio:

Tabla 3.

Codificación de tratamientos y réplicas

Código	Nombre del tratamiento	Detalle concentración de ozono
T.1	Tratamiento 1	Ambiente – testigo – Factor constante
T.1.R.1	Tratamiento 1, réplica 1	Ambiente – testigo – Factor constante
T.1.R.2	Tratamiento 1, réplica 2	Ambiente – testigo – Factor constante

T.1.R.3	Tratamiento 1, réplica 3	Ambiente – testigo – Factor constante
T.1.R.4	Tratamiento 1, réplica 4	Ambiente – testigo – Factor constante
T.1.R.5	Tratamiento 1, réplica 5	Ambiente – testigo – Factor constante
T.1.R.6	Tratamiento 1, réplica 6	Ambiente – testigo – Factor constante
T.1.R.7	Tratamiento 1, réplica 7	Ambiente – testigo – Factor constante
T.1.R.8	Tratamiento 1, réplica 8	Ambiente – testigo – Factor constante
T.2	Tratamiento 2	40 µg/m ³ – Factor 1 - Nivel (-1)
T.2.R.1	Tratamiento 2, réplica 1	40 µg/m ³ – Factor 1 - Nivel (-1)
T.2.R.2	Tratamiento 2, réplica 2	40 µg/m ³ – Factor 1 - Nivel (-1)
T.2.R.3	Tratamiento 2, réplica 3	40 µg/m ³ – Factor 1 - Nivel (-1)
T.2.R.4	Tratamiento 2, réplica 4	40 µg/m ³ – Factor 1 - Nivel (-1)
T.2.R.5	Tratamiento 2, réplica 5	40 µg/m ³ – Factor 1 - Nivel (-1)
T.2.R.6	Tratamiento 2, réplica 6	40 µg/m ³ – Factor 1 - Nivel (-1)
T.2.R.7	Tratamiento 2, réplica 7	40 µg/m ³ – Factor 1 - Nivel (-1)
T.2.R.8	Tratamiento 2, réplica 8	40 µg/m ³ – Factor 1 - Nivel (-1)
T.3	Tratamiento 3	80 µg/m ³ – Factor 1 - Nivel (+1)
T.3.R.1	Tratamiento 3, réplica 1	80 µg/m ³ – Factor 1 - Nivel (+1)
T.2.R.2	Tratamiento 3, réplica 2	80 µg/m ³ – Factor 1 - Nivel (+1)
T.2.R.3	Tratamiento 3, réplica 3	80 µg/m ³ – Factor 1 - Nivel (+1)
T.2.R.4	Tratamiento 3, réplica 4	80 µg/m ³ – Factor 1 - Nivel (+1)
T.2.R.5	Tratamiento 3, réplica 5	80 µg/m ³ – Factor 1 - Nivel (+1)
T.2.R.6	Tratamiento 3, réplica 6	80 µg/m ³ – Factor 1 - Nivel (+1)
T.2.R.7	Tratamiento 3, réplica 7	80 µg/m ³ – Factor 1 - Nivel (+1)
T.2.R.8	Tratamiento 3, réplica 8	80 µg/m ³ – Factor 1 - Nivel (+1)

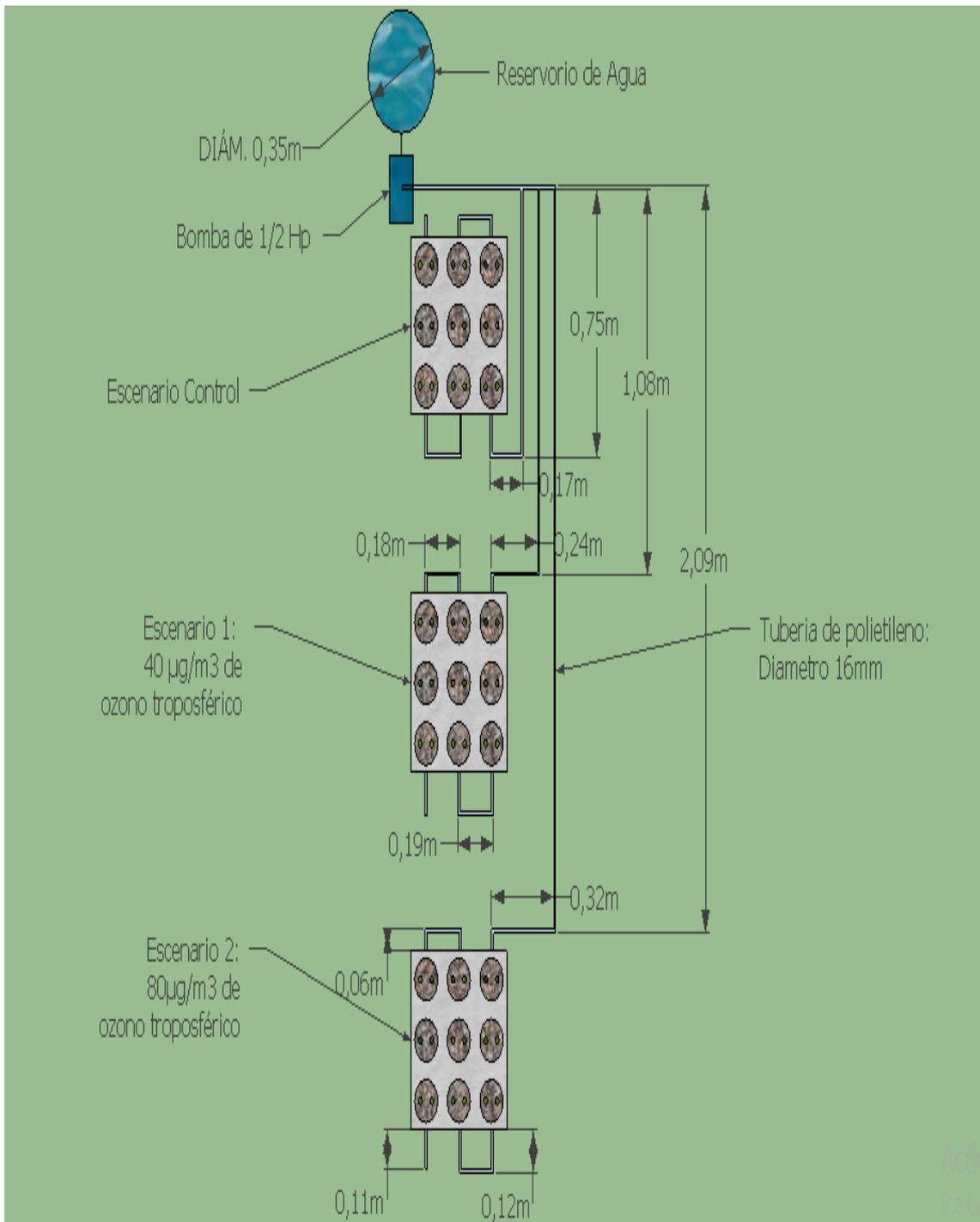


Figura 1. Sistema de tratamientos

a) El presente plano se realizó mediante el software Sketchup, en la imagen se puede observar las dimensiones de las tuberías de polietileno y la capacidad de la bomba utilizada.

A continuación en la Figura 2, se puede apreciar un resumen de la metodología a utilizar en la investigación.

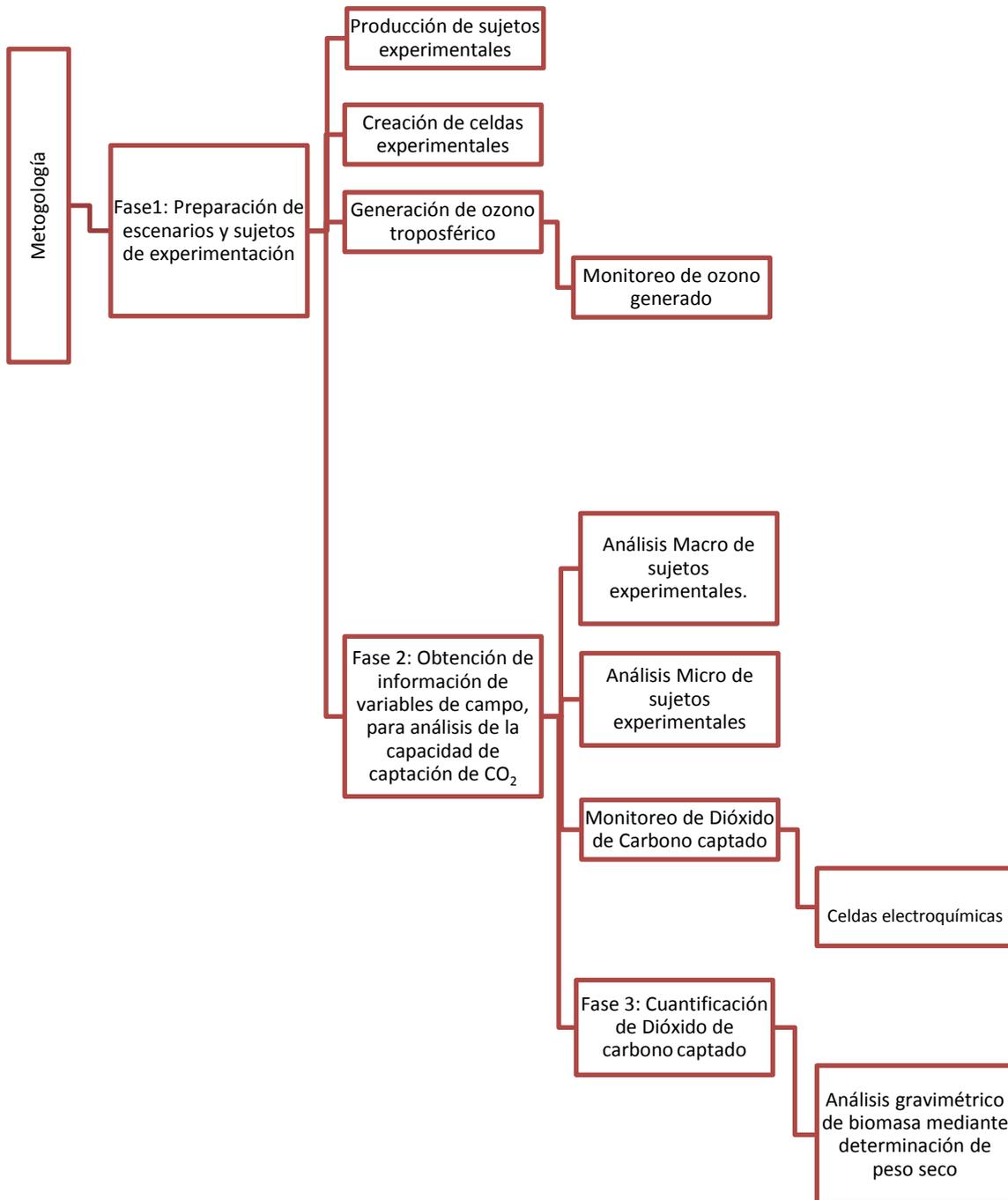


Figura 2. Resumen general de la metodología a utilizar

2.2.2 Preparación de escenarios y sujetos de experimentación

2.2.2 1 Producción de sujetos experimentales

Germinación

Las semillas de albahaca que se utilizaron en la germinación (Figura 3) son procedentes de la empresa KENKU. Se usó un germinador para el proceso con 75 semillas de albahaca, de las cuales se seleccionaron 27 plántulas de similares características para la siguiente etapa.

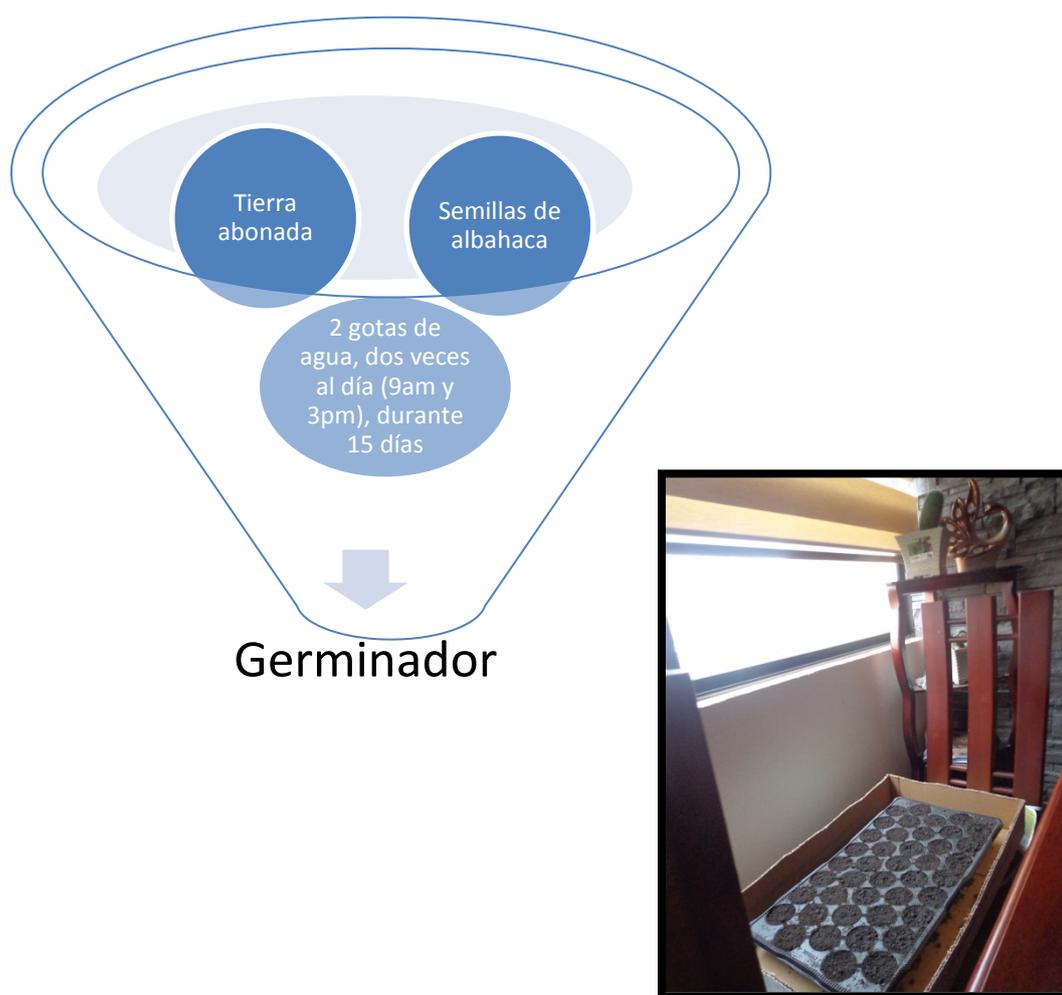


Figura 3. Modelo de germinación

Trasplante y Cosecha

El trasplante se realizó al cabo de los 15 días de germinación. A una profundidad de a un 2 cm. Con un marco de siembra de 2,5 cm. Como se observa en la Figura 4.



Figura 4. Proceso de trasplante

La cosecha se realizó al cabo del día 30 post trasplante. Se cosechó toda la planta al necesitar el peso seco del individuo, como se observa en la Figura 5. No solo de hojas como normalmente se realizada.



Figura 5. Sujetos de experimentación cosechados para peso seco

2.2.2 2 Creación de celdas experimentales

A continuación se presentan las especificaciones de cada celda (Figura 6), el material que se utilizó para su construcción será de plástico para invernadero en las paredes y aluminio las columnas y piso, con el fin de impermeabilizar la celda, es necesario el uso de silicona y cinta doble fas. Cabe destacar, que se constó de un sistema de riego independiente para dotar de agua a las plantas ubicadas en cada celda.

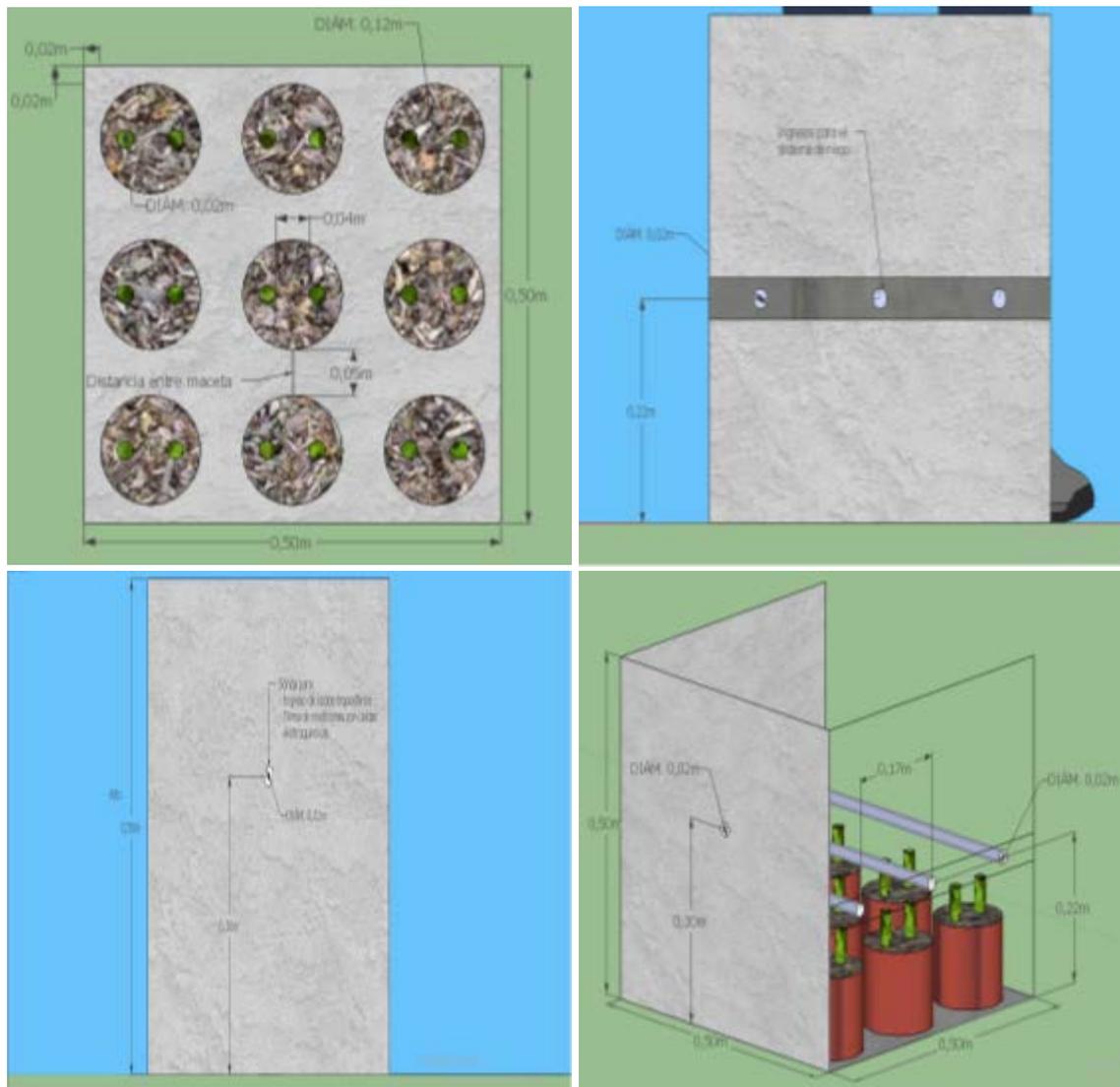


Figura 6. Diseño de celda experimental

a) El presente plano se realizó mediante el software Sketchup, en la imagen se puede observar las dimensiones de las tuberías de polietileno y la capacidad de la bomba utilizada.

2.2.2.3 Generación de O₃ troposférico

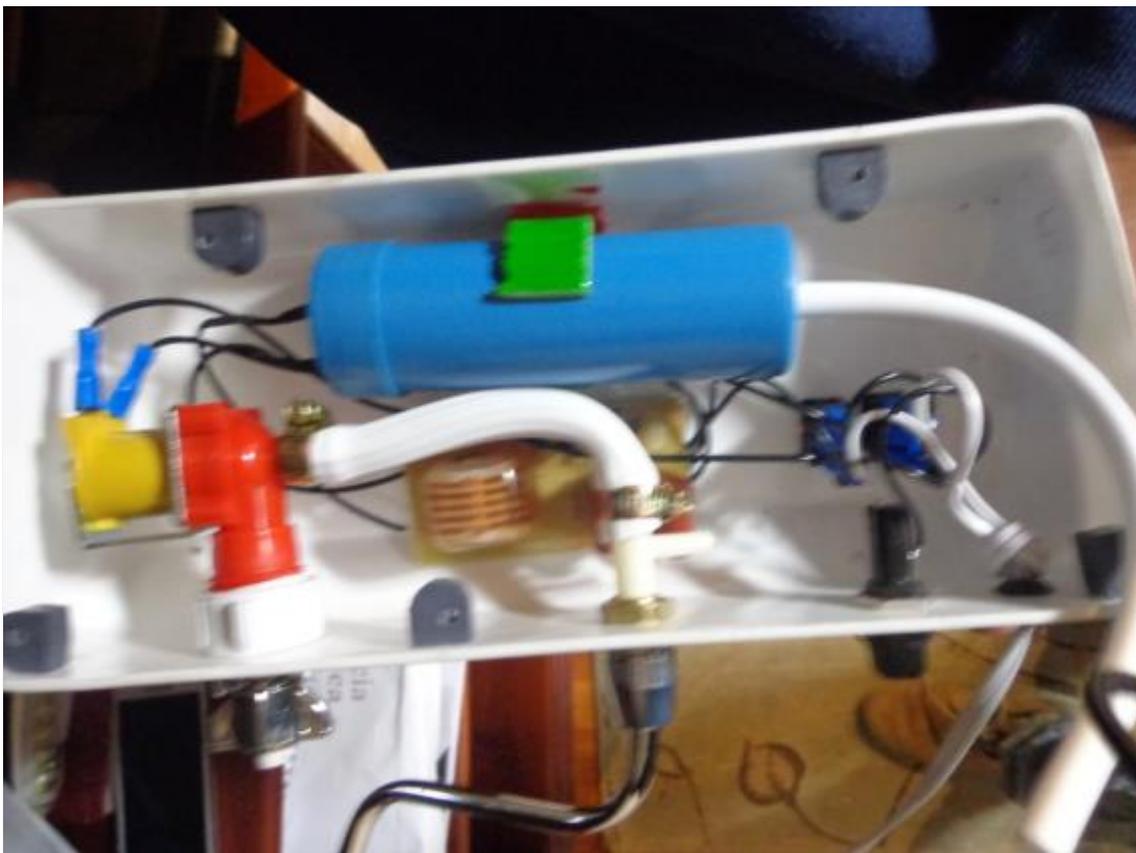


Figura 7. Estructura de ozonificador de agua

Para obtener el gas se utilizó un ozonificador de agua, basado en el principio de descarga eléctrica de alta frecuencia (Alonso et al., 2002).

El equipo produce 35 mg de O₃ por hora, para obtener las concentraciones del contaminante del diseño experimental. Se realizó un cálculo del tiempo que necesita estar encendido el generador para llegar a las cantidades requeridas, mediante la siguiente ecuación.

$$\text{Tiempo de encendido} = \frac{\text{Concentración deseada} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \right) * 3600 \text{ (seg)}}{\text{Concentración generada en una hora} (\mu\text{g}/\text{m}^3)} \quad (\text{Ecuación 3})$$

De esta manera se determinó que el generador debe encenderse durante 4 segundos para tener 40 μg y 8 segundos para 80 μg de ozono en invernaderos de 1 metro cúbico, debido a esto se procedió a dividir los tiempos de encendido a la mitad porque el volumen de las celdas de experimentación es de 0,5 m³.

2.2.2.4 Monitoreo de ozono generado

Con el fin de corroborar las concentraciones de ozono en cada tratamiento se procedió a realizar un monitoreo a partir de análisis de cromatografía iónica de gases.

La cromatografía iónica de gases, es una técnica que permite separar mezclas de compuestos para cuantificar sus elementos en fase líquida por separado, a través de una fase móvil y otra estacionaria en una columna (Gallego et al., 2012, p.sn). La mezcla de compuestos se obtuvo a través de metodología Ogawa, con el uso de muestreadores pasivos de O_3 que se ubicaron en las celdas experimentales. Como se observa en la Figura 8, durante el tiempo de exposición a O_3 , al que se sujetaron las plantas.



Figura 8. Ubicación de muestreadores pasivos, vista lateral y superior.

Dicha metodología no se podría haber realizado sin la colaboración de la Secretaria del Ambiente de Quito, a través de la dotación de los muestreadores y el uso de laboratorios de dicha institución para la realización del proceso cromatografía iónica mediante un cromatógrafo de marca Metrohm, modelo Advanced compact IC 861.

2.2.2.5 Obtención de información de variables de campo, para análisis de la capacidad de captación de CO₂

Análisis Macro de sujetos experimentales:

Factores morfología vegetal: peso, altura, cantidad de hojas, longitud de hojas

De acuerdo a las referencias, la biomasa se representa en estos factores. Que pueden ser comparados para identificar efectos ante la presencia de O₃. Las mediciones se realizaron mediante el uso de una regla (altura) y una balanza eléctrica (peso) debido a que las dimensiones son mínimas (FAO. 2015). Este proceso se realizó en el día 0 pre trasplante y 30 post cosecha con todos los factores. Y se realizó un de monitoreo durante los 28 días de desarrollo de la planta tomando mediciones cada 7 días, de todos los factores excepto el peso (Flores. 2013).

Análisis Micro de sujetos experimentales:

Se realizó un análisis microscópico, mediante tinción de con azul de metileno que permite diferenciar la estructura celular de las hojas (Sandoval, 2005, p.91-93), para los 3 tratamientos. Las muestras de las hojas fueron tomadas el día 30 post cosecha.

Para este procedimiento se utilizó un microscopio binocular biológico modelo CX-41 marca Olympus. Con el fin de diferenciar efectos del O₃ en la anatomía de las hojas.

Análisis de captación de CO₂

El monitoreo de captación de CO₂, se realizó mediante el uso de un sensor DFRobot Gravity con modulo MG-811, calibrado para medir concentraciones de CO₂ en el aire con un rango de detección que oscila entre 0 a 5000 ppm, pero que puede aumentar hasta 50000 ppm realizando adaptaciones al hardware (Dfrobot, 2017)

Se diseñó un sistema parecido al que utilizan equipos como el MX6 ibrid (Industrial Scientific., 2017), se usa una bomba que toma una muestra representativa de aire y la direcciona a una cámara donde se encuentra el

sensor, para ejecutar la medición apenas el contaminante reaccione con el electrolito acuoso ubicado en la parte superior de éste.

Tabla 4.

Registro de monitoreo de captación de CO₂

Día:			
Tratamiento	Concentración inicial de CO ₂ (ppm) al ingreso del ozono	Concentración final de CO ₂ (ppm), al cabo de 8 horas en presencia de ozono	Concentración de CO ₂ captado (ppm)

Nota: Se realizó un muestreo cada 5 días al cabo de 8 horas después de dotar a cada celda experimental con el contaminante.

2.3 Cuantificación de CO₂ captado

2.3.1 Análisis gravimétrico de biomasa mediante determinación de peso seco

Este procedimiento se realizó al cabo del día 30, donde se cosechó las plantas en su totalidad para proceder a eliminar el contenido de agua presente en y obtener la biomasa pura al secarlas mediante el uso de la estufa de laboratorio (Belmonte y Lopez, 2003) marca Wiseven, como se observa en la Figura 9.

Las plantas estuvieron sujetas a una temperatura de 105°C durante 24 horas, para después proceder a la medición de peso seco en una balanza electrónica



Figura 9. Proceso de secado de plantas.

3. CAPÍTULO III: RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación en la Figura 10, se presenta el proceso de análisis de resultados

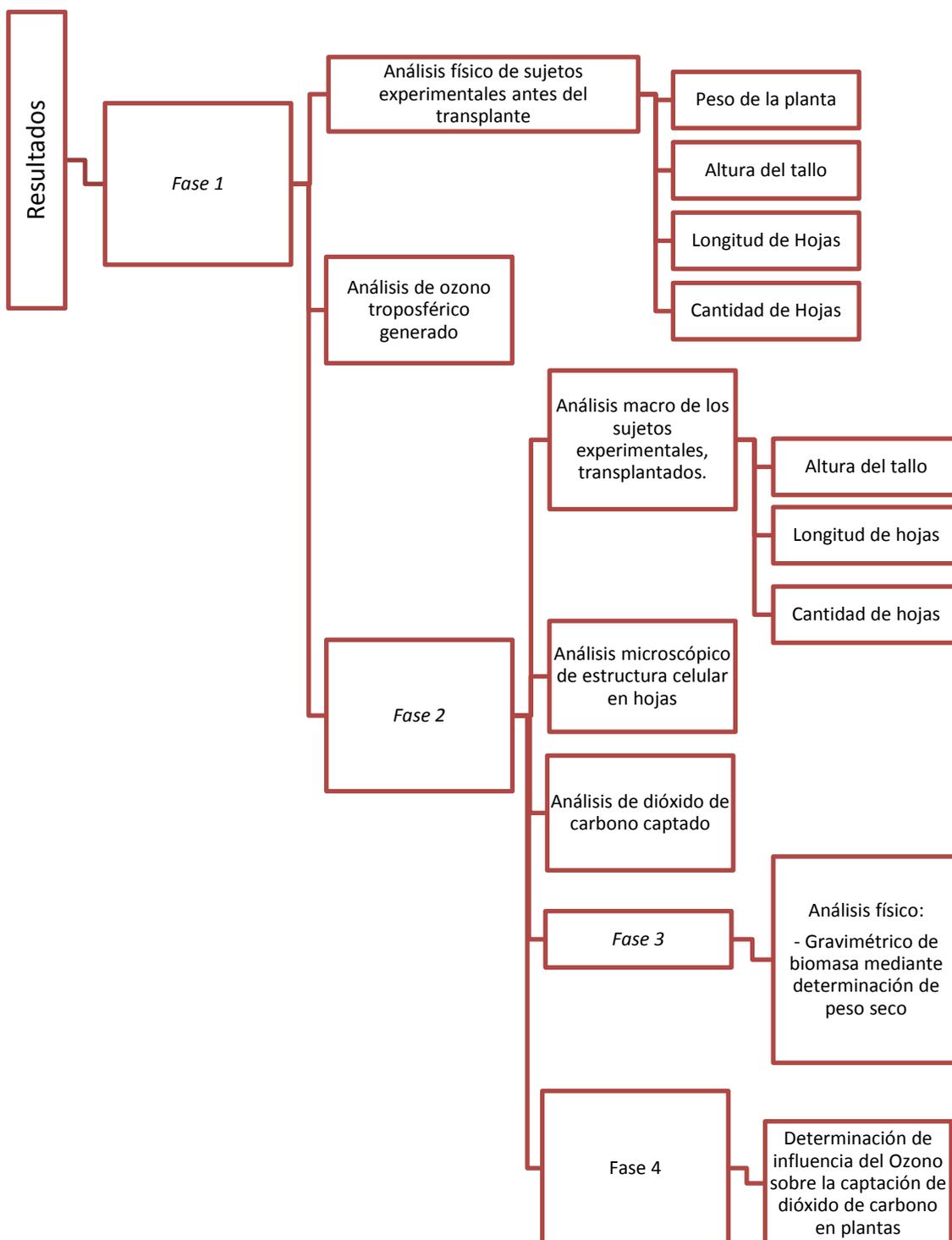


Figura 10. Proceso de análisis de resultados

3.1 Fase 1: Pre trasplante

3.1.1 Análisis físico de sujetos experimentales antes del trasplante:

Tabla 5.

Resultado análisis físico pre trasplante

Tratamientos	Altura del tallo (cm)	Peso (g)	Cantidad de hojas	Longitud media de las hojas (cm)	Longitud de hoja más grande (cm)
T.1	3,1	0,15	4	0,75	1
T.1.R.1	3,3	0,17	5	1	1
T.1.R.2	3,1	0,15	4	0,75	1
T.1.R.3	3,1	0,17	5	0,9	1
T.1.R.4	3,1	0,15	4	0,75	1
T.1.R.5	3,1	0,15	4	0,65	1
T.1.R.6	3,3	0,15	4	0,65	1
T.1.R.7	3,1	0,15	4	0,65	1
T.1.R.8	3,3	0,17	5	1	1
T.2	3,1	0,15	4	0,75	1
T.2.R.1	3,2	0,15	4	0,75	1
T.2.R.2	3,1	0,17	5	0,9	1
T.2.R.3	3,3	0,15	4	0,75	1
T.2.R.4	3,1	0,17	5	1	1
T.2.R.5	3,2	0,15	4	0,8	1
T.2.R.6	3,1	0,17	5	1,1	1
T.2.R.7	3,1	0,15	4	0,75	1
T.2.R.8	3,3	0,15	4	0,75	1
T.3	3,1	0,15	4	0,65	1
T.3.R.1	3,2	0,15	4	0,75	1
T.2.R.2	3,1	0,17	5	1	1
T.2.R.3	3,3	0,17	5	1,1	1
T.2.R.4	3,1	0,15	4	0,75	1
T.2.R.5	3,2	0,15	4	0,75	1
T.2.R.6	3,1	0,15	4	0,75	1
T.2.R.7	3,1	0,15	4	0,65	1
T.2.R.8	3,3	0,15	4	0,75	1

Nota: Los resultados obtenidos en el pre trasplante, son considerados como información del día 0

3.1.1.1 Altura de tallo, día 0

Como se puede observar en la Figura 11, los resultados de altura de tallo difieren entre sujetos de experimentación. A partir del análisis estadístico descriptivo de la Tabla 6. Se presenta una desviación estándar de 0,98, la altura media es de 3,17 cm, con un máximo de 3,30 cm y un mínimo de 3,10 cm.

Tabla 6.

Resumen de análisis estadístico descriptivo

	N	Mínimo	Máximo	Media		Desviación estándar
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error estándar	Estadístico
Altura del tallo (cm)	27	3,10	3,30	3,1741	,01894	,09842

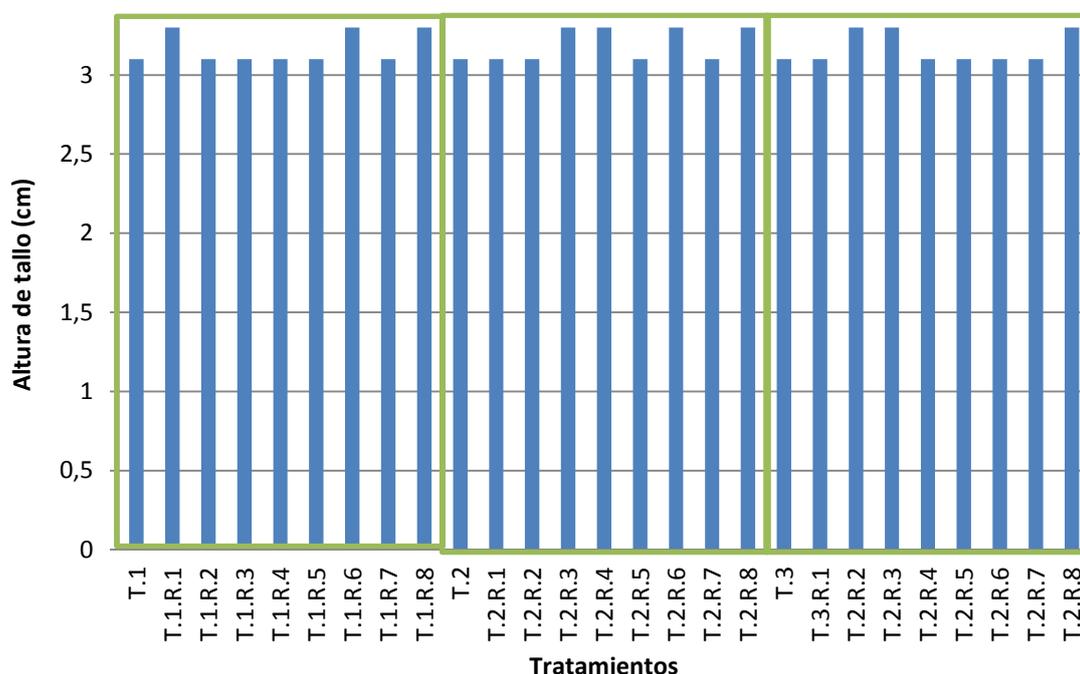


Figura 11. Variación de altura de tallo pre trasplante

3.1.1.2 Peso, día 0

Como se puede observar en la Figura 12, los resultados de peso difieren entre sujetos de experimentación. Teniendo en función al análisis estadístico descriptivo de la Tabla 7. Una desviación estándar de 0,09, El peso promedio es de 0,1559 g, con un máximo de 0,17 g y un mínimo de 0,15 g. Sin embargo, para comprobar las mencionadas diferencias.

Tabla 7.

Resumen de análisis estadístico descriptivo

	N	Mínimo	Máximo	Media		Desviación estándar
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error estándar	Estadístico
Peso (g)	27	,15	,17	,1559	,00179	,00931

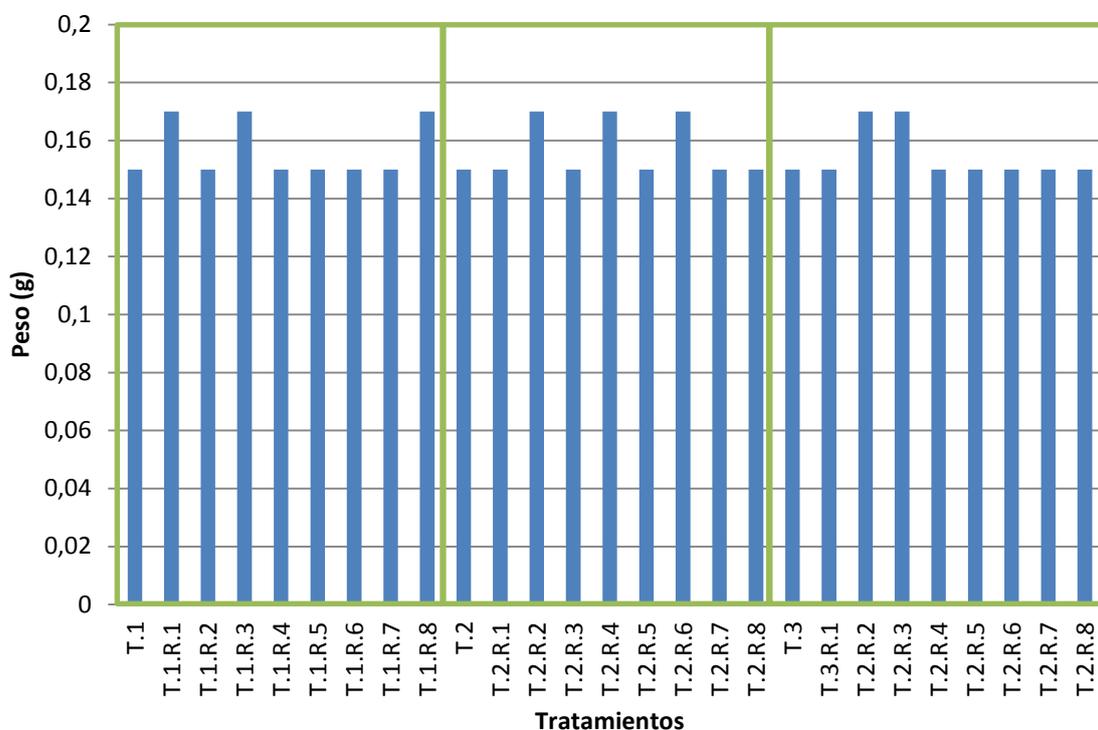


Figura 12. Variación de peso pre trasplante

3.1.1.3 Cantidad de hojas, día 0

Como se puede observar en la Figura 13, los resultados de cantidad de hojas difieren entre sujetos de experimentación. Teniendo en función al análisis estadístico descriptivo de la Tabla 8. Una desviación estándar de 0,465. La cantidad de hojas promedio es de 4,29, con un máximo de 5 y un mínimo de 4. Sin embargo, para comprobar las mencionadas diferencias.

Tabla 8.

Resumen de análisis estadístico descriptivo

	N	Mínimo	Máximo	Media		Desviación estándar
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error estándar	Estadístico
Cantidad de hojas (#)	27	4,00	5,00	4,2963	,08955	,46532

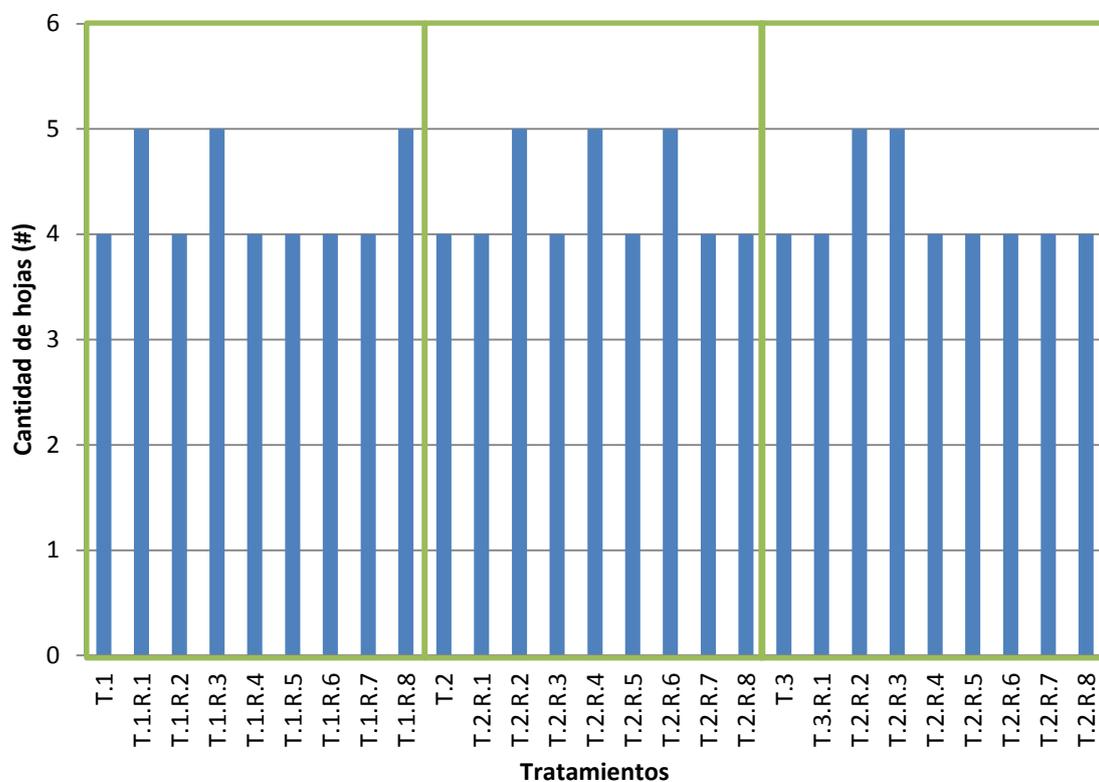


Figura 13. Variación de cantidad de hojas pre trasplante

3.1.1.4 Longitud media de hojas, día 0

Como se puede observar en la Figura 14, los resultados de longitud media de hojas difieren entre sujetos de experimentación. Teniendo en función al análisis estadístico descriptivo de la Tabla 9. Una desviación estándar de 0,139. El promedio de los resultados es de 0,80 cm, con un máximo de 1,10 cm y un mínimo de 0,65 cm.

Tabla 9.

Resumen de análisis estadístico descriptivo

	N	Mínimo	Máximo	Media		Desviación estándar
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error estándar	Estadístico
Longitud media de hojas (cm)	27	,65	1,10	,8074	,02678	,13916

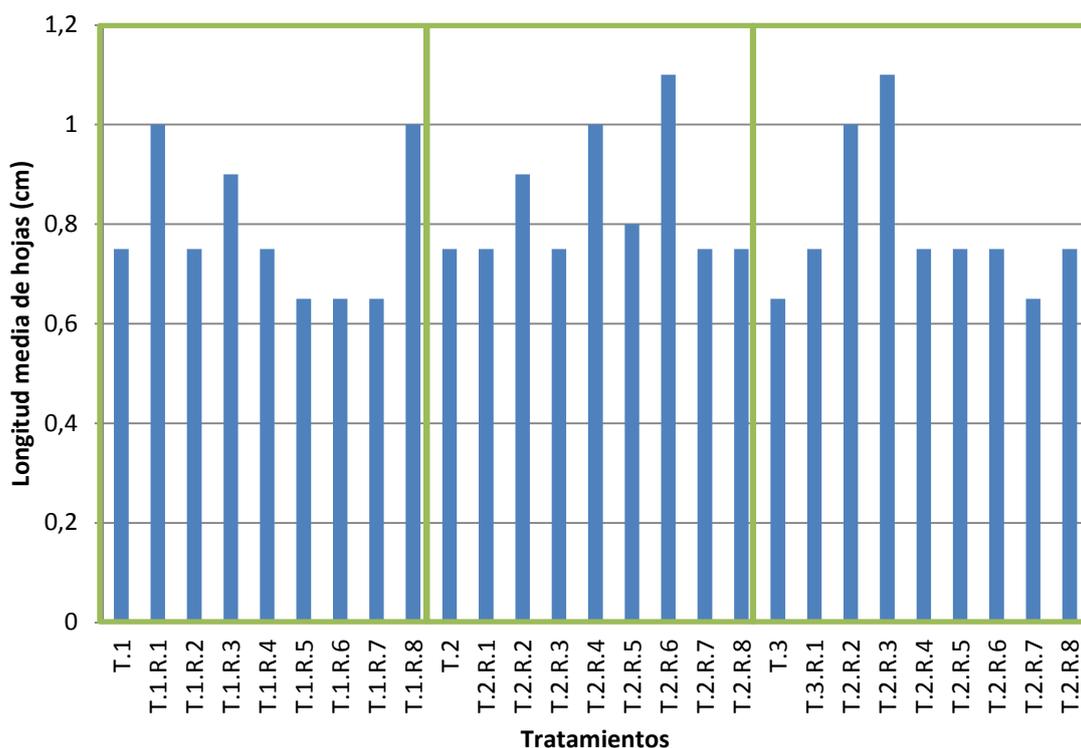


Figura 14. Variación de longitud media hojas pre trasplante

3.1.1.5 Longitud máxima de hojas, día 0

Como se puede observar en la Figura 15, los resultados de longitud máxima de hojas difieren entre sujetos de experimentación. Teniendo en función al análisis estadístico descriptivo de la Tabla 10. Una desviación estándar de 0,48, El promedio de los resultados es de 0,967 cm, con un máximo de 1 cm y un mínimo de 0,9 cm.

Tabla 10.

Resumen de análisis estadístico descriptivo

	N	Mínimo	Máximo	Media		Desviación estándar
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error estándar	Estadístico
Longitud máxima de hojas (cm)	27	,90	1,00	,9667	,00925	,04804

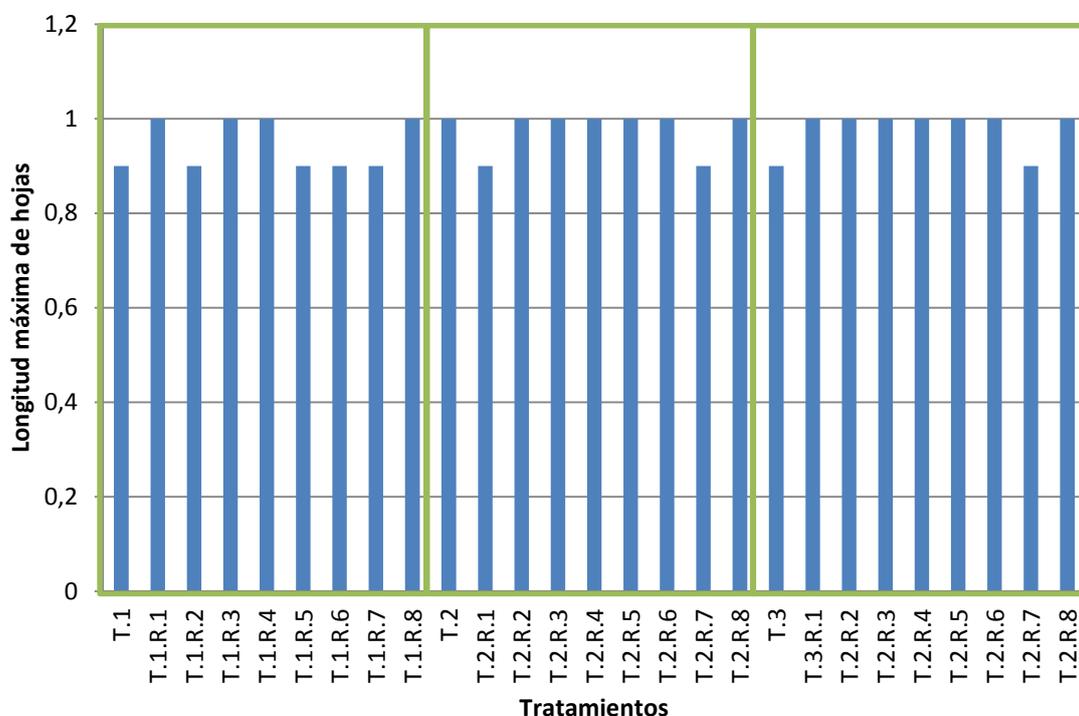


Figura 15. Variación de longitud máxima de hojas pre trasplante

A continuación en las Tablas 11 y 12, se presentan los resultados del análisis de varianza y test Tukey para los resultados del análisis físico de los sujetos experimentales al día 0.

Tabla 11.

Resultados análisis de varianza

Resumen ANOVA			
VARIABLES		F	Sig.
Altura del tallo (cm)	Entre grupos	,143	,868*
Peso (g)	Entre grupos	,160	,853*
Cantidad de hojas (#)	Entre grupos	,160	,853*
Longitud media de hojas (cm)	Entre grupos	,331	,721*
Longitud máxima de hojas (cm)	Entre grupos	1,500	,243*

Nota: (*) Significancia asintótica >0,05; Sig (Significancia asintótica)

Tabla 12.

Resultados test Tukey de comparaciones múltiples

Resumen test TUKEY					
Variable	(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Altura del tallo (cm)	1,00	2,00	-,02222	,04801	,889*
		3,00	,00000	,04801	1,000*
	2,00	1,00	,02222	,04801	,889*
		3,00	,02222	,04801	,889*
	3,00	1,00	,00000	,04801	1,000*
		2,00	-,02222	,04801	,889*
Peso (g)	1,00	2,00	,00000	,00454	1,000*
		3,00	,00222	,00454	,877*
	2,00	1,00	,00000	,00454	1,000*
		3,00	,00222	,00454	,877*
	3,00	1,00	-,00222	,00454	,877*
		2,00	-,00222	,00454	,877*
	1,00	2,00	,00000	,22680	1,000*

Cantidad de hojas (#)		3,00	,11111	,22680	,877*
	2,00	1,00	,00000	,22680	1,000*
		3,00	,11111	,22680	,877*
	3,00	1,00	-,11111	,22680	,877*
		2,00	-,11111	,22680	,877*
	Longitud media de hojas (cm)	1,00	2,00	-,05000	,06736
		3,00	-,00556	,06736	,996*
2,00		1,00	,05000	,06736	,741*
		3,00	,04444	,06736	,789*
3,00		1,00	,00556	,06736	,996*
		2,00	-,04444	,06736	,789*
Longitud máxima de hojas (cm)	1,00	2,00	-,03333	,02222	,309*
		3,00	-,03333	,02222	,309*
	2,00	1,00	,03333	,02222	,309*
		3,00	,00000	,02222	1,000*
	3,00	1,00	,03333	,02222	,309*
		2,00	,00000	,02222	1,000*

Nota: (*) Significancia asintótica >0,05; Sig (Significancia asintótica)

A pesar de que en las anteriores Figuras 11-15 los resultados obtenidos entre sujetos de experimentación son distintos, es necesario realizar un análisis de varianza Tabla y test de Tukey para corroborar lo mencionado.

En las Tablas 11 y 12 se presentan los resultados de significancia asintótica mayores que superan valores de 0,05. No existen diferencias estadísticamente significativas de resultados entre sujetos de experimentación y tratamientos (Alea, 2000, p.80). Esto quiere decir, que las 27 plantas al día 0 o pre trasplante son desde el punto de vista morfológico similares en alturas de tallo, peso, cantidad de hojas, longitud media de hojas y longitud máxima de hojas. (Müller, 2000). Permitiendo obtener un contraste significativo de efectos del contaminante tras 30 días de experimentación a distintas concentraciones de ozono troposférico.

3.2 Fase 2: Monitoreo

3.2.1 Análisis Físico de los sujetos experimentales

A través de los resultados de monitoreo de cada variable en las Figuras 16-19. Se observa que el Tratamiento 1 (color rojo), es el que lleva un desarrollo de biomasa superior en comparación con los Tratamientos 2 (color azul) y 3 (color anaranjado) durante los 28 días de monitoreo, ya que su altura de tallo, cantidad de hojas, longitud media y máxima de hojas son mayores a los otros tratamientos (Ramírez, 2006, p. 206.). Esto significa que la presencia del contaminante en los Tratamientos 2 y 3 genera un efecto que inhibe el crecimiento vegetal (Debaje, 2014). Comparando los Tratamientos 2 y 3 el crecimiento de la planta es inversamente proporcional a la cantidad de O₃ presente en el aire (Tai, Val Martin y Heald, 2014). Dicha afirmación, se representa en otros estudios por ejemplo en China investigadores observaron pérdidas en producción de cultivos de trigo de 6.4 a 14.9% y 14.8 a 23.0%, debido al aumento de concentraciones de ozono troposférico, la mayor pérdida se da en una región de China mayor altura, es decir donde hay más presencia de contaminante (Feng, Hu, Wang, Jiang y Liu, 2015).

Sin embargo, las variaciones en el desarrollo de biomasa suceden a partir de la semana 2. Ya que si observamos las Tablas 13-16. El test de Tukey de comparaciones múltiples indica de acuerdo a los valores de significancia, que los resultados de los Tratamientos 2 y 3 son similares hasta el día 7 y diferentes del Tratamiento 1 (Alea, 2000, p.80). Es probable que los resultados similares de reducción de biomasa observados en la primera semana, se deban a la edad de las plantas (Grantz y Yang, 2000). Es decir, que no importa que ambos tratamientos tengan altas o bajas concentraciones de ozono el efecto va a ser casi el mismo debido a que las plantas son relativamente jóvenes (Karlsson, et al., 2004). En los últimos años, investigadores cubanos estudiaron los efectos del ozono troposférico en ajo y tabaco, dentro de sus conclusiones aseveran que el grado de incidencia del O₃ es directamente proporcional a la edad de la planta (Andreu, Cupull, Pérez y Morales, 2012).

Debido a esto, es que para los días comprendidos entre la segunda y tercera semana, ya existen diferencias estadísticamente significativas entre resultados. Cabe resaltar que para la última semana, se evidencia nuevamente que existe similitud en resultados de altura de tallo y cantidad de hojas entre los Tratamientos 2 y 3, con valores de significancia asintótica mayores a 0,05 (Alea, 2000, p.80). Debido a esto se realiza un último monitoreo para el día 30 post cosecha.

3.2.1.1 Monitoreo altura de tallo día 1 al 28

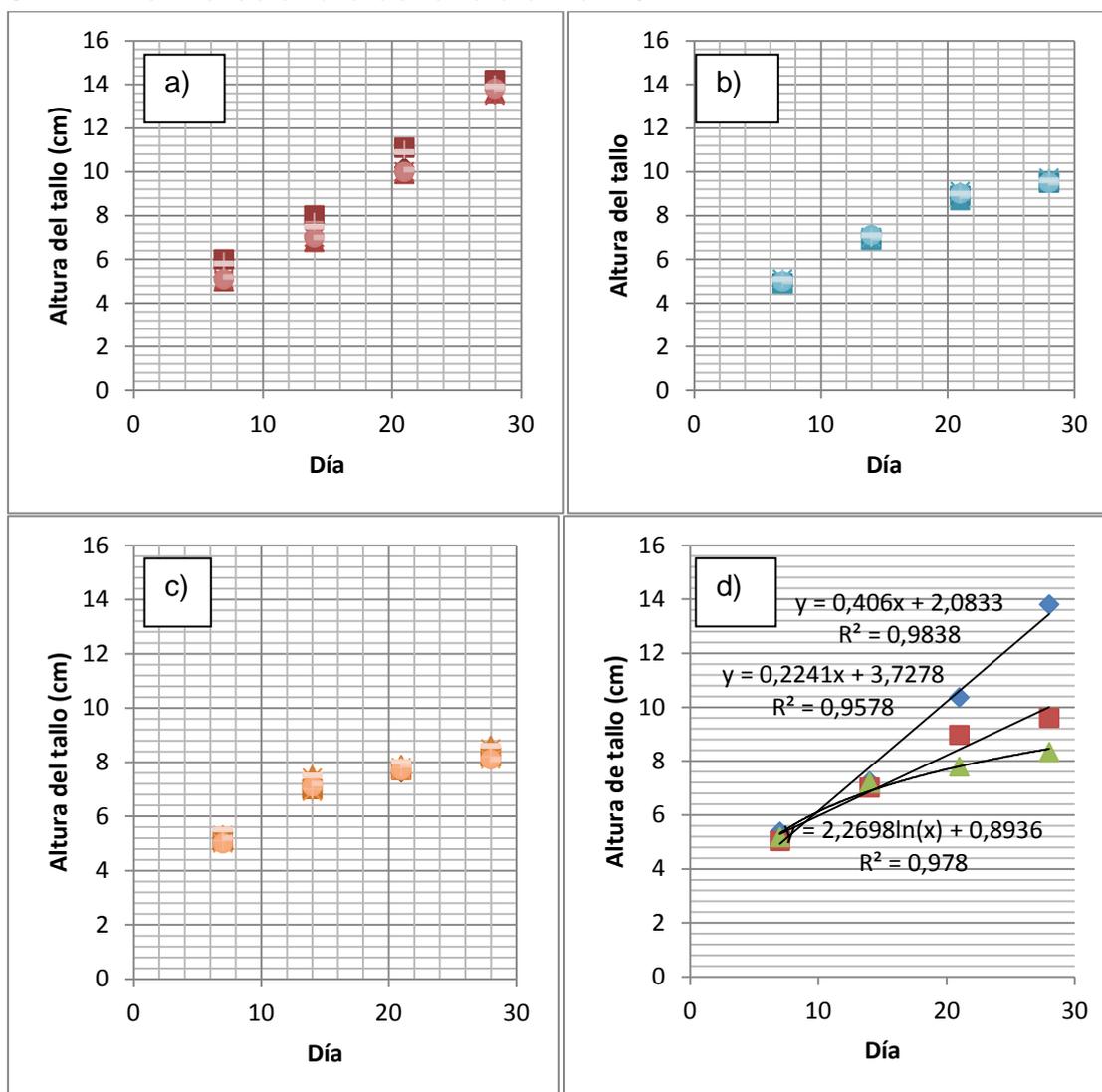


Figura 16. Variación de altura de tallo durante 30 días

- a) Réplicas del Tratamiento 1
- b) Réplicas del Tratamiento 2
- c) Réplicas del Tratamiento 3
- d) Promedio de réplicas de cada tratamiento

Tabla 13.

Resultados de comparaciones múltiples, mediante HSD Tukey

Comparaciones múltiples							
	Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Altura del tallo (cm) día 7	1,00	2,00	1,0000*	,22680	,001	,4336	1,5664
		3,00	1,1111*	,22680	,000	,5447	1,6775
	2,00	1,00	-1,0000*	,22680	,001	-1,5664	-,4336
		3,00	,1111	,22680	,877*	-,4553	,6775
	3,00	1,00	-1,1111*	,22680	,000	-1,6775	-,5447
		2,00	-,1111	,22680	,877*	-,6775	,4553
Altura del tallo (cm) día 14	1,00	2,00	4,0000*	,26450	,000	3,3395	4,6605
		3,00	4,1111*	,26450	,000	3,4506	4,7716
	2,00	1,00	-4,0000*	,26450	,000	-4,6605	-3,3395
		3,00	,1111	,26450	,908*	-,5494	,7716
	3,00	1,00	-4,1111*	,26450	,000	-4,7716	-3,4506
		2,00	-,1111	,26450	,908*	-,7716	,5494
Altura del tallo (cm) día 21	1,00	2,00	8,1111*	,61195	,000	6,5829	9,6393
		3,00	9,5556*	,61195	,000	8,0273	11,0838
	2,00	1,00	-8,1111*	,61195	,000	-9,6393	-6,5829
		3,00	1,4444	,61195	,066*	-,0838	2,9727
	3,00	1,00	-9,5556*	,61195	,000	-11,0838	-8,0273
		2,00	-1,4444	,61195	,066*	-2,9727	,0838
Altura del tallo (cm) día 28	1,00	2,00	12,4444*	,97605	,000	10,0070	14,8819
		3,00	14,7778*	,97605	,000	12,3403	17,2153
	2,00	1,00	-12,4444*	,97605	,000	-14,8819	-10,0070
		3,00	2,3333	,97605	,062*	-,1041	4,7708
	3,00	1,00	-14,7778*	,97605	,000	-17,2153	-12,3403
		2,00	-2,3333	,97605	,062*	-4,7708	,1041

Nota: (*) Significancia asintótica >0,05; Sig (Significancia asintótica)

3.2.1.2 Monitoreo cantidad de hojas día 1 al 28

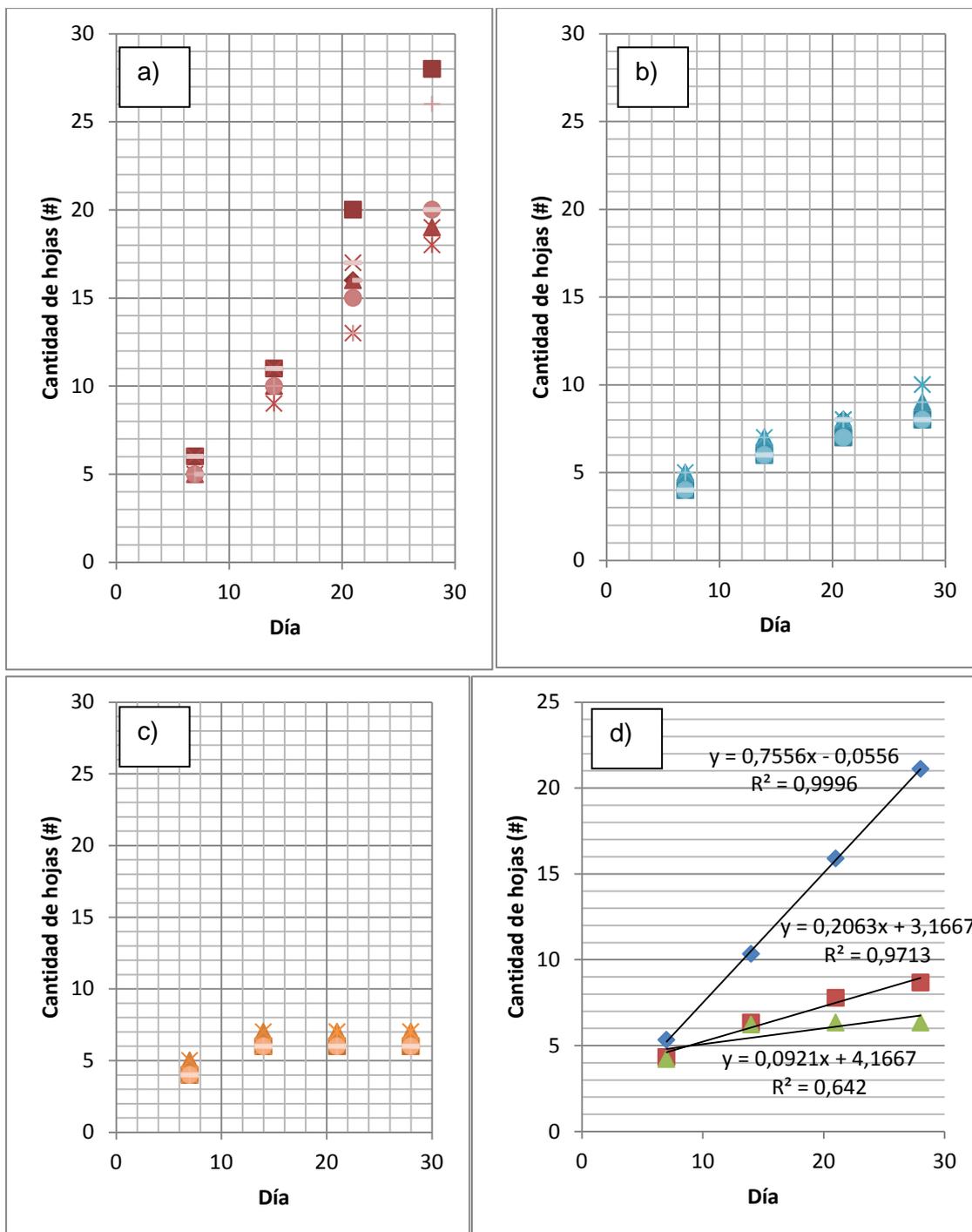


Figura 17. Variación cantidad de hojas durante 30 días

- a) Réplicas del Tratamiento 1
- b) Réplicas del Tratamiento 2
- c) Réplicas del Tratamiento 3
- d) Promedio de réplicas de cada tratamiento

Tabla 14.

Resultados de comparaciones múltiples, mediante HSD Tukey

Comparaciones múltiples							
	Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
Cantidad de hojas (#) día 7	1,00	2,00	1,00000	,22680	,001	,4336	1,5664
		3,00	1,11111	,22680	,000	,5447	1,6775
	2,00	1,00	-1,00000	,22680	,001	-1,5664	-,4336
		3,00	,11111	,22680	,877*	-,4553	,6775
	3,00	1,00	-1,11111	,22680	,000	-1,6775	-,5447
		2,00	-,11111	,22680	,877*	-,6775	,4553
Cantidad de hojas (#) día 14	1,00	2,00	4,00000	,26450	,000	3,3395	4,6605
		3,00	4,11111	,26450	,000	3,4506	4,7716
	2,00	1,00	-4,00000	,26450	,000	-4,6605	-3,3395
		3,00	,11111	,26450	,908*	-,5494	,7716
	3,00	1,00	-4,11111	,26450	,000	-4,7716	-3,4506
		2,00	-,11111	,26450	,908*	-,7716	,5494
Cantidad de hojas (#) día 21	1,00	2,00	8,11111	,61195	,000	6,5829	9,6393
		3,00	9,55556	,61195	,000	8,0273	11,0838
	2,00	1,00	-8,11111	,61195	,000	-9,6393	-6,5829
		3,00	1,44444	,61195	,066*	-,0838	2,9727
	3,00	1,00	-9,55556	,61195	,000	-11,0838	-8,0273
		2,00	-1,44444	,61195	,066*	-2,9727	,0838
Cantidad de hojas (#) día 28	1,00	2,00	12,44444	,97605	,000	10,0070	14,8819
		3,00	14,77778	,97605	,000	12,3403	17,2153
	2,00	1,00	-12,44444	,97605	,000	-14,8819	-10,0070
		3,00	2,33333	,97605	,062*	-,1041	4,7708
	3,00	1,00	-14,77778	,97605	,000	-17,2153	-12,3403
		2,00	-2,33333	,97605	,062*	-4,7708	,1041

Nota: (*) Significancia asintótica >0,05; Sig (Significancia asintótica)

3.2.1.3 Monitoreo Longitud media de hojas día 1 al 28

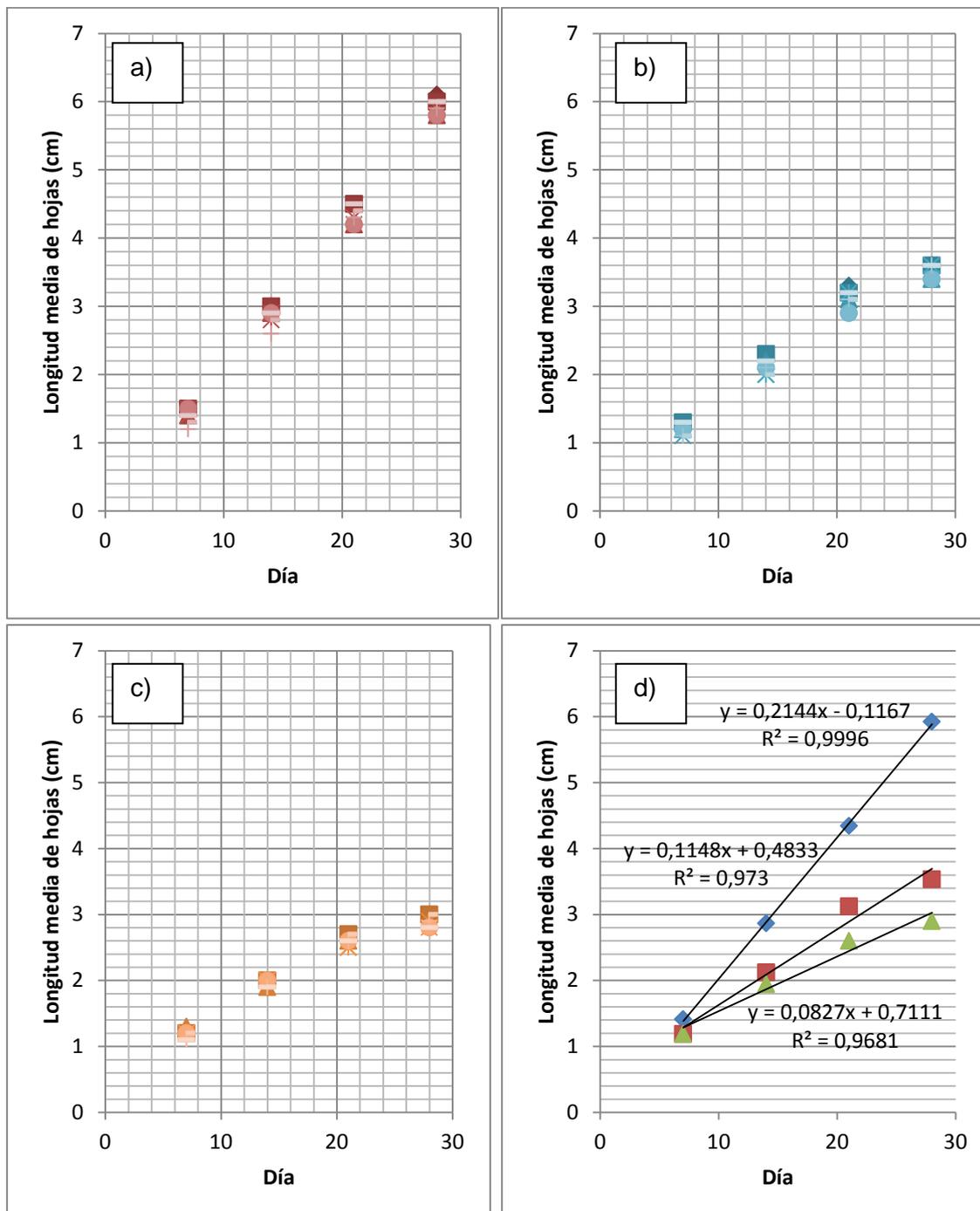


Figura 18. Variación cantidad de longitud media de hojas durante 30 días

- a) Réplicas del Tratamiento 1
- b) Réplicas del Tratamiento 2
- c) Réplicas del Tratamiento 3
- d) Promedio de réplicas de cada tratamiento

Tabla 15.

Resultados de comparaciones múltiples, mediante HSD Tukey

Comparaciones múltiples							
	Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
Longitud media de hojas (cm) día 7	1,00	2,00	,22222	,03928	,000	,1241	,3203
		3,00	,22222	,03928	,000	,1241	,3203
	2,00	1,00	-,22222	,03928	,000	-,3203	-,1241
		3,00	,00000	,03928	1,000*	-,0981	,0981
	3,00	1,00	-,22222	,03928	,000	-,3203	-,1241
		2,00	,00000	,03928	1,000*	-,0981	,0981
Longitud media de hojas (cm) día 14	1,00	2,00	,74444	,04692	,000	,6273	,8616
		3,00	,92222	,04692	,000	,8050	1,0394
	2,00	1,00	-,74444	,04692	,000	-,8616	-,6273
		3,00	,17778	,04692	,002	,0606	,2950
	3,00	1,00	-,92222	,04692	,000	-1,0394	-,8050
		2,00	-,17778	,04692	,002	-,2950	-,0606
Longitud media de hojas (cm) día 21	1,00	2,00	1,22222	,05251	,000	1,0911	1,3534
		3,00	1,74444	,05251	,000	1,6133	1,8756
	2,00	1,00	-1,22222	,05251	,000	-1,3534	-1,0911
		3,00	,52222	,05251	,000	,3911	,6534
	3,00	1,00	-1,74444	,05251	,000	-1,8756	-1,6133
		2,00	-,52222	,05251	,000	-,6534	-,3911
Longitud media de hojas (cm) día 28	1,00	2,00	2,38889	,04670	,000	2,2723	2,5055
		3,00	3,02222	,04670	,000	2,9056	3,1389
	2,00	1,00	-2,38889	,04670	,000	-2,5055	-2,2723
		3,00	,63333	,04670	,000	,5167	,7500
	3,00	1,00	-3,02222	,04670	,000	-3,1389	-2,9056
		2,00	-,63333	,04670	,000	-,7500	-,5167

Nota: (*) Significancia asintótica >0,05; Sig (Significancia asintótica)

3.2.1.4 Monitoreo longitud máxima de hojas día 1 al 28

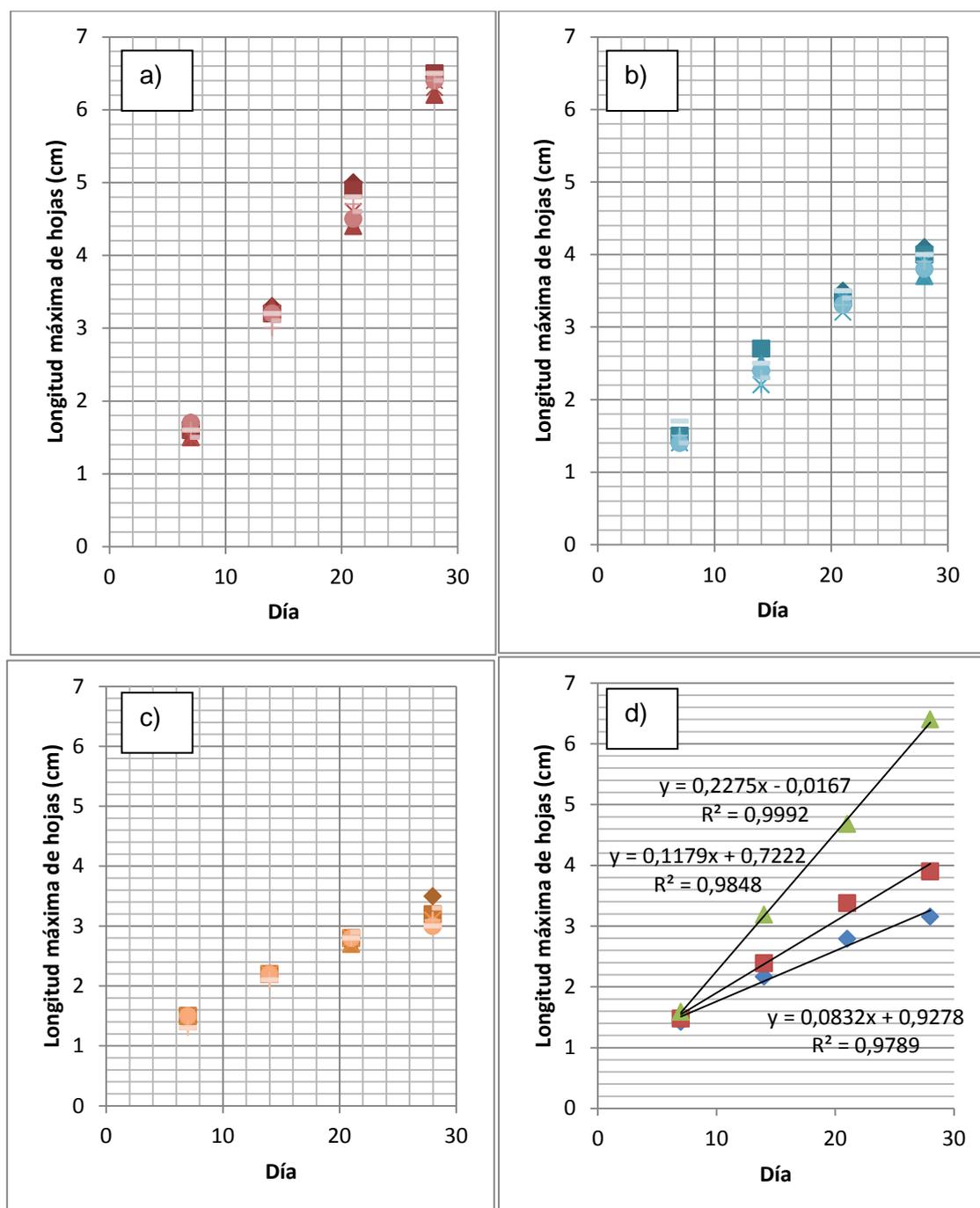


Figura 19. Variación cantidad de longitud máxima de hojas, durante 30 días

- a) Réplicas del Tratamiento 1
- b) Réplicas del Tratamiento 2
- c) Réplicas del Tratamiento 3
- d) Promedio de réplicas de cada tratamiento

Tabla 16.

Resultados de comparaciones múltiples, mediante HSD Tukey

Comparaciones múltiples							
	Tratamientos		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
Longitud máxima de hojas (cm) día 7	1,00	2,00	,11111	,04303	,042	,0036	,2186
		3,00	,16667	,04303	,002	,0592	,2741
	2,00	1,00	-,11111	,04303	,042	-,2186	-,0036
		3,00	,05556	,04303	,414*	-,0519	,1630
	3,00	1,00	-,16667	,04303	,002	-,2741	-,0592
		2,00	-,05556	,04303	,414*	-,1630	,0519
Longitud máxima de hojas (cm) día 14	1,00	2,00	,80000	,05251	,000	,6689	,9311
		3,00	1,02222	,05251	,000	,8911	1,1534
	2,00	1,00	-,80000	,05251	,000	-,9311	-,6689
		3,00	,22222	,05251	,001	,0911	,3534
	3,00	1,00	-1,02222	,05251	,000	-1,1534	-,8911
		2,00	-,22222	,05251	,001	-,3534	-,0911
Longitud máxima de hojas (cm) día 21	1,00	2,00	1,30000	,06086	,000	1,1480	1,4520
		3,00	1,88889	,06086	,000	1,7369	2,0409
	2,00	1,00	-1,30000	,06086	,000	-1,4520	-1,1480
		3,00	,58889	,06086	,000	,4369	,7409
	3,00	1,00	-1,88889	,06086	,000	-2,0409	-1,7369
		2,00	-,58889	,06086	,000	-,7409	-,4369
Longitud máxima de hojas (cm) día 28	1,00	2,00	2,50000	,06399	,000	2,3402	2,6598
		3,00	3,24444	,06399	,000	3,0846	3,4042
	2,00	1,00	-2,50000	,06399	,000	-2,6598	-2,3402
		3,00	,74444	,06399	,000	,5846	,9042
	3,00	1,00	-3,24444	,06399	,000	-3,4042	-3,0846
		2,00	-,74444	,06399	,000	-,9042	-,5846

Nota: (*) Significancia asintótica >0,05; Sig (Significancia asintótica)

3.2.1.5 Altura de tallo día 30

Como se puede observar en la Figura 20, el mayor crecimiento de la planta se encuentra en el Tratamiento 1 o testigo y el menor en el Tratamiento 3. Desde el análisis descriptivo de la Tabla 17. Se tiene una desviación estándar de 2,33, La altura media es de 10,57 cm, con un máximo de 14,20 cm y un mínimo de 8,10 cm.

Tabla 17.

Resumen resultados estadísticos descriptivos día 30

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media		Desviación estándar
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error estándar	Estadístico
Altura del tallo (cm) - día 30	27	6,10	8,10	14,20	10,5741	,46020	2,39126

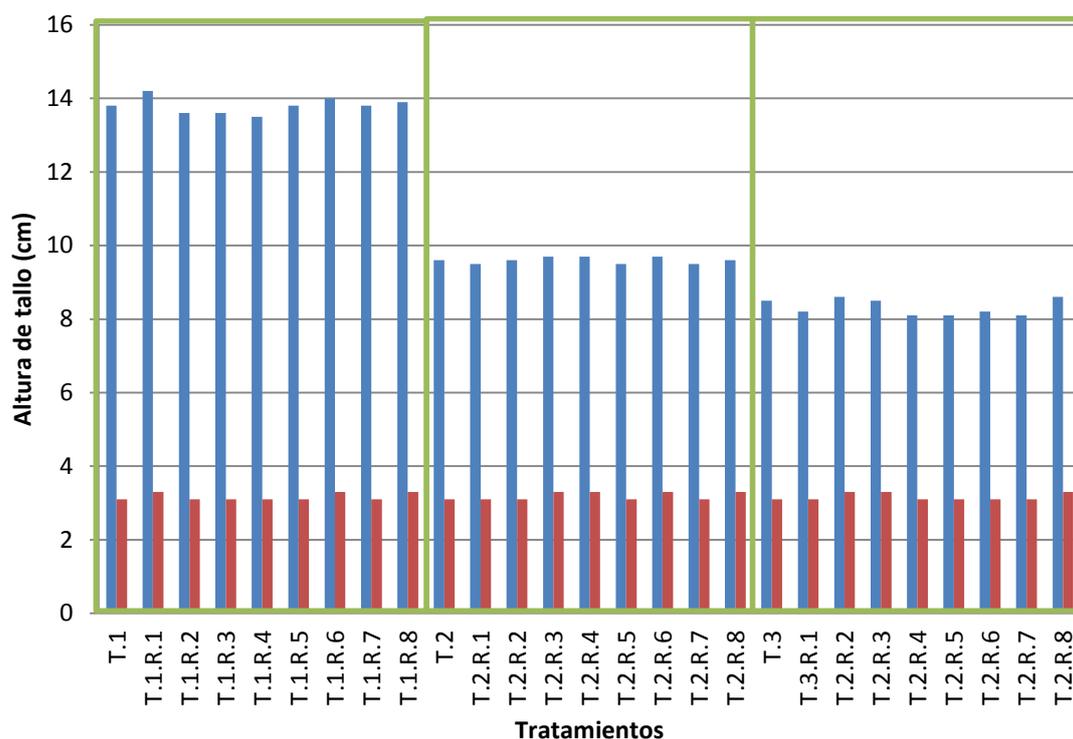


Figura 20. Variación de altura de tallo entre sujetos de experimentación sujetos de experimentación, en el día 0 pre trasplante (color rojo) y el día 30 cosecha (color azul).

3.2.1.6 Peso día 30

Como se puede observar en la Figura 21, el mayor desarrollo de biomasa o peso se encuentra en el Tratamiento 1 o testigo y el menor en el Tratamiento 3. Desde el análisis descriptivo de la Tabla 18. Se tiene una desviación estándar de 2,105, El peso promedio es de 1,96 g, con un máximo de 7,20 g y un mínimo de 0,36 g.

Tabla 18.

Resumen resultados estadísticos descriptivos día 30

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media		Desviación estándar
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error estándar	Estadístico
	co	co	co	co	co		
Peso (g) - día 30	27	6,84	,36	7,20	1,9633	,40517	2,10532

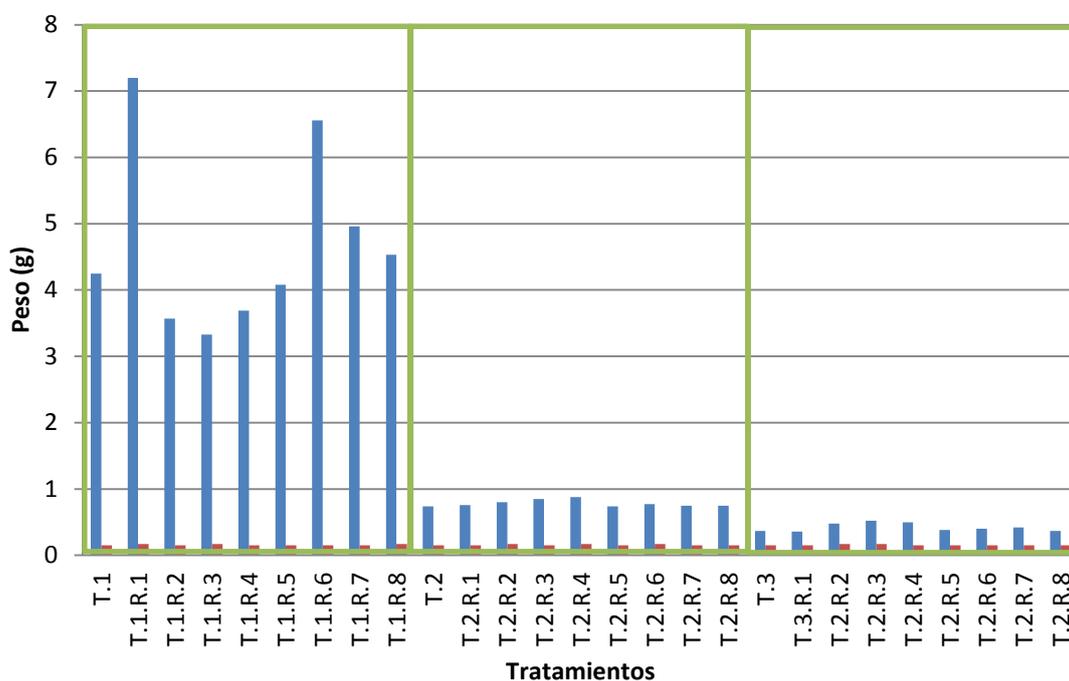


Figura 21. Variación de peso entre sujetos de experimentación sujetos de experimentación, en el día 0 pre trasplante (color rojo) y el día 30 cosecha (color azul).

3.2.1.7 Cantidad de hojas, día 30

Como se puede observar en la Figura 22, la mayor cantidad de hojas se encuentra en el Tratamiento 1 o testigo y el menor en el Tratamiento 3. Desde análisis descriptivo de la Tabla 19. Se tiene una desviación estándar de 6,90. La cantidad promedio es de 12,04, con un máximo de 28 y un mínimo de 6.

Tabla 19.

Resumen resultados estadísticos descriptivos día 30

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media		Desviación estándar
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error estándar	Estadístico
Cantidad de hojas (#) - día 30	27	22,00	6,00	28,00	12,0370	1,32850	6,90307

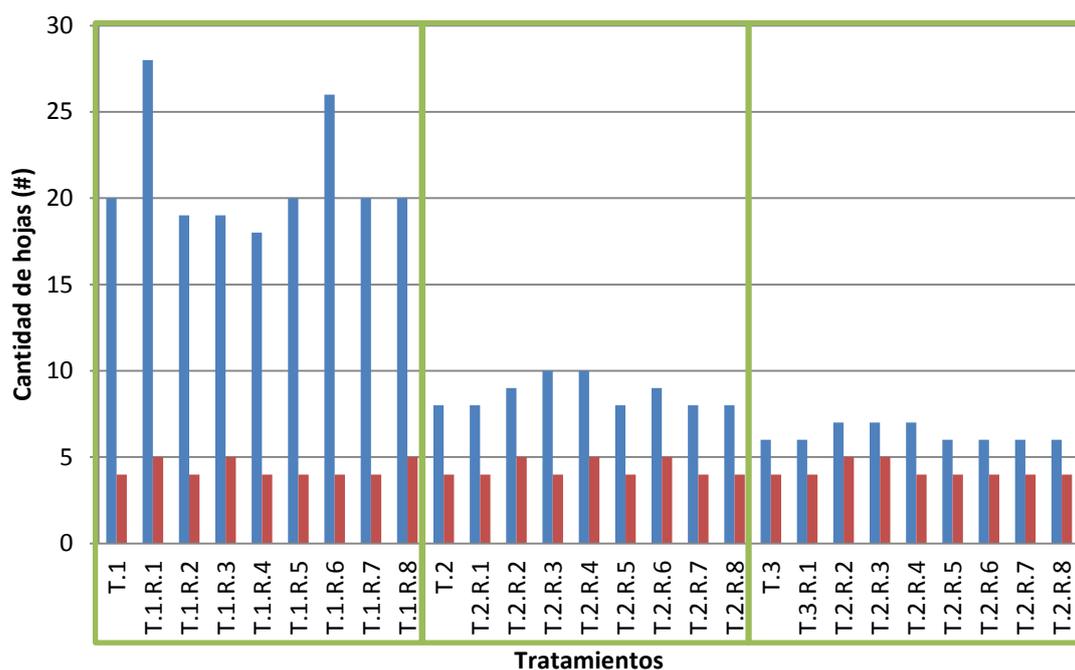


Figura 22. Variación de cantidad de hojas entre sujetos de experimentación sujetos de experimentación, en el día 0 pre trasplante (color rojo) y el día 30 cosecha (color azul).

3.2.1.8 Longitud media de hojas, día 30

Como se puede observar en la Figura 23, la longitud media de las hojas de mayor valor se encuentra en el Tratamiento 1 o testigo y la menor en el Tratamiento 3. Desde el análisis descriptivo de la Tabla 20. Se tiene una desviación estándar de 1,278, El promedio de esta variable es de 4,02 cm, con un máximo de 6,10 cm y un mínimo de 2,80 cm.

Tabla 20.

Resumen resultados estadísticos descriptivos día 30

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media		Desviación estándar
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error estándar	Estadístico
Longitud media de hojas (cm) - día 30	27	3,30	2,80	6,10	4,0296	,24598	1,27816

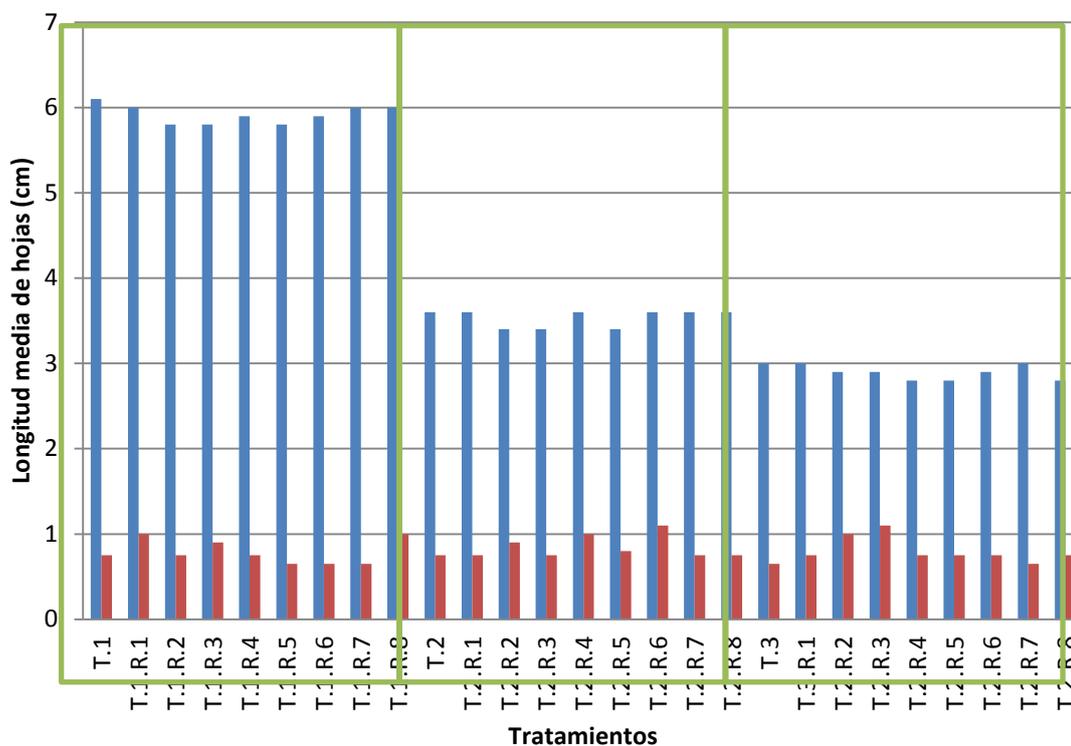


Figura 23. Variación de longitud media de hojas entre sujetos de experimentación sujetos de experimentación, en el día 0 pre trasplante (color rojo) y el día 30 cosecha (color azul).

3.2.1.9 Longitud máxima de hojas, día 30

Como se puede observar en la Figura 24, la longitud máxima de las hojas de mayor valor se encuentra en el Tratamiento 1 o testigo y la menor en el Tratamiento 3. Desde análisis descriptivo de la Tabla 21. Se tiene una desviación estándar de 1,42, El promedio de esta variable es de 4,485 cm, con un máximo de 6,50 cm y un mínimo de 3 cm.

Tabla 21.

Resumen resultados estadísticos descriptivos día 30

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media		Desviación estándar
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error estándar	Estadístico
Longitud máxima de hojas (cm) - día 30	27	3,50	3,00	6,50	4,4852	,27330	1,42010

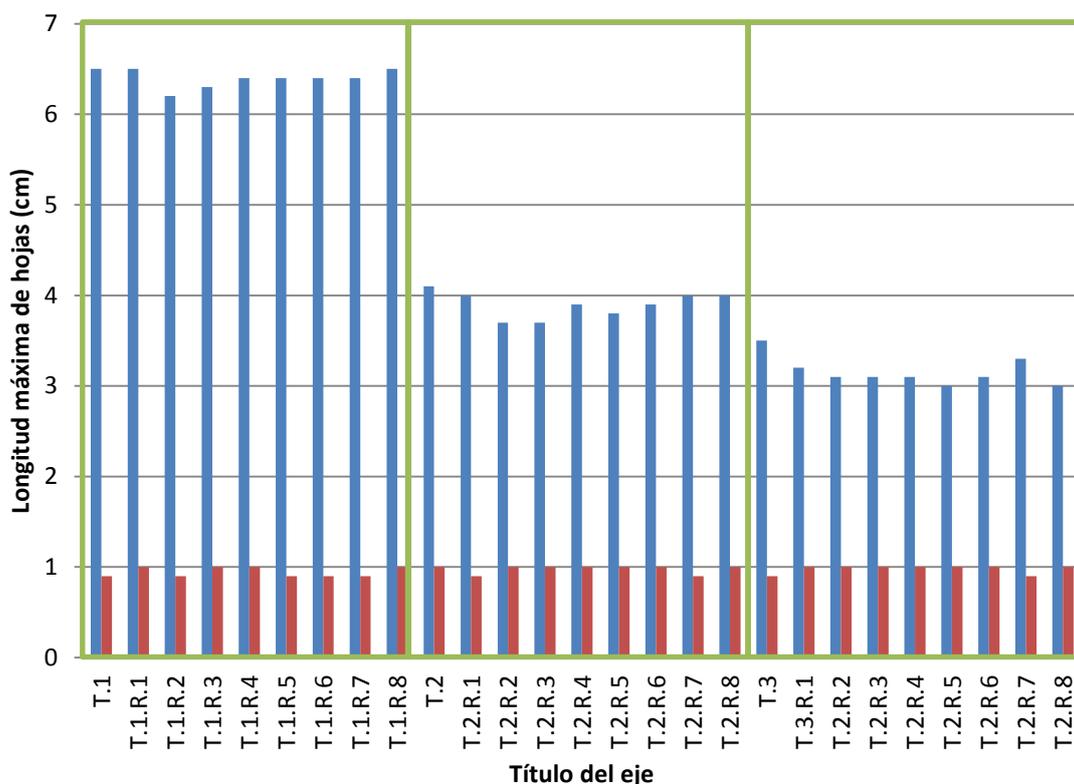


Figura 24. Variación de longitud máxima de hojas entre sujetos de experimentación sujetos de experimentación, en el día 0 pre trasplante (color rojo) y el día 30 cosecha (color azul).

Tabla 22.

Resumen resultados análisis de varianza

Resumen ANOVA			
Variabes		F	Sig.
Altura del tallo (cm)	Entre grupos	2123,181	,000
Peso (g)	Entre grupos	82,613	,000
Cantidad de hojas (#)	Entre grupos	132,501	,000
Longitud media de hojas (cm)	Entre grupos	90,307	,000
Longitud máxima de hojas (cm)	Entre grupos	1410,834	,000

Nota: (*) Significancia asintótica >0,05; Sig (Significancia asintótica)

A partir de los resultados de ANOVA para cada factor, se determina que existen diferencias estadísticamente significativas entre los resultados al tener valores de significancia asintótica menores a 0,05 (Alea, 2000, p.80). Sin embargo, para conocer donde se dan estas diferencias estadísticamente significativas se procede a realizar el test de Tukey en la siguiente Tabla.

Tabla 23.

Análisis Tukey variables controladas pre trasplante

Variable	Resumen test TUKEY				
	(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Altura del tallo (cm)	1,00	2,00	4,20000*	,08796	,000
		3,00	5,47778*	,08796	,000
	2,00	1,00	-4,20000*	,08796	,000
		3,00	1,27778*	,08796	,062*
	3,00	1,00	-5,47778*	,08796	,000
		2,00	-1,27778*	,08796	,062*
Peso (g)	1,00	2,00	3,90333*	,36788	,000
		3,00	4,26333*	,36788	,000
	2,00	1,00	-3,90333*	,36788	,000

		3,00	,36000	,36788	,597*
	3,00	1,00	-4,26333*	,36788	,000
		2,00	-,36000	,36788	,597*
Cantidad de hojas (#)	1,00	2,00	12,44444*	,97605	,000
		3,00	14,77778*	,97605	,000
	2,00	1,00	-12,44444*	,97605	,000
		3,00	2,33333	,97605	,062*
	3,00	1,00	-14,77778*	,97605	,000
		2,00	-2,33333	,97605	,062*
Longitud media de hojas (cm)	1,00	2,00	2,12222*	,21478	,000
		3,00	2,75556*	,21478	,000
	2,00	1,00	-2,12222*	,21478	,000
		3,00	,63333*	,21478	,019
	3,00	1,00	-2,75556*	,21478	,000
		2,00	-,63333*	,21478	,019
Longitud máxima de hojas (cm)	1,00	2,00	2,50000*	,06399	,000
		3,00	3,24444*	,06399	,000
	2,00	1,00	-2,50000*	,06399	,000
		3,00	,74444*	,06399	,000
	3,00	1,00	-3,24444*	,06399	,000
		2,00	-,74444*	,06399	,000

Nota: (*) Significancia asintótica >0,05; Sig (Significancia asintótica)

De acuerdo a la Tabla 23, se presentan los resultados de significancia asintótica que no superan valores de 0,05, entre el Tratamiento 1 con el 2 y el 3. Puesto que existen valores de significancia mayores a 0,05 entre el Tratamiento 2 y 3, son similares (Alea, 2000, p.80).

Estos valores de significancia se han mantenido desde la cuarta semana de monitoreo. Dicha igualdad entre tratamientos radica en los resultados de altura de tallo, peso y cantidad de hojas, en otras palabras desarrollo de biomasa. Si bien es cierto anteriormente se mencionó, que los efectos del ozono son directamente proporcionales a la edad de la planta (Andreu, et al., 2012).

Como se observa en la Figura 25, podría haber un umbral en la edad de la planta donde el efecto del ozono se dará con la misma intensidad sin importar

la concentración, o un umbral de concentración acumulada de ozono que no generará más efectos (Sun, Feng y Ort, 2014).

De ser el caso, el desarrollo de biomasa, ya no sería una variable a estudiar para diferenciar el efecto a distintas concentraciones. Y se podría estudiar las diferencias a partir de un análisis comparativo de las hojas. Pues si observamos el análisis de Tukey, nos indica que las diferencias estadísticamente significativas se encuentran en la longitud media y máxima de hojas (Alea, 2000, p.80).

Además en la Figura 25, también se puede apreciar manchas necróticas. Un efecto a nivel del tejido foliar desde el ápice hacia el centro de la hoja del Tratamiento 3, a diferencia del Tratamiento 2 que no presenta tal característica, el mencionado efecto se ha comprobado realizando análisis a nivel microscópico en otras investigaciones sobre la incidencia del ozono en la anatomía foliar (Döring et al., 2014).

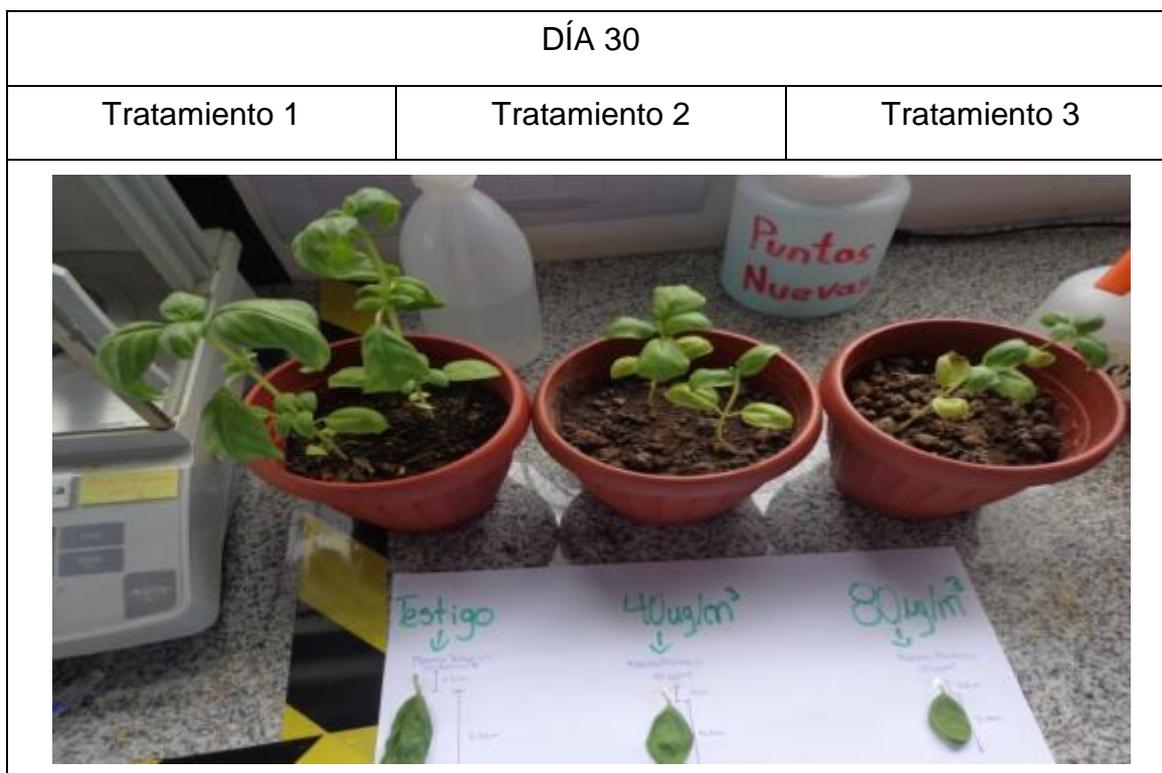


Figura 25. Tratamientos al día 30

3.2.2 Análisis Microscópico de estructura celular en hojas, post cosecha

De acuerdo a la Figura 26, se puede apreciar el efecto del contaminante en las células de las hojas de cada tratamiento en distintos lentes. Sin embargo, para estudiar la incidencia del O_3 se compara solo las imágenes al microscopio en 40x, donde podemos ver el efecto en dos partes: el daño en la estructura de la pared celular y la actividad de los estomas.

En el corte del Tratamiento 1 o testigo, se puede observar que la estructura a nivel celular que corresponde a la superficie abaxial de la hoja, coincide con la caracterización anatómica realizada a una especie del género *Ocimum* por el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas de Cuba, ya que se tiene los 3 principales componentes del corte realizado: células epidérmicas en forma ondulada (CE), estoma (Es) y la glándula. (Sam, Luz y Barroso, 2002). En los componentes, se ha identificado paredes celulares, estomas abiertos y glándulas de distintos tamaños.

En cuestión de estomas, la principal diferencia entre los tratamientos, es la conductancia estomática que es inversamente proporcional a la concentración de O_3 (Maamar, Maatoug, Iriti, Dellal y Ait hammou, 2015). Si bien es cierto, la conductancia estomática puede estar ligada a condiciones ambientales, la apertura de estomas en menor proporción a las del testigo. Puede deberse a un comportamiento que realizan las plantas en presencia de gases diferentes como el O_3 , de los que normalmente absorben a manera de mecanismo de protección (Hartikainen et al., 2014). Cabe destacar, que actualmente existen 8 niveles para calificar el flujo estomático con respecto a la concentración acumulada de O_3 (Mills et al., 2011). Sin embargo, debido a la limitación de la metodología microscópica utilizada no se procede a diferenciar los el nivel de flujo estomático para los tratamientos.

Respecto a las paredes celulares, la comparación entre las imágenes de los 3 tratamientos indica pérdida de turgencia celular, a mayor concentración de ozono (Minas et al., 2014). Justificado por la forma de las paredes celulares flácidas y su degradación en el caso del Tratamiento 3, donde debido a esto se

observan orgánulos dispersos, mezclados con el floema. Dicho efecto, se debe al estrés oxidativo producido por el O_3 . Cuando ingresa por el estoma a la reacción con el medio acuoso, produciendo especies reactivas del oxígeno conocidas como ROS (Sierla, Waszczak, Vahisalu y Kangasjärvi, 2016), responsables de producir el mencionado estrés.

Los ROS pueden afectar tanto al estoma al ingreso, como a las células en el interior, ya que interfieren con el funcionamiento normal de enzimas como la rubisco y alteran el equilibrio iónico y metabólico, provocando daños en la permeabilidad de las membranas (Kangasjärvi y Kangasjärvi, 2014). Cabe destacar que las plantas por naturaleza sufren de estrés oxidativo, ya que absorben también oxígeno del ambiente, este estrés es regulado por el ácido ascórbico, un antioxidante de la planta, pero en presencia de ROS generados por el ozono, las concentraciones del ácido no son suficientes para contrarrestar los efectos del contaminante al 100% (Demidchik, 2015). Por esto, se presentan los síntomas antes mencionados. Así mismo, la generación de ácido ascórbico difiere entre plantas, de esta manera se puede aseverar que los efectos a nivel anatómico foliar pueden ser más incidentes en unas especies y en otras en menor proporción (Conklin y Barth, 2004, p.959-970). Teniendo como consecuencia final, la muerte celular (Faoro e Iriti, 2009). Por eso es que se observan cúmulos de materia alrededor de las imágenes de los Tratamientos 2 y 3. Sin embargo, aspectos como la concentración de ácido ascórbico y la muerte celular no se pudo estudiar en la presente tesis, debido a la limitación de reactivos para llevar a cabo las metodologías necesarias.

Finalmente, en base a los datos se puede sugerir que los efectos de reducción de biomasa, se ven explicados desde la relación directamente proporcional entre asimilación de carbono y la producción del mismo. La asimilación depende de la actividad estomática, si esta se ve reducida de acuerdo a los resultados microscópicos las no van a captar el CO_2 como normalmente lo harían. Esta afirmación se corrobora, con un estudio llevado en Europa donde identificaron como la presencia de ozono afecta la actividad estomática en plántulas del género *Fagus sylvatica*, reduciendo la conductancia estomática

(gs) en un 10-20% y por ende minorando la asimilación de CO₂ y la producción de biomasa (Hoshika, et al., 2014).

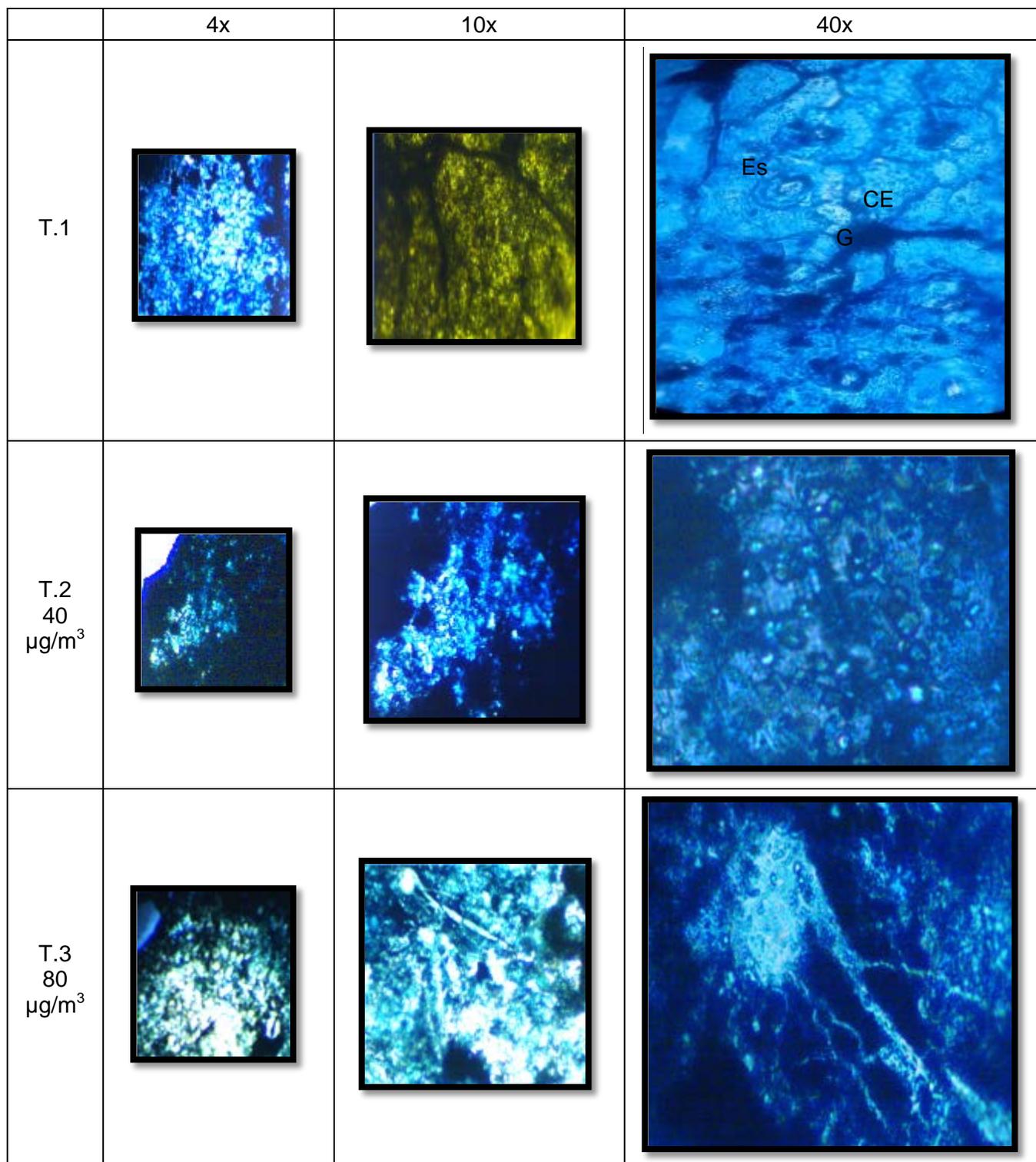


Figura 26. Variación de estructura celular y conductancia estomática

- a) Estoma(Es)
- b) Gránula (G)
- c) Estructura celular (CE)

3.2.3 Análisis de CO₂ captado:

En función a la Tabla 24 y los gráficos de la Figura 27, se observa que la captación de CO₂, es inversamente proporcional a la concentración de ozono. Premisa que concuerda con los anteriores análisis de monitoreo macro y microscópico de biomasa. De acuerdo al monitoreo de CO₂, se obtuvieron 6 funciones, de las cuales 3 corresponden a la cantidad de CO₂ captado y 3 al porcentaje de captación respecto a la concentración inicial.

En la gráfica de cantidad de CO₂ captado, se obtuvieron 3 relaciones: exponencial para el Tratamiento 1, polinómica de tercer grado para el Tratamiento 2 y polinómica de cuarto grado para el Tratamiento 3, con R² entre 0,91 y 1. Esto significa que entre los modelos elegidos explican entre 91 y 100% de los datos.

En la gráfica de porcentaje de captación de CO₂, se obtuvieron 3 relaciones: polinómica de cuarto orden para el Tratamiento 1, lineal para el Tratamiento 2 y logarítmica para el Tratamiento 3, con R² muy entre 0,93 y 0,97. Esto significa que entre los modelos elegidos explican entre 93 y 97% de los datos. Además el comportamiento de la curva en el Tratamiento 3, demuestra como la muerte celular mencionada en el análisis microscópico (Faoro e Iriti, 2009), debido a la alta concentración de ozono y la insuficiente cantidad de ácido ascórbico. Hace que la planta disponga de menos elementos para captar carbono y por ende el porcentaje de captación tiende a disminuir para el día 30.

Tabla 24.

Resumen de resultados obtenidos del análisis de CO₂ captado

Resultados	Concentración Inicial de CO ₂ (ppm), al ingreso de ozono	Concentración final CO ₂ al cabo de 8 horas (ppm)	CO ₂ captado por las plantas(ppm)	Porcentaje de CO ₂ captado por las plantas (%)
Tratamiento 1				
Día 5	406	360	46	11,33
Día 10	401	355	46	11,47
Día 15	402	350	52	12,94
Día 20	401	338	63	15,71
Día 25	400	325	75	18,75
Día 30	403	326	77	19,11
Tratamiento 2				
Día 5	406	361	45	11,08
Día 10	401	356	45	11,22
Día 15	402	354	48	11,94
Día 20	401	350	51	12,72
Día 25	400	348	52	13,00
Día 30	403	348	55	13,65
Tratamiento 3				
Día 5	406	361	45	11,08
Día 10	401	356	45	11,22
Día 15	402	355	47	11,69
Día 20	401	354	47	11,72
Día 25	400	352	48	12,00
Día 30	403	355	48	11,91

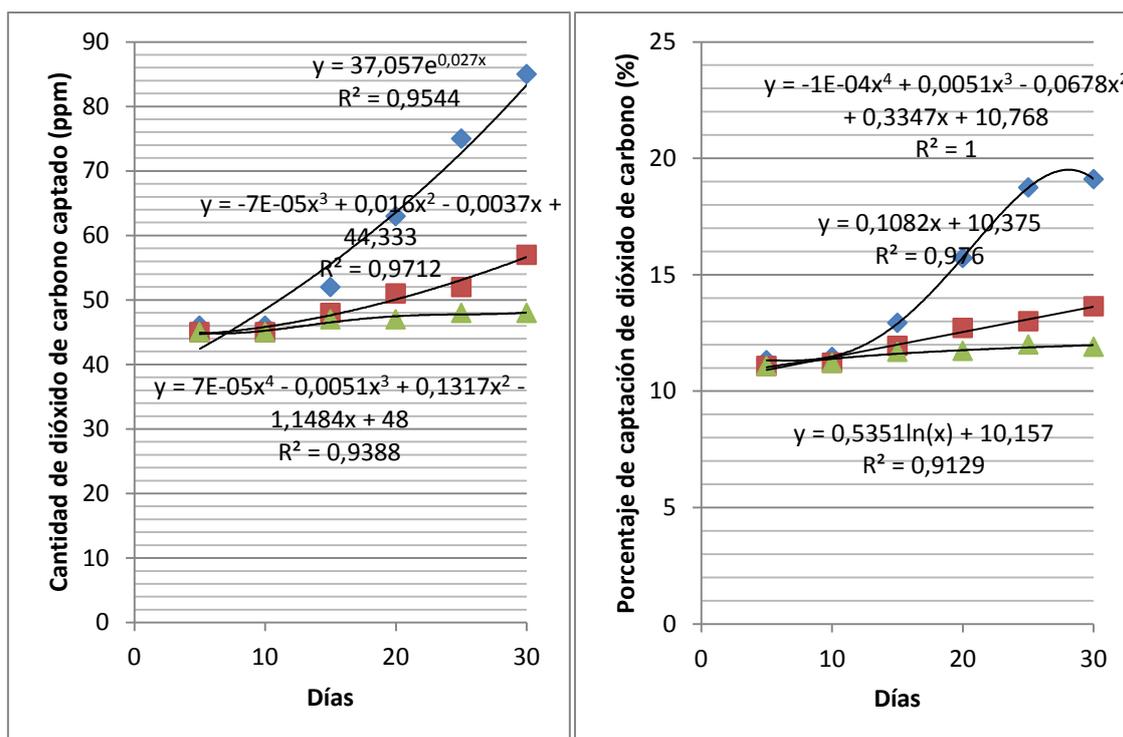


Figura 27. Variación captación de CO₂ en ppm y % entre tratamientos, cada 5 días durante los 30 días de desarrollo de las plantas.

- a) Tratamiento 1 (color azul)
- b) Tratamiento 2 (color rojo)
- c) Tratamiento 3 (color verde).

3.3 Fase 3: Cosecha

3.3.1 Gravimétrico de biomasa mediante determinación de peso seco

De acuerdo a las gráficas de la Figura 28 y la Tabla 25 de comparaciones múltiples con el test Tukey. Se ratifica la relación inversamente proporcional entre la concentración de O₃ troposférico y el desarrollo de biomasa o captación de CO₂ llevado a cabo por las plantas, con modelos matemáticos exponenciales y potenciales que se ajustan a R² entre 0,99 y 1. Esto significa que los modelos explican entre el 99 al 100% el comportamiento de los datos.

A pesar de observar en la Tabla , diferencias de medias entre el Tratamiento 2 y 3. No presentan diferencias estadísticamente significativas en sus resultados de peso seco (biomasa) al cabo del día 30 o post cosecha a pesar de presentar diferencias de medias. Al poseer valores de significancia mayores a 0,05 (Alea,

2000, p.80). De esta manera, se mantiene la interrogante si existe un umbral de incidencia de sobre el desarrollo de biomasa, o el umbral puede estar dado por la edad de la planta (Sun, Fenga y Donald, 2014).

Tabla 25.

Análisis estadístico de comparaciones múltiples de resultados de peso seco

Variable dependiente Peso	(I) Trata- miento	(J) Trata- miento	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD de Tukey	1,00	2,00	,51000*	,07772	,000	,3159	,7041
		3,00	,63556*	,07772	,000	,4415	,8296
	2,00	1,00	-,51000*	,07772	,000	-,7041	-,3159
		3,00	,12556	,07772	,259	-,0685	,3196
	3,00	1,00	-,63556*	,07772	,000	-,8296	-,4415
		2,00	-,12556	,07772	,259	-,3196	,0685

Nota. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

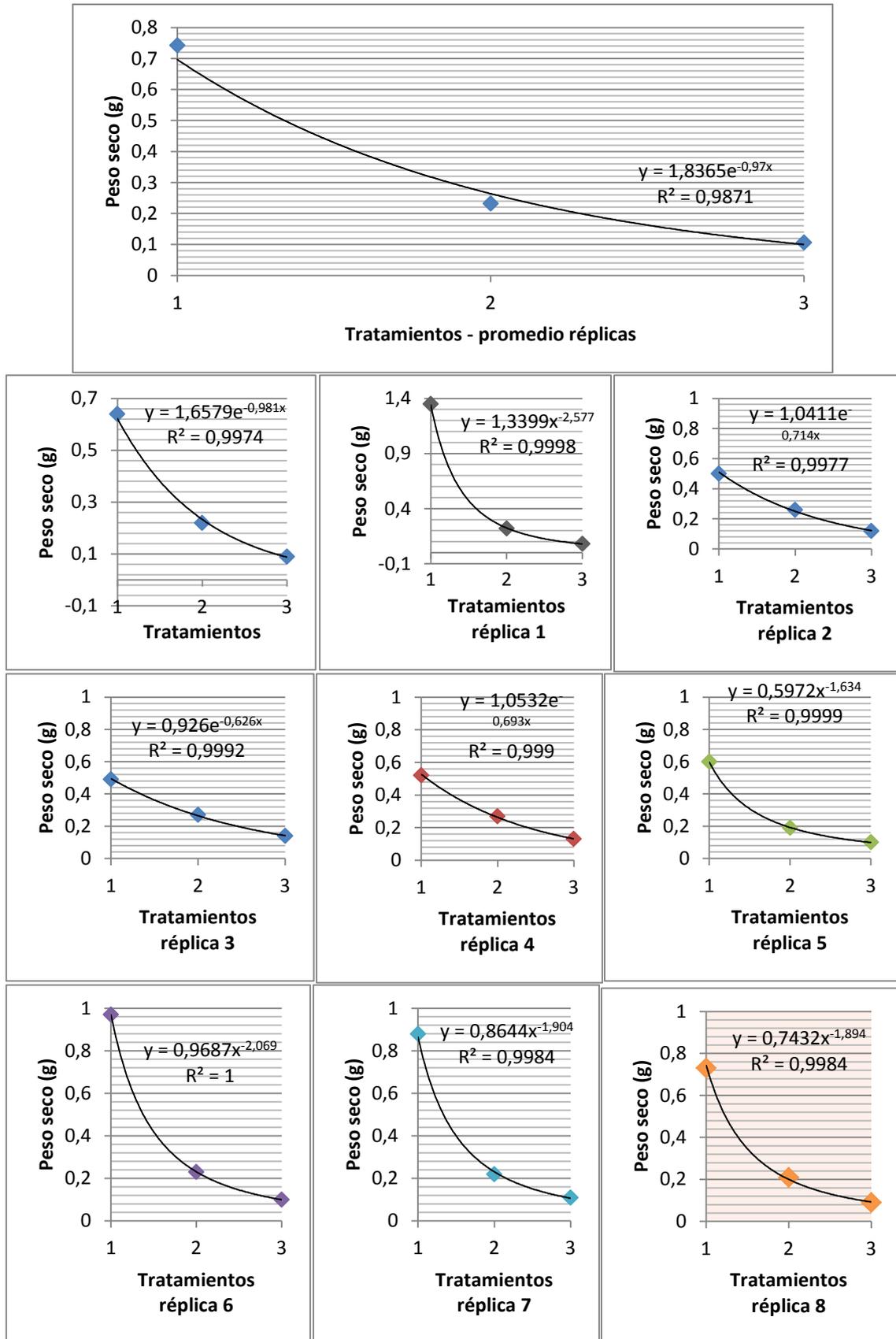


Figura 28. Variación de peso seco entre tratamientos, al final de los 30 días de desarrollo de las plantas

De acuerdo al análisis de la Tabla 26, de correlaciones Rho de Spearman, presentado en la tabla. Se identifica que existen las siguientes relaciones:

Directamente proporcional entre:

- Captación de CO₂, peso seco, altura de tallo, cantidad de hojas, longitud media de hojas y máxima de hojas.

Inversamente proporcional entre:

- Peso seco y concentración de ozono
- Altura del tallo y concentración de ozono
- Cantidad de hojas y concentración de ozono
- Longitud media de hojas y concentración de ozono
- Longitud máxima de hojas y concentración de ozono
- Captación de CO₂ y concentración de ozono

A través de la última relación se determina que la concentración de ozono influye sobre la capacidad de captación de CO₂ llevado a cabo por las plantas. Debido a esto, se obtiene un coeficiente de correlación -1, que hace referencia a una correlación negativa (inversamente proporcional) y fuerte (más cercano a uno más fuerte) (Hinton, McMurrya y Brownlow, 2014, p.303).

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se determinó la influencia del ozono troposférico en la capacidad de captación de CO₂ en *Ocimum tenuiflorum* (albahaca), con un coeficiente de correlación de Spearman igual a -1, indicando como a mayor concentración del contaminante la capacidad de captar CO₂, se ve reducida.

La información recabada de los análisis macroscópicos, microscópicos y atmosféricos realizados a los tratamientos. Se detalla en términos de altura de tallo, cantidad de hojas, peso, longitud media y máxima de hojas, conductancia estomática, estructura de la pared celular, captación de CO₂ en ppm y porcentaje de captación.

Las variables que se encuentran en mayor relación con el desarrollo de biomasa son: altura de tallo, cantidad de hojas y peso.

Existen diferencias estadísticamente significativas entre el Tratamiento 1 con respecto al 2 y 3, demostrando que la presencia del contaminante interfiere con el desarrollo normal de la planta.

En el análisis de monitoreo macroscópico el Tratamiento 3 es donde se dio el menor desarrollo de biomasa, si solo tomamos en cuenta el punto de vista estadístico descriptivo a través de la desviación estándar y diferencias de medias. Sin embargo, esto no es del todo acertado. Ya que con el análisis de Tukey de comparaciones múltiples se demuestra que si existe similitud de resultados entre los Tratamientos 2 y 3.

Los resultados de los tratamientos 2 y 3 a nivel microscópico presentan mayores diferencias a comparación de los resultados macroscópicos, ya que el grado de incidencia del contaminante se refleja en la pared celular y la conductancia estomática.

El estrés oxidativo es directamente proporcional a la concentración de biomasa y su incidencia en la anatomía foliar dependerá en cierto grado de la concentración de ácido ascórbico que pueda generar cada planta.

En el monitoreo de captación de CO₂, mediante sensores electroquímicos, establece que las capacidades de captación de CO₂ de los Tratamientos 2 y 3, están influenciadas por la presencia de O₃ teniendo valores en ppm de captación de CO₂ menores al Tratamiento 1.

4.2 Recomendaciones

Para el desarrollo de investigaciones relacionadas a la influencia del O₃ troposférico en la capacidad de captación de CO₂. Se recomienda aumentar el número de tratamientos (rango de concentraciones de O₃), con el fin de esclarecer si existe un umbral de incidencia en el desarrollo de biomasa.

Se puede llevar a cabo un análisis de susceptibilidades al estrés oxidativo entre distintas especies de plantas, para determinar que especie presenta mejor resistencia a los efectos del O₃. O entre cultivos del mismo género cual generaría menores pérdidas en producción debido a la presencia del contaminante. Teniendo en cuenta que la concentración de ácido ascórbico generado por la planta para combatir el estrés oxidativo, difiere dependiendo de la especie.

Para corroborar los resultados microscópicos se pueden aumentar metodologías de análisis de niveles de flujo estomático y el uso de técnicas de tinción de células muertas con Azul de Evans o Azul de toluidina, que permiten cuantificar necrosis a nivel celular.

REFERENCIAS

- Abraham, S., y Li, X. (2014). *A cost-effective wireless sensor network system for indoor air quality monitoring applications*. Recuperado el 25 de marzo de 2017 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050914009454>
- Alea, M (2000). *Estadística con SPSS v.10.0*. España: Edicions Universitat de Barcelona
- Alegret, S., Valle, M., y Merkoçi, A. (2004). *Sensores electroquímicos: introducción a los quimiosensores y biosensores: curso teórico-práctico*. Recuperado el 20 de marzo de 2017 de <https://books.google.com.ec/books?id=r39got4r0µgC>
- Andreu, C., Cupull, R., Pérez, G., y Morales, Y. (2012). *EFFECTOS DEL OZONO TROPOSFÉRICO SOBRE CULTIVOS DE AJO, ALLIUM SATIVUM Y TABACO, NICOTIANA TABACUM EN CUBA*. Recuperado el 30 de marzo de 2017 de <http://revistas.proeditio.com/REVISTAMAZONICA/article/view/165>
- Apheis. (2002). *Monitoring the impact of Air Pollution on Public Health in 26 European cities*. Recuperado el 25 de marzo de 2017 de http://ec.europa.eu/health/archive/ph_information/implement/wp/environment/docs/ev_20060523_co03_en.pdf
- Aravind, T., Haneef, M., Sulthan, M., y Solomon, M. (2016). *Monitoring, Analysis and Modelling of Ambient Air Quality Status at Indoshell Mould Ltd., Sidco, Coimbatore using Artificial Neural Network*. Recuperado el 25 de marzo de 2017 de <http://ijsrset.com/IJSRSET1622399.php>
- Banco Mundial. (2016). *Emisiones de CO2 (toneladas métricas per cápita)*. Recuperado el 10 de marzo de 2017 de <http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC>

- Beelen, R., Raaschou, O., Stafoggia, M., Andersen, Z., Weinmayr, G., Hoffmann, B., y Vineis, P. (2014). *Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project*. Recuperado el 18 de marzo de 2017 de https://www.researchgate.net/publication/259317535_Effects_of_long-term_exposure_to_air_pollution_on_natural-cause_mortality_An_analysis_of_22_European_cohorts_within_the_multicentre_ESCAPE_project
- Belmonte, F., y López, F. (2003). *Estimación de la biomasa de una especie vegetal mediterránea (tomillo *Thymus vulgaris*) a partir de algunos parámetros de medición sencilla*. Recuperado el 18 de marzo de 2017 de https://www.researchgate.net/publication/265694256_Estimacion_de_la_biomasa_de_una_especie_vegetal_mediterranea_tomillo_Thymus_vulgaris_a_partir_de_algunos_parametros_de_medicion_sencilla
- Carvajal, M., Mota, C., Alcaraz C., y Iglesias, M. (2014). *Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos más representativos*. Recuperado el 22 de marzo de 2017 de http://www.lescco2.es/pdfs/noticias/ponencia_cisc_espanol.pdf
- Caselli, M. (2014). *La contaminación atmosférica Ciencia y técnica*. Italia: Siglo XXI
- Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. (2015). *El ozono troposférico y sus efectos en la vegetación*. Recuperado el 10 de marzo de 2017 de http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/Ozono_tcm7-152613.pdf

- Conklin, P., y Barth, C. (2004). *Ascorbic acid, a familiar small molecule intertwined in the response of plants to ozone, pathogens, and the onset of senescence*. Recuperado el 23 de marzo de 2017 de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-3040.2004.01203.x/full>
- Cuartero, M. (2014). *Nuevos avances en el desarrollo y aplicación de electrodos selectivos de iones con ionóforos, plataformas conductoras y potenciometría dinámica diferencial*. Recuperado el 18 de marzo de 2017 de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=96914>
- Debaje, S. (2014). *Estimated crop yield losses due to surface ozone exposure and economic damage in India*. Recuperado 10 de marzo de 2017 de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-014-2657-6>
- Demidchik, V. (2015). *Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology*. Recuperado el 23 de marzo de 2017 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098847214001750>
- Dfrobot. (2017). *Gravity: Analog CO2 Gas Sensor For Arduino*. Recuperado el 17 de marzo de 2017 de <https://www.dfrobot.com/product-1023.html>
- Doménech, J., Martínez, M., y Fernández, M. (2010). *La agricultura y el CO2: los cultivos agrícolas captan más CO2 del que generan*. Recuperado el 18 de marzo de 2017 de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3275818>
- Döring, A., Pellegrini, E., Batola, M., Nali, C., Lorenzini, G., y Petersen, M. (2014). *How do background ozone concentrations affect the biosynthesis of rosmarinic acid in *Melissa officinalis*?* Recuperado el 25 de marzo de 2017 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0176161713004446>

- Espinoza, E., y Molina, C. (2014). *Contaminación del aire exterior Cuenca-Ecuador, 2009-2013. Posibles efectos en la salud*. Cuenca, Ecuador: Revista de la Facultad de Ciencias Médicas
- Faoro, F., e Iriti, M. (2009). *Plant cell death and cellular alterations induced by ozone: Key studies in Mediterranean conditions*. Recuperado el 24 de marzo de 2017 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026974910800479X>
- Feng, Z., Hu, E., Wang, X., Jiang, L., y Liu, X. (2015). *Ground-level O3 pollution and its impacts on food crops in China: A review*. Recuperado el 24 de marzo de 2017 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749115000196>
- Flores, E. (2013). *La planta: estructura y función*. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Gascon, M., y Sunyer, J. (2015). *Contaminación del aire y salud respiratoria en niños*. Recuperado el 10 de marzo de 2017 de <https://repositori.upf.edu/bitstream/handle/10230/24726/gascon-arb-conta.pdf?sequence=1>
- Ghozikali, M., Mosaferi, M., Safari, G., y Jaafari, J. (2015). *Effect of exposure to O3, NO2, and SO2 on chronic obstructive pulmonary disease hospitalizations in Tabriz, Iran*. Recuperado el 10 de marzo de 2017 de https://www.researchgate.net/publication/265608284_Effect_of_exposure_to_O3_NO2_and_SO2_on_chronic_obstructive_pulmonary_disease_hospitalizations_in_Tabriz_Iran
- Godish, T., Davis, W., y Fu, J. (2014). *Air Quality, Fifth Edition*. Boca Raton: CRC Press
- Grantz, D., y Yang, S. (2000). *Ozone impacts on allometry and root hydraulic conductance are not mediated by source limitation nor developmental age*. Recuperado el 10 de marzo de 2017 de

<https://academic.oup.com/jxb/article/51/346/919/481927/Ozone-impacts-on-allometry-and-root-hydraulic>

Hartikainen, K., Kivimäenpää, M., Nerg, A., Mäenpää, M., Oksanen, E., Rousi, M., y Holopainen, T. (2014). *Elevated temperature and ozone modify structural characteristics of silver birch (*Betula pendula*) leaves*. Recuperado el 24 de marzo de 2017 de http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-1488-0/urn_isbn_978-952-61-1488-0.pdf#page=83

Hinton, P., McMurray, I., y Brownlow, Ch. (2014). *SPSS Explained*. New York: Routledge

Hoshika, Y., Carriero, G., Feng, Z., Zhang, Y., y Paoletti, E. (2014). *Determinants of stomatal sluggishness in ozone-exposed deciduous tree species*. Recuperado el 24 de marzo de 2017 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969714002630>

Huamán, V. (2016). *Descripción de los efectos de los óxidos de carbono (CO₂ y CO) en ambientes interiores y exteriores*. Recuperado el 10 de marzo de 2017 de <http://revistascientificas.upeu.edu.pe/index.php/riu/article/view/605>

Industrial Scientific. (2017). *MX6 iBrid Gas Detector*. Recuperado el 10 de marzo de 2017 de <http://www.indsci.com/products/multi-gas-detectors/mx6/>

Jacobson, M. (2012). *Air Pollution and Global Warming: History, Science, and Solutions*. Recuperado el 10 de marzo de 2017 de https://books.google.com.ec/books?id=UeGImU2F8_8C

Kangasjärvi, S., y Kangasjärvi, J. (2014). *Towards Understanding Extracellular ROS Sensory and Signaling Systems in Plants*. Recuperado el 24 de marzo de 2017 de <https://www.hindawi.com/archive/2014/538946/abs/>

Karlsson, P., Klingberg, J., Engardt, M., Camilla Andersson, C., Joakim Langner, J., Karlsson, G., y Pleijel, H. (2017). *Past, present and future concentrations of ground-level ozone and potential impacts on ecosystems and human health in northern Europe*. Recuperado el 18 de marzo de 2017 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969716322276>

Karlsson, P., Uddling, J., Braun, S., Broadmeadow, M., Elvira, S., Gimeno, B., Le Thiec, D., Oksanen, E., Vandermeiren, K., Wilkinson, M., y Emberson, L. (2004). *New critical levels for ozone effects on young trees based on AOT40 and simulated cumulative leaf uptake of ozone*. Recuperado el 18 de marzo de 2017 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231004001104>

Kumar, N., Middey, A., y Rao, P. (2017). *Prediction and examination of seasonal variation of ozone with meteorological parameter through artificial neural network at NEERI, Nagpur, India*. Recuperado el 18 de marzo de 2017 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095517300287>

Kumari, S., Agrawal, M., y Singh, A. (2015). *Effects of ambient and elevated CO₂ and ozone on physiological characteristics, antioxidative defense system and metabolites of potato in relation to ozone flux*. Recuperado el 24 de marzo de 2017 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098847214001658>

Ledesma, M. (2014). *PRINCIPIOS DE METEOROLOGIA Y CL. Composición y estructura*. Madrid España: Paraninfo

Lefohn, A., Malley, C., Simon, H., Wells, B., Xu, X., Zhang, L., y Wang, T. (2017). *Responses of human health and vegetation exposure metrics to changes in ozone concentration distributions in the European Union*,

United States, and China. Recuperado el 24 de marzo de 2017 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231016309931>

Luna, A., Paredes, M., Oliveira, G., y Correa, S. (2014). *Prediction of ozone concentration in tropospheric levels using artificial neural networks and support vector machine at Rio de Janeiro, Brazil*. Recuperado el 15 de marzo de 2017 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231014006621>

Maamar, B., Maatoug, M., Iriti, M., Dellal, A., y Ait hamou, M. (2015). *Physiological effects of ozone exposure on De Colgar and Rechaiga II tomato (Solanum lycopersicum L.) cultivars*. Recuperado el 24 de marzo de 2017 de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-015-4490-y>

Macías, F., Bueno, A. G., y Monterroso, C. (2001). *Fijación de carbono en biomasa y suelos de mina revegetados con cultivos energéticos*. Recuperado el 22 de marzo de 2017 de <http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos/article/view/5931>

Martínez, E., y Díaz, Y. (2004). *Contaminación atmosférica*. España: Universidad de Castilla-La Mancha.

Metrohm. (2017). *Cromatografía Iónica*. Recuperado el 15 de marzo de 2017 de <https://www.metrohm.com/es-mx/productos-general/cromatografia-ionica/>

Mills, G., Pleijel, H., Braun, S., Büker, P., Bermejo, V., Calvo, E., Danielsson, H., Emberson, L., González, I., Grünhage, L., y Harmens, H. (2011). *New stomatal flux-based critical levels for ozone effects on vegetation*. Recuperado el 24 de marzo de 2017 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231011006029>

Minas, I., Vicente, A., Dhanapal, A., Manganaris, G., Goulas, V., Vasillakakis, M., Crisosto, C., y Molassiotis, A. (2014). *Ozone-induced kiwifruit*

ripening delay is mediated by ethylene biosynthesis inhibition and cell wall dismantling regulation. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168945214002015>

Ministerio del Ambiente. (2011). *Acuerdo Ministerial 050*. Recuperado el 12 de marzo de 2017 de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/Acuerdo-50-NCA.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2010). *Plan Nacional de Calidad de Aire*. Recuperado el 12 de marzo de 2017 de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf>

Müller, I., Schmid, B., y Weiner, J. (2000). *The effect of nutrient availability on biomass allocation patterns in 27 species of herbaceous plants*. Recuperado el 19 de marzo de 2017 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1433831904700323>

National Aeronautics and Space Administration. (2017). *Chemistry of Ozone Formation*. Recuperado el 17 de marzo de 2017 de https://earthobservatory.nasa.gov/Features/ChemistrySunlight/chemistry_sunlight3.php

Ochoa, D., Cueva, A., Prieto, M., Aragon, G., y Benitez, A. (2015). *Changes in the epiphytic lichen composition related with air quality in the city of Loja*. Loja, Ecuador: Caldasia

Ofelia Sam, O., De la Luz, M., y Barroso, L. (2002). *CARACTERIZACIÓN ANATÓMICA DE LAS HOJAS DE LA ALBAHACA*. Recuperado el 20 de marzo de 2017 de <http://www.redalyc.org/pdf/1932/193218114006.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). *INSTRUCTIVO TECNICO DEL CULTIVO DE LA ALBAHACA*.

Recuperado el 20 de marzo de 2017 de <http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/5178/albahaca.pdf>

Organización Meteorológica Mundial. (2016). *El promedio mundial de CO2 alcanza las 400 partes por millón en 2015*. Recuperado el 10 de marzo de 2017 de <http://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-promedio-mundial-de-co2-alcanza-las-400-partes-por-mill%C3%B3n-en-2015>

Organización Mundial de la Salud. (2016). *Cambio climático y salud*. Recuperado el 10 de marzo de 2017 de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs266/es/>

Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2014). *Climate Change 2014 Synthesis Report Summary for Policymakers*. Recuperado el 10 de marzo de 2017 de https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf

Parra, A., Vargas, M., y Gélvez, I. (2014). *INFLUENCIA DE LOS HIDROCARBUROS AROMATICOS POLICICLICOS (HAPs) Y METALES EN LA CALIDAD DEL AIRE DE PAMPLONA Y SUS EFECTOS GENOTOXICOS*. Recuperado el 10 de marzo de 2017 de http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RA/article/view/429

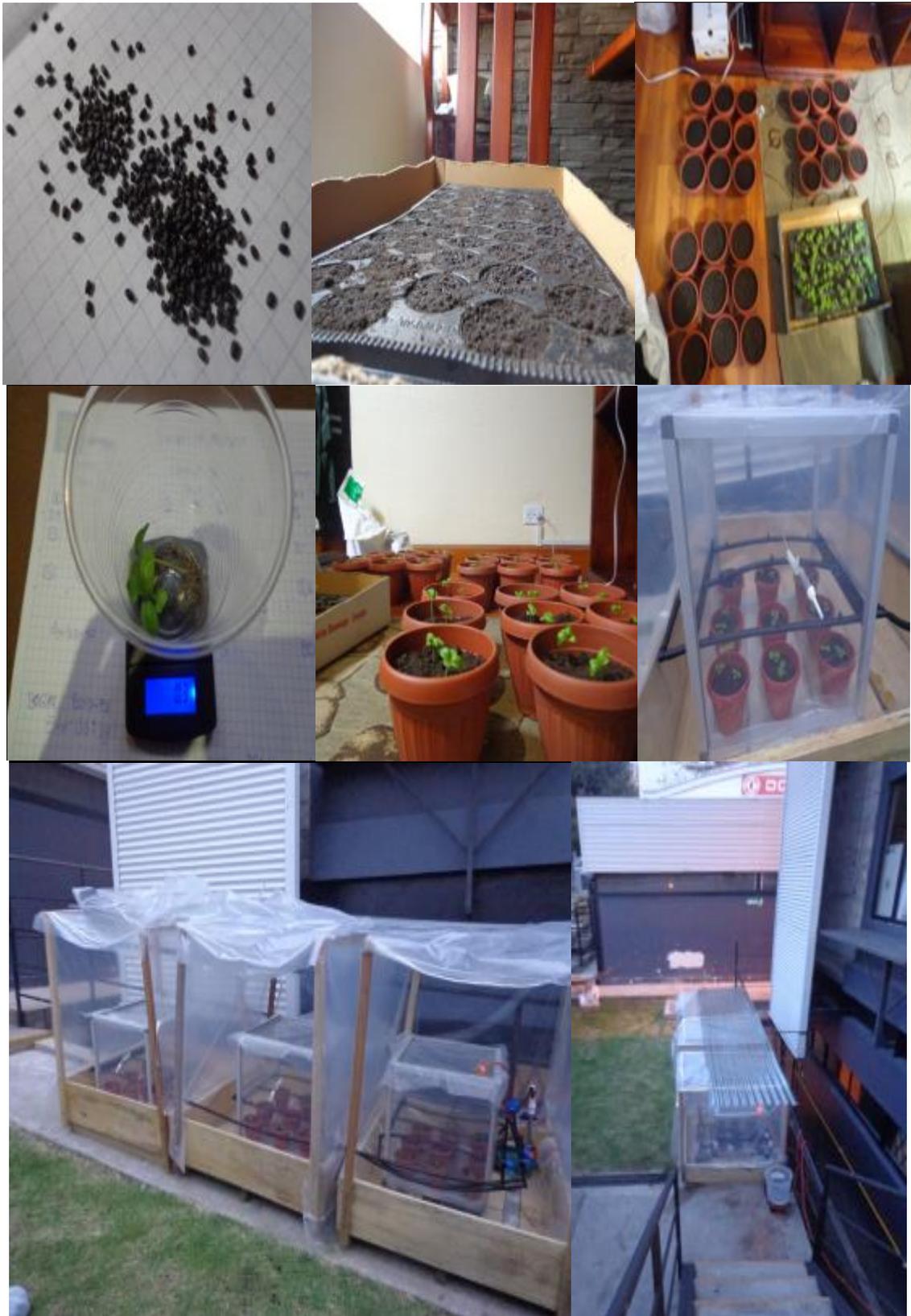
Peterson, D. (2000). *Monitoring Air Quality in Mountains: Designing an Effective Network*. Recuperado el 12 de marzo de 2017 de <https://link-springer-com.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/article/10.1023/A%3A1006498704222>

Quitoambiente. (2017). *INFORME DE LA CALIDAD DE AIRE- 2016 DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO*. Recuperado el 30 de Mayo de 2017 de http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/ICA2016.pdf

- Ramírez, A. (2006). *Ecología: métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades*. Bogotá, Colombia. Pontificia Universidad Javeriana
- Sandoval, E. (2005). *Técnicas aplicadas al estudio de la anatomía vegetal*. México: UNAM
- Sciencedaily. (2016). *Tropospheric ozone*. Recuperado el 8 de marzo de 2017 de https://www.sciencedaily.com/terms/tropospheric_ozone.htm
- Sierla, M., Waszczak, C., Vahisalu, T., y Kangasjärvi, J. (2016) *Reactive Oxygen Species in the Regulation of Stomatal Movements*. Recuperado el 24 de marzo de 2017 de <http://www.plantphysiol.org/content/171/3/1569.short>
- Sun, J., Feng, Z., Ort, D. (2014). *Impacts of rising tropospheric ozone on photosynthesis and metabolite levels on field grown soybean*. Recuperado el 30 de marzo de 2017 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168945214001460>
- Tai, A., Val Martin, M., y Heald, C. (2014). *Threat to future global food security from climate change and ozone air pollution*. Recuperado el 30 de marzo de 2017 de <http://www.nature.com/nclimate/journal/v4/n9/abs/nclimate2317.html>
- The Royal Society. (2008). *Ground-level ozone in the 21st century: future trends, impacts and policy implications*. London SW1Y 5AG
- UNESA, (2005). *Metodologías para la Implementación de los Mecanismos flexibles de Kioto – Mecanismo de Desarrollo Limpio en Latinoamérica*. Recuperado el 10 de marzo de 2017 de <http://www.unesa.es/biblioteca/category/1-estudios?download=38:programa-synergy>

Wagner, J., Katryn Allen, K., Yang, H., Nan, B., Morishita, M., Mukherjee, B., Dvonch, T., Spino, C., Fink, G., Rajagopalan, S., Sun, Q., Brook, R. y Harkema, J. (2014). *Cardiovascular Depression in Rats Exposed to Inhaled Particulate Matter and Ozone: Effects of Diet-Induced Metabolic Syndrome*. Recuperado el 10 de marzo de 2017 de <http://search.proquest.com/openview/2709c3082487e64d1909475d4be07e38/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026371>

ANEXOS



Anexo 1. Registro fotográfico de los sujetos experimentales, parte 1



Anexo 2. Registro fotográfico de los sujetos experimentales, parte 2

