



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

INFLUENCIA DEL O₃ EN LA CAPACIDAD DE CAPTACIÓN DE CO₂ EN
TRES ESPECIES VEGETALES

AUTOR

ROBERTO ARTURO ARENDS RIVADENEIRA

AÑO

2018



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

INFLUENCIA DEL O₃ EN LA CAPACIDAD DE CAPTACIÓN DE CO₂ EN
TRES ESPECIES VEGETALES

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

Profesor Guía
PhD. Rasa Zalakeviciute

Autor
Roberto Arturo Arends Rivadeneira

Año
2018

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido el trabajo, Influencia del O₃ en la capacidad de captación de CO₂ en tres especies vegetales, a través de reuniones periódicas con el estudiante Roberto Arturo Arends Rivadeneira, en décimo semestre, 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.”

Rasa Zalakeviciute
PhD in Engineering Science
C.I: 175707679-7

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, Influencia del O₃ en la capacidad de captación de CO₂ en tres especies vegetales, del estudiante Roberto Arturo Arends Rivadeneira, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

Yasser Alejandro González Romero

Máster en Ingeniería Ambiental

C.I: 070373762-7

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.”

Roberto Arturo Arends Rivadeneira

C.I: 100446159-4

RESUMEN

Los niveles de contaminación atmosférica global a nivel urbano están aumentando de manera crítica, Los proyectos de mitigación, control y monitoreo son importantes para disminuir el impacto causado por estos contaminantes en la salud humana y el medio ambiente. La creación de espacios verdes es una herramienta útil para mitigar y reducir la contaminación del aire. Sin embargo, la expansión urbana dentro del país no genera suficiente espacio para la creación convencional de espacios verdes. En lugar de eso, proponemos aprovechar los espacios urbanos para crear jardines verticales que satisfagan los beneficios ambientales de las áreas verdes. El ozono troposférico (O_3) es un contaminante secundario con graves riesgos para la salud. Por lo tanto, éste estudio analiza cómo la presencia de ozono afecta la capacidad y la eficiencia para capturar CO_2 de tres especies de plantas utilizadas en jardines verticales: escancel rojo (*Aerva Sanguinolenta*), Vinca (*Variiegata principal*) y begonia roja (*Begonia dichotoma Jacquin*) que fueron seleccionadas según la cantidad de ácido ascórbico presente en sus hojas. El cual es un agente reductor que permite a la planta ser más tolerante a los contaminantes. Se llevaron a cabo tres tratamientos, Tratamiento 1 (ozono ambiental), Tratamiento 2 ($40 \mu g/m^3$) y Tratamiento 3 ($80 \mu g/m^3$) en tres módulos experimentales de $0.125 m^3$ durante 24 días. Se analizó el daño causado en las plantas. Donde se encontró que el ozono tiene un efecto inversamente proporcional sobre el estado micro y macro de las plantas y directamente proporcional a su capacidad para capturar CO_2 . Los resultados muestran que el ácido ascórbico sirve como un agente reductor para tolerar las concentraciones de ozono. Y que cada ocho horas en presencia de niveles promedio de ozono ($40 \mu g/ m^3$), un metro cuadrado de jardín vertical puede absorber 144,66 ppm de CO_2 , en presencia de altos niveles de ozono ($80 \mu g/m^3$) puede absorber 135,33 ppm de CO_2 y en presencia de niveles bajos puede capturar 193,33 ppm de CO_2 . Demostrando que la presencia de ozono influye en la capacidad de absorción de CO_2 en las tres especies de plantas utilizadas.

ABSTRACT

The levels of global air pollution at the urban level are increasing. Mitigation, control and monitoring projects are important to decrease the impact caused by these pollutants on human health and the environment. The creation of green spaces is a useful tool to mitigate and reduce air pollution. However, urban expansion within the country does not generate enough space for the conventional creation of green spaces. Instead of that, we propose to take advantage of urban spaces to create vertical gardens that meet the environmental benefits of green areas. Tropospheric ozone (O_3) is a secondary pollutant with serious health risks. Therefore, this study analyzes how the presence of ozone affects the capacity and efficiency to capture CO_2 of three plant species used in vertical gardens: Red escancel (*Aerva Sanguinolenta*), Vinca (*Vinca major variegata*) and Red begonia (*Begonia dichotoma Jacquin*) which were selected according to the amount of ascorbic acid present in its leaves. Ascorbic acid is a reducing agent that allows the plant to be more tolerant to contaminants. Three treatments were carried out, Treatment 1 (environmental ozone), Treatment 2 ($40 \mu g/m^3$) and Treatment 3 ($80 \mu g/m^3$) in three experimental cells of $0.125 m^3$ for 24 days. It was found that elevated ozone concentrations caused loss of height and weight that are indicators of biomass, leaf wilt and burn spots, at the micro level, loss of cell wall and stomatal damage. This shows that ozone has an inverse proportional effect over the micro and macro state of the plants, which is directly proportional to its capacity to capture CO_2 .

The results show that ascorbic acid serves as a reducing agent to tolerate ozone concentrations. This means that every eight hours in the presence of average levels of ozone ($40 \mu g/m^3$), a square meter of vertical garden can absorb 144,66 ppm of CO_2 , in the presence of high levels of ozone ($80 \mu g/m^3$) can absorb 135,33 ppm of CO_2 and in the presence of low levels can capture 193,33 ppm of CO_2 . Demonstrating that the presence of ozone does influence the capacity of absorbing CO_2 in the three plant species used.

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.1 Antecedentes.....	1
1.1.2 Justificación.....	5
1.1.3 Alcance.....	5
1.1.4 Objetivos.....	6
2. CAPÍTULO II. DESARROLLO DEL TEMA.....	6
2.1 MARCO TEÓRICO.....	6
2.1.1 Contaminación atmosférica a nivel mundial.....	6
2.1.2 Ozono.....	8
2.1.3 Consecuencias del ozono troposférico en plantas.....	9
2.1.4 Ácido Ascórbico.....	10
2.1.5 Jardines verticales.....	10
3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	12
3.1 Metodología del experimento.....	12
3.2 Diseño Experimental.....	14
3.3 Análisis de Varianza de un factor.....	16
3.4 Selección de especies y construcción de escenario.....	17
3.4.1 Selección de especies.....	17
3.5 Generación de ozono O ₃	23
3.6 Inyección de ozono.....	24
3.7 Medición de ozono.....	25
3.8 Monitoreo de CO ₂	25
3.8.1 Monitoreo de CO ₂	25
3.9 Análisis micro de los sujetos de experimentación.....	26
3.10 Análisis macro de los sujetos de experimentación.....	27
4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
4.1 Resultados.....	27
4.1.1 Ácido ascórbico.....	27
4.1.2 Concentraciones de ozono para experimentación.....	28

4.1.3 Resultados macro físicos del trasplante día 1	29
4.2 Influencia del ozono en la capacidad de absorción de CO ₂	30
4.2.1 Altura promedio de plantas por especie día 24 del experimento	30
4.2.2 Comportamiento de la altura por tratamiento.....	32
4.2.3 Altura promedio de plantas por individuo día 24 del experimento	35
4.2.4 Análisis estético de las plantas por cada tratamiento durante el experimento	37
4.3 Análisis micro de las plantas	43
4.3.1 Análisis micro begonia roja (<i>Begonia dichotoma Jacquin</i>).....	43
4.3.2 Análisis micro Vinca (<i>Vinca major variegata</i>).....	45
4.3.3 Análisis micro escancel rojo (<i>Aerva Sanguinolenta</i>)	47
4.4 Absorción de CO ₂	49
4.4.1 Resultado de la absorción de CO ₂ por tratamiento	49
4.5 Validación de concentraciones ozono	52
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	54
5.1 Conclusiones.....	54
5.2 Recomendaciones.....	55
REFERENCIAS	56
ANEXOS	63

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

1.1.1 Antecedentes

En el 2013 la Organización Mundial Meteorológica (OMM), sugirió a Ecuador la implementación de planes urgentes con el objetivo de disminuir emisiones e identificar más fuentes de dióxido de carbono (CO_2) y gases de criterio como el ozono (O_3) troposférico, para luego socializar los planes con la población (OMM, 2013).

La red automática de monitoreo y contaminación atmosférica del Distrito Metropolitano de Quito (REMMAQ), ha medido la calidad y estado del aire de la ciudad desde el año 2003, que inició con 9 estaciones automáticas de fondo urbano, más adelante en el 2005 se inicia con varias estaciones complementarias manuales de fondo urbano, regional y nivel barrial. Las mediciones dan una idea de los niveles de referencia y las tendencias a largo plazo sobre contaminación atmosférica (Secretaría del Ambiente Quito, 2017).

Mediante un análisis cuantitativo de las mediciones del monitoreo atmosférico, se determinó que, dentro de los contaminantes más comunes del Distrito Metropolitano de Quito, el ozono troposférico presenta elevadas concentraciones en ciertas zonas de la ciudad (ver Figura 1). Se utilizaron datos actuales del mes de julio del 2017 de las estaciones con mayores porcentajes de contaminación en el Distrito Metropolitano de Quito, las estaciones de El Centro, Belisario y Carapungo el análisis se lo realizó a nivel horario por 24 horas.

El ozono troposférico es un gas el cual no es generado directamente, sino que se genera por la presencia de la radiación solar con otros contaminantes hidrocarburiíferos y óxidos de nitrógeno derivados de la combustión en general. Su presencia en la atmósfera podría causar aceleración en el cambio climático. A su vez el ozono tiene la capacidad de reaccionar con una gama de oxidantes producidos fotoquímicamente. concentraciones que se incrementan por el uso y quema de combustibles fósiles y otros compuestos, su mayor presencia se encuentra en los meses de mayor radiación solar, es decir verano, entre los

meses de agosto y septiembre, por ende su presencia se reduce con la presencia de lluvias y cielos nublados, entre los meses de abril y mayo (Otri, 2009).

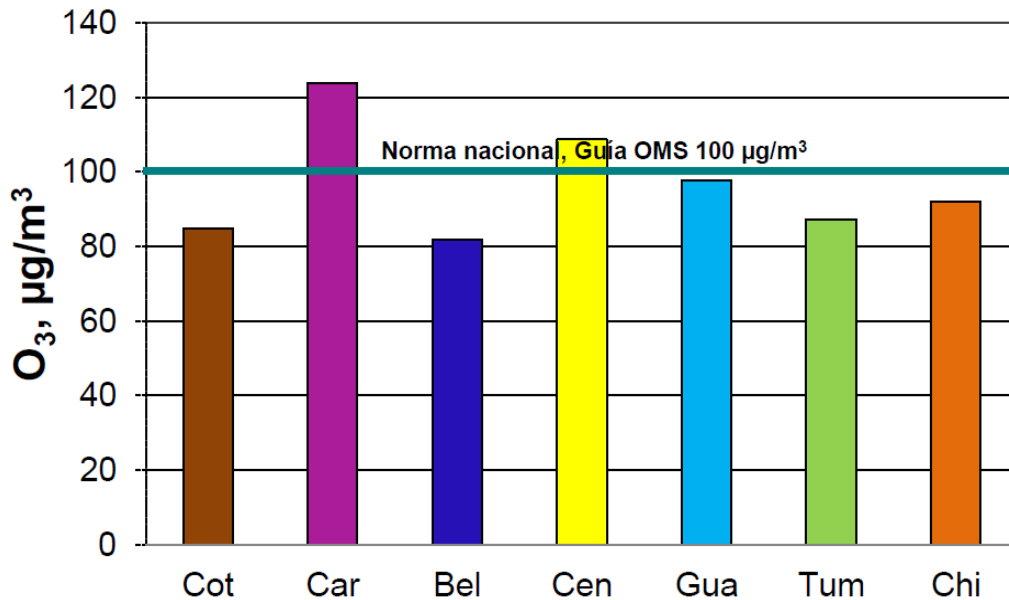


Figura 1. Normativa Internacional y Nacional de O₃ en µg/m³ tomado de la Secretaría de Ambiente Quito, 2017.

Según la Normativa Ecuatoriana de Calidad de Aire, el máximo diario de nivel permitido de O₃ es de 100 µg/m³ al igual que el parámetro dado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) Figura 1.

Según la OMS, los distintos efectos encontrados sobre la salud están relacionados a niveles de ozono muy por debajo a los parámetros que la norma internacional dicta, a su vez la reducción de este contaminante es proporcional a la reducción de otros debido a su interacción con otros contaminantes (OMS, 2016).

Tabla 1.

Concentraciones medias mensuales de O₃ (µg/m³) y máximos durante el año 2016 tomado de Secretaría de Ambiente Quito, 2017.

Ozono, O ₃ µg/m ³	Norma de calidad ambiental Nacional	Cotocollao	Carapungo	Belisario	Centro	Guamani	Tumbaco	Los Chillos
Promedio anual		22,3	27,9	22,7	21,3	29,4	28,5	24,7
Máximo promedio octohorario	100	84,8	123,8	82,0	108,7	97,7	87,3	92,1
		24/08/2016 18:00	03/01/2016 18:00	10/04/2016 17:00	03/01/2016 16 17:00	24/08/2016 16:00	27/01/2016 18:00	24/08/2016 17:00

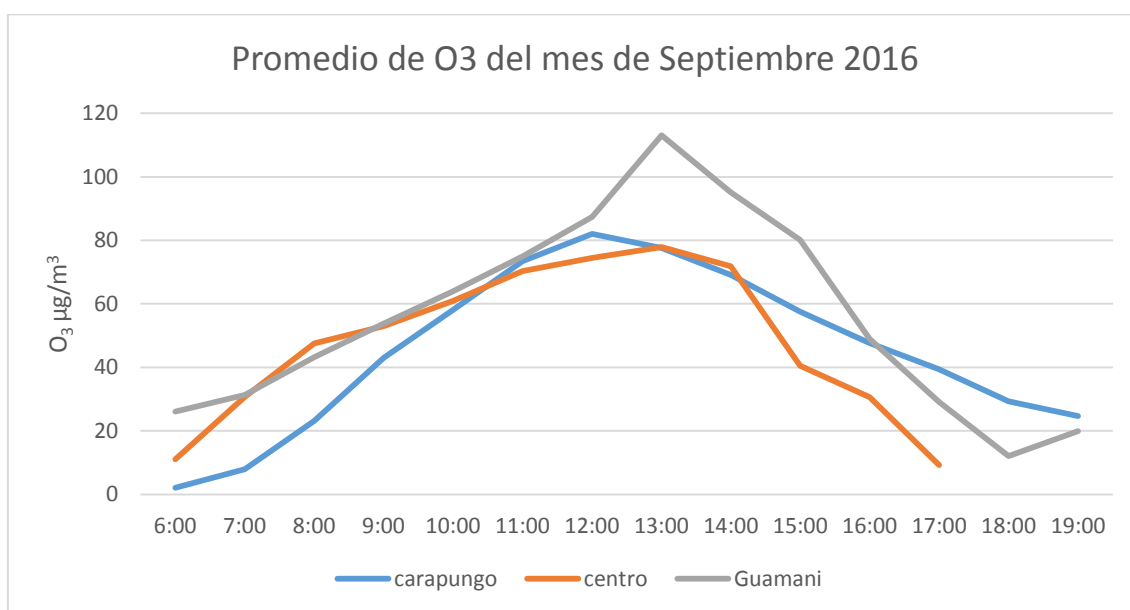


Figura 2. Niveles promedio de contaminación en µg/m³ y tendencia de comportamiento horario del O₃, en las estaciones: Carapungo, Centro y Guamaní de septiembre 2016.

Los resultados demuestran un patrón común en el comportamiento del contaminante, en el que se tienen picos entre las once de la mañana y tres de la tarde, esto debido a que existe mayor índice de radiación solar en el rango de esas horas, por el ángulo más alto a medio día. Los niveles de Guamaní superan los parámetros establecidos a nivel nacional e internacional. Sin embargo, en la Tabla 1 se observa que en las estaciones Centro, Guamaní y Carapungo, las concentraciones de ozono superan los niveles máximos permisibles mensuales.

Entidades gubernamentales, tanto privadas como públicas han propuesto planes de reforestación urbana mismos que tienen el potencial de reducir la cantidad de CO₂ en la atmosfera, los efectos del cambio climático y la contaminación ambiental. Por medio de el Plan Nacional de Forestación y Reforestación de Ecuador, implementado por el Ministerio del Ambiente de Ecuador con Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la CORPEI y la empresa brasileña STCP consideran urgente realizar planes de reforestación urbana para absorber CO₂ y reducir el cambio climático (SACHA, 2017).

Sin embargo, en las ciudades de Ecuador hay en promedio 4,7 m² de zonas verdes por cada ciudadano, un valor que está por debajo de las recomendaciones que dicta la Organización Mundial de la Salud (INEC, 2012). Y según Ochoa la implementación de jardines verticales en las zonas urbanas del país aprovechando edificios y fachadas, es una alternativa innovadora para generar los espacios verdes requeridos por la OMS en ciudades (Ochoa, 2015).

El concepto de jardines verticales es un término utilizado para la tecnología que trata de aprovechar espacios urbanos para la implementación de vegetación sin necesidad de un suelo como soporte. Estos jardines son utilizados en la actualidad para el amortiguamiento sonoro y la mitigación de contaminación atmosférica en interiores y exteriores (Paredes, 2015). Además están denominados también como sistemas autosuficientes que generan espacios verdes y poco aprovechables para la vegetación (Heliche et al., 2015). Estos sistemas de jardines se encuentran como una medida existente para combatir el incremento del CO₂, el uso de ellos se ha contemplado como una solución clave alrededor de grandes ciudades del mundo como en México, India y China con más de un millón de metros cuadrados instalados. Se conoce que las plantas pueden captar el CO₂ del ambiente y fijarlo a manera de biomasa mediante la fotosíntesis (González, 2013).

Sin embargo, si se requiere implementar esta tecnología en la ciudad de Quito, se deben determinar las consecuencias de la presencia de ozono troposférico en el aire, debido a sus altas concentraciones en verano con la capacidad de las plantas utilizadas en los jardines verticales para absorber CO₂.

Así como el O_3 es dañino para las personas, también es perjudicial para las plantas y sus efectos pueden llegar a ser visibles. Los municipios y encargados de áreas verdes metropolitanas no saben que solo las plagas, veranos fuertes o falta de riego afectan a las plantas dentro de la ciudad. El contaminante penetra en las hojas de la planta por medio de los estomas, como sucede con los otros gases atmosféricos en el que su ingreso e intercambio sistemático es normal quemando y envenenando a la planta (Allen, 2002).

1.1.2 Justificación

Actualmente no se han realizado investigaciones en el país que relacionen el ozono troposférico y la capacidad de captación de CO_2 de especies vegetales utilizadas en jardines verticales.

El presente estudio dotará de datos y metodologías respecto a la cuantificación de CO_2 que puede ser captado por un metro cuadrado de jardín vertical con condiciones y factores ambientales del Distrito Metropolitano de Quito.

Ya que el estudio manejará distintas concentraciones de ozono (O_3) en tres especies vegetales se puede conocer el grado de influencia del contaminante y los efectos a futuro para meses de menor y mayor cantidad de O_3 .

Se aportaría a la comunidad científica con información pertinente mediante desarrollo experimental y análisis de resultados para las investigaciones sobre los efectos del O_3 atmosférico en zonas alto-andinas.

1.1.3 Alcance

Este estudio pretende identificar la correlación e influencia que puede existir entre la presencia del O_3 y el proceso de absorción de CO_2 en tres especies vegetales utilizadas en jardines verticales con el fin de conocer el potencial impacto del uso de estos sistemas en zonas urbanas que presentan altos índices de este contaminante en el Distrito Metropolitano de Quito y también

analizar los resultados en función a los factores fisiológicos y de mortalidad en las plantas.

1.1.4 Objetivos

1.1.4.1 Objetivo General

- Determinar el impacto del ozono troposférico en la capacidad de captación de CO₂ en tres especies utilizadas en jardines verticales, mediante cuantificación de CO₂

1.1.4.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar tres de las especies vegetales más utilizadas en jardines verticales, que sean adaptables a las condiciones ambientales del Distrito Metropolitano de Quito, mediante un análisis bibliográfico y de consulta técnica
- Determinar el impacto del O₃ en la capacidad de captación de CO₂ en las especies vegetales, mediante análisis atmosférico y fisiológico
- Analizar los cambios morfológicos de las especies vegetales como respuesta a las distintas concentraciones de O₃

2. CAPÍTULO II. DESARROLLO DEL TEMA

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Contaminación atmosférica a nivel mundial

Potencialmente los contaminantes atmosféricos se pueden encontrar en todo el mundo en su mayoría y estos se dividen en tres grupos: contaminantes de criterio, contaminantes peligrosos del aire y de efecto invernadero (Department of the Environment and Energy, 2016).

Los contaminantes de criterio son los que se encuentran regulados y determinan las condiciones de la calidad del aire de un sitio, estos son: material particulado (PM₁₀, PM_{2.5}), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO_x) ozono (O₃), monóxido de carbono (CO). Los estándares de presencia de estos

contaminantes son dados de acuerdo a los efectos negativos hacia los seres vivos y el ambiente, estos pueden estar presentes en concentraciones más altas en zonas urbanas e industriales (EPA, 2015). En Ecuador los contaminantes regulados por el Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE) son los mismos que la EPA, mencionados en el libro VI anexo 4 del tratado único de legislación ambiental secundario, calidad del aire (TULSMA, 2003).

La ley de aire limpio designada por la EPA (Agencia de Protección Ambiental de EE.UU.) enlista a 187 contaminantes peligrosos del aire. Estos se caracterizan por ser cancerígenos y provocar problemas de salud, fertilidad o deformaciones en nacimientos. Algunos de estos son: benceno, mismo que es utilizado como compuesto de la gasolina; percloroetileno, el cuál aparece por la actividad de limpieza en seco; El cloruro de metileno, que es utilizado como un disolvente y como producto para pintura en la industria (US EPA, 2017).

Por último, se encuentran los contaminantes de efecto invernadero, los cuales en su mayoría son producto de actividades industriales, afectan a la capa de ozono y son causantes del cambio climático. Entre ellos se encuentra el óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), entre otros (Boden, Andres, & Marland, 2017).

La contaminación del aire representa un riesgo para la sociedad y el ambiente. El control, análisis y disminución de la contaminación aérea, pueden ayudar a países que presentan una alta concentración de contaminantes a reducir la cantidad de mortalidad y enfermedades como paros cerebrovasculares, cáncer de pulmón o neumopatías como asma (OMS, 2017).

En el 2015 los valores promedios de presencia de CO_2 en la atmósfera y el ambiente llegaron a presentar datos y valores históricos de 400 ppm (partes por millón), mismo valor que no ha parado de elevarse hasta 2016 con (406 ppm), año que existió la presencia del fenómeno de El Niño haciendo que se eleven los valores, esto referido al "*Boletín sobre los gases de efecto invernadero*" publicado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2016).

Actualmente, Ecuador no tiene redes de monitoreo y análisis sobre la contaminación atmosférica a nivel nacional. El Banco Mundial referido al satélite global de mediciones y condiciones atmosféricas mundiales lanzado por la NASA, y a estudios in situ menciona que: las emisiones de CO₂ en toneladas métricas per cápita en Ecuador, ha tenido hasta el 2013 un crecimiento con 3.8 toneladas métricas per cápita en promedio (Banco Mundial, 2016).

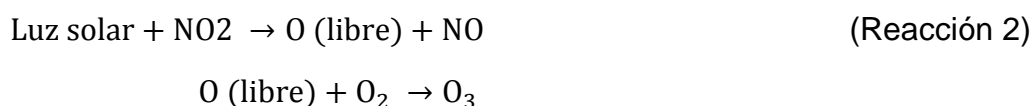
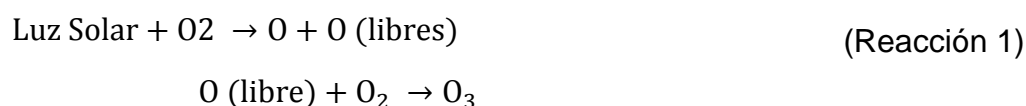
En Ecuador, la contaminación atmosférica es consecuencia de algunos factores como la deficiencia en la planificación territorial dentro de las zonas urbanas, a su vez, la utilización e implementación de tecnologías obsoletas dentro del transporte, la industria y sobre todo la mala calidad de los combustibles en especial el diésel, entre otras (Ministerio del Ambiente, 2015). Los gases generados por el producto de la combustión de combustibles fósiles como el óxido nitroso (N₂O), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), son causantes de las enfermedades respiratorias más conocidas (Cobo, 2009).

A su vez la tasa anual de crecimiento en el parque automotor mundial, es aproximadamente de un 44% desde el año 2000 (Davis, Tenpierik, Ramírez, Pérez, 2017). Esto hace que se incremente la tasa de contaminación atmosférica y el incremento de problemas socio-ambientales. En Ecuador en cinco años el patio automotriz ha crecido en un 57% teniendo su mayor crecimiento en la provincia de Pichincha (INEC, 2016).

2.1.2 Ozono

La dinámica de la radiación solar y el oxígeno a nivel estratosférico provoca la formación continua de ozono generando una capa estratosférica (Ecuación 1). Este también se descompone con el oxígeno atómico y por la presencia del nitrógeno, hidrógeno, clorinos y brominos, mismos que se encuentran en la atmósfera de manera natural, su función es proteger al planeta de la radiación solar directa (Zea, & León, 2015).

Por otro lado, el ozono que se produce a nivel troposférico, es decir a niveles bajos sobre el nivel del mar, es muy influyente hacia la calidad del aire y su química (Reacción 2). Por medio indirecto del ciclo del carbono el ozono actúa como un gas que provoca el efecto invernadero (Teixeira, de Santana, Wiegand, & Fachel, 2009). Según (Beltman, 2013) debido al incremento de los niveles de ozono, sobretodo en épocas de verano, hace que se provoquen efectos sobre la salud de personas, animales y vegetación. La exposición a concentraciones elevadas de O_3 puede causar varios problemas respiratorios y cardiovasculares, además puede llegar a provocar muertes prematuras (Malmqvist, 2014). Durante los últimos años los niveles de O_3 han incrementado como resultado de las actividades antrópicas, mismos niveles que son dependientes tanto de los efectos naturales como de los procesos antrópicos (Asif, 2014).



2.1.3 Consecuencias del ozono troposférico en plantas

Ya que la producción de ozono requiere de luz solar, los períodos de mayor concentración de este coinciden con los periodos de crecimiento y procesos fotosintéticos de las plantas. El daño a veces no puede ser visible, sin embargo, los agricultores no saben que el ozono reduce su rendimiento. El ozono ingresa a la planta por medio de los estomas, se mezcla con el agua y reacciona con otros químicos provocando efectos negativos (Allen, 2017).

El agua contaminada se disuelve dentro de la planta, haciendo que esta reaccione con otros productos químicos provocando otros problemas. Fisiólogos y Botánicos se encuentran investigando el efecto a nivel celular vegetal del ozono troposférico (Ber-mejo, 2016). Se conoce que membranas

celulares pueden romperse por la capacidad del ozono para interactuar con componentes lipídicos (grasos) y / o proteínas de membrana. La fotosíntesis puede desacelerarse y ser menos efectiva, como resultado un crecimiento lento de la planta. Los componentes resultantes de la oxidación que se da por ozono altera la producción proteínica y energética de las células en la mitocondria, a su vez, estos compuestos tienen la capacidad de reducir la cantidad foliar y la producción de semillas y frutos. Las especies vegetales contaminadas con ozono son más susceptibles a las plagas, sequias y enfermedades (Allen, 2002).

2.1.4 Ácido Ascórbico

El ácido ascórbico o vitamina C es un compuesto que se encuentra en gran cantidad en las plantas. Llega hasta una concentración de más de 20 mg en los cloroplastos y se presenta en todos los compartimentos celulares, hasta la pared celular. También tiene funciones en la fotosíntesis como un cofactor enzimático y antioxidante y sirve como un importante contribuyente al estado redox celular (Smirnoff & Wheeler, 2015).

Según Chen & Gallie (2005) las plantas utilizan el ácido ascórbico reservado como medio de oxidación cuando se encuentran en presencia de contaminantes. El estudio realizado utiliza dosis de ozono en plantas como medio de verificación. Como resultado se obtuvo que, a mayor cantidad de ozono, los estomas de las plantas por donde ingresan los gases son de menor tamaño y el ácido ascórbico utilizado para oxidar al contaminante igualmente es mayor, en conclusión, mientras mayor ácido ascórbico presente una planta mejor será su tolerancia hacia contaminantes gaseosos.

2.1.5 Jardines verticales

El uso de jardinería vertical en las urbes ha incrementado, como se menciona en los antecedentes, el espacio verde por persona en Ecuador no cumple con

los parámetros establecidos, por lo que es necesario implementar espacios verdes que satisfagan y cumplan con los servicios ambientales en las urbes (Domus, 2016).

La implementación de jardines verticales o muros verdes es una técnica en la que se instala jardinería a un ángulo entre 30 y 90° en la que se pueden crear condiciones óptimas para el crecimiento vegetal, un metro cuadrado de este sistema puede tener de 3 especies a más de plantas, con más de 30 individuos jóvenes por metro cuadrado. A su vez estos jardines presentan grandes beneficios para el ambiente y la salud, el CO₂ que puede llegar a absorber 10 m² de jardín vertical, equivale a la absorción de un árbol maduro de 5 metros de alto, sirven también como aislantes térmicos y acústicos (Goldsmith, 2016).

Dentro del mercado existen algunos tipos de sistemas de jardinería vertical, adaptables al tipo de edificación, estructura, peso, disponibilidad de agua entre otros. Sin embargo el método más utilizado para la creación de los jardines es el de Patrick Blanc, el botánico francés inventor de estos sistemas (Blanc, 2015).

El método se basa en la creación de un sistema estructural que de soporte al jardín con la pared, para luego colocar una geo-membrana o material impermeable para que no exista humedad entre la pared y el jardín, entre esta membrana y otra se coloca el sistema de riego por goteo que riega desde la parte superior del jardín para que el agua por gravedad provisione de agua con nutrientes a las raíces de las plantas, prácticamente es un sistema hidropónico vertical (Navarro, 2016).

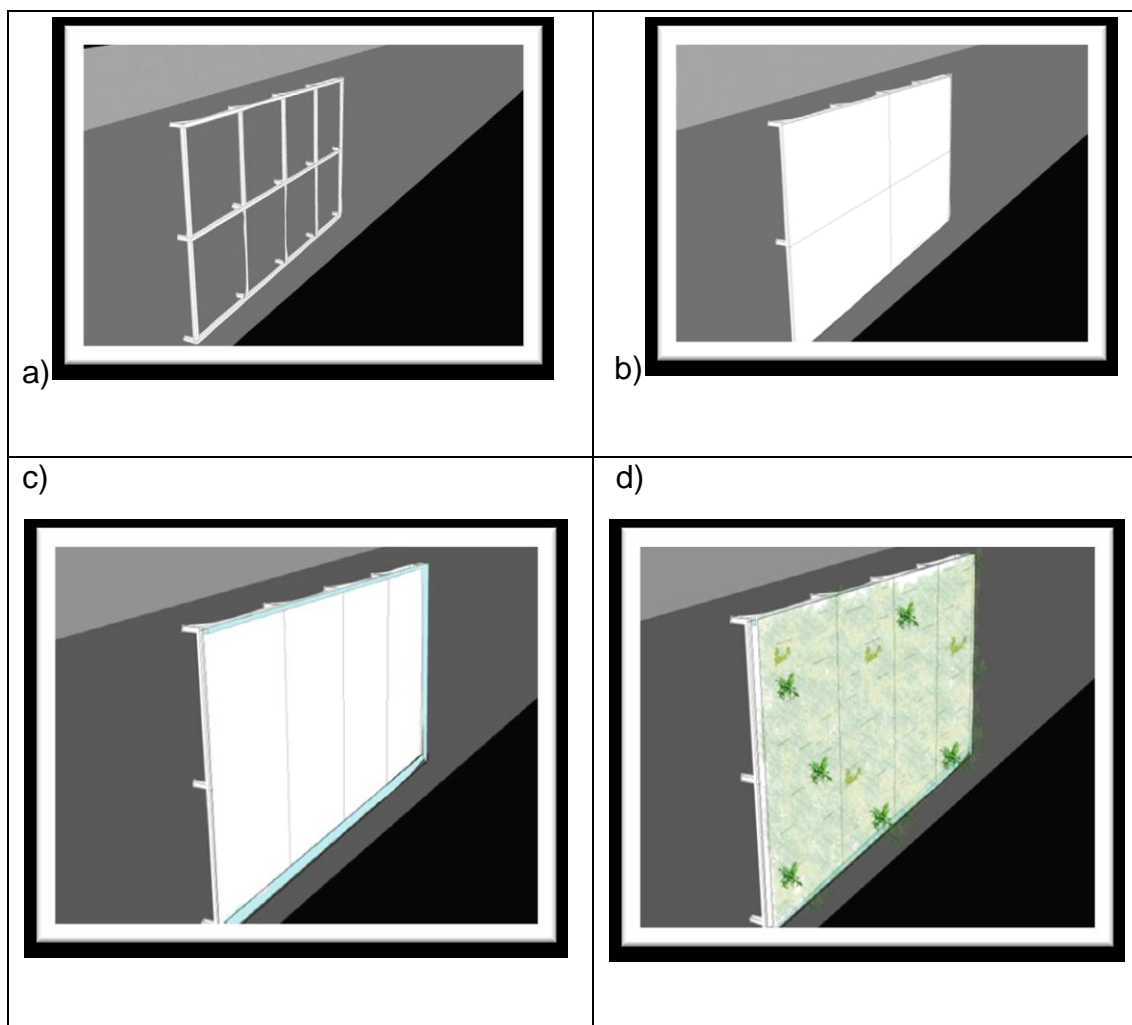


Figura 3. Fases de la construcción de jardines verticales

- a) Estructura de soporte
- b) Geotextil
- c) Sistema de riego por goteo
- d) Colocación de plantas

3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Metodología del experimento

El presente estudio y desarrollo experimental, se lo realizó dentro del Distrito Metropolitano de Quito en el mes de octubre del 2017, en la zona centro norte de la ciudad. Consecuentemente la experimentación fue dependiente de las condiciones ambientales de Quito, por lo que los resultados esperados

representaron datos relacionados a la región sierra del Ecuador, precisamente a la zona alto-andina del país.



Figura 4. Mapa del sitio del experimento, tomado de Google maps.



Figura 5.- Comportamiento del ozono en la estación Cotocollao en los días de experimentación.

Como se muestra en la Figura 5, en el mes de octubre en el que se realizó el experimento, se tienen picos de hasta $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono durante el mediodía y un promedio de $18.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.2 Diseño Experimental

Se experimentó con 3 tratamientos de 3 individuos, unos sometidos al T.2 (-1), T.1 (0) y T.3 (+1), realizando 3 réplicas de cada especie por tratamiento durante 24 días.

Tabla 2.

Diseño factorial exploratorio 3¹ para determinación de influencia del ozono troposférico en la capacidad de captación de CO₂ en tres especies vegetales.

Señal	Diseño	Niveles		
		(-1)	(0)	(+1)
F.1	Concentración de ozono troposférico	$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$	ozono ambiental	$80 \mu\text{g}/\text{m}^3$
F.C	Especies vegetales	C		

Los valores de concentraciones de ozono para este experimento se tomaron de los promedios picos mensuales de la estación de Cotocollao, misma que presenta valores por encima del rango permisible Figura 6. Esta estación se encuentra al norte de la ciudad. Se realizó un análisis de promedios mensuales desde el 2008 hasta el 2015, con el objetivo de determinar los promedios de las concentraciones más elevadas y más bajas, a su vez analizar el comportamiento diario del contaminante.

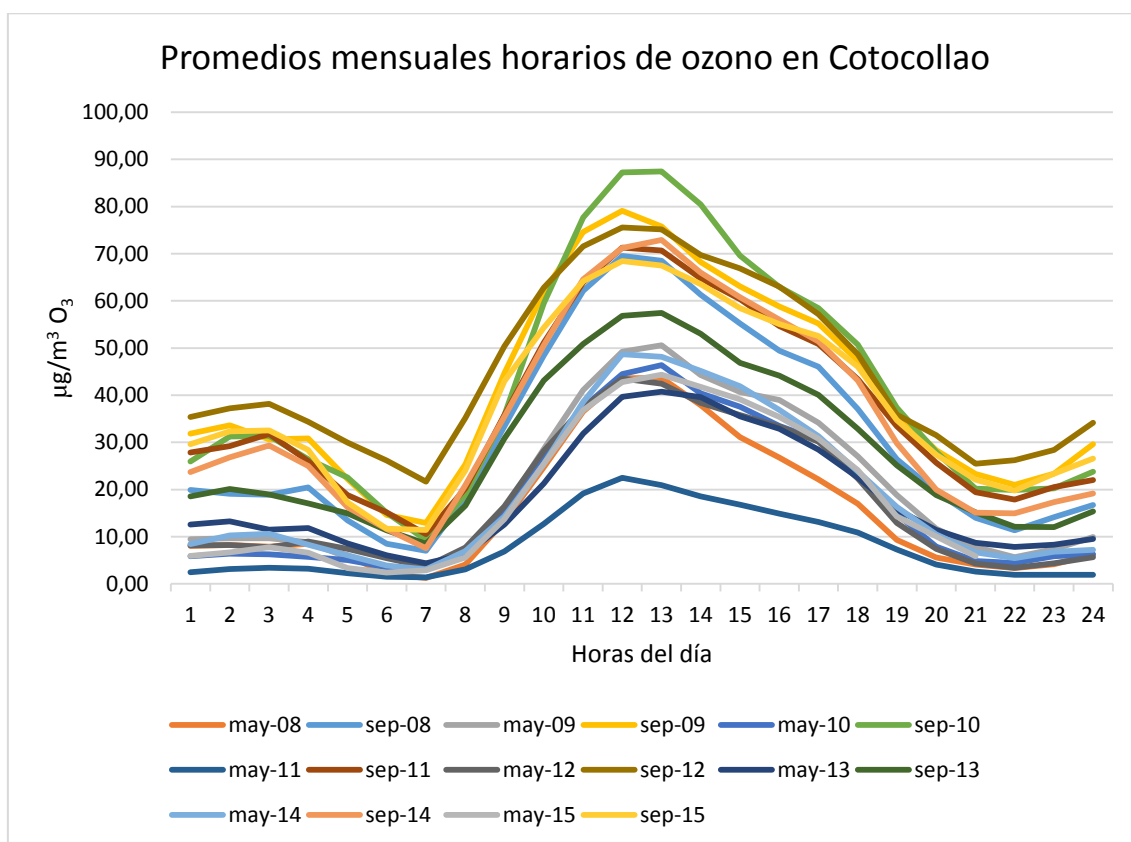


Figura 6. Promedio niveles de contaminación de O₃, en la Estación Cotocollao.

Según el informe del 2016 de la Secretaría de Ambiente, la estación Cotocollao presenta un promedio anual de 22,3 µg/m³ y un máximo promedio octohorario de 84,8 µg/m³, valores que se utilizaron para el experimento, tomando como valor alto 80 µg/m³, 40 µg/m³ como valor medio y la concentración del ozono ambiental durante los días de experimentación como blanco Figura 5, referirse Tabla 2.

3.3 Análisis de Varianza de un factor

El análisis de varianza de un factor (ANOVA) es una herramienta estadística utilizada para comparar la igualdad o diferencia entre grupos o individuos sometidos a variables independientes con distribución normal (Bakieva, 2016). Para el desarrollo del cuadro estadístico se utilizó el software Excel, en el que se designan los valores comparativos estadísticos para su posterior análisis de peso y altura al día 24 de experimentación.

Por medio de una asignación aleatoria de los individuos a los tratamientos, se analizaron estadísticamente las variables físicas cada cinco días durante el proceso experimental.

Tabla 3.

Resumen de las especies y su tratamiento de manera aleatoria.

Código	Nombre del tratamiento	Concentración de ozono por tratamiento
T.1	Tratamiento 1	Ozono ambiental
T.1.E.1.	Tratamiento 1, Especie 1	Ozono ambiental
T.1.E.1.R.1	Tratamiento 1, réplica 1	Ozono ambiental
T.1.E.1.R.2	Tratamiento 1, réplica 2	Ozono ambiental
T.1.E.2.	Tratamiento 1, Especie 2	Ozono ambiental
T.1.E.2.R.1	Tratamiento 1, réplica 1	Ozono ambiental
T.1.E.2.R.2	Tratamiento 1, réplica 2	Ozono ambiental
T.1.E.3.	Tratamiento 1, Especie 3	Ozono ambiental
T.1.E.3.R.1	Tratamiento 1, réplica 1	Ozono ambiental
T.1.E.3.R.2	Tratamiento 1, réplica 2	Ozono ambiental
T.2	Tratamiento 2	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono
T.2.E.1	Tratamiento 2, Especie 1	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono
T.2.E.1.R.1	Tratamiento 2, réplica 1	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono
T.2.E.1.R.1	Tratamiento 2, réplica 2	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono

T.2.E.2	Tratamiento 2, Especie 2	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono
T.2.E.2.R.1	Tratamiento 2, réplica 1	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono
T.2.E.2.R.2	Tratamiento 2, réplica 2	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono
T.2.E.3	Tratamiento 2, Especie 3	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono
T.2.E.3.R.1	Tratamiento 2, réplica 1	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono
T.2.E.3.R.2	Tratamiento 2, réplica 2	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono
T.3	Tratamiento 3	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono
T.3.E.1	Tratamiento 3, Especie 1	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono
T.2.E.1.R.1	Tratamiento 3, réplica 1	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono
T.2.E.1.R.2	Tratamiento 3, réplica 2	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono
T.2.E.2	Tratamiento 3, Especie 2	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono
T.2.E.2.R.1	Tratamiento 3, réplica 1	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono
T.2.E.2.R.2	Tratamiento 3, réplica 2	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono
T.2.E.3	Tratamiento 3, Especie 3	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono
T.2.E.3.R.1	Tratamiento 3, réplica 1	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono
T.2.E.3.R.2	Tratamiento 3, réplica 2	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono

3.4 Selección de especies y construcción de escenario

3.4.1 Selección de especies

3.4.1.1 Revisión bibliográfica y análisis morfológico

Se realizó un análisis y revisión bibliográfica, en el que previamente se encontraron seis plantas y según los valores obtenidos de ácido ascórbico se escogieron tres especies de plantas más utilizadas en jardinería vertical, sobre todo de exterior en el Distrito Metropolitano de Quito. A su vez, se realizó también un análisis morfológico para seleccionar las especies más adaptables a la experimentación con los siguientes parámetros.

- Mayor área de hoja.
- Diámetro del tallo.

- Mayor adaptabilidad a ecosistemas urbanos.
- Mayor resistencia a plagas y enfermedades.
- Menor mortalidad por metro cuadrado de jardín vertical
- Cantidad de ácido ascórbico

Después del análisis se escogieron tres especies para este experimento: Begonia roja (*Begonia dichotoma Jacquin*), Escancel rojo (*Aerva sanguinolenta*) y Vinca variegada (*Vinca major variegata*).



Figura 7. Begonia roja (*Begonia dichotoma Jacquin*).

La begonia roja (Figura 7), es una planta muy adaptable para jardines verticales de exteriores porque se adaptan de manera eficiente a la radiación directa del sol. Las begonias presentan tallos acuosos y sus flores son muy diversas tanto en forma, tamaño y color (Urbanismo, 2016).

Para este experimento se utilizaron plantas jóvenes, debido a que la siembra de plantas en el sistema de jardín vertical se las realiza a una edad joven por factores de estética y adaptabilidad. Por medio de una medición de parámetros antes de la experimentación de altura y peso realizada a los nueve individuos se obtuvo un peso promedio de 0,10 kg y 23,88 cm de altura. Presentaron hojas anchas y tallo carnoso con flores rojas delgadas.



Figura 8. escancel rojo (Aerva Sanguinolenta)

El escancel rojo es una planta originaria de Asia y bien adaptada a Ecuador (Figura 8). Esta especie es muy utilizada en jardines verticales por su resistencia y tonalidad rojiza que le da al jardín. También es muy utilizada en parques por su resistencia a zonas urbanas y condiciones a alta contaminación, se la utiliza de igual manera como planta medicinal en Ecuador para tratar sobre todo enfermedades pulmonares (Botanica, 2017).

Para este experimento se utilizaron 9 individuos jóvenes de 0,09 kg de peso y 20 cm de altura en promedio.



Figura 9.- vinca variegada (*Vinca major variegata*)

La planta vinca (*Vinca major variegata*) (Figura 9), es una planta perenne utilizada como follaje, es una planta resistente al sol y a la sombra. Esta especie se escogió debido a que se adapta al crecimiento en taludes y zonas inclinadas, similares al crecimiento vertical. En el Distrito Metropolitano de Quito de igual manera es muy utilizada en parques y jardines por su resistencia a condiciones urbanas (Floraiberica, 2010). Los nueve individuos jóvenes seleccionados para el experimento presentaron 0,075 kg de peso y 13,85 cm de altura en promedio.

3.4.1.2 Determinación de ácido ascórbico

Como se indica en el Capítulo I, el ácido ascórbico es un antioxidante de procedencia biológica que se encarga de proteger el organismo vegetal de la oxidación interna provocada por contaminantes procedentes del oxígeno reactivo (Sharma & Jain, 2016). Mientras mayor ácido ascórbico presente una planta, mejor será su capacidad antioxidativa para eliminar y soportar contaminantes (Rodas, 2015). Por medio de una práctica de laboratorio de titulación yodométrica, se obtuvo la cantidad de ácido ascórbico de cada

especie dada en mg de ácido ascórbico en 1g de hojas, esto fue hecho para estimar y evaluar la relación entre el ácido ascórbico y la resistencia de las plantas a la presencia de ozono. La metodología que se utilizó está avalada por la Universidad Mayores en México (Ciancaclini, 2011).

La titulación por yodo es una técnica que analiza cuantitativamente y cualitativamente una dilución, en el que se tiene un volumen conocido de una concentración llamada titulante patrón, mismo que reacciona con otro compuesto de concentración desconocida. Para determinar que la titulación está completa se coloca un indicador que muestra un cambio notable en su color, en este caso es el almidón que cambia de color a un azul intenso. Con esta titulación se determina la cantidad de ácido ascórbico mediante una volumetría de óxido-reducción, debido a que este tiene características reductoras se empleó una mezcla de yodo como producto oxidativo (titulante primario) (Ciancaclini, 2011).

Se extrajo zumo puro de las hojas de cada especie para poder realizar una dilución. Como medio de validación se utilizó una pastilla de Vitamina C de 500 mg. Una vez realizada la titulación se calcula la cantidad de ácido ascórbico mediante la Ecuación 3 (Ciancaclini, 2011).

$$\frac{g}{L} = 0,424 \times \frac{\text{Volumen yodo consumido}}{\text{volumen de la muestra}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde, la cantidad de yodo utilizado es la cantidad añadida en el erlenmeyer con la bureta el titulante y el validador de vitamina C (ácido ascórbico), y la cantidad en volumen de la muestra es el volumen de zumo que se ha colocado en el erlenmeyer para determinar la cantidad de ácido ascórbico presente en las hojas.



Figura 10. Zumo extraído de plantas y materiales para proceso de titulación

3.4.1.3 Trasplante y toma de medidas de plantas

Una vez adquiridos los 27 individuos de plantas, se procedió a realizar un trasplante hacía las macetas individuales. En este proceso se tomaron medidas de altura y peso de las plantas para luego comparar estos factores al final de la experimentación debido a que la captación de carbono de las plantas se ve reflejado en su biomasa (FAO, 2015). Este proceso se lo realizó en el día 0 de experimentación, se utilizó una regla y una balanza electrónica para el pesaje.



Figura 11. Proceso de pesaje de plantas.

3.4.1.4 Construcción de escenarios de experimentación

Las cajas experimentales se las realizó de 50 x 50 x 50 cm medida utilizada para la instalación de estas en el sitio de estudio. Los materiales empleados en el montaje fueron plástico de invernadero colocado en las paredes y tubos de aluminio cortados para la estructura. Para las tapas se realizaron estructuras de aluminio forrado con plástico de invernadero, en la que por presión se sella herméticamente. A la vez fue instalado un sistema de riego con nueve micro-aspersores en cada celda experimental (Figura 12).

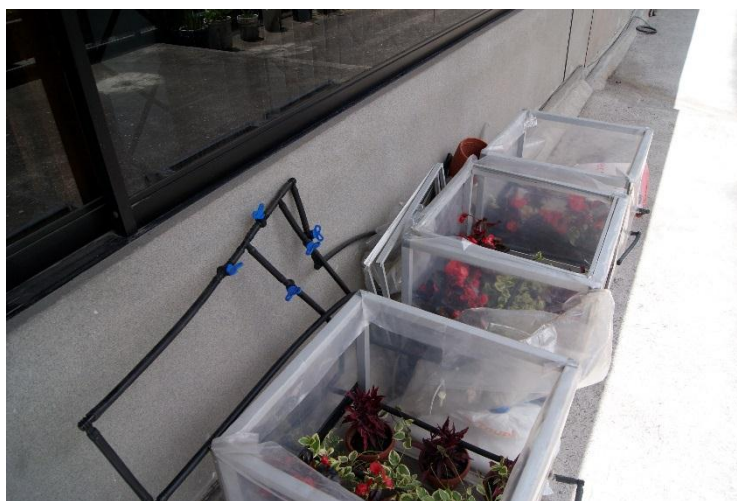


Figura 12. Cajas experimentales.

3.5 Generación de ozono O₃

Para la generación del ozono se utilizó un filtro de ozono de agua, que se maneja mediante el principio de la descarga eléctrica por frecuencia alta (Galvis, et al., 2012).

El filtro adaptado produce 35 mg de O₃ cada hora, por lo que para generar los 80 µg/m³ y 40 µg/m³. Mediante la Ecuación 4, se obtiene el tiempo estimado de encendido para la obtención de las concentraciones requeridas.

$$\text{Tiempo de generación} = \frac{\text{Cantidad de ozono necesario (ug)} * 3600 \text{ (seg)}}{\text{Concentración generada en una hora (ug)}} \quad (\text{Ecuación 2}).$$

Según los cálculos realizados se tiene que 4 segundos de encendido del generador este produce 40 µg y durante 8 segundos para 80 µg de ozono si es que el caso fuera para un volumen de un metro cúbico, pero como se tiene un volumen en los micro invernaderos de 0,125 m³ se deben dividir los tiempos a la octava parte. Sin embargo, por análisis previamente hecho sobre las concentraciones se ingresarán las concentraciones como si fuera un metro cúbico.



Figura 13.- Generador de ozono adaptado marca OZONOLUX.

3.6 Inyección de ozono

De acuerdo con el comportamiento del ozono diario, se realizó el ingreso del contaminante a las cajas selladas todos los días durante el mediodía, momento en el que el ozono se encuentra en mayores concentraciones (Figura 2). Antes de esto se abrieron las cajas para realizar tomas fotográficas de cada una de las celdas para poder apreciar cualitativamente la variación estética y morfológica de las plantas durante el pasar de los días (Tabla 12).



Figura 14. Inyección del ozono a las celdas de experimentación.

3.7 Medición de ozono

Para validar los datos de la cantidad de ozono inyectada a las celdas experimentales se trabajó con la Secretaría de Ambiente de Quito, la que por un método de cromatografía iónica se determina la concentración de ozono en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mediante la instalación de tres filtros en cada celda experimental, cada uno separado por 50 cm ubicados a 30 cm del suelo. La exposición de ozono fue de 25 horas para que luego sean analizados en los laboratorios de la Secretaría de Ambiente.

3.8 Monitoreo de CO₂

3.8.1 Monitoreo de CO₂

El monitoreo de CO₂, se lo realizó mediante el uso de un sensor DFRobot Gravity con modulo MG-811, El equipo fue validado con mediciones de CO₂ ambiental de Quito, comparado con el valor dado por el satélite de la NASA en Ecuador. El sensor tiene un rango de detección que oscila entre 0 a 2000 ppm (Dfrobot, 2017). Este sensor se encuentra adaptado a una bomba en la que extrae aire de las cajas de experimentación para que pueda ser analizado por una tabla Arduino 1, que codifica la información hacia el computador (Figuras 15 y 16). El monitoreo de CO₂ fue hecho dos veces al día.



Figura 15. Sistema y transferencia del sensor de CO₂

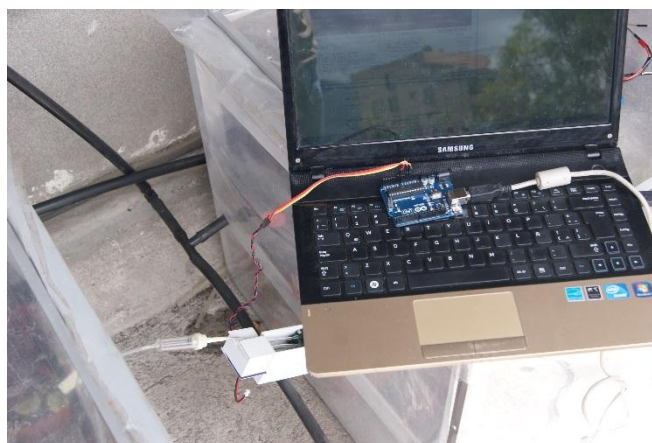


Figura 16. Monitoreo de CO₂ en las cajas de experimentación.

Mediante la Tabla A2 anexada, se realizó la toma de los valores de CO₂ en cada tratamiento con lo que se pudo obtener el valor final de las concentraciones de CO₂ luego de ocho horas en presencia de ozono.

3.9 Análisis micro de los sujetos de experimentación

Se realizó un análisis microscópico, mediante una técnica de tinción con azul de metileno el cual permite observar la composición celular de las hojas para los 3 tratamientos (Megías, Molist, & Pombal, 2016). Las muestras de las hojas fueron tomadas el día 24 post cosecha.

Para este análisis se utilizó un microscopio binocular biológico modelo CX-41 marca Olympus. Esto se realiza para poder determinar a nivel microscópico, cuál es el efecto del O₃ en las hojas de las plantas.

3.10 Análisis macro de los sujetos de experimentación

Debido a que las plantas analizadas tienen el propósito de ser instaladas en un sistema de jardín vertical, se evaluaron las variables peso, altura, quemaduras en hojas y estado estético de las plantas. Estos factores morfológicos son importantes debido a que su instalación depende mucho de un buen estado estético (Urbanismo, 2016). Al analizar estos factores se determinaron también los efectos directos del O₃ en las plantas y cómo afecta este directamente a su capacidad de captar CO₂ de manera eficiente. En el trasplante las mediciones se realizaron mediante el uso de una regla (altura) y una balanza eléctrica (peso) (FAO. 2015). Este proceso se realizó en el día 24 una vez terminada la exposición del contaminante. Adicionalmente se realizó el monitoreo cada 7 días, de todos los factores excepto el peso y el estado estético diario (Sharma & Jain, 2016).

4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Ácido ascórbico

Después de realizar la práctica de titulación por yodo de las tres especies vegetales se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4.

Resultado de la titulación por yodo de ácido ascórbico por cada especie

Especie	Cantidad de ácido ascórbico mg/g de hoja
Vinca	0,443
Escancel rojo	1,300
Begonia roja	0,219

Mediante los resultados de la Tabla 7: el escancel rojo (*Aerva Sanguinolenta*) presenta la mayor cantidad de ácido ascórbico por hoja, por eso debería ser la planta que más resista al efecto del O₃, ya que el ácido ascórbico es el primer

antioxidante en presentarse a nivel estomático para reducir al ozono y metabolizarlo (Smirnoff, 2015). En segundo lugar, está la vinca (*Vinca major variegata*) y por último la begonia roja (*Begonia dichotoma Jacquin*).

4.1.2 Concentraciones de ozono para experimentación

En el año 2017 se realizó un experimento controlado sobre la Influencia de ozono troposférico en la capacidad de absorción de CO₂ en plantas de Albaca (*Ocinum Tenuiflorum*), en la Universidad de Las Américas por el estudiante Miguel Quishpe. Para la que se utilizaron las mismas celdas experimentales del presente estudio.

En la que, debido a un error de cálculos del estudiante en la generación de ozono con relación al volumen de los micro-invernaderos, se generó las concentraciones de 320 µg/m³ y 640 µg/m³.

Sin embargo, después de la realización de las validaciones de las concentraciones con medidores pasivos y la técnica de cromatografía líquida de gases por parte de la Secretaría de Ambiente de Quito, se obtuvieron las concentraciones promedio de 40 µg/m³ y 80 µg/m³.

Paralelamente al presente estudio, se realizó un experimento en la zona norte de Quito realizado por el estudiante Martín Monteverde de la Universidad de las Américas, en la que también utilizó concentraciones de ozono de 40 µg/m³ como factor (-1), 80 µg/m³ como factor (1) y (0) como factor de ozono ambiental, para determinar la resistencia hacia el ozono de tres especies vegetales. Por lo que también realizó la validación de las concentraciones de ozono con la metodología de medidores pasivos de la Secretaria de Ambiente de Quito y obtuvo los resultados de:

Tabla 5.

Concentraciones de O₃ (µg/m³) otorgadas por la Secretaria de Ambiente de Quito, por medio de medidores pasivos.

Concentración de ozono resultante de los captadores pasivos		
# de Tratamiento	Concentración	Unidad

Tratamiento (0)	18.4	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Tratamiento (-1)	47.4	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Tratamiento (1)	54.1	$\mu\text{g}/\text{m}^3$

Por lo que se muestra en la tabla 5. No existe una relación entre las concentraciones generadas por los estudiantes a los valores analizados por la Secretaria de Ambiente DMQ. Por lo que se decidió utilizar las concentraciones generadas por Miguel Quishpe ya que al ser analizadas por el método de la Secretaria de Ambiente éstas arrojan resultados de concentraciones más cercanas a los esperados según los valores estadísticos de la estación Cotocollao.

Por esta razón en el presente estudio desde este momento las concentraciones de $320 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $640 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se las nombrará como $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ya que son las concentraciones que arrojó la metodología de la Secretaria de Ambiente.

Posteriormente en el presente estudio se fundamentará la metodología sobre los medidores pasivos.

4.1.3 Resultados macro físicos del trasplante día 1

Tabla 6.

Resultados de la altura y peso al trasplante

Tratamientos	Altura del tallo (cm)	Peso (kg)
T.1 O ₃ ambiental		
T.1.E2	18,5	0,22
T.1.E9	16,5	0,37
T.1.E3	15	0,3
T.1.V4	11	0,19
T.1.V2	12,5	0,2
T.1.V9	17	0,25
T.1.B2	21	0,32
T.1.B6	19	0,27
T.1.B4	28	0,4

T.2 (40 µg/m ³)		
T.2.E7	14,5	0,13
T.2.E1	25	0,3
T.2.E5	18,5	0,13
T.2.V5	12,3	0,28
T.2.V6	20	0,27
T.2.V3	8,5	0,25
T.2.B1	26,5	0,32
T.2.B8	20	0,3
T.2.B3	27	0,37
T.3 (80 µg/m ³)		
T.3.E6	18	0,33
T.2.E4	15,4	0,16
T.2.E8	20	0,32
T.2.V1	16	0,28
T.2.V8	13,5	0,28
T.2.V7	12	0,3
T.2.B7	24	0,35
T.2.B9	21,5	0,26
T.2.B5	28	0,4

Nota: Los datos de altura y peso son los resultados antes de la experimentación en el día 0, se designó cada planta a los tratamientos de manera aleatoria.

E= Escancel rojo (*Aerva Sanguinolenta*)

V= Vinca (*Vinca major variegata*)

B= Begonia roja (*Begonia dichotoma Jacquin*)

4.2 Influencia del ozono en la capacidad de absorción de CO₂

4.2.1 Altura promedio de plantas por especie día 24 del experimento

Tabla 7.

Resultados del promedio de altura por especie día 1 y día 24

Tratamiento	Especie	Promedio de altura (cm) día 1	Promedio de altura (cm) día 24
T1	Escancel rojo	16,7	17,6
	Vinca	13,5	14,3
	Begonia	22,7	25,1
T2	Escancel rojo	19,3	14,2

	Vinca	13,6	12,1
	Begonia	24,5	20,4
T3	Escancel rojo	17,8	16,6
	Vinca	13,8	11,8
	Begonia	24,5	21,6

Según la Tabla 9, la altura de las plantas en el tratamiento 1 aumento a diferencia de los tratamientos 2 y 3 en el que hubo una disminución de altura

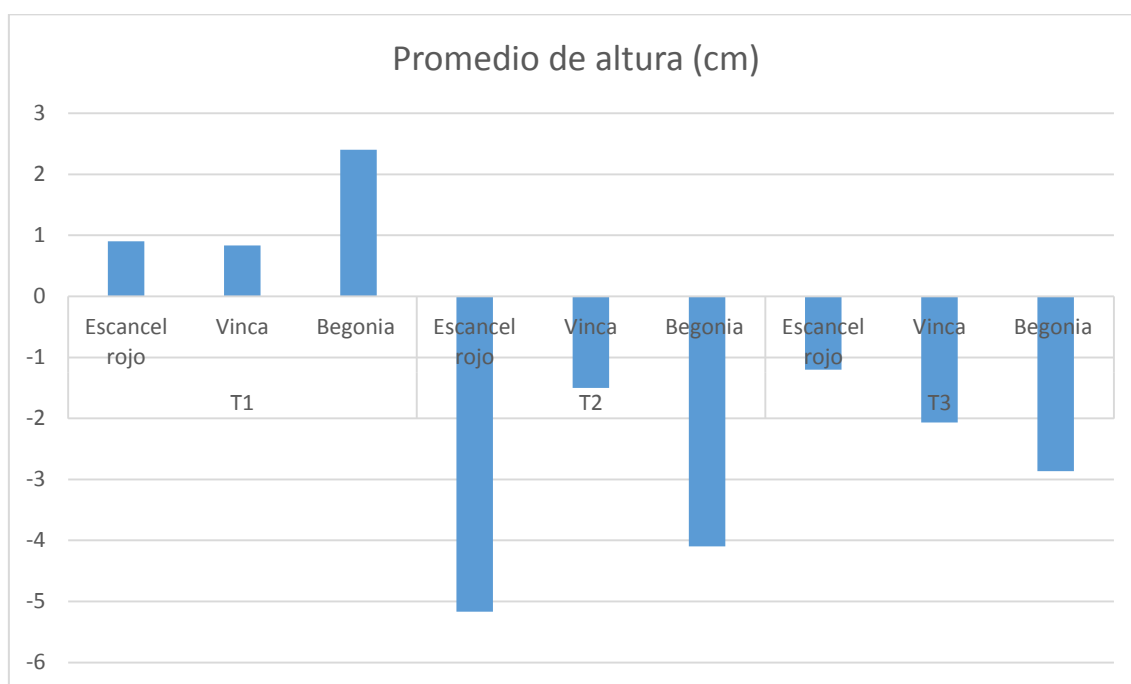


Figura 18. Cambio de altura después del experimento

Como se muestra en la Figura 18, las plantas del Tratamiento 1 crecieron sobre todo la begonia, a diferencia de las plantas del Tratamientos 1 y 2 luego de 24 días de exposición a 40 y 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono.

4.2.1.1 Análisis de Varianza de la altura por tratamiento al día 24

Tabla 8.

Análisis estadístico del promedio de altura por tratamiento al día 24

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Tratamiento 1	3	4,1	1,3	0,7881481
Tratamiento 2	3	-10,8	-3,6	3,61
Tratamiento 3	3	-6,2	2,0	0,7233333

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
	38,9935802		19,496790	11,420595		
Entre grupos	5	2	1	9	0,00900356	5,14325285
Dentro de los grupos	10,2429629	6	1,7071604			
	49,2365432					
Total	1	8				

Según el análisis ANOVA si el valor crítico es menor o igual a (0,05) se anula la hipótesis de igualdad y si el valor es mayor, se sugiere igualdad entre los resultados pero no significativos (Bakieva et al., 2016). El valor crítico encontrado en este análisis es mayor que 0,05 se asume que no hay una diferencia significativa, esto debido a que los tratamientos 2 y 3, presentando un comportamiento similar a diferencia del tratamiento 1 en el que las plantas si aumentaron de tamaño.

4.2.2 Comportamiento de la altura por tratamiento

4.2.2.1 Tratamiento 1 O₃ ambiental

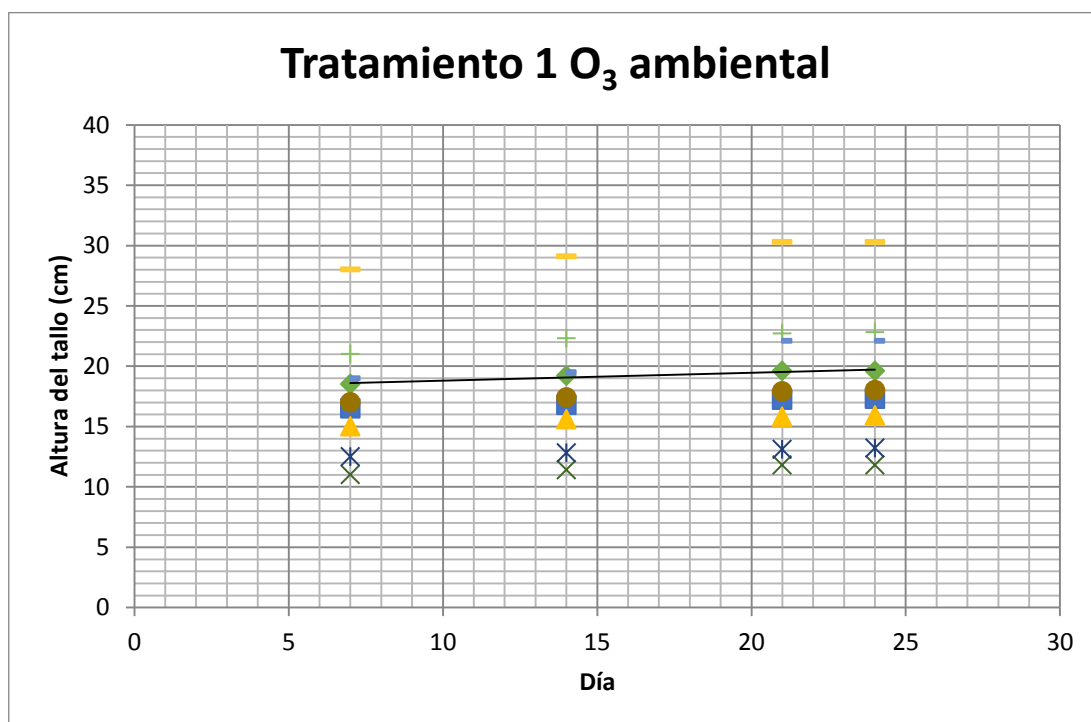


Figura 19. Comportamiento de la altura en cm del Tratamiento 1 por individuo durante el experimento.

Como se muestra en la Figura 19 en el Tratamiento 1 (ozono ambiental), por la línea de tendencia, los individuos crecen a lo largo de la experimentación de manera normal, no se encuentra una estabilización en ninguno de los individuos.

4.2.2.2 Tratamiento 2 (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) O₃

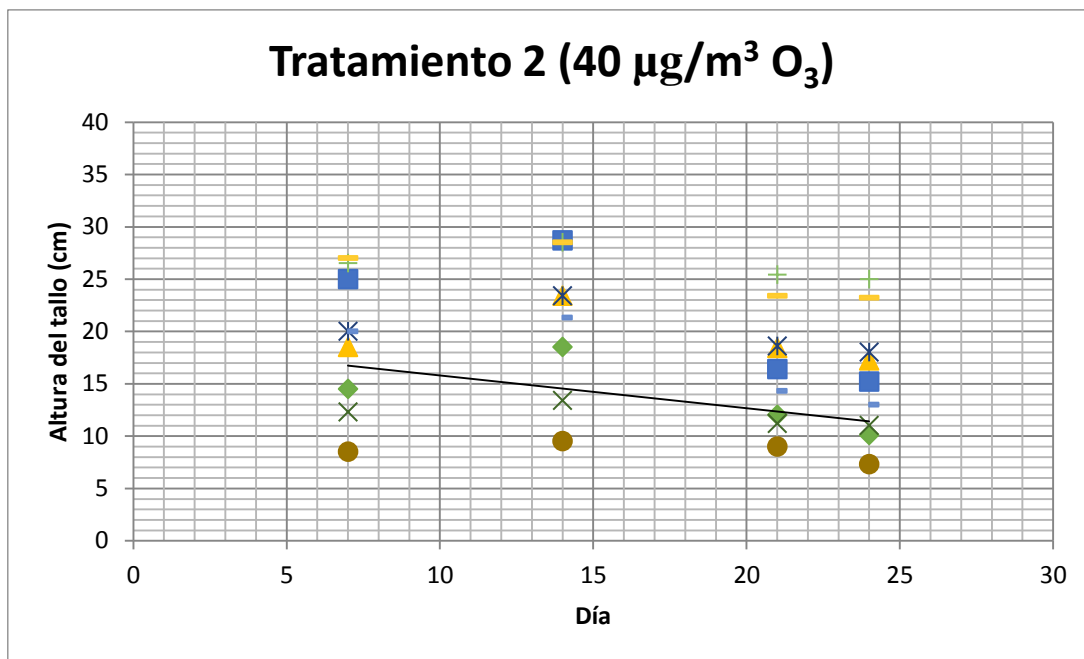


Figura 20. Comportamiento de la altura en cm del Tratamiento 2 por individuo durante el experimento.

A diferencia del Tratamiento 1, los individuos de este Tratamiento presentan una tendencia de crecimiento continuo hasta el día 14, seguido de una pérdida de biomasa en hojas y tallo que se ve reflejado en la altura.

4.2.2.3 Tratamiento 3 ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{O}_3$)

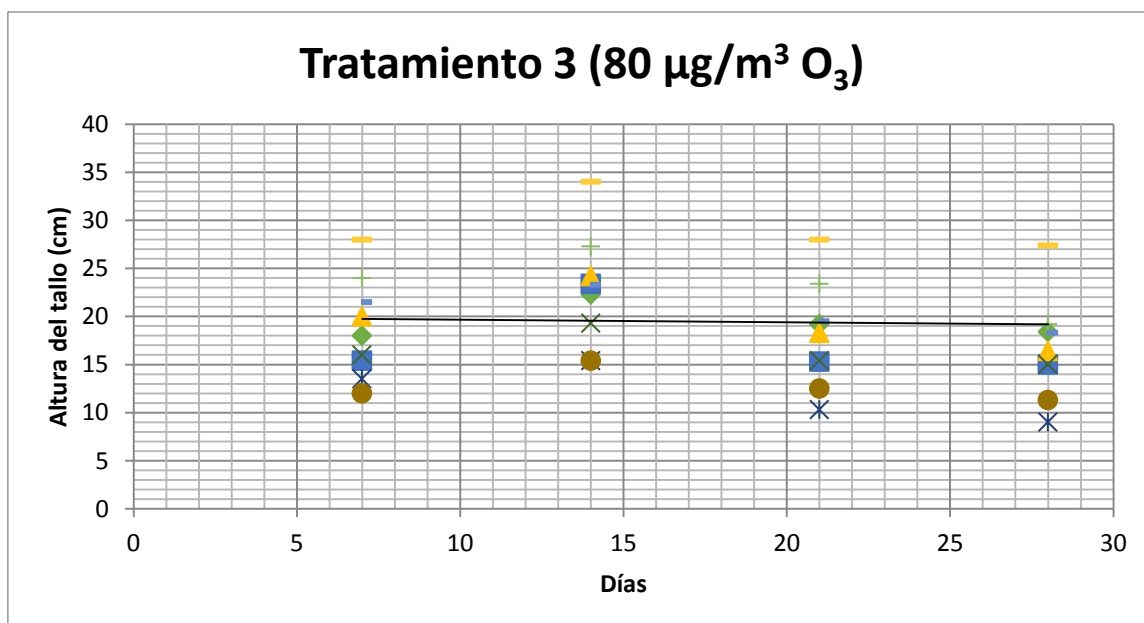


Figura 21. Comportamiento de la altura en cm del Tratamiento 3 por individuo durante el experimento.

Como se observa en la Figura 21, el comportamiento de la altura es similar al tratamiento 2 (Figura 16), en la que existe una tendencia a crecer hasta el día 13-14, este fenómeno se denomina sobreexpresión vegetal que se lo explicará más adelante en el presente estudio.

4.2.3 Altura promedio de plantas por individuo día 24 del experimento



Figura 22. Comportamiento del peso por individuo durante el experimento de los tres tratamientos.

El peso de los individuos es proporcional también a la altura de la planta, por lo que a mayor altura presente la planta, mayor será su peso por el aumento de biomasa en sus hojas, tallos, flores y raíces, la biomasa es captada por el proceso fotosintético y de la captación de CO₂ (FAO, 2015) a continuación se discutirá el comportamiento del peso por especie en cada tratamiento.

4.2.3.1 Altura promedio de plantas por especie día 24 del experimento

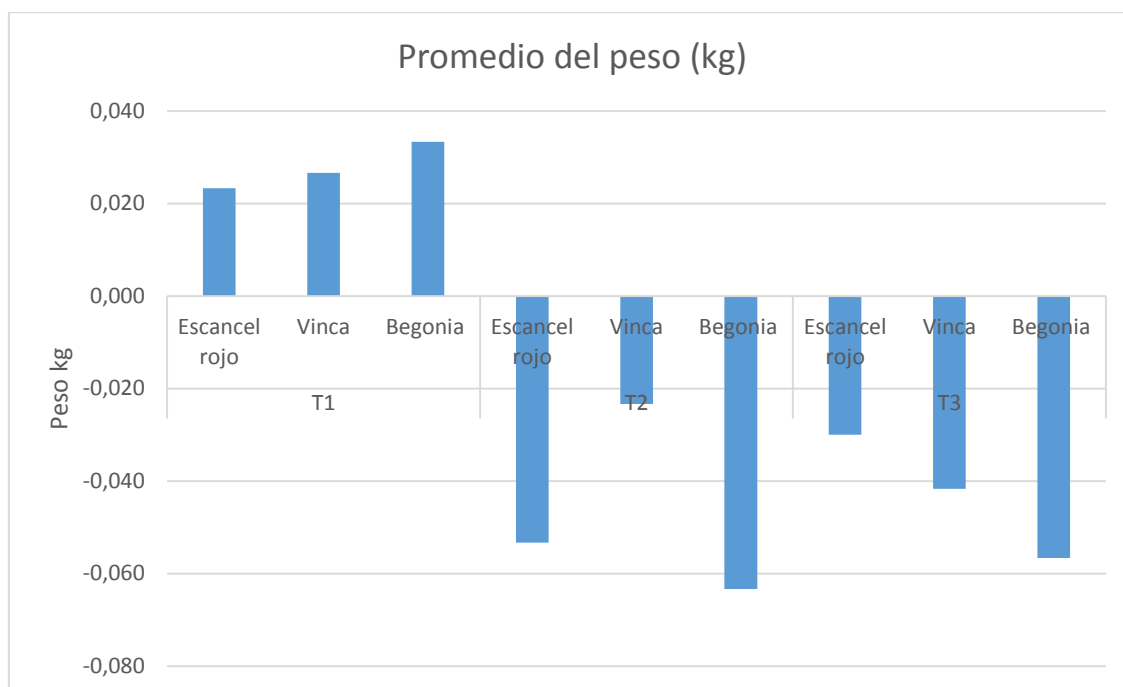


Figura 23. Cambio de peso después del experimento

Debido a que el peso de las plantas es proporcional a la altura de las plantas, se esperaba que el comportamiento por peso sea el mismo al de la altura, como se muestra en la Figura 19, las especies del Tratamiento 1 tuvieron un aumento de peso a diferencia del Tratamiento 2 y 3 (40 y $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono), tuvieron una disminución de peso, esto se dio por la pérdida de hojas, deshidratación y marchites (Lancho, 2014).

4.2.3.2 Análisis de Varianza del peso (kg) por tratamiento al día 24

Tabla 9.

Análisis estadístico del promedio del peso por tratamiento al día 24

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	3	0,083	0,02766667	1,6333E-05
Columna 2	3	-0,13	0,04333333	0,00043333

Columna 3 3 -0,13 0,04333333 0,00023333

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,010082	2	0,005041	22,1420205	0,00169888	5,14325285
Dentro de los grupos	0,001366	6	0,00022767			
Total	0,011448	8				

En este caso el valor crítico es mayor que (0,05) por lo que no existe una diferencia significativa ya que los valores del peso son pequeños, aun así no significa que los Tratamiento presenten una igualdad (Math, Terrádez, & Juan, 2016). El comportamiento del peso de las plantas por individuo durante el experimento es igual al de la altura debido a su relación por lo que no se considera necesario realizar el análisis por cada siete días.





4.2.4 Análisis estético de las plantas por cada tratamiento durante el experimento

4.2.4.1 Tratamiento 1: O₃ ambiental

Tabla 10.

Fotografías de cada 7 días durante el experimento del tratamiento 1

Día	Muestra gráfica
-----	-----------------

1	
7	
14	
21	




Las plantas del tratamiento 1 no fueron expuestas a la inyección adicional de concentraciones de O_3 , por lo que no se esperaba un cambio estético de relevancia. Como se puede observar hasta el día séptimo se puede apreciar una buena apariencia de las plantas, buen follaje, presencia de flores. Sin embargo, en el día 14 se puede notar una marchites sobre todo de las begonias. Esto fue debido al calor y humedad (Bermejo et al, 2016) presente dentro de las celdas experimentales ya que estas plantas prefieren el ambiente seco y temperatura media (Blanc, 2015), las plantas se encuentran vivas y en estado de regeneración. En cuanto a las otras especies se puede ver buen estado en sus hojas, crecimiento y florecimiento en un espécimen de vinca. Este resultado se esperaba debido a que no existe presencia de un contaminante que pueda dañar el sistema foliar y morfológico de la planta.

4.2.4.2 Tratamiento 2 concentración de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabla 11.

Fotografías de cada 7 días durante el experimento del tratamiento 2

Día	Muestra gráfica
1	

7	
14	
21	



El mayor cambio significativo se presenta a partir del día 14, en el que las plantas empezaron su marchitez, presentaron manchas en las hojas, al igual que hojas caídas en las begonias y las vincas, el escancel rojo presentó mayor tolerancia y resistencia al contaminante debido a que tiene mayor presencia de

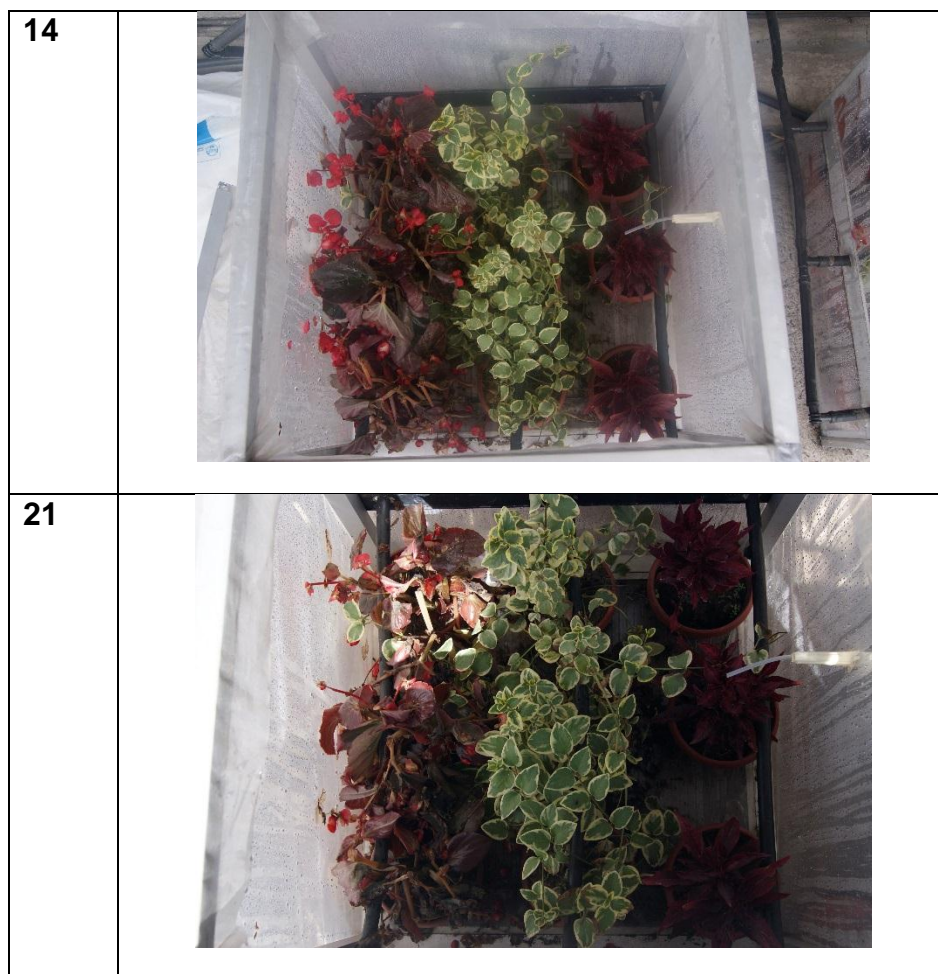
ácido ascórbico que las demás especies, mientras que en la begonia y vinca también se presentó marchitez y cambio de color en las hojas, esto se notó hasta el final del experimento.

4.2.4.3 Tratamiento 3 concentración de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabla 12.

Fotografías de cada 7 días durante el experimento del tratamiento 3

Día	Muestra gráfica
1	
7	



El tratamiento 3 ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) es el que presentaba mayor concentración de O_3 por lo que se esperaba un cambio estético significativo. La marchites, pérdida de hojas y aparición de manchas necrosas en las hojas se dio igual a partir del día 14, la presencia de manchas en las hojas de la vinca y begonia fueron mayores que las del escancel rojo, también por su mayor resistencia debido a la concentración de ácido ascórbico en sus hojas.

El daño en los dos tratamientos con concentración de O_3 se lo presencia a partir del día 14 por un efecto de sobreexpresión de la planta que según De Prado & Cruz-Hipolito (2016), es un mecanismo utilizado por las especies vegetales para poder resistir y metabolizar al contaminante o herbicida que se encuentra alterando su sistema (Lancho, 2014). La sobreexpresión en las plantas se presenta como un medio de defensa en la que su estado morfológico de hojas, tallo y flores parecen ser los mejores y se potencializan

para poder metabolizar al contaminante, sin embargo, luego de un tiempo de exposición la planta se satura y empieza un proceso de marchites llevándola a la muerte (Rodas, 2015). En este caso la Begonia y la Vinca que luego de su efecto de sobreexpresión hasta el día 14 empezó su proceso de marchites y muestra de factores de alta contaminación y envenenamiento.

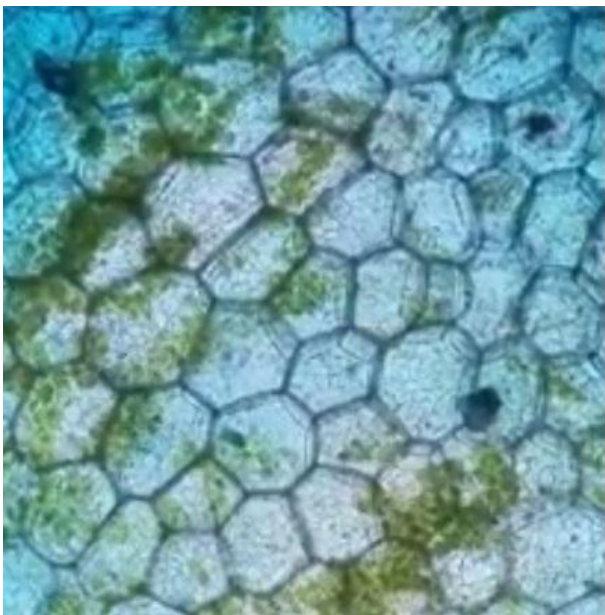
4.3 Análisis micro de las plantas

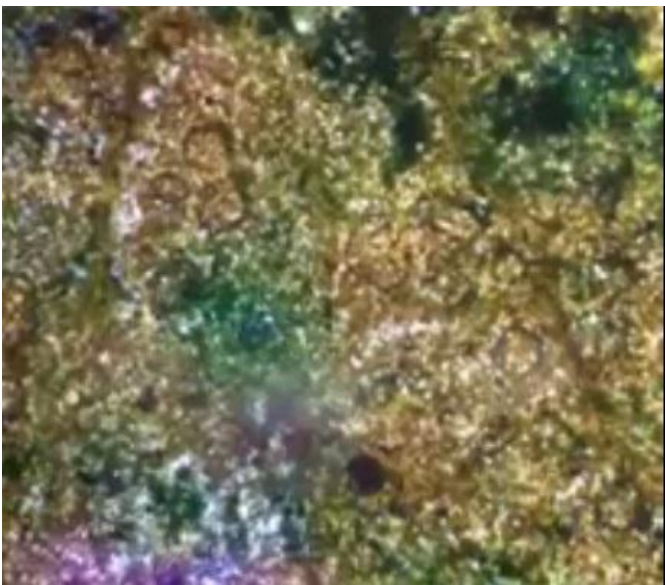
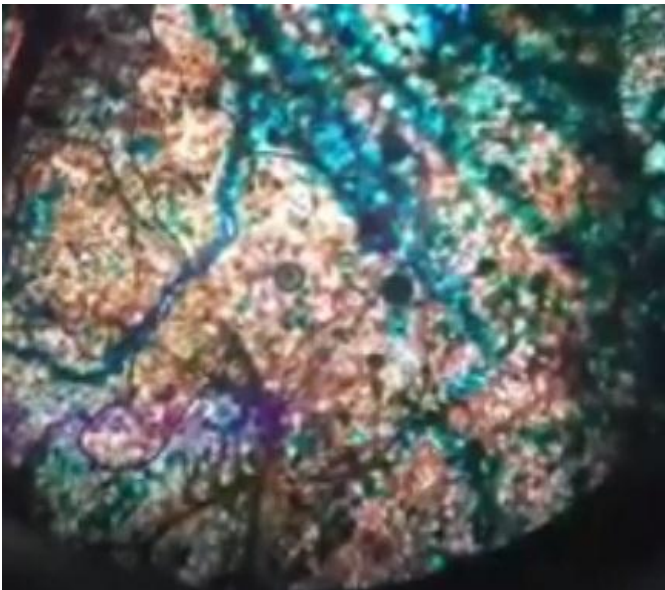
Después del experimento, se cosecharon hojas de cada especie de los tratamientos.

4.3.1 Análisis micro begonia roja (*Begonia dichotoma Jacquin*)

Tabla 13.

Fotografías a nivel celular de hojas de begonia al día 24 del experimento

Tratamiento	Lente	Imagen
O ₃ ambiental	10x	
40 µg/m ³	10x	

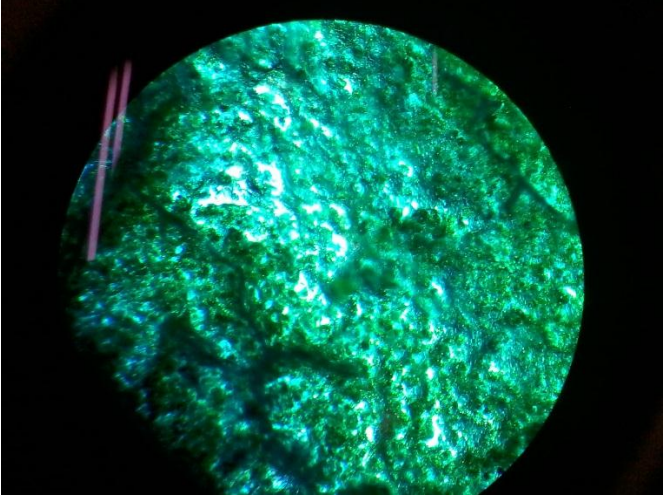
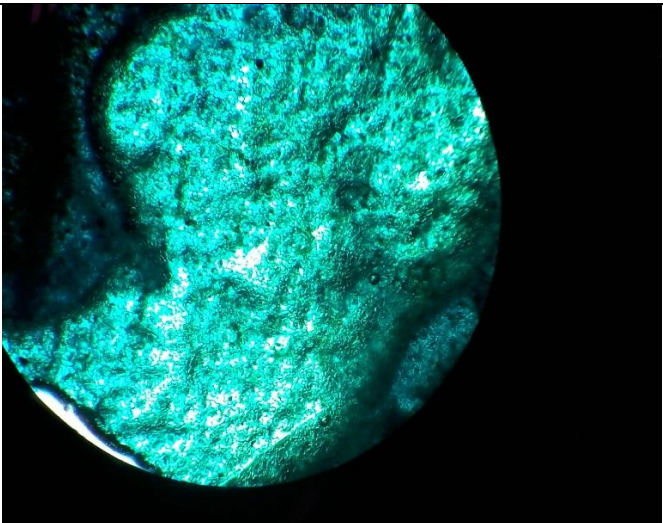
		
80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10x	

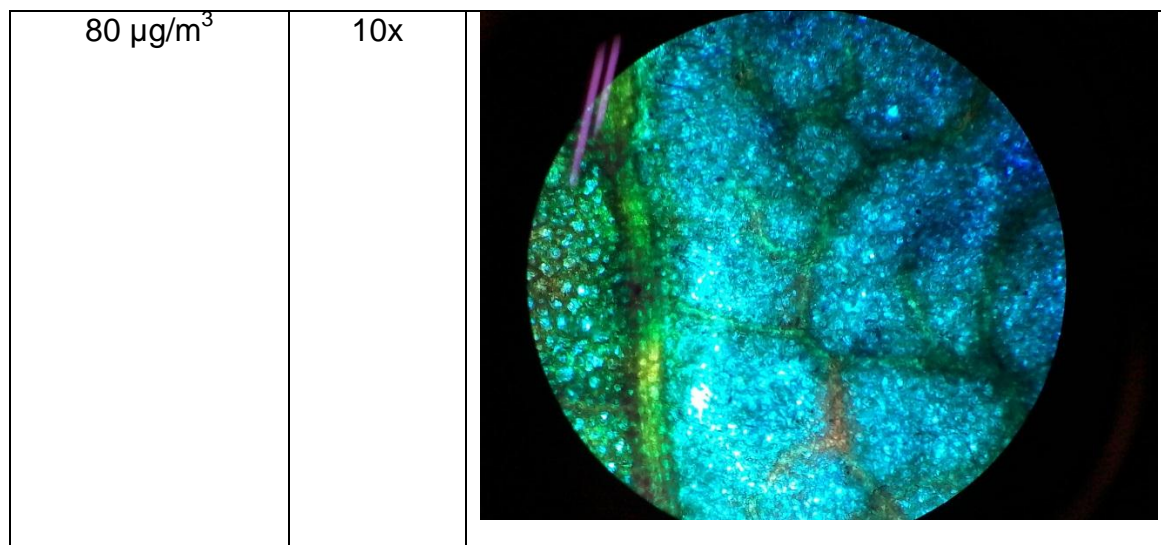
Estas imágenes son tomadas de una parte aleatoria de una hoja de begonia de cada tratamiento en el día 24 del experimento, como se puede ver en la imagen del tratamiento de concentración ambiental las células se encuentran en buen estado, sin ningún tipo de cambio en su estructura y paredes celulares, sin embargo, en los tratamientos que fueron sometidos a concentraciones de ozono las células presentan manchas, rompimiento de las paredes celulares, y un color amarillento. Esto puede interferir en la capacidad fotosintética de las hojas, por pérdida de área efectiva fotosintética y daño celular (Allen, 2002).

4.3.2 Análisis micro Vinca (*Vinca major variegata*)

Tabla 14.

Fotografías a nivel celular de hojas de Vinca al día 24 del experimento

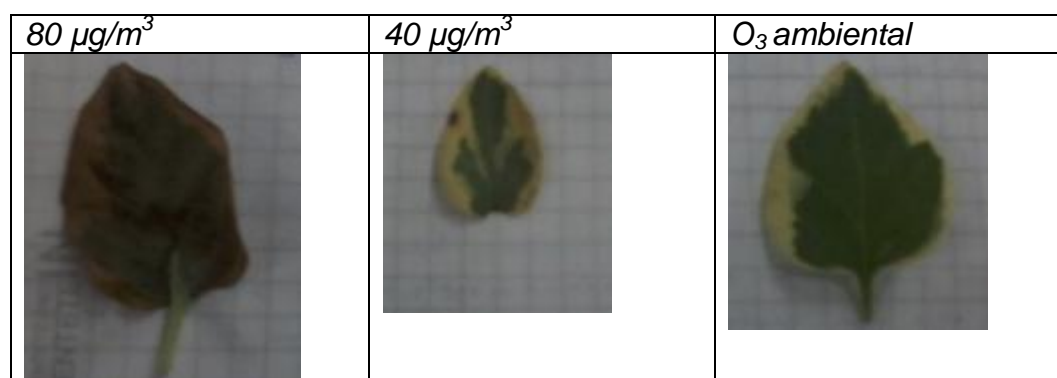
Tratamiento	Lente	Imagen
O ₃ ambiental	10x	
40 µg/m ³	10x	



La Vinca es la segunda planta con niveles de ácido ascórbico medio por lo que se puede ver en las imágenes de la Tabla 16 que en los dos primeros tratamientos las células no sufrieron mayor daño y no se presentan manchas a nivel micro por lo que la vinca puede resistir hasta niveles de 320 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sin sufrir daños intracelulares, sin embargo, en el Tratamiento 3 se pueden ver daños en las paredes celulares y manchas por quemaduras causadas por el ozono.

Tabla 15.

Muestra de cada hoja de tratamiento de vinca



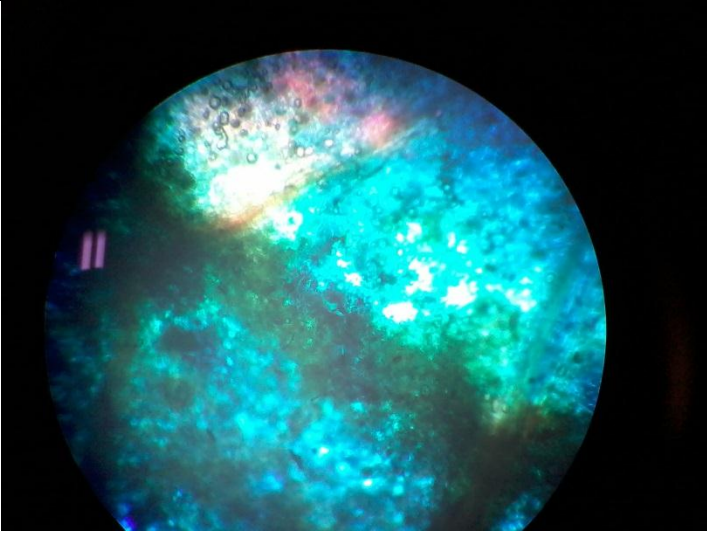
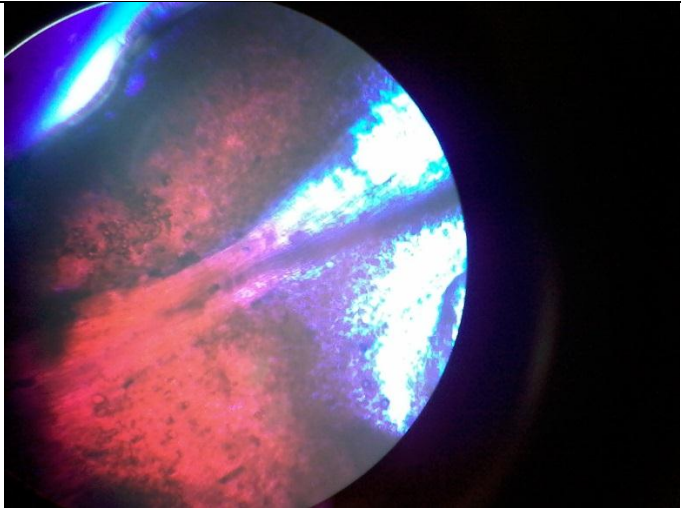
Las hojas del tratamiento de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ presentan un color más oscuro como quemado, en tamaño son más grandes que las del Tratamiento 2 de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, estas presentan manchas pequeñas en casi todas las hojas y el tamaño de la hoja es menor a la de los otros tratamientos. Por último, las hojas del

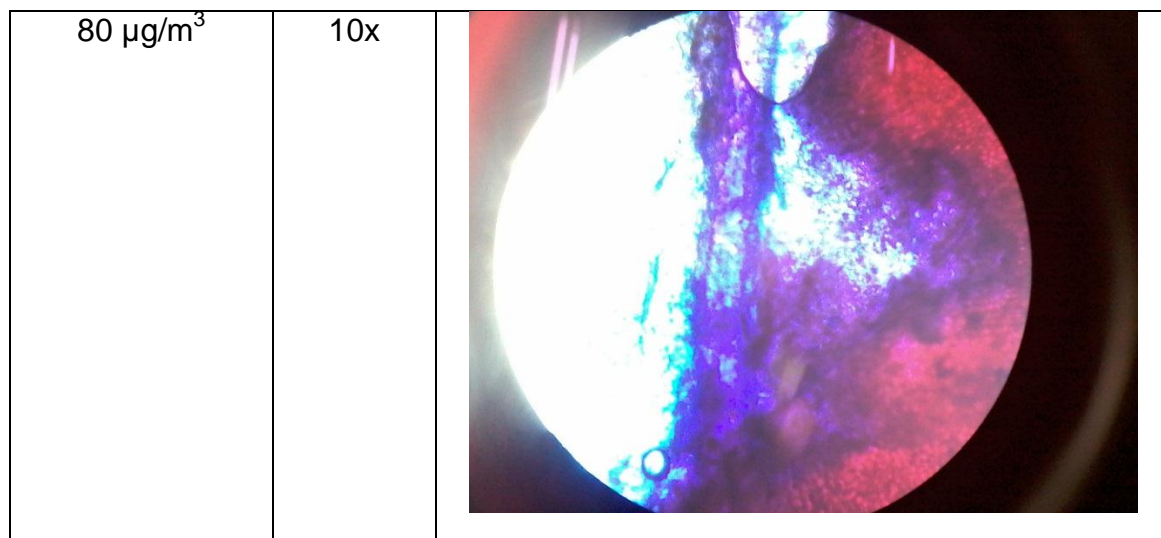
tratamiento 1 de ozono ambiental son de tamaño normal y no presentan manchas, marchitez o quemaduras.

4.3.3 Análisis micro escancel rojo (*Aerva Sanguinolenta*)

Tabla 16.

Fotografías a nivel celular de hojas de Escancel rojo al día 24 del experimento

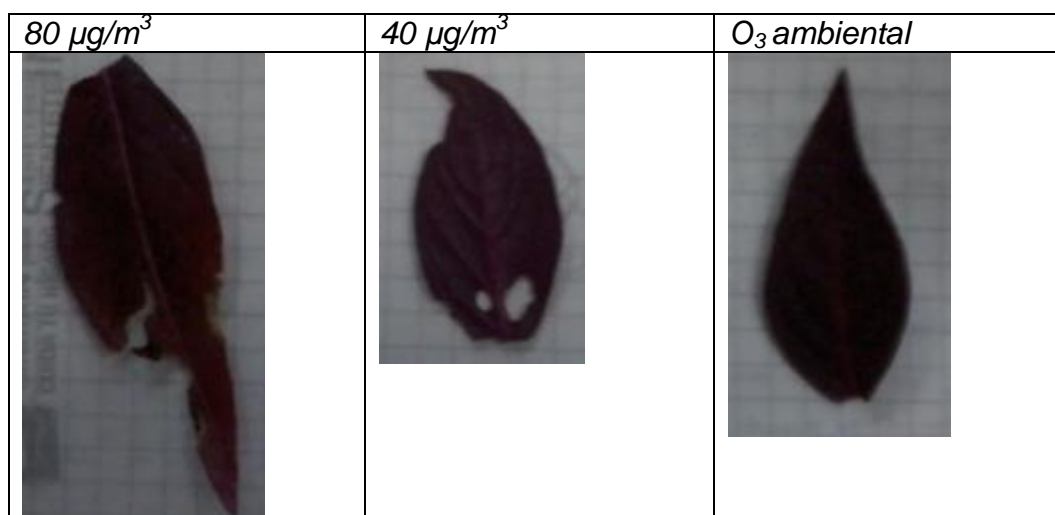
Tratamiento	Lente	Imagen
O ₃ ambiental	10x	
40 µg/m ³	10x	



El escancel rojo es la especie que presenta la mayor cantidad de ácido ascórbico entre las tres especies, esta presenta resistencia y casi ninguna alteración a nivel celular, quiere decir que esta especie es resistente a altas concentraciones seguidas de ozono.

Tabla 17.

Muestra de cada hoja de tratamiento de escancel rojo



En el caso de las hojas del escancel rojo, en el Tratamiento 3 como indica la Figura 20, las hojas presentan cortes, y agujeros. Debido a que es la planta que presenta mayor ácido ascórbico las hojas no presentan manchas, solo agujeros que no sobrepasan el 10 % de las hojas por planta, sin embargo, las hojas del tratamiento 2 también muestran un tamaño menor al de los demás

tratamientos y las hojas del Tratamiento 1 no presentan cambios ni alteraciones en sus hojas.

A nivel estomático, la diferencia existente entre tratamientos, es la conductancia estomática, misma que es proporcionalmente inversa a la concentración de ozono (Maamar, 2015). Se conoce que la conductancia estomática está relacionada con las condiciones ambientales, la apertura de estomática en el tratamiento 1 es menor al de los demás tratamientos. Este fenómeno puede ser un comportamiento que realizan las hojas cuando se encuentran en presencia de gases contaminantes como el ozono (Hartikainen, 2014). Debido a la tecnología microscópica utilizada no se logró diferenciar los niveles exactos del flujo y tamaño estomático en las distintas especies.

4.4 Absorción de CO₂

Todos los factores anteriormente analizados, tienen una relación con el proceso fotosintético y la eficiencia de las plantas para poder absorber CO₂ en el proceso de intercambio gaseoso, ya que la pérdida foliar, la aparición de manchas en las hojas, la marchitez, pérdida de altura entre otros, son factores proporcionales a la eficiencia y cantidad de CO₂ captada por las plantas (Beltman, 2013).

4.4.1 Resultado de la absorción de CO₂ por tratamiento

Tabla 18.

Resultados de captación de CO₂ de cada cinco días durante el experimento

Día	Concentración inicial de CO ₂ (ppm)	Concentración final CO ₂ después de 8horas (ppm)	CO ₂ captado por las plantas(ppm)	Porcentaje de CO ₂ captado por las plantas (%)
Tratamiento 1 ozono ambiental				
5	406	360	46	11,33
10	401	355	46	11,47
15	402	350	52	12,94
20	401	330	71	17,71
25	400	325	75	18,75

Tratamiento 2 (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de ozono				
5	406	361	45	11,08
10	401	356	45	11,22
15	402	354	48	11,94
20	401	360	41	10,22
25	400	362	38	9,50
Tratamiento 3 (80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de ozono				
5	406	361	45	11,08
10	401	356	45	11,22
15	402	360	42	10,45
20	401	363	38	9,48
25	400	367	33	8,25

Como se observa en la Tabla 16 se puede demostrar que la eficiencia y cantidad de absorción de CO_2 en las plantas, trabaja de manera inversamente proporcional a la cantidad de ozono existente. Haciendo que disminuya el porcentaje CO_2 captado con el aumento de las concentraciones de ozono.

Con estos resultados se obtuvieron modelos y curvas de comportamiento para el análisis futuro de la capacidad de absorción de ozono con las concentraciones utilizadas por valor en (ppm) captado y por el porcentaje captado por tratamiento.

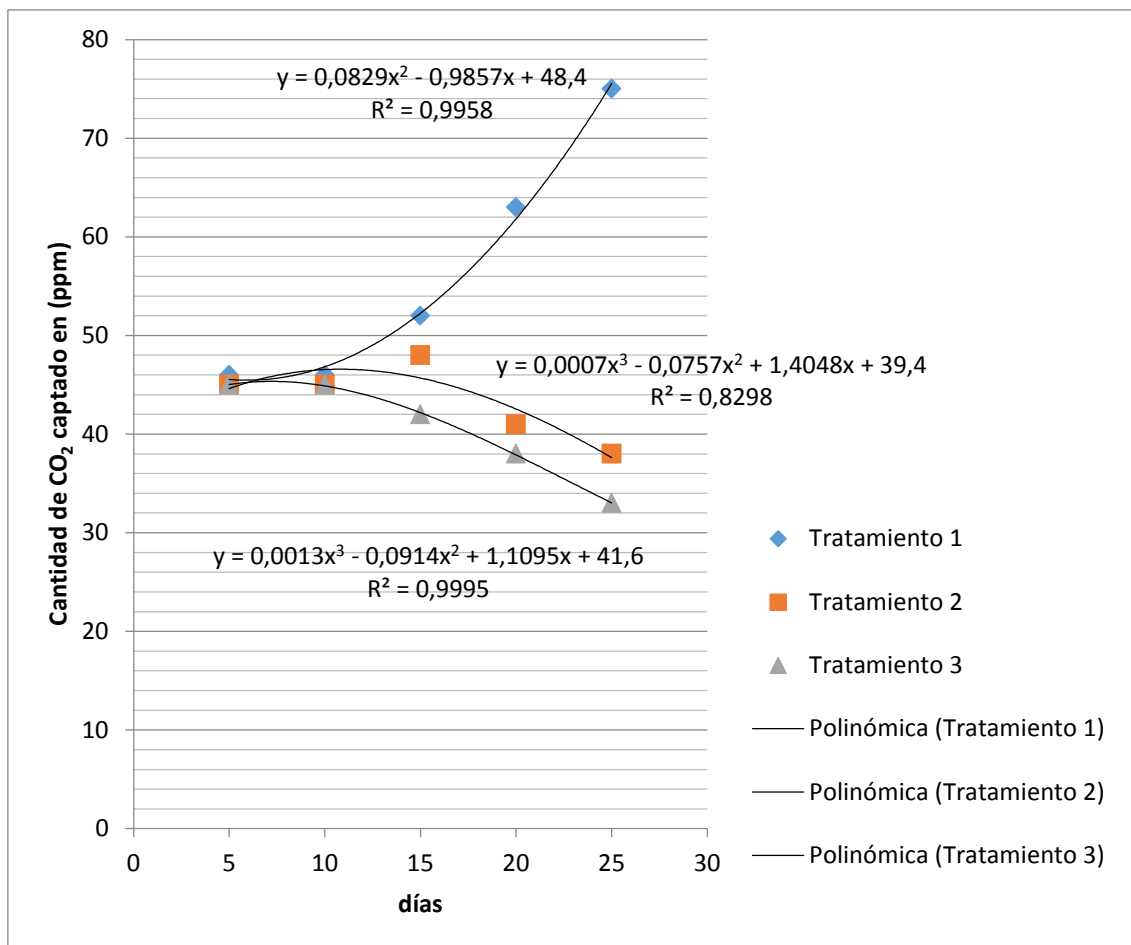


Figura 26. Modelos del comportamiento de CO₂ captado en (ppm) por tratamiento

Las curvas resultantes fueron Polinómicas de cuarto orden para los tres tratamientos, teniendo como resultado un R² entre 0,82 y 0,99 el cuál son valores cercanos a uno, esto significan que se explican entre 82 y 99 % los datos obtenidos y futuros, la curva del tratamiento 3 demuestra la disminución de la capacidad de captación del conjunto de plantas por presencia de ozono, independientemente de la especie.

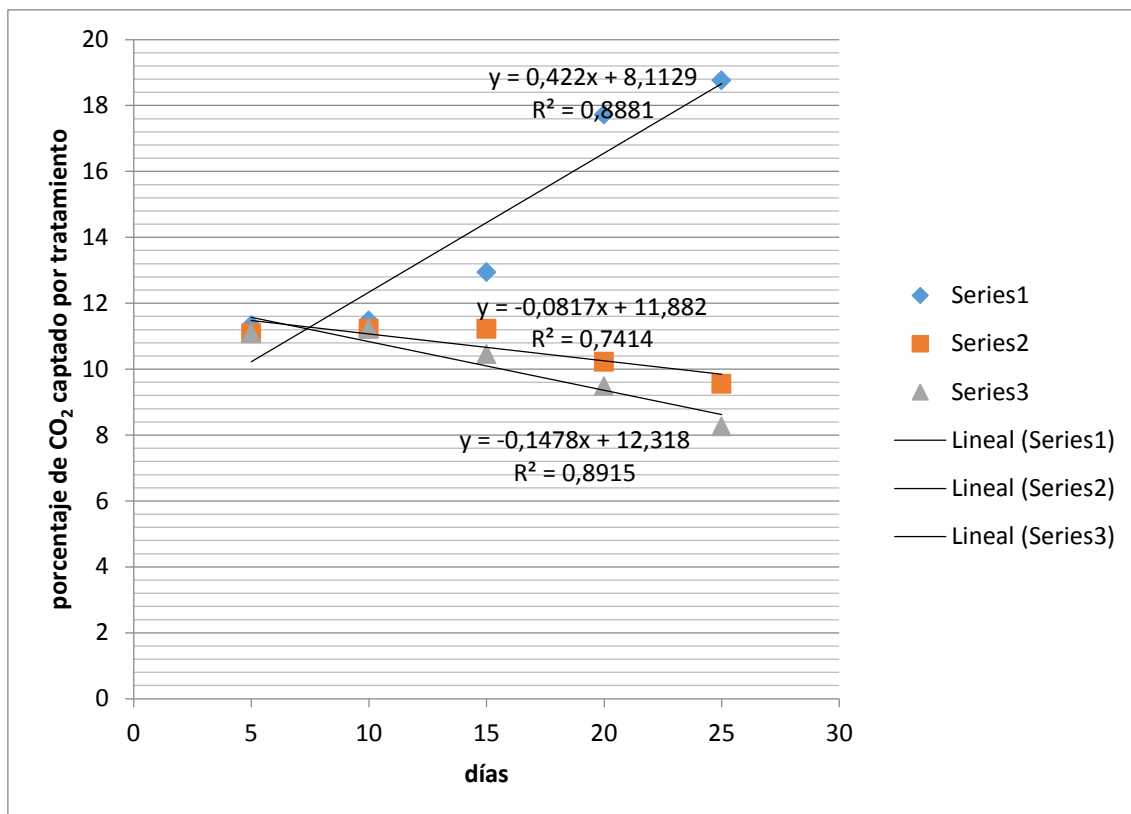


Figura 27. Modelos del comportamiento de CO₂ captado en porcentaje por tratamiento

Para los tres tratamientos se obtuvieron proyecciones lineales, teniendo un R² entre 0,74 y 0,89 mismo que significa que los datos se explican de 74 a 89%.

En ambos casos de análisis, tanto porcentual como por ppm se demuestra una disminución en la capacidad de las plantas para captar CO₂ de manera efectiva.

Por todos los análisis realizados en las plantas en presencia de concentraciones de ozono troposférico, se realiza una conclusión previa en la que sí existe una influencia inversamente proporcional de la presencia de ozono troposférico con la capacidad de captación de CO₂ en las tres especies experimentales.

4.5 Validación de concentraciones ozono

Debido a la falta de relación existente entre las concentraciones inyectadas con las resultantes de la Secretaria de Ambiente y a su vez la falta de recursos

económicos se decidió no realizar en el presente experimento la metodología de medición con medidores pasivos de ozono, por lo que se comparten los resultados con el experimento realizado paralelamente a este, de Martín Monteverde por su similitud experimental y metodología.

Sin embargo, estudios realizados en España por parte del Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente sobre la Influencia del ozono troposférico en el crecimiento vegetal. No se utilizaron invernaderos o celdas experimentales para la exposición de ozono a las plantas. Esto es debido a que el ozono es uno de los contaminantes secundarios más pesados molecularmente y si es que el experimento se lo realiza donde no existe una alta incidencia de corrientes de aire, este tiende a reposarse en el sitio generado (Ber-mejo, 2016).

Ésta puede ser una de las causas de la falta de relación de los resultados dados por la Secretaria de Ambiente, en la que, por estabilidad ambiental, el ozono tiende a acumularse en la parte inferior de la celda experimental y el medidor que se encuentra a 30 cm del piso no pueda estar en contacto con la concentración real de ozono.

O en su defecto, la metodología utilizada por la Secretaría de Ambiente de Quito, posiblemente no es la idónea para la determinación de ozono troposférico a nivel experimental controlado, o el equipo de generación de ozono, no es el ideal para dotar caudales y concentraciones tan precisas para este tipo de experimentos.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 Conclusiones

Mediante el análisis experimental del ácido ascórbico, los factores morfológicos y la búsqueda bibliográfica, se determinaron las especies más idóneas para la experimentación. Con un nivel de ácido ascórbico medio, bajo y alto, adaptabilidad al medio experimental y a los sistemas de jardines verticales.

Se encontró que existe influencia del ozono troposférico en la capacidad de captación de CO₂ en Escancel rojo (*Aerva Sanguinolenta*), Vinca (*Vinca major variegata*) y Begonia roja (*Begonia dichotoma Jacquin*), por la experimentación controlada con concentraciones de ozono de 40 µg/m³ 80 µg/m³ y ozono ambiental.

La presencia de ozono tiene un efecto inversamente proporcional a la altura de la planta, peso, estado morfológico macro y micro, que como resultado, esto provoca un efecto negativo en la capacidad de absorción efectiva de CO₂ para el proceso de respiración celular.

Las variables que se relacionan directamente con la biomasa son el peso y la altura.

La diferencia existente entre el tratamiento 1 del 2 y el 3 en el peso y altura no es significativa por el análisis estadístico, sin embargo, esto tampoco afirma la hipótesis de igualdad.

Los cambios visuales en las plantas provocados por el contaminante se presentaron a partir de los días 13 y 14, debido al efecto de sobreexpresión de las plantas.

Se presenció un mayor cambio significativo a nivel micro que macro, esto debido a la pérdida de pared celular y capacidad oxidativa de las hojas.

La cantidad de ácido ascórbico presente por hoja si cumple un efecto reductor con el ozono, dándole mayor capacidad de tolerancia a la planta hacia este contaminante, en este caso, a nivel micro y macro el escancel rojo (*Aerva Sanguinolenta*) que fue la especie que presentaba mayor ácido ascórbico que las demás, no sufrió los mismos daños visibles en las otras especies, seguido

por la vinca (*Vinca major variegata*) y luego la begonia roja (*Begonia dichotoma Jacquin*), que fue la especie que sufrió mayor daño durante el experimento debido a que presenta menor cantidad de ácido ascórbico por hoja que las demás especies.

Después del análisis de la cantidad de CO₂ captado, se concluye que el Tratamiento 2 y 3, presentan menor capacidad de absorción que el Tratamiento 1 por la influencia y presencia de ozono troposférico.

Se determinó que cada ocho horas en presencia de niveles medios de ozono 40 µg/m³, un metro cuadrado de jardín vertical puede absorber 144,66 ppm de CO₂, en presencia de niveles elevados de ozono 80 µg/m³ puede absorber 135,33 ppm de CO₂ y en presencia de niveles bajos puede captar 193,33 ppm de CO₂ en ocho horas.

5.2 Recomendaciones

Después de finalizado el experimento se recomiendan las siguientes sugerencias para mejorar el proceso de análisis como: Utilizar una metodología diferente para la validación de las concentraciones de ozono.

Analizar de manera más profunda la distribución vertical del ozono dentro de las celdas experimentales, si es necesario colocar un mini ventilador dentro de las celdas, para que el ozono no repose en el piso y se aprecie de manera más real la influencia de este en las plantas.

Colocar los medidores pasivos de ozono para el análisis de las concentraciones a un nivel más bajo para que pueda tener contacto con la concentración real del ozono.

Realizar un estudio similar con concentraciones de ozono de modelos futuros de ozono para poder conocer la capacidad de las plantas para adaptarse a estas concentraciones y de qué manera esto va a afectar directamente a los jardines verticales.

Para poder apreciar de mejor manera los datos a nivel micro, se pueden realizar distintas metodologías o el uso de un equipo más adaptado que demuestre el estado organológico real a nivel celular y estomático de las hojas.

REFERENCIAS

- Allen, J. (2002). The Ozone We Breathe : Feature Articles. Recuperado el 24 junio del 2017 de: https://earthobservatory.nasa.gov/Features/OzoneWeBreathe/ozone_we_breathe3.php
- Allen, J. (2017). Chemistry in the Sunlight : Feature Articles. NASA. Recuperado el 15 de junio del 2017 de: https://earthobservatory.nasa.gov/Features/ChemistrySunlight/chemistry_sunlight3.php
- Anibal Zea Mazo, J., Esperanza Leon Aristizabal, G., Antonio Eslava Ramirez, J., & León, G. (2015). EL OZONO ESTRATOSFERICO Y LA CAPA DE OZONO. *Meteorología Colombiana* 2, 47–55. Recuperado el 13 de agosto del 2017 de: http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/content/geociencias/revista_meteorologia_colombiana/numero02/02_07.pdf
- Asif, M. (2014). Comparison of ozone pollution levels at various sites in Seoul, a megacity in Northeast Asia. *Atmospheric Research*, 138, 330–345. Recuperado el 6 de Julio del 2017 de: <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSRES.2013.12.003>
- Bakieva, M., Such, G., & Jornet, J. Y. (2016). ANOVA de un factor. Recuperado el ocho de septiembre del 2017 de: https://www.uv.es/innomide/spss/SPSS/SPSS_0702b.pdf
- Banco Mundial. (2016). Emisiones de CO2 (toneladas métricas per cápita) | Data. Recuperado el 24 de Junio, 2017, de: <http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC?locations=EC>
- Beltman, J. (2013). The impact of large scale biomass production on ozone air pollution in Europe. *Atmospheric Environment*, 71, 352–363. Recuperado el 17 de agosto del 2017 de: <https://doi.org/10.1016/J.ATMOENV.2013.02.019>
- Bermejo, V., Alonso del Amo, R., Elvira Cozar, S., Rábago Juan-Aracil, I., &

- García Vivanco Instituciones colaboradoras, M. (2016). El ozono troposférico y sus efectos en la vegetación. *Javier Sanz González (CIEMAT)*. Recuperado el 15 agosto del 2017 de: http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/Ozono_tcm7-438816.pdf
- Blanc, P. (2015). Patrick Blanc: Jardines Verticales | Aryse. Recuperado el 24 de diciembre del 2017 de: <http://www.aryse.org/patrick-blanc-jardines-verticales/>
- Boden, T., Andres, R., & Marland, G. (n.d.). Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions (1751 - 2014) (V. 2017). *Doi.org*. Recuperado el 13 de noviembre del 2017 de: https://doi.org/10.3334/cdiac/00001_v2017
- Botanica. (2017). Escancel - Aerva sanguinolenta - Planta medicinal. Recuperado el 8 de noviembre de: https://www.ethnobotanik.org/Heilpflanzen/Aerva_sanguinolenta/Escancel-Aerva-sanguinolenta-es.html
- Ciancaclini, C. (2011). Cuantificación de Vitamina C. Recuperado el 10 de diciembre de: <https://www.google.com.ec/search?biw=1366&bih=613&ei=cX8EWunTCYLImwGTtK74Cw&q=Ciancaglini+P+et+al.+Using+a+classical+method+of+vitamin+C+quantification+as+a+tool+for+discussion+of+its+role+in+the+body.+Biochem.+Mol.+Biol.+Edu.+29%3A+110-114%2C+2001.+Harri>
- Cobo, J. (2009). Causas y consecuencias de la contaminación del aire en el DMQ. Una perspectiva económica, social y ambiental. Recuperado el 12 de septiembre del 2017 de: http://www.puce.edu.ec/economia/docs/disertaciones/2009/2009_cobo_jurado_katty_alejandra.pdf
- Chen, Z., & Gallie, D. R. (2005). Increasing tolerance to ozone by elevating foliar ascorbic acid confers greater protection against ozone than increasing avoidance. *Plant Physiology*, 138(3), 1673–89. Recuperado el 12 de septiembre del 2017 de: <https://doi.org/10.1104/pp.105.062000>
- Davis, M. J. M., Tenpierik, M. J., Ram??rez, F. R., & P??rez, M. E. (2017).

- More than just a Green Facade: The sound absorption properties of a vertical garden with and without plants. *Building and Environment*, 116, 64–72. Recuperado el cinco julio del 2017 de: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.01.010>
- De Prado, R., & Cruz-Hipolito, H. (2016). MECANISMOS DE RESISTENCIA DE LAS PLANTAS A LOS HERBICIDAS. Recuperado el 13 de octubre del 2017 de: http://www.inia.org.uy/estaciones/la_estanzuela/webseminariomalezas/articulos/depradorrafael.pdf
- Department of the Environment and Energy. (2016). Air pollutants. Recuperado el 26 de octubre de: <http://www.environment.gov.au/protection/air-quality/air-pollutants>
- Dfrobot. (2017). Gravity: Arduino CO2 Gas Sensor - DFRobot. Recuperado el 9 de noviembre del 2017 de: <https://www.dfrobot.com/product-1023.html>
- Domus, james. (2016). Jardines verticales: El verde en lo urbano | Domus Robótica Sanitaria. Recuperado el 1 de noviembre del 2017 de: <http://www.domusrobotica.com.ar/blog/jardines-verticales/>
- Ecuador, M. del A. (2003). Tulsma. *Norma de Calidad Del Aire Ambiente*, 402–415.
- Epa, U. (2015). Criteria Air Pollutants. Recuperado el 7 de septiembre del 2017 de: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/ace3_criteria_air_pollutants.pdf
- FAO. (2015). Producción de bioenergía. Recuperado el 13 de agosto del 2017 de: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/i0139s/i0139s04.pdf>
- Floraiberica. (2010). VINCA. *Fl. Iran*, 103(2). Recuperado el 13 de agosto del 2017 de: http://www.floraiberica.es/floraiberica/texto/pdfs/11_131_02_Vinca.pdf
- Galvis, A. C., Aponte, G. M., Fernando Echeverry, D. I., Isabel González, M. M., & Amparo Cardona, D. Z. (2012). Evaluación del funcionamiento de un Generador de Ozono a escala piloto en la desinfección de agua para consumo humano. Recuperado el 10 de Julio del 2017 de:

- <http://www.redalyc.org/pdf/2913/291323470006.pdf>
- Goldsmith, P. (2016). Beneficios de los Muros Verdes. Recuperado el 6 de noviembre del 2017 de: <http://www.ecoyaab.com/beneficiosjardinesverticales>
- González, D. (2013). Jardines Verticales Como Alternativa Ecológica. *Éxito Empresarial*, (243). Recuperado de el 15 de noviembre del 2017 de: http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion_243_141013_es.pdf
- Hartikainen, k. (2014). Elevated temperature and ozono modify structural characteristics of silver birch. Recuperado el 14 de junio del 2017 de: http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-1488-0/urn_isbn_978-952-61-1488-0.pdf#page=83
- Heliche, I. E. S., Felo, I. E. S., Grau-Bassas, M., Aljanadic, I. E. S., Juan, C., & Caballero, V. (2015). Proyectos de innovación en el ámbito de la Formación Profesional del sistema educativo Centros participantes. Recuperado el ocho de agosto del 2017 de: http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/41701161/helvia/sitio/upload/PROYECTO_INNOVACION_MUROSVERDES.pdf
- INEC. (2012). Índice Verde Urbano 2012 Contenido. Recuperado el 15 de septiembre del 2017 de: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Verde_Urbano/Presentacion_Indice_Verde_Urbano_-_2012.pdf
- INEC. (2016). El parque automotor de Ecuador creció 57% en cinco años | Instituto Nacional de Estadística y Censos. Recuperado el 24 de junio del 2017: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/el-parque-automotor-de-ecuador-crecio-57-en-cinco-anos/>
- Lancho, J. F. G. (2014). Contaminación del aire y su efecto en plantas y suelo, descontaminación y restauración. Recuperado el 10 de noviembre del 2017 de: https://www.academia.edu/4852101/Contaminación_del_aire_y_su_efecto

_en plantas y suelo descontaminación y restauración

- Maamar, B., Maatoug, M., Iriti, M., Dellal, A., & Ait hammou, M. (2015). Physiological effects of ozone exposure on De Colgar and Rechaiga II tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(16), 12124–12132. Recuperado el 15 de junio del 2017 de: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4490-y>
- Malmqvist, E. (2014). Assessing ozone exposure for epidemiological studies in Malmö and Umeå, Sweden. *Atmospheric Environment*, 94, 241–248. Recuperado el 8 de diciembre del 2017: <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2014.05.038>
- Math, P. E., Terrádez, M., & Juan, Á. A. (2016). ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA). Recuperado el 13 de noviembre del 2017: <https://www.uoc.edu/in3/emath/docs/ANOVA.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2015). PLAN NACIONAL DE LA CALIDAD DE AIRE. Recuperado el 16 de julio del 2017 de: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf>
- Navarro, J. (2016). Jardines Verticales. Recuperado el ocho de agosto del 2017 de: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33814/TFM_JUAN NAVARRO.pdf](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33814/TFM_JUAN_NAVARRO.pdf)
- Ochoa, R. (2015). Jardines Verticales de Altura. Recuperado el 14 de junio del 2017 de: <http://www.revistacyt.com.mx/pdf/mayo2014/urbanismo.pdf>
- OMM. (2016). El promedio mundial de CO₂ alcanza las 400 partes por millón en 2015 | WMO. Recuperado el 20 de junio del 2017 de: <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-promedio-mundial-de-co2-alcanza-las-400-partes-por-millón-en-2015>
- OMS. (2016). OMS | Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. WHO. Recuperado el 17 de diciembre del 2017 de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>
- OMS | Contaminación del aire. (2017). WHO. Recuperado el 15 de septiembre del 2017 de: http://www.who.int/topics/air_pollution/es/
- Otri, S. (2009). Reducción de NO_x en motores diesel Reducción de NO_x en

motores diesel RESUMEN. *Universidad de Alicante*. Recuperado el quince de agosto del 2017 de: <https://sgitt-otri.ua.es/es/empresa/documentos/ot-0758-reduccion-nox.pdf>

Paredes, R., & Fernando, D. (2015). BENEFICIOS SOCIO AMBIENTALES DE LAS INFRAESTRUCTURAS VERDES URBANAS Y SU APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN Y PLANIFICACIÓN URBANÍSTICA EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA. *Revista PUENTE Científica*, 8(2). Recuperado el 15 de agosto del 2017 de: <http://rpuede.upbbga.edu.co/index.php/revistapuede/article/view/158/121>

Quito, D. E. (2017). Informe de la calidad de aire-2016.

Rodas. (2015). Mecanismos de defensa en plantas. Recuperado el 24 de enero del 2018 de: https://rodas5.us.es/file/6dd7729c-aca-643c-5fd7-3606ff7fa6ca/1/estres_radiacion_apuntes_SCORM.zip/page_24.htm

SACHA. (2017). Plan Nacional de Forestación y Reforestación. Recuperado el 23 de junio del 2017 de: <http://ecuadorforestal.org/informacion-s-f-e/p-n-f-r/>

Sharma, P., & Jain, R. (2016). Role Of Ascorbic Acid In Imparting Tolerance To Plants Against Oxidizing Pollutants. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH*, 5(8). Recuperado el cuatro de enero del 2018 de: www.ijstr.org

Smirnoff, N. (2015). The Function and Metabolism of Ascorbic Acid in Plants. Recuperado el 13 de diciembre del 2017 de: https://watermark.silverchair.com/780661.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kkhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAac485ysgAAAaQwggGgBgkqhkiG9w0BBwagggGRMIIBjQIBADCCAYYGCSqGSIb3DQEHATAeBgIghkgBZQMEAS4wEQQMCEEE7NNx0UveZ-5-AgEQgIIBV4u9kw3q1D8JQtYQhFoW6saS3vBbR-ueflj4kSew6iLSVB7v

Smirnoff, N., & Wheeler, G. L. (2015). Ascorbic Acid in Plants: Biosynthesis and Function. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 35(4), 291–314. Recuperado el 13 de diciembre del 2017 de: <https://doi.org/10.1080/10409230008984166>

Teixeira, E. C., de Santana, E. R., Wiegand, F., & Fachel, J. (2009). Measurement of surface ozone and its precursors in an urban area in

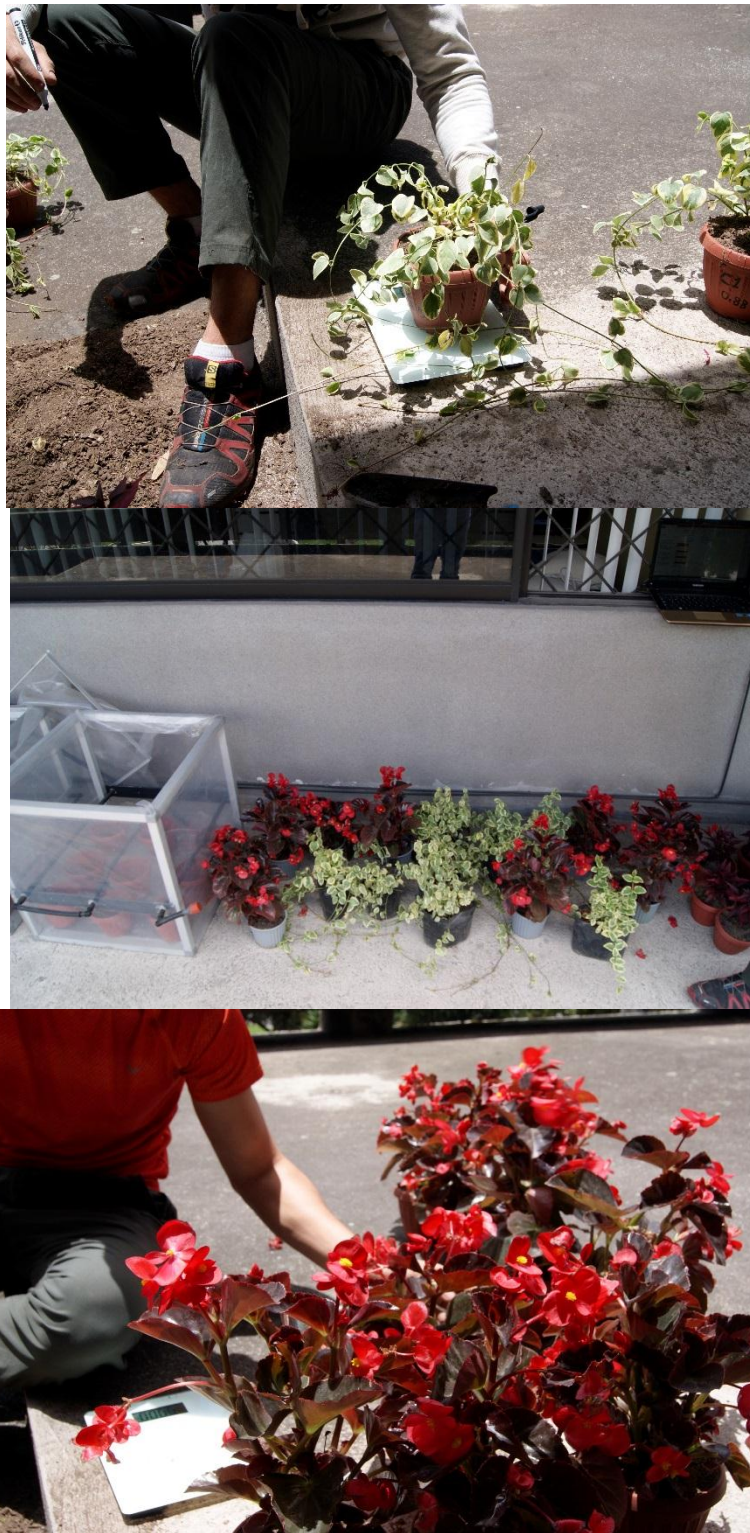
South Brazil. *Atmospheric Environment*, 43(13), 2213–2220. Recuperado el 19 de septiembre del 2017 de: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.12.051>

Tinción, T. H., Megías, M., Molist, P., & Pombal, M. A. (2016). ATLAS de HISTOLOGÍA VEGETAL y ANIMAL. Recuperado el diez de agosto del 2017 de: <https://mmegias.webs.uvigo.es/descargas/tecnicas-tincion.pdf>

Urbanismo. (2016). Plantas para jardines verticales o azoteas verdes. Recuperado el ocho de noviembre del 2017 de: <http://www.jardinesverticalesweb.com/plantas/>

US EPA, O. (2017). What are Hazardous Air Pollutants?. Recuperado el 15 de agosto del 2017 de: <https://www.epa.gov/haps/what-are-hazardous-air-pollutants>

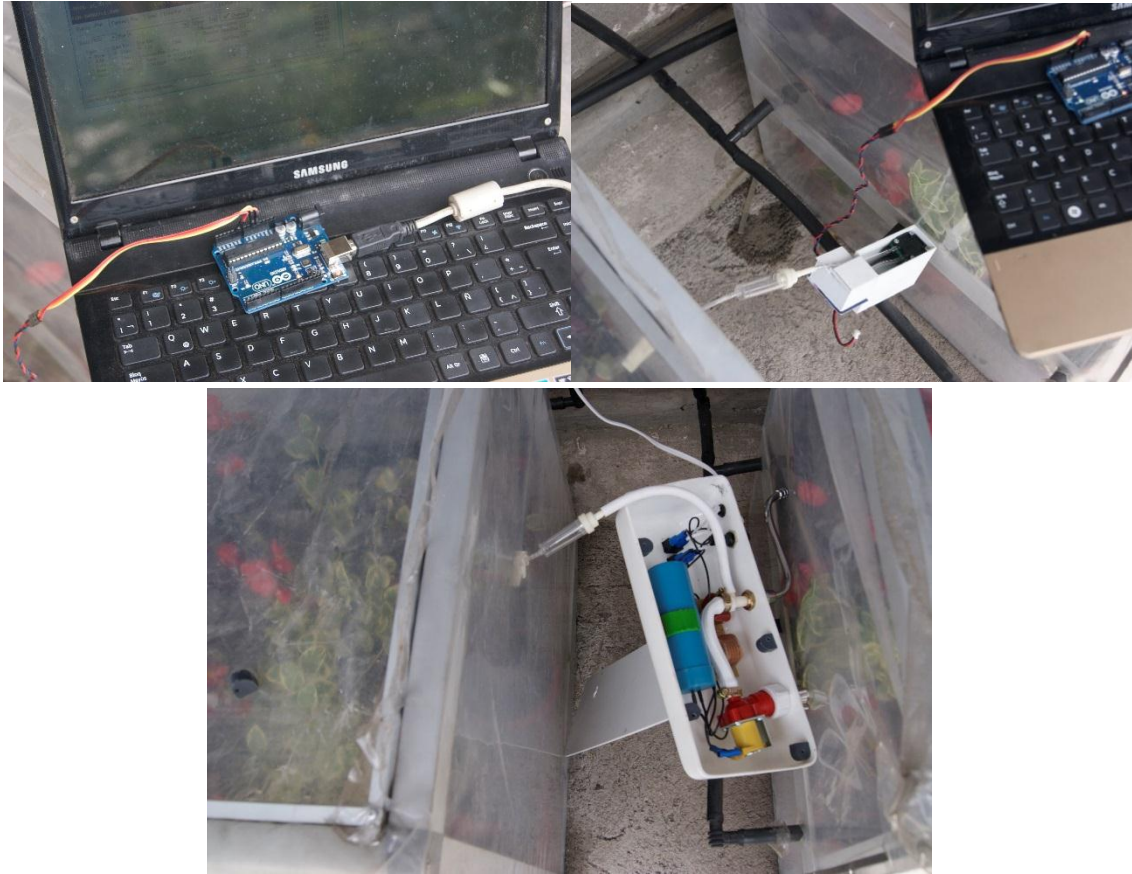
ANEXOS



Anexo 1. Individuos Experimentales



Anexo 2. Proceso de determinación de ácido ascórbico



Anexo 3. Monitoreo de CO_2 e inyección de O_3

