



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

IMPACTO DE NIVELES DE O<sub>3</sub> EN LOS CAMBIOS MORFOLÓGICOS Y  
FISIOLÓGICOS DE 2 ESPECIES NATIVAS DEL VIVERO CUNUYACU DEL  
DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

Autor

Bryan Sebastian Molina Carrera

Año  
2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

Impacto de niveles de  $O_3$  en los cambios morfológicos y fisiológicos de 2 especies nativas del vivero Cunuyacu del Distrito Metropolitano de Quito

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

Profesor Guía

MSc. Yasser Alejandro González Romero

Autor

Bryan Sebastian Molina Carrera

AÑO

2020

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido el trabajo, Impacto de niveles de O<sub>3</sub> en los cambios morfológicos y fisiológicos de 2 especies nativas del vivero Cunuyacu del Distrito Metropolitano de Quito, de Bryan Sebastian Molina Carrera, en el semestre 202010, 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  
Magister en Ingeniería Ambiental  
CI: 070373762-7

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, Impacto de niveles de O<sub>3</sub> en los cambios morfológicos y fisiológicos de 2 especies nativas del vivero Cunuyacu del Distrito Metropolitano de Quito, de Bryan Sebastian Molina Carrera, en el semestre 202010, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.



---

Rasa Zalakeviciute  
Doctor of Engineering Science  
CI: 175707679-7

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA 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”.



---

Bryan Sebastian Molina Carrera  
CI: 1721821575

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a dios y a mis padres por apoyarme en este camino; a todos mis profesores por ser una guía en todo lo que eh necesitado. Agradezco de una manera muy especial a mi profesor guía, que con sabiduría y aprecio supo guiarme.

## RESUMEN

El ozono (O<sub>3</sub>) troposférico es un gas que con el tiempo ha venido incrementado su existencia en el mundo. Este genera afectaciones a bosques y cultivos en mayor cantidad que otro contaminante existente. O<sub>3</sub> es un contaminante secundario generado a partir de las principales reacciones fotoquímicas entre óxidos de nitrógeno, hidrocarburos volátiles (COVs) con fuerte ayuda de radiación ultravioleta. Mientras, gran parte de los estudios se centran en los cambios morfológicos en las plantas de jardín o con valor económico, no existe muchos estudios en especies arbóreas. Por eso el objetivo de este estudio era evaluar el daño morfológico y fisiológico que ocasiona el O<sub>3</sub> en las dos especies de plantas nativas del vivero Cunuyacu de Quito. En el experimento el equipo Aeroqual Series 500 fue usado para medir concentraciones de ozono en las celdas experimentales y TELEDYNE API / T400 de la Secretaria Ambiente de Distrito Metropolitano fue usado para medir concentraciones de ozono en el ambiente. Dentro del experimento se realizaron dos fases, las primeras dos semanas se suministraba la dosis de 120 µg/m<sup>3</sup>, y las siguiente dos semanas 180 µg/m<sup>3</sup>. Durante el experimento se analizaron los cambios morfológicos, ácido ascórbico y clorofila en las plantas. Mediante el estudio se demostró que el O<sub>3</sub> influye de manera perjudicial a las especies *Jacaranda mimosifolia* y *Delostoma integrifolium* con referencia a manchas en las hojas, pero no tiene ningún efecto a corto plazo en la altura, debido a que las especies arbóreas tienen un periodo de crecimiento más largo. Los niveles de ácido ascórbico y clorofila dentro de la especie *Jacaranda mimosifolia* se vieron afectados de una manera reducida con respecto a los niveles medidos en *Delostoma integrifolium*, esto nos indica que las dos especies arbóreas utilizadas para este experimento tienen una resistencia elevada al contaminante O<sub>3</sub>, pero al compararlas la especie *Jacaranda mimosifolia* presenta mayor toleración a la contaminación.

## ABSTRACT

Tropospheric ozone (O<sub>3</sub>) is a gas that has increased its existence in the world over time. This generates effects on forests and crops in greater quantity than other existing pollutant. O<sub>3</sub> is a secondary pollutant generator of the main photochemical reactions between nitrogen oxides, volatile hydrocarbons (VOCs) with strong help of ultraviolet radiation. Meanwhile, much of the studies focus on morphological changes in garden plants or with economic value, there are not many studies on tree species. That is why the objective of this study was to evaluate the morphological and physiological damage caused by O<sub>3</sub> in the two species of native plants of the Cunuyacu nursery in Quito. In the experiment, the Aeroqual Series 500 equipment was used to measure ozone measurements in the experimental cells and TELEDYNE API / T400 of the Environment Secretariat of the Metropolitan District was used to measure ozone concentrations in the environment. Within the experiment there are two phases, the first two weeks the dose of 120 µg / m<sup>3</sup> is given, and the next two weeks 180 µg / m<sup>3</sup>. During the experiment, morphological changes, ascorbic acid and chlorophyll in plants were analyzed. The study showed that O<sub>3</sub> has a detrimental effect on *Jacaranda mimosifolia* and *Delostoma integrifolium* species with reference to leaf spots, but has no short-term effect on height, because tree species have a period of longer growth. The levels of ascorbic acid and chlorophyll within the *Jacaranda mimosifolia* species were affected in a reduced way with respect to the levels measured in *Delostoma integrifolium*, this indicates that the two tree species affected for this experiment have a high resistance to the O<sub>3</sub> contaminant, but when compared to them, the species *Jacaranda mimosifolia* has a higher tolerance for contamination.

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Planteamiento del problema .....	1
1.3 Objetivo General. ....	3
1.4 Objetivos Específicos.....	3
1.5 Alcance .....	3
1.6 Justificación .....	3
2. MARCO TEÓRICO .....	4
2.1 Contaminación atmosférica.....	4
2.2 Ozono .....	5
2.3 Plantas nativas .....	8
2.4 Clorofila.....	11
2.5 Ácido Ascórbico .....	13
2.6 Morfología.....	14
3. METODOLOGÍA .....	15
3.1 Ubicación de la zona de estudio .....	15
3.2 Selección de plantas nativas.....	16
3.3 Diseño experimental .....	17
3.4 Validación del equipo.....	18
3.5 Construcción de módulos experimentales .....	19
3.6 Periodos de exposición.....	19
3.7 Evaluación de cambios morfológicos.....	20
3.8. Análisis de la clorofila .....	21
3.9. Análisis de ácido ascórbico.....	22
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	23
4.1 Construcción de celdas experimentales .....	23
4.2 Validación de equipo.....	24
4.3 Cambios en la morfología y fisiología de las plantas .....	27
4.3.1 Exposición de Ozono .....	27

4.3.2 Alteraciones identificadas.....	27
4.4 Químicos.....	35
4.4.1 Ácido ascórbico.....	35
4.4.2 Clorofila.....	37
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	40
5.1. Conclusiones .....	40
5.2. Recomendaciones .....	41
REFERENCIAS.....	42
ANEXOS .....	48

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Antecedentes**

El ozono (O<sub>3</sub>) troposférico es un gas que con el tiempo ha venido incrementado su existencia en el mundo, genera afectaciones a bosques y cultivos en mayor cantidad que otro contaminante existente. O<sub>3</sub> es un contaminante secundario generado a partir de las principales reacciones fotoquímicas entre óxidos de nitrógeno, hidrocarburos volátiles (COVs) y oxígeno (Victoria Bermejo Bermejo, Rocío Alonso del Amo, Susana Elvira Cozar, Isaura Rábago Juan-Aracil, 2013).

Uno de los principales precursores para la generación de O<sub>3</sub> son los rayos ultravioletas (UV), en mayor presencia de este factor climático los niveles de O<sub>3</sub> poseen picos de elevación, con referencia a días en los cuales no existe una presencia importante de luz, todo esto debido a las reacciones fotoquímicas necesarias para que el contaminante se genere.

Estudios demuestran la idea general sobre la distribución del O<sub>3</sub> en base a dos grandes mecanismos: Los que se relacionan con los procesos fotoquímicos y los que comprenden procesos dinámicos. (Patata, Carcaixent, & Valencia, 2015)

Investigaciones realizadas por (Malcolm, 2012) muestran tendencias de relación entre la disminución de crecimiento forestal en los últimos años. Estos estudios muestran que el ozono troposférico en concentraciones bajas es capaz de llevar a los árboles a un estado de estrés ambiental, el cual ocasiona procesos de cambio a nivel morfológico, fisiológico y químico.

### **1.2 Planteamiento del problema**

Se le considera al O<sub>3</sub> como un contaminante secundario con afectaciones importantes dentro del desarrollo de diferentes plantas. El O<sub>3</sub> es un gas que no

se encuentra en la atmósfera por sí solo, pero se genera a partir de reacciones fotoquímicas con la presencia de los COVs (Benavides, 2017). Se ha relacionado la presencia de O<sub>3</sub> con problemas dentro de la salud humana (Fernandez, 2008).

Mediciones realizadas entre los años 2007 y 2012 en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) presentan rangos adecuados con respecto a la cantidad de O<sub>3</sub> que se generan en la ciudad, el valor referencial de este elemento se basa en datos generados en un tiempo de 8 horas, con un valor máximo de 100 µg/m<sup>3</sup> referente a la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2016). En latino América, los países que tienen mayores niveles de contaminación son México y Chile. Estos países cuentan con planes de contingencia frente a la contaminación del aire (CNN, 2019)

El Ozono troposférico es un contaminante que se genera a medida que los niveles de radiación tienen un incremento, es así que los gases precursores al reaccionar con los fotones de luz se rompen y las moléculas presentes en la atmosfera se juntan formando así el O<sub>3</sub> (INEC, 2016)

En el estudio realizado por (Tainio et al., 2016). Los niveles de O<sub>3</sub> en la ciudad de Quito se han venido incrementando con el pasar de los años teniendo así que algunas estaciones han marcado niveles de contaminación mayores a lo indicado por la Organización mundial de la Salud (Secretaría de Ambiente , 2017). Los datos de mediciones realizados con referencia a las concentraciones de O<sub>3</sub> nos indican valores más elevados en el sur de la ciudad, en Norte el índice de radiación es mayor. La razón de que en el sur exista mayor nivel de ozono troposférico está relacionado con la fuente emisiones precursoras, estos elementos cuantitativamente tienen un nivel de complejidad elevado para su análisis. Se llegaron a registrar valores más elevados de los 100 µg/m<sup>3</sup>(Cazorla, 2013)

### **1.3 Objetivo General.**

Evaluar el daño morfológico y fisiológico que ocasiona el O<sub>3</sub> en las 2 especies de plantas nativas del vivero Cunuyacu de Quito.

### **1.4 Objetivos Específicos**

- Identificar los efectos del ozono a diferentes concentraciones sobre las características morfológicas y fisiológicas de 2 especies del vivero Cunuyacu de Quito a través de la implementación de celdas experimentales
- Analizar la variabilidad de la clorofila y ácido ascórbico de las 2 especies seleccionadas frente a las exposiciones de O<sub>3</sub>

### **1.5 Alcance**

Con este estudio se pretende determinar el daño que ocasiona el O<sub>3</sub> en las 2 especies seleccionadas en el vivero y determinar cuál es el impacto que estos generan en la morfología de las mismas y también determinar como el ácido ascórbico influye en los cambios morfológicos.

### **1.6 Justificación**

Los estudios referentes al O<sub>3</sub> han venido generando mayor interés de investigación medida que el cambio climático aumenta, se cree que las mayores afectaciones en cultivos tiene relación al incremento de este contaminante (Venkateswarlu & Shanker, 2015). Gran parte de los estudios se centran en los cambios morfológicos que existen en las plantas, ya que estos métodos resultan más fáciles de poder observar algún tipo de cambio (Estrada, Torres, Villa, & Sánchez, Ma. Edna Álvarez, Vallejo, 2011)

Este estudio tendrá la finalidad de poder evaluar los efectos que ocasiona el O<sub>3</sub> dentro de los cambios morfológicos y fisiológicos con relación a la cantidad de clorofila y ácido ascórbico, este estudio es el primero dentro de la Universidad de las Américas en evaluar posibles cambios dentro de especies arbóreas, estudios previos han trabajado con plantas de paramo, de bosque y de jardín.

Con la base de datos obtenida dentro del experimento se podrán llevar a cabo futuras evaluaciones con referencia a los cambios presentes en especies Arbóreas.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Contaminación atmosférica**

Se dice que el aire está contaminado cuando existe uno o varios elementos que puedan causar alteraciones dentro de esta matriz ambiental (Zavala-Aguirre, 2008). Algunos de los mecanismos que generan contaminación están relacionados con actividades presentes a nivel industrial y transporte urbano (OMS, 2016).

Los contaminantes que presentan emisiones directas hacia la atmosfera son conocidos como primarios. La mayoría de estas emisiones provienen de fuentes móviles, los contaminantes más representativos son: CO, SO<sub>2</sub>, Pb, CFC,NO (WHO, 2018). Por otra parte, en la atmósfera también encontramos contaminantes que son de fuente indirecta y reaccionan en base a reacciones químicas que interactúan con los otros elementos, las interacciones de todos estos compuestos dan lugar a la formación de los elementos secundarios tales como el material particulado (Oyanguren, Prieto, & Ferrada, 2012).

Generalmente los contaminantes tienden a dispersarse desde su punto de generación, generando así acumulaciones que pueden generar riesgos. Factores climáticos logran incrementar el desplazamiento de los contaminantes hacia diferentes zonas (Pedrosa & Pedrosa, 2016). En el (DMQ) los problemas

con referencia a los niveles de calidad de aire constituyen un problema ambiental, debido a las condiciones geográficas en las que se encuentra la ciudad, estudios realizados por la agencia de protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) indica que las ciudades que se encuentran en zonas elevadas tienden a disminuir la cantidad de  $O_2$ , generando mayores niveles de contaminantes de combustión que se pueden elevar hasta en un 35% a partir de un valor normal, el transporte y la industria necesitarán mayores fuentes de combustibles para realizar sus procesos (Páez Pérez, 2009). Otro factor es la topografía del DMQ, se presentan varias elevaciones, estas generan poca movilidad dentro de un sistema de circulación del contaminante, llegando así al punto de que los elementos pueden permanecer en un sitio durante varias horas sin dispersarse (Placeres, Olite, & Toste, 2016).

El Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente nos habla sobre calidad del aire. Aquí podrán observar varias formas y conceptos de la calidad de aire, fuentes de evaluación y elementos que presentan una amenaza en el aire (Pallares, 2011). En el anexo 4 del libro VI se refieren a contaminantes con presencia en el aire: Partículas sedimentables,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ , Dióxido de Nitrógeno, Dióxido de Azufre, Monóxido de Carbono y ozono. La concentración máxima de ozono, obtenida a través de una muestra continua en un lapso de tiempo de (8) ocho horas, esta no deberá sobrepasar los  $100 \mu g/m^3$ , más de una vez en un año (Secretaría de Ambiente, 2017). Y la concentración máxima en una hora no deberá sobrepasar  $200 \mu g/m^3$  (Tulsma, 2017)

## **2.2 Ozono**

En nuestra atmósfera tenemos dos tipos de ozono: estratosférico (bueno) y troposférico (malo). El ozono estratosférico está presente entre 25 y 50 km donde comienza a iniciarse la formación de la capa de ozono, en esta zona se tiene presencia del elemento, que muestra valores desde los 0.2 ppm. Este compuesto tiene la capacidad de captar las emisiones de rayos (UV) que ingresan al planeta (Martínez, 2017). Los rayos (UV) se presentan en 3 niveles:

- Longitud de onda corta, la mayoría de estos son detenidos por el O<sub>2</sub> y el O<sub>3</sub> que se encuentran en la tropósfera.
- Longitud de onda media, estos son captados en un porcentaje significativo por el elemento estudiado.
- Longitud de onda mayor, parcialmente captadas, es la que se transmite en mayor cantidad al planeta (Ojeda, 2006).

O<sub>3</sub> troposférico es un gas que pertenece al grupo de los contaminantes secundarios y tiende a generarse mediante reacciones fotoquímicas en presencia de rayos (UV), esta formación tiene lugar mediante la interacción de elementos primarios presentes en la atmosfera, dentro de este grupo se encuentran óxidos de nitrógeno (NO, NO<sub>2</sub>) y compuestos orgánicos volátiles (COV).

(Ecuación 1)

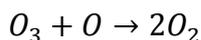
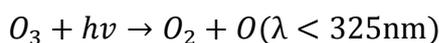
*El ozono se produce por una reacción fotoquímica*



*donde hv es un foton de luz de energia absorbido*



*y se destruye*



El nivel de O<sub>3</sub> monitoreado está generado por la relación que existe entre procesos de fuentes directas, que tienen una relación con varios factores ambientales y fotoquímicos. La presencia de O<sub>3</sub> tiende a tener valores elevados cuando las condiciones meteorológicas se tornan ideales para que las reacciones químicas se produzcan, la estabilidad en elevadas temperaturas, alta radiación (UV) y poca cantidad de precipitaciones son algunos factores que influyen dentro del proceso de formación (IBARS, 2014)

*COV + O<sub>2</sub> + NO<sub>x</sub> + Luz solar = Ozono troposferico* (Ecuación 2)  
(Portolés, 2012)

### 2.2.1 Efecto del ozono sobre las plantas

El ozono ingresa a la planta a través de las estomas de las hojas. La cantidad de ozono que ingresa a la planta está dada por la interacción que esta tenga con la superficie de la hoja y su capacidad estomática. La resistencia de la planta frente al estrés que recibe por la cantidad de ozono será controlada por la enzima presente dentro de la especie, la cantidad de estrés que la planta presente tendrá relación con las condiciones ambientales (Reich & Amundson, 2011).

Algunos de los daños que genera el  $O_3$  dentro de los cultivos fueron constatados y descritos por primera vez en la zona de Los Ángeles (Middleton, Kandaswami, & Theoharides, 2001). Los problemas que se presentaban tenían similitudes a los efectos causados por elementos químicos usados para la exterminación de plagas (Rodríguez, Cupull, Pérez, & Morales, 2016).

El efecto que se torna más notorio del  $O_3$  en especies vegetales están presentes superficialmente en las hojas. El daño ocasionado por el ozono troposférico incluyen pigmentaciones de colores oscuros en la parte superficial de la misma, estas características pueden evidenciarse en otras partes de la planta (Patata et al., 2015). Estas anomalías pueden aparecer en las hojas más viejas de la planta y en algunas ocasiones se ha evidenciado también en el tallo de la misma (Casagrande Campoverde, 2014).

La concentración máxima de ozono, obtenida a través de una muestra continua en un lapso de tiempo de ocho horas, esta no deberá sobrepasar los  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , más de una vez en un año. (Secretaría de Ambiente , 2017). Y la concentración máxima en una hora no deberá sobrepasar  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Tulsma, 2017)

### 2.3 Plantas nativas

Las especies nativas son aquellas que crecen en el área biogeográfica de donde son originarias. Estas se han venido adaptando a las condiciones climáticas donde están presentes los cambios físicos, químicos y biológicos (Pott & Pott, 2003).

La alcalinidad o la acidez de un suelo de una zona o región geográfica puede ocasionar que las especies sufran cambios morfológicos, de igual manera los cambios físicos como temperatura, vientos, precipitaciones de la zona generan cambios en las especies (Ochoa et al., 2017).

Los términos nativos con el de nacional no tienen la misma definición, ya que existen especies de una zona según su geobotánica pueden funcionar como exóticas en otras zonas (Hernandez-Cuervas, Guerra-De la Cruz, Santiago-Martínez, & Cuatlal-Cuahutencos, 2011). Las plantas autóctonas son fundamentales porque tienen características que son de gran relevancia a la hora de realizar recuperaciones de áreas que hayan sido intervenidas a nivel antrópico, erosión del suelo. Es importante recalcar que cuando se van a usar especies nativas para poder realizar planes de regeneración de la cubierta vegetal también se ayuda a disminuir el deterioro que existe dentro del mismo (Dalmasso, 2010).

Las plantas contribuyen a reducir algunos de los efectos que causan que se incrementen los problemas del cambio climáticos. Por ejemplo, algunas plantas tienen la capacidad de absorber una porción de temperatura que se forman en ambientes urbanos y pueden captar cierta cantidad de agua presente en formaciones geológicas bastante compactas. Estas especies brindan un aporte para poder reducir efectos dentro de los climas urbanos dentro de un nivel a macro y micro escala, también ayudan a la disminución de las inundaciones urbanas. Es importante mencionar que también contribuyen aporte importante a la variabilidad genética (Uribe, 2015).

En el Ecuador el cambio de hábitat de estas especies ha venido en aumento, por el crecimiento urbano y por la implementación de zonas de cultivo. Con el pasar del tiempo la mayoría de planes de reforestación se han venido dando con plantas nativas, ya que tienen una adaptabilidad mucho más rápida.

Es importante conocer que existen individuos con una incidencia de mayor afectación en las provincias de la sierra.

Esto se produce por varias causas entre ellas la tala de árboles sin mayor control, varios incendios forestales a lo largo de los últimos años, la implementación de monocultivos en zonas donde no se las puede realizar y la destrucción de quebradas por una expansión de las personas presentes en las zonas (Herrera & Rivera, 2013).

Mediante estudios se ha logrado identificar que las especies arbóreas pueden llegar a mermar el deterioro de zonas con pendientes muy pronunciadas. En su caso al tener las hojas un mayor tamaño que especies arbustivas, estas impiden que las precipitaciones con mucha intensidad produzcan deslizamientos del suelo, por otro lado, la materia orgánica es un aporte significativo para mantener varios procesos dentro del uso del suelo, (Agrarios, 2014).

El mapa de Cobertura Vegetal del DMQ de año 2011 muestra que el área natural cubre una superficie de 256.407 ha. Esto corresponde al 60,46% de toda la superficie del Distrito Metropolitano. Dentro de este se encuentran 17 ecosistemas vegetales: bosques secos, bosques húmedos, arbustos secos, arbustos húmedos, herbazales secos y herbazales húmedos (Alban, 2013). Con referencia a la flora y fauna que se encuentra en el DMQ, el listado muestra 21.490 de plantas. El distrito cuenta con 254 especies endémicas, separadas en 121 géneros pertenecientes a 58 familias. Las familias más abundantes son especies endémicas es *Melastomatácea* (18 especies) seguida por *Orchidaceae* (15 especies) y *Asteraceae* (14 especies) (MAE, 2013).

Dentro del DMQ se producen 760. 000 Árboles de manera anual, esta distribución es sectorizada de acuerdo a la producción de cada vivero.

Tabla 1  
*Listado de viveros presentes en el DMQ*

Oferta actual del DMQ y del Cantón Rumiñahui	Número de plantas anuales por vivero
Vivero Municipio (La Armenia)	50.000
Vivero Municipio (Hogar de Vida)	15.000
Vivero Municipio (Hcda. Las Cuadras)	50.000
Vivero Municipio (Cunuyacu)	30.000
Vivero Municipio (Club Los Chillos)	70.000
Vivero Mangahuanta	100.000
Vivero La Isla	80.000
Vivero Tierra Negra	100.000
Vivero Gisela Chicango	70.000
Vivero Fundación Sembres	70.000
Vivero Forestal Salvador	70.000
Vivero El Surco	30.000
Vivero Colegio Militar Eloy Alfaro	25.000

Tomado de: (Salvador, 2013)

Dentro del vivero de Cunuyacu están presentes algunas especies endémicas, con las cuales se pueden trabajar en planes de reforestación; *Chionanthus pubescens kunth* (Arupo) tiene un rango de distribución geográfica de 1.600 hasta 2.800 m.s.n.m, su tamaño va desde los 6 a 12 metros de alto y su copa es esférica, irregular con diámetro de 4 a 6 metros(Salvador, 2013).

*Tecoma stans* (Cholán) su distribución va desde 100 a 3.100 m.s.n.m y su tamaño rodea los 15 m de altura hasta 30 m con copa esférica irregular de 4-6 m de diámetro, los problemas que tienen estos árboles es que presentan estrés ocasionado por el exceso de agua (Salvador, 2013).

*Jacaranda mimosifolia* (Jacaranda) está presente a los 0 a 500 m.s.n.m y de 1.500 a 3.000 m.s.n.m, su tamaño varía entre 20 y 45 metros, su copa es ovalada, angosta e irregular. Es resistente a plagas y enfermedades y presenta buena tolerancia la contaminación urbana (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2014).

*Delostoma integrifolium* (Yalomán) ubicado entre los 1.000 a 3.500 m.s.n.m y su tamaño va desde los 5 a 10 metros, con copa densa o veces en forma de parasol. Es poco resistente a plagas y enfermedades, tolera medianamente la contaminación urbana (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2014).

*Juglans neotropica* (Nogal) su rango de distribución es 1600 a 3000 m.s.n.m su altura varía desde 15 a 25 metros con una copa irregular y abundante ramas gruesas. Propenso a plagas y enfermedades resiste de manera baja la contaminación urbana (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2014).

*Prosopis pallida* (Algarrobo) se distribuye en los 500 a 3000 m.s.n.m, se pueden encontrar entres los 6 y 15 metros de altura con una copa horizontal globosa. Muy resistente a plagas y enfermedades, resiste muy bien la contaminación urbana (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2014).

## **2.4 Clorofila**

Plantas verdes tienen un alto contenido de clorofila, la mayoría de estas plantas poseen la clorofila de tipo a. Todas las plantas que tuvieron un desarrollo y evolución tardía contienen la clorofila de tipo b. También existen otros tipos como son las clorofilas de tipos c1, c2, c3 y d, todas estas son poco comunes dentro de la naturaleza (Troxler, 2011).

Clorofila es aquel elemento que brinda la posibilidad a las especies vegetales de interactuar con los rayos UV y transformarla en un mecanismo de combustible natural que sea aprovechada. Ciertos tipos de especies poseen más clorofila a que clorofila b. Lo que representa cada pigmento sea A o B es

la cantidad de energía extra que puede almacenar la planta en su interior, y es por esta razón que cada especie puede absorber distintas longitudes de onda de luz (Streit, Zepka, & Jacob-lopés, 2015).

Cuando las plantas contienen una cantidad significativa de clorofila se puede observar una coloración de color verde intensa. Al contrario, una especie presenta cambios a nivel de pigmentación por la vejez o por razones de tipo externo, como pueden ser las altas concentraciones de elementos que dañen la estructura de la misma generando una variación negativa en la cantidad de clorofila (Rivera, Zapata, Pinilla, Jiménez, & ., 2005)

La clorofila es aquella que permite que la luz se refleje, Clorofila de tipo A se encuentra en un rango entre azul y verde, mientras que la clorofila de tipo B se emite en la luz que tiene un rango amarillo-verde; para la vista humana este color se lo puede observar como una tonalidad de color verde. Cabe comentar que la composición química de la clorofila es parecida a la composición de la sangre humana, a excepción que el átomo central de la clorofila es el magnesio y en la sangre es el hierro (Santiago, Jose, Becerra, Jiménez, & Villarreal, 2019)

Se han realizado investigaciones que demuestran que las exposiciones de  $O_3$  en las plantas alteran el mecanismo para realizar la fotosíntesis, por el hecho de la disminución en la captación de dióxido de carbono (Palomares Palacios, 2010). La presencia de  $O_3$  ocasiona daños a nivel molecular, por ende, las captaciones de  $CO_2$  se ven afectadas (Salaza, Giraldo, & Serna, 2018).

Otro de los problemas que se generan en base a los estomas son los cambios con relación a la reducción de la interacción y presencia del rubisco y problemas al momento de realizar procesos químicos (Suárez-Salazar, Duran-Bautista, Andrea, & NOrtiz-Cifuentes, 2017). Se ha demostrado que con la presencia de  $O_3$  la función de la fotosíntesis en especies vegetales se ve afectada, por otro lado, se reduce la capacidad de reacción de los individuos

frente a estrés ambiental reduciendo de esta forma su nivel óptimo de depuración y generando futuros problemas a nivel estructural (Palomares-Palacios, 2015).

## **2.5 Ácido Ascórbico**

Esta sustancia conocida con el nombre de vitamina C, es un elemento esencial dentro de los seres vivos, y es hidrosoluble e importante para el cumplimiento de las reacciones metabólicas en los organismos vivos. Investigaciones muestran que este elemento tiene la capacidad de oxidar contaminantes que ingresan a la planta, el ácido ascórbico (AA) muestra una tendencia de decrecimiento frente a desequilibrios ambientales en torno a las especies vegetales (Mora-Herrera, Peralta-Velázquez, López-Delgado, García-Velasco, & González-Díaz, 2011)

El ácido ascórbico se encuentra en los cloroplastos, citosol y vacuolas. Sin duda es el antioxidante no enzimático de mayor importancia y que tiene mayor influencia dentro de las plantas. El AA tiene mucha influencia en varios procesos fisiológicos como son la fotosíntesis, factores enzimáticos, equilibrio de las sustancias dentro del sistema redox y como iniciador dentro de las vías de síntesis de moléculas del metabolismo primario y secundario y regulador de POX (Herrera-Martínez, Mora-Herrera, García-Velasco, & Rogel-Millán, 2013).

Se ha demostrado que el ácido ascórbico está involucrado en el crecimiento y formación del ciclo celular o división celular (Jesús, Medina, Kosky, & Pérez, 2012). Varios estudios han logrado comprobar que la aplicación AA aplicado exógenamente en varios cultivos promueven el mejor desarrollo, por ende, mejorando el rendimiento (Silvia Lizbeth Herrera-Martínez, Martha Elena Mora-Herrera & Rogel-Millán, 2009). Esto tiene relación con un aumento significativo en los pigmentos fotosintéticos.

## 2.6 Morfología

Los cambios morfológicos se presentan en las especies vegetales con regularidad en las etapas de germinación, crecimiento y cosecha. La alteración dentro la germinación se puede presentar de forma clara con referencia a tonalidades regularmente de color café, estas variaciones con el pasar del tiempo se pueden agudizar en el desarrollo de la planta (Bataller, Fernández, & Véliz, 2015). En el desarrollo de los individuos pueden presentarse afectaciones en el envés de la hoja en forma de quemadura y se presentan una tonalidad de color grisáceo. Cuando se presenta la etapa de cosecha existe reducción en la cantidad de frutos o de biomasa, con relación a la cantidad de tiempo frente a las concentraciones recibidas.

En plantas expuestas a concentraciones de  $O_3$ , se pueden presentar en las hojas tonalidades de color amarillento. Cuando las plantas han crecido en presencia de concentraciones ambientales de  $O_3$ , se identifica un crecimiento de almidón en varias células atrofiadas (Cameselle & Cidrás, 2016). Varios estudios revelan que en los cloroplastos de las estomas se encuentran varios rastros de almidón. En plantas expuestas con  $O_3$  son apreciables en las células dañadas en el parénquima en empalizada y lagunar. Al existir lesiones a nivel celular avanzado, el almidón del parénquima lagunar deja de ser visible (Mamani Rojas & François Ledent, 2014). En las estomas, el almidón se encuentra de manera abundante.

Evidencia demuestra que la presencia de  $O_3$  genera influencia en el desarrollo habitual de la especie vegetal *Lactuca sativa* L. Las hojas mostraron evidencia de manchas en el haz de la misma al estar expuesta a la concentración de  $O_3$  (Andrade, 2017). En estudios realizados se menciona que el  $O_3$  tiene influencia en la pérdida de hojas, con el guarango la especie más afectada, reduciendo en un 44,77% de sus hojas totales, mientras la Ortiga perdió 15,41% (Guffanti, 2019).

El O<sub>3</sub> troposférico actúa en la capacidad de captación de CO<sub>2</sub> *Ocimum tenuiflorum* (albahaca), esto indica que a mayor concentración del contaminante la capacidad de captar CO<sub>2</sub>, se ve reducida (Quishpe, 2017). Se puede observar que los cambios visuales en las plantas generados por el O<sub>3</sub> se presentaron a partir de los días 13 y 14, ocasionado por la exposición continua de las concentraciones (Rivadeneira, 2018).

Estudios han demostrado que en las especies Chilca (*Baccharis latifolia*), Mora de Castilla (*Rubus glaucus Benth*) y la Salvia de Quito (*Salvia quitensis Benth*) el efecto visual más representativo de las tres especies a razón de las concentraciones de O<sub>3</sub> es la necrosis (Almendariz, 2019). Hay parámetros más notorios a simple vista, es el caso de la especie Malamadre (*Chlorophytum comosum*), la mayoría de las hojas demuestran lesiones del tipo quemadura. En la Planta de Jade (*Crassula ovata*), el cambio más notorio fue la alteración en el peso, dado por las pérdidas de hojas por individuo (Monteverde, 2018).

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Ubicación de la zona de estudio**

El experimento fue llevado a cabo en Cunuyacu, situado en la parroquia de Tumbaco, el mismo se encuentra en las siguientes coordenadas; Altitud: - 0.0224099° y Longitud: - 78.430585°, pertenece a la empresa EPMOP (Figura1), y posee una extensión de 4 hectáreas

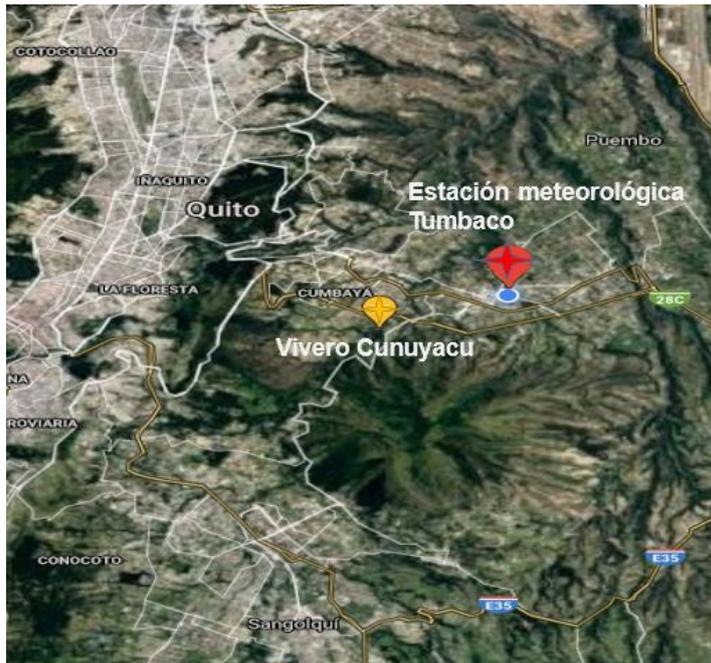


Figura 1. Ubicación del vivero Cunuyacu de Quito  
Tomado de: ( Alphabet Inc., 2019)

### 3.2 Selección de plantas nativas

La selección de las especies de plantas se la realizó mediante estudios bibliográficos, con énfasis en el rango altitudinal y la adaptabilidad que presenten frente a la contaminación. Se tomaron como fuentes de estudio a las especies pertenecientes a la misma familia. *Jacaranda mimosifolia* tiene alta resistencia frente a las plagas y enfermedades y posee una tolerancia muy alta frente a la contaminación urbana. *Delostoma integrifolium* su capacidad enfrentar enfermedades y plagas es media, tolera moderadamente bien la contaminación urbana (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2014)

Tabla 2  
Características de las especies

Especie	Rango altitudinal	Adaptabilidad a la contaminación
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	1500 – 3000 m.s.n.m.	Muy Alta
<i>Delostoma integrifolium</i>	1000 – 3500 m.s.n.m.	Media

Tomado de: (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2014)

### 3.3 Diseño experimental

El experimento fue llevado a cabo con un diseño factorial respecto a un solo factor el cual fue la concentración de O<sub>3</sub>. Se trabajó con dos diferentes concentraciones de O<sub>3</sub> y 10 repeticiones. Por lo tanto, se colocaron 10 individuos: 5 plantas de cada especie, dentro de cada módulo, teniendo en consideración que son 3 módulos, se utilizaron 30 plantas.

Tabla 3  
Diseño experimental

Especies nativas	Número de repeticiones	Concentración de O <sub>3</sub>
Ssp1	10	120-180 µg/m <sup>3</sup>
Ssp2	10	120-180 µg/m <sup>3</sup>
Ssp 1-2	10	0 µg/m <sup>3</sup>

Tabla 4  
Variables dependientes

Ssp1	<i>Jacaranda mimosifolia</i>
Ssp2	<i>Delostoma integrifolium</i>

Tabla 5  
Variable Independiente

Factor	Ozono troposférico
--------	--------------------

En la figura 2 se muestra la distribución de las especies dentro del modulo

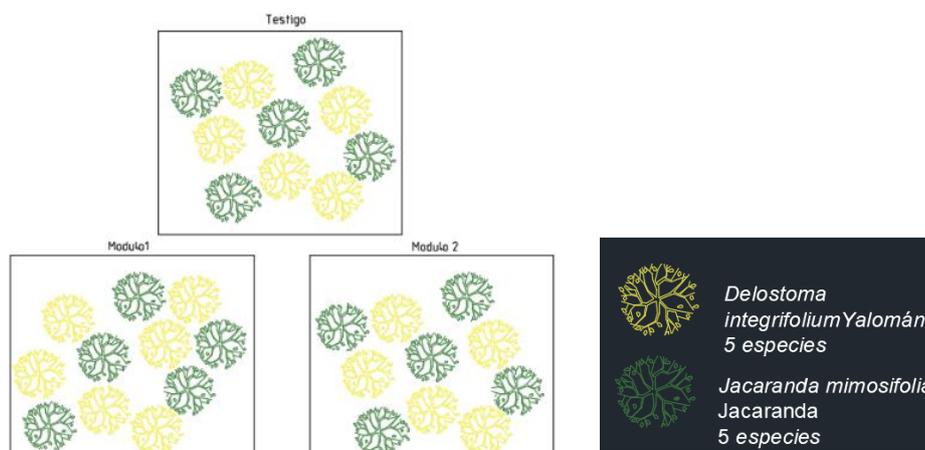


Figura 2. Diagrama de las plantas en los módulos experimentales

Dentro del módulo 1 y módulo 2 se suministraron las siguientes concentraciones de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dentro del módulo testigo no se inyectó ninguna concentración de ozono, sin embargo, se consideró los valores de ozono troposférico que se registraron de la estación Tumbaco de la Secretaría de Ambiente. Para conocer la cantidad de ozono atmosférico que recibía el testigo, se registraron los datos dentro del vivero durante un tiempo establecido, posterior se realizó la misma medición en la estación de Tumbaco con la finalidad de corroborar los datos con la Secretaria De Medio Ambiente.

### 3.4 Validación del equipo

El equipo Aeroqual Series 500 fue exitosamente validado con el equipo TELEDYNE API / T400 (Absorción de luz ultravioleta) (Método equivalente EPA No. EQOA-0992-087) (Figura 3), de la estación Tumbaco de la Red de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ). Esto fue realizado durante dos días. Aeroqual y Teledyne primero fueron colocados en la estación Tumbaco 30 de agosto. Y un día después los datos de ozono de Aeroqual en el vivero Cunuyacu (3.75 km de la estación Tumbaco) fueron comparados con los datos de Teledyne.



Figura 3. Equipo Teledyne API / T400 presente en la estación de Monitoreo de Calidad del Aire Tumbaco.

### 3.5 Construcción de módulos experimentales

Para la construcción de los 3 módulos experimentales se utilizó madera y plástico de color transparente. El área de cada módulo donde se ubicaron las plantas es de 9 m<sup>2</sup>; dentro de éstos se ubicaron 5 plantas por cada especie, en total la caja contiene tiene 10 individuos de experimentación

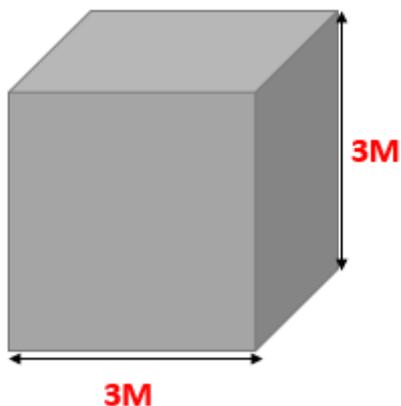


Figura 5. 3D del módulo experimental

### 3.6 Periodos de exposición

Los periodos de exposición fueron realizados en agosto y septiembre, los tiempos de exposición y medición se los realizaba de lunes a domingo durante 4 horas diarias. Dentro del experimento se realizaron dos fases, las primeras dos semanas se suministraba la dosis de 120 µg/m<sup>3</sup>, y las siguientes dos

semanas  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Se utilizó el Aeroqual Series 500 para monitorear la concentración de ozono en intervalos de 5 minutos, el equipo que mide concentraciones de  $\text{O}_3$ , luego se descargó la información en el software AEROQUAL S500 V6.5®, en tiempo real. En la Figura 6 vemos se observa el equipo



Figura 6. AEROQUAL S500 V6.5®

### 3.7 Evaluación de cambios morfológicos

Para medir los cambios en la altura de las plantas se utilizó un flexómetro. Se comenzó tomando como punto inicial la base hasta así llegar a la parte más alta del individuo (Pesqueira, 2008).

Para medir el número de hojas con afectaciones, se contaron las hojas que presentaron manchas o formas de quemadura con referencia a las que no presentaron ninguna afección. La determinación de este cambio se lo llevo a cabo con la utilización de la siguiente ecuación.

(Ecuación 3)

$$\% \text{afectación} = \frac{\# \text{hojas con manchas} * 100}{\# \text{total de hojas}}$$

(Cabezas-gutiérrez & Silva, 2009)

A nivel celular la medición se la realizó con la ayuda del microscopio CX-41 Olympus, un bisturí, un portaobjetos y azul de metileno, para la realización de este procedimiento se realizó el corte transversal en dos hojas de cada planta, al tener esa muestra se la colocó sobre la porta objetos y se añadió con las gotas de azul de metilo al 5%(Pinilla, Campuzano, Rojas, & Pachon-García, 2011).

### 3.8. Análisis de la clorofila

Para medir el índice de clorofila en las hojas de los individuos en cuestión fue necesaria la utilización del Equipo CCM-200 Plus. Se realizó la corrección (-1 Índice de cantidad de Clorofila (CCI)) de los datos del equipo y se procedió a colocar varias hojas de cada especie para poder obtener un valor promedio de la afectación, estas mediciones fueron realizadas tanto al inicio del experimento como al final (Santiago et al., 2019).



Figura 7. Medición de clorofila con el equipo medidor

### 3.9. Análisis de ácido ascórbico

Como siguiente paso se realizó la solución del almidón de papa a través de la filtración de 1 gramo de almidón en 100 ml de agua caliente.

Para conocer la concentración de ácido ascórbico se obtuvo el zumo de las hojas de cada especie, el peso por cada muestra fue de 2 g. Para la obtención del zumo se añadió 50 ml dentro del vaso de una licuadora y se colocó junto con ella la muestra antes medida. Posteriormente se realizó el proceso de filtración con una bomba de vacío y se diluyó al 10% con agua destilada.

Para la solución estándar de vitamina C; se disolvió 0.25 g de vitamina C en 250 ml de agua destilada y se realizó el mismo procedimiento de las muestras para la titulación. Este proceso se lo llevo a cabo antes y después del experimento.



Figura 8. Análisis de muestras de AA

## 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 4.1 Construcción de celdas experimentales

Para la construcción de los módulos experimentales se utilizó una metodología de experimentación que permite contemplar los efectos mediante condiciones naturales y seminaturales. Dentro de estas condiciones se pueden obtener datos reales dentro del entorno de experimentación a diferencia de los datos controlados (Victoria Bermejo Bermejo, Rocío Alonso del Amo, Susana Elvira Cozar, Isaura Rábago Juan-Aracil, 2013). Se utilizó la técnica de celdas experimentales que permite medir la cantidad de  $O_3$  atmosférico y poder dosificar las concentraciones de  $O_3$  deseadas. Estos módulos permitieron evaluar las condiciones en las cuales las plantas se desarrollaron durante el mes de experimentación presencia de  $O_3$  ambiental y el suministrado de forma artificial (Sun et al., 2013). Los materiales implementados para la construcción de los módulos fueron 18 metros de plástico transparente y 12 pingos de eucalipto de 3 metros cada uno que fueron usados para armar y cubrir la estructura, la utilización de este tipo de plástico tiene la función de permitir el paso de los rayos ultravioletas, al tener el techo descubierto se pudo medir las concentraciones que se generaban de  $O_3$  con el equipo Aeroqual.

El riego de las plantas se lo hacía en horas de la tarde cuando la presencia de sol era nula, ya que el riego de agua al tener presencia de sol genera que las gotas del agua formen un efecto de lupa y quemem las plantas. En la figura 6 se observa los módulos experimentales en su fase final.



*Figura 6.* Instalación de módulos descubiertos

#### **4.2 Validación de equipo**

Para verificar que el equipo medidor de ozono este midiendo las concentraciones correctas, se colocó el equipo Aeroqual en el vivero Cunuyacu de Quito, durante un tiempo establecido de 5 horas para obtener los datos de ozono presentes en la zona de estudio, al día siguiente se realizó el mismo proceso dentro de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de la Secretaría De Ambiente presente en Tumbaco, con un tiempo establecido de 8 horas. En la Figura 8 (a;b) se puede observar que los datos comparados entre el equipo Aeroqual y la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito(REMMAQ) tienen una similitud de  $R^2=0.95$  y tienen una similitud  $R^2=0.96$ , para el cálculo de las mediciones se realizó un promedio ya que los datos de la estación REMMAQ contienen datos horarios, mientras que el equipo mide los datos cada 5 minutos. Los valores obtenidos para obtener la curva de verificación de datos fueron ejecutados con datos de los días 4 y 5 de enero del 2020.

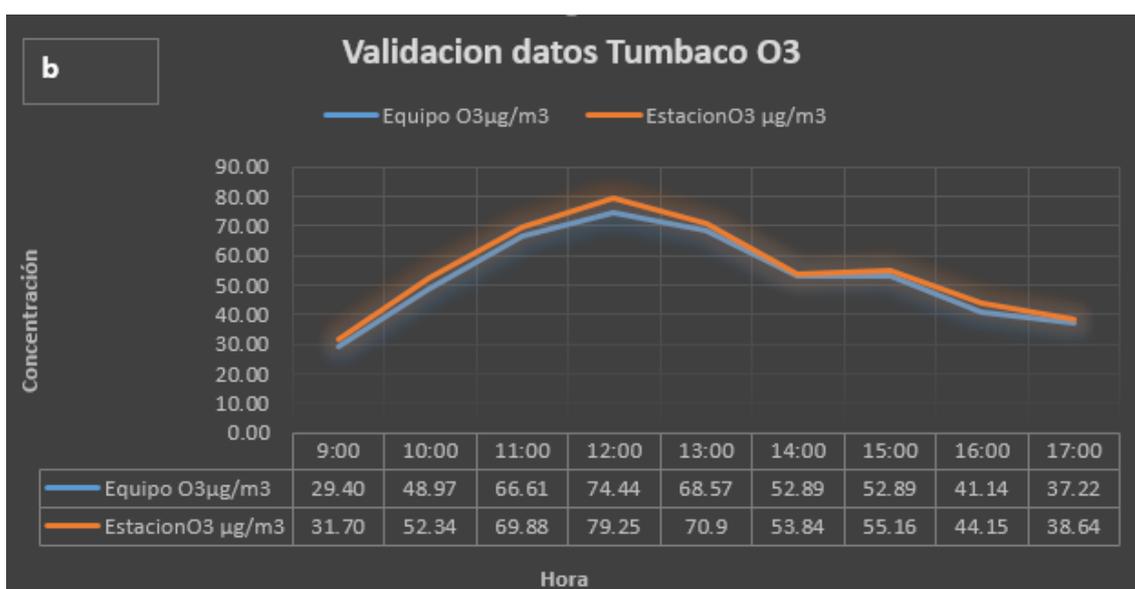
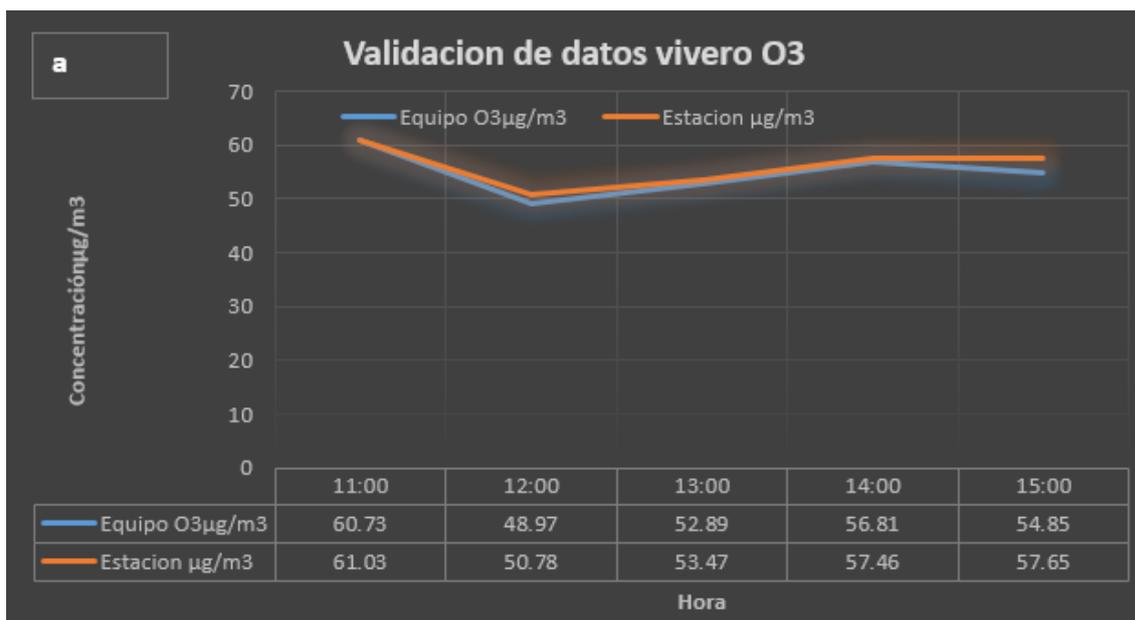


Figura 8. (a) Validación datos vivero, y (b) Validación datos estación Tumbaco.

La distancia desde el vivero hasta la estación de Monitoreo de la Calidad del aire es de 3.5 km, las estaciones tienen un rango efectivo de cobertura de 4 km (Cuenca, 2015). Las mediciones que contemplen estas distancias por lo general pertenecen a zonas razonablemente homogéneas, para este caso la distancia fue la ideal al momento de poder comparar los datos obtenidos dentro del experimento (Ecología, 2008)

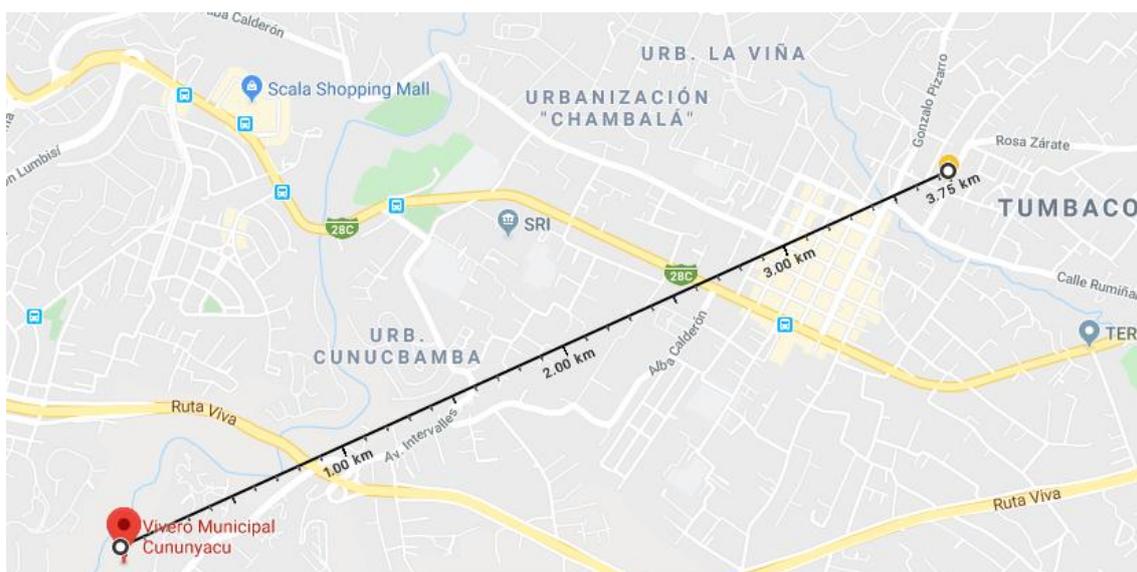


Figura 9. Distancia del vivero Cunuyacu a REMMAQ(Tumbaco).

Para comprobar la cantidad de  $O_3$  generado dentro de los Tratamientos 1 y 2 se realizó un promedio diario con los datos obtenidos del equipo medidor Aeroqual, en la Figura 10 se detalla la cantidad de ozono generada en los 30 días de experimentación, es así que la dosis suministrada en los primeros 15 días muestra valores de  $120\mu\text{g}/\text{m}^3$ , posterior de estas concentraciones las dos semanas finales se dio una cantidad de  $180\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

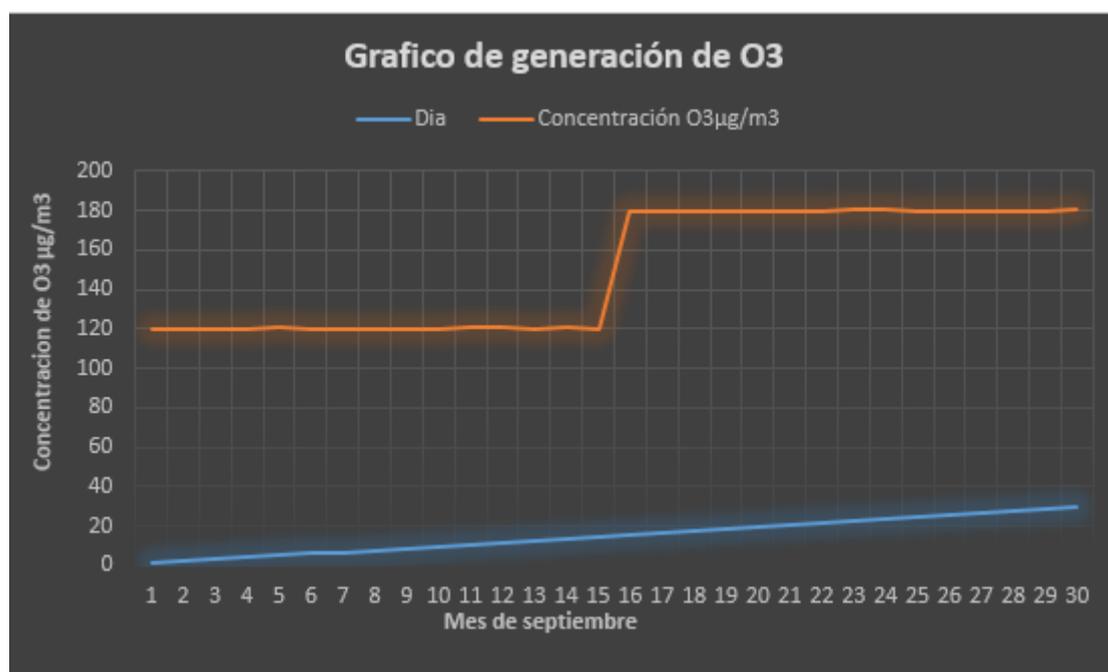


Figura 10. Gráfico de generación de ozono presente en los módulos 1 y 2

### 4.3 Cambios en la morfología y fisiología de las plantas

#### 4.3.1 Exposición de Ozono

Para la dosificación del O<sub>3</sub> se utilizó un equipo generador para realizar la inyección en los módulos para obtener las concentraciones deseadas. Cada tratamiento contaba con una manguera que se conectaba simultáneamente a los módulos y al equipo generador de ozono. Las primeras dos semanas la concentración suministrada en los módulos 2 y 3 fue de 120 µg/m<sup>3</sup> y las 2 semanas siguientes las concentraciones fueron de 180 µg/m<sup>3</sup> en los mismos módulos. Es así que las especies *Jacaranda mimosifolia* (*Jacaranda*) y *Delostoma integrifolium* (*Yaloman*) fueron sometidas a un mismo contaminante con diferentes concentraciones en el transcurso de 1 mes de experimentación.

#### 4.3.2 Alteraciones identificadas

Para evaluar la alteración que el O<sub>3</sub> ocasiona en las especies *Jacaranda mimosifolia* (*Jacaranda*) y *Delostoma integrifolium* (*Yaloman*), se realizaron observaciones semanales durante el periodo de los 30 días que duró el experimento (González, 2009). La evidencia de la recolección de datos se la realizó mediante el conteo de las manchas en el material fotográfico (Anexo1), para posterior poder analizar la información dentro del programa estadístico infostat.

En la fase inicial del experimento se tomaron datos de la altura en las 30 plantas con las cuales se trabajó, al final del mismo se volvió a medir el tamaño de los individuos para verificar si han existido cambios significativos o no frente a la exposición del contaminante. En la figura 11 y en la figura 12 se observa la fase de medición de las plantas. Según lo estudiado en (Porcuna, Gimeno, & Sanz, 2018), el ozono genera el daño en las membranas celulares generando alteraciones en el crecimiento de las plantas. En el experimento planteado no se evidencia un crecimiento significativo ya que, al ser especies arbóreas, tienen un crecimiento reducido en un periodo corto de tiempo.



Figura 11. Mediciones de altura la especie *Jacaranda mimosifolia* (Jacaranda)



Figura 12. Mediciones de altura de la especie y *Delostoma integrifolium* (Yaloman)

Posterior de la toma de datos del día inicial y del día final con relación a la exposición del  $O_3$  se efectuó a la realización del ingreso de información en el programa estadístico y se procedió a realizar un promedio para cada módulo

experimental, realizado en base a las 2 plantas. La información obtenida está representada en la Tabla 6 y Figura 13, donde se puede observar que en los datos existió un comportamiento de crecimiento reducido dentro de los Tratamientos 1 y 2 respectivamente, mientras dentro del Tratamiento 0 se observa un crecimiento adecuado con referencia a las demás cajas de monitoreo. Con referencia a los datos de crecimiento se realizó un Anova para la especie *Jacaranda mimosifolia* (*Jacaranda*), donde se observa que la significancia es mayor a 0.05, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, que nos indica que el O<sub>3</sub> no tiene influencia sobre el crecimiento de las plantas (Sanz, Porcuna Coto, Jorda Gutierrez, & Lima, 2017).

Tabla 6

ANOVA de la variable altura *Jacaranda mimosifolia*

#### Análisis de la varianza

##### Altura Inicial

Especie	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Jacaranda	Altura Inicial	45	0.04	0.00	5.43

##### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.03	2	0.01	0.79	0.4602
Concentración	0.03	2	0.01	0.79	0.4602
Error	0.71	42	0.02		
Total	0.73	44			

##### Altura final

Especie	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Jacaranda	Altura final	45	0.02	0.00	5.30

##### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.01	2	0.01	0.35	0.7070
Concentración	0.01	2	0.01	0.35	0.7070
Error	0.68	42	0.02		
Total	0.69	44			

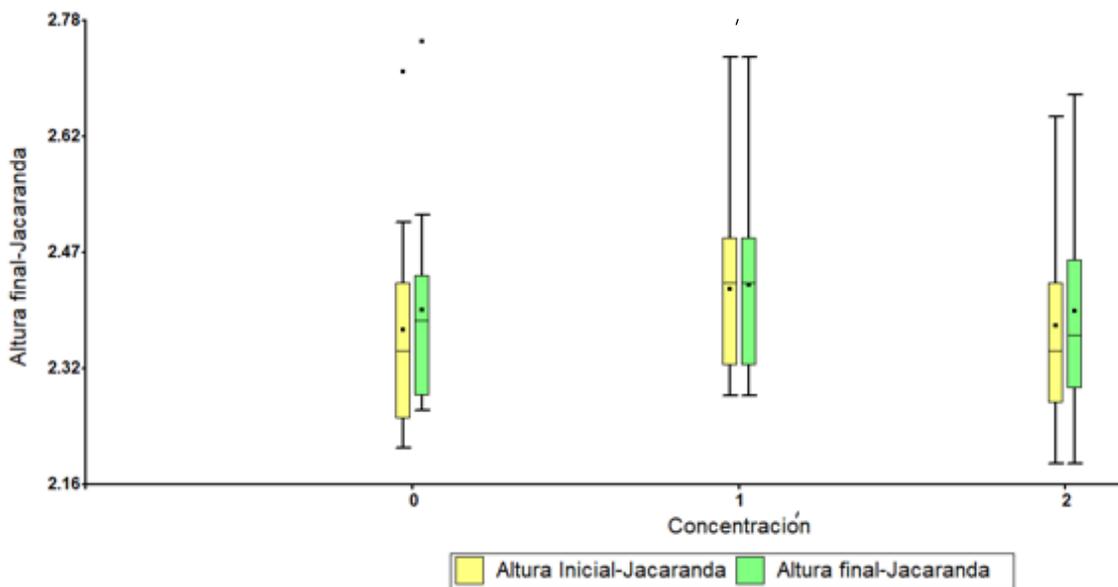


Figura 13. Crecimiento diagrama de cajas *Jacaranda mimosifolia* con referencia a la concentración.

Por otro lado, en la especie *Delostoma integrifolium* se evidenció un crecimiento en el Tratamiento 0 mientras que en los Tratamientos 1 y 2 se puede observar un estancamiento en el crecimiento de la especie. En la Figura 14 y Tabla 7 se puede observar la relación de datos iniciales y finales de la altura. Estos análisis arrojaron una significancia mayor al 0.05 por lo cual se acepta la hipótesis nula que se refiere a que el  $O_3$  no tiene una influencia frente al crecimiento de las plantas, es importante mencionar que al ser especies arbóreas no se puede detectar un crecimiento notorio con periodos de tiempo corto (Alcalá, Sosa, Moreno, Ortega, & Quintana, 2018).

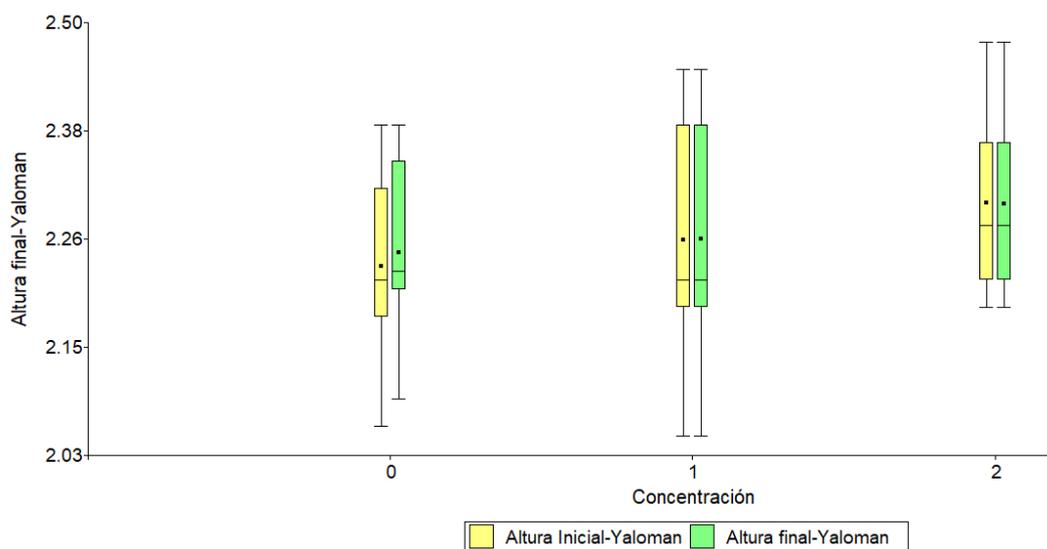
Tabla 7

*Kruskal Wallis de la altura Delostoma integrifolium*

## Prueba de Kruskal Wallis

Especie	Variable	Concentración	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Yaloman	Altura final 0		15	2.25	0.09	2.23	1.64	0.4386
Yaloman	Altura final 1		15	2.26	0.13	2.22		
Yaloman	Altura final 2		15	2.30	0.09	2.28		

Especie	Variable	Concentración	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Yaloman	Altura Inicial 0		15	2.23	0.10	2.22	3.20	0.2003
Yaloman	Altura Inicial 1		15	2.26	0.13	2.22		
Yaloman	Altura Inicial 2		15	2.30	0.09	2.28		

Figura 14. Crecimiento diagrama de cajas *Delostoma integrifolium*

Dentro del experimento se observó la aparición de manchas en forma de quemaduras en las hojas de las especies Figura 15. Alrededor de la segunda semana de iniciado los experimentos se mostraron más evidentes estas lesiones. Algunas investigaciones muestran similares apariciones a partir de la tercera y segunda semana como en el caso de (Valle, Barreno, Calatayud, Carrasco, & Aleixandre, 2012). Es importante mencionar que al inicio del experimento las plantas ya presentaban algunas de estas manchas, esto por el hecho de que las plantas al estar dentro del invernadero estaban expuestas al ozono ambiental, durante el mes anterior se presentaban concentraciones de ozono promedio que bordeaban los  $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (ver la Figura 9), si bien estas manchas no eran significativas estaban presentes.



*Figura 15. Fotografía de manchas en las especies*

**Tabla 8**  
**Kruskall Wallis de la variable manchas en las especies**  
**Prueba de Kruskal Wallis**

Especie	Variable	Concentración	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Jacaranda Manchas	0		15	0.20	0.41	0.00	12.02	0.0011
Jacaranda Manchas	1		15	1.13	0.99	1.00		
Jacaranda Manchas	2		15	1.27	0.88	1.00		

Trat.	Ranks
0	13.50 A
1	26.57 B
2	28.93 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Especie	Variable	Concentración	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Yaloman Manchas	0		15	1.60	0.51	2.00	7.81	0.0174
Yaloman Manchas	1		15	4.07	3.01	4.00		
Yaloman Manchas	2		15	4.87	3.18	5.00		

Trat.	Ranks
0	15.40 A
1	25.53 B
2	28.07 B

En el análisis de los resultados generados a partir del número de manchas presentes en hojas de las especies, indican que los valores pertenecientes a la probabilidad generada a partir de los Tratamientos son menores a 0.05, partiendo de esto se puede determinar que tanto los Tratamientos 1 y 2 tienen una afectación similar tanto en la especie *Jacaranda mimosifolia* y *Delostoma integrifolium*, mientras que el Tratamiento 0 muestra una diferencia frente a los otros tratamientos.

Los resultados obtenidos cumplen una similitud con lo hallado por (Rodríguez et al., 2016), que indica que estas afectaciones pueden aparecer por el grado de contaminación con referencia al O<sub>3</sub>. Algunos de los efectos del O<sub>3</sub> en las plantas durante lapsos de tiempo cortos pueden generar cambios agudos en la planta como son los síntomas visibles de afección en las hojas (Salas, 2015). En la Figura 16 se identifica una mayor cantidad de manchas en la especie *Delostoma integrifolium* con referencia a la especie *Jacaranda mimosifolia*, una de las causas principales es el tamaño de la hoja, ya que al tener una mayor área foliar el contaminante cubre una mayor parte de la hoja. En la Figura 17 se identifican los cambios en la coloración de las hojas, así como la aparición de necrosis.

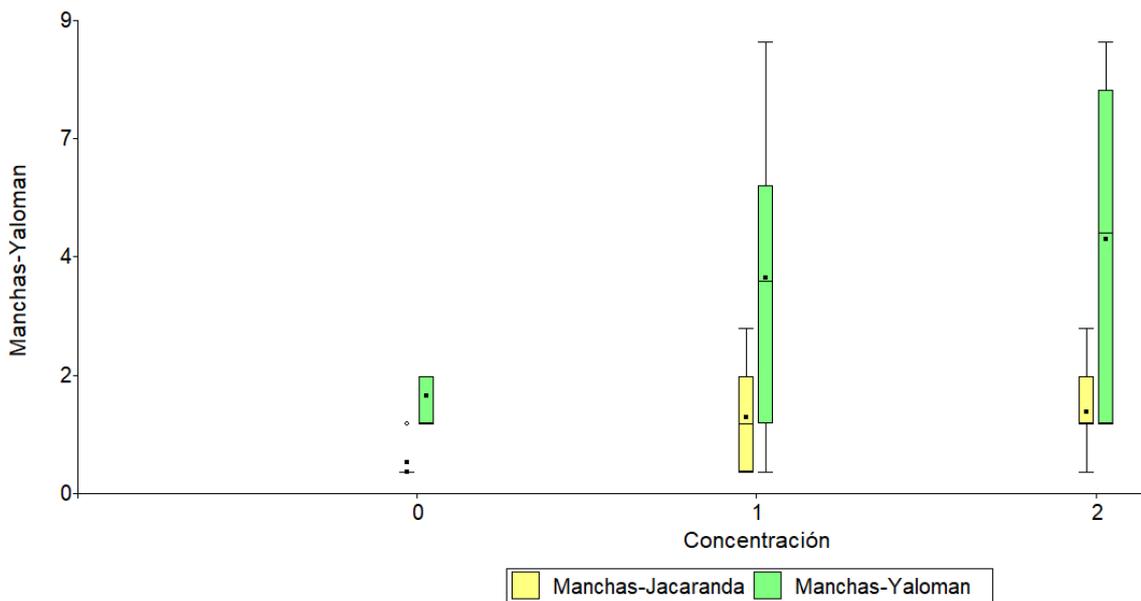


Figura 16. Diagrama de cajas con referencia a las manchas con respecto a la concentración.

Especie	Blanco	Tratamiento 1	Tratamiento 2
Jacaranda			
Yaloman			

Figura 17. Daños en las plantas a nivel microscópico observados en lente 10x

## 4.4 Químicos

### 4.4.1 Ácido ascórbico

Para conocer los valores de ácido ascórbico dentro del proceso de experimentación se tomaron muestras al inicio del experimento, en la fase media y en la culminación del trabajo de investigación.

En la Tabla 9 se puede identificar que los Tratamientos 1 y 2 tienen similitud y arrojan una significancia menor al 0.05 en ambas especies, generando así el rechazo de la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alternativa que nos dice que el O<sub>3</sub> tiene una influencia sobre la cantidad de ácido ascórbico presente en las especies.

Si bien existe una influencia del contaminante sobre las especies en la Figura 19 se observa que el descenso del ácido ascórbico en la especie *Jacaranda mimosifolia* es menor en comparación con *Delostoma integrifolium*. El estudio realizado por (Salas, 2015), nos indica que el ácido ascórbico puede verse reducido por la presencia de un alto grado de contaminación. Las plantas generan por periodos cortos mayor ácido ascórbico para oxidar sustancias nocivas, pero si la prolongación a un contaminante se extiende esta sustancia tiende a descender.

Tabla 9

*Kruskal Wallis de la relación de (AA) frente a los tratamientos*

**Prueba de Kruskal Wallis**

Especie	Variable	Concentración	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Jacaranda	Acido ascorbico	0	5	0.42	1.5E-03	0.42	6.53	0.0026
Jacaranda	Acido ascorbico	1	2	0.41	0.00	0.41		
Jacaranda	Acido ascorbico	2	2	0.40	0.00	0.40		

**Trat. Ranks**

2	1.50	A
1	3.50	A B
0	7.00	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Especie	Variable	Concentración	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Yaloman	Acido ascorbico	0	5	0.21	7.6E-04	0.21	6.53	0.0026
Yaloman	Acido ascorbico	1	2	0.19	0.01	0.19		
Yaloman	Acido ascorbico	2	2	0.17	0.01	0.17		

**Trat. Ranks**

2	1.50	A
1	3.50	A B
0	7.00	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

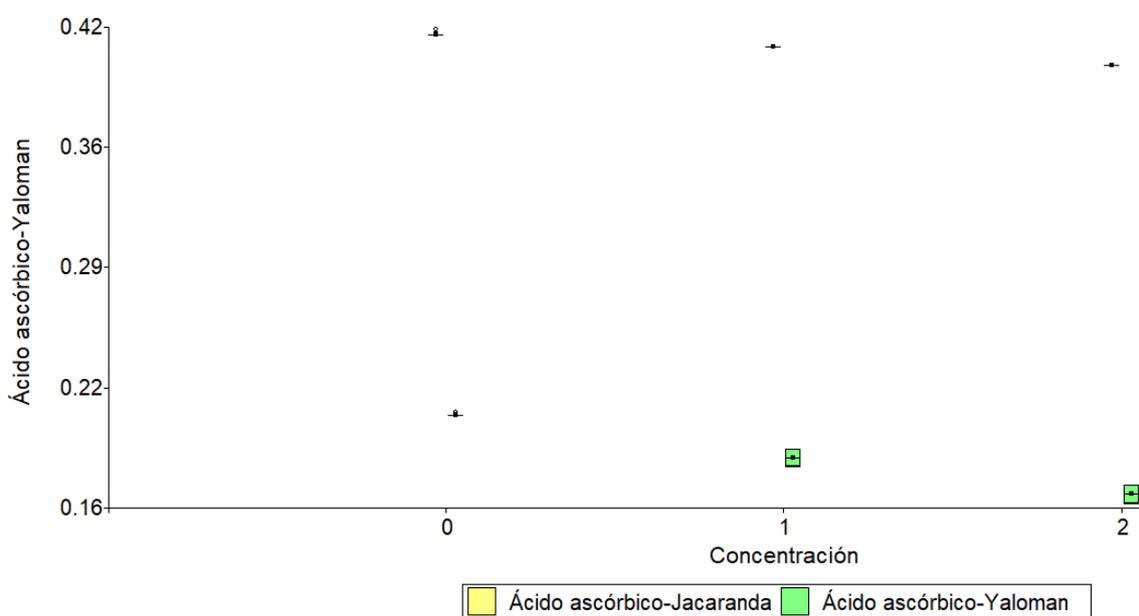


Figura 18. Diagrama de cajas con referencia al ácido ascórbico por especie en relación a la concentración

La Figura 19 muestra el cambio de la clorofila con el pasar de las semanas, que muestra una tendencia de cambio a partir de la segunda semana de experimentación, teniendo a la especie *Delostoma integrifolium* como la más sensible al cambio.

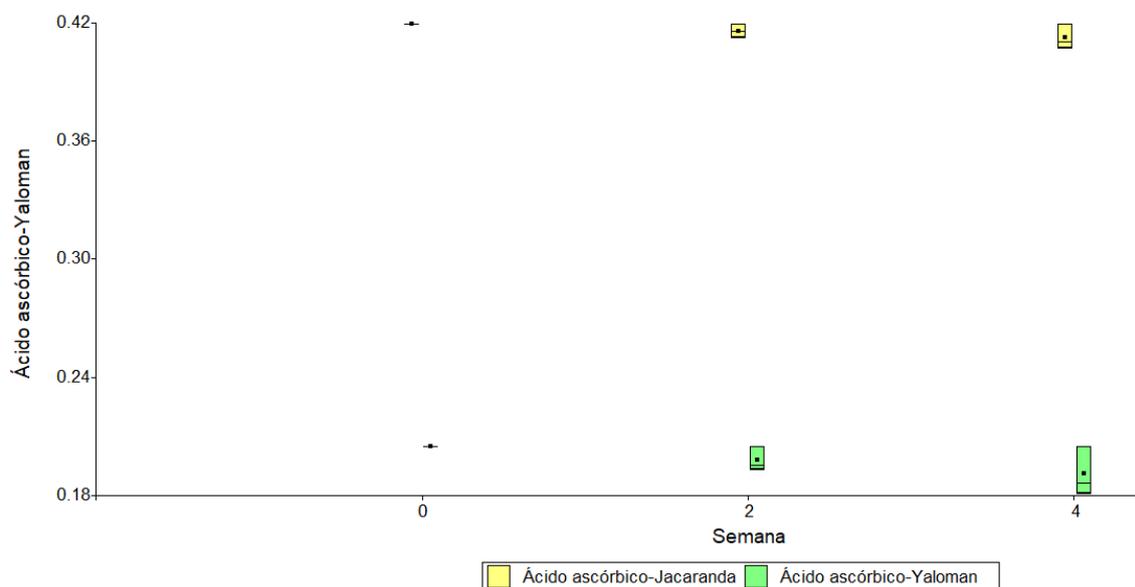


Figura 19. Diagrama de cajas con referencia al ácido ascórbico por especie, en semanas

#### 4.4.2 Clorofila

Para la obtención de los datos de clorofila se realizaron los análisis al inicio (día 1), en la mitad (día 15) y al final del experimento (día 30).

Los datos obtenidos a partir de las mediciones de clorofila realizadas nos indican que existen afectaciones en las dos especies, en la Tabla 10 se puede observar que la significancia tanto para la especie *Jacaranda mimosifolia* y *Delostoma integrifolium* es menor a 0.05, indicando de esta forma que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, que nos dice que el  $O_3$  influye en la cantidad de clorofila presente en las plantas, por otro lado se observa que los tratamientos 1 y 2 para la especie *Delostoma integrifolium* presentan similitud, mientras que para la especie *Jacaranda mimosifolia* el Tratamiento 0 y el Tratamiento 2 tienen similitud, esto puede estar

fundamentado en que los cambios se ven mayormente reflejados desde el inicio del experimento hasta el final. En la Figura 20 se observa cambios en la cantidad de clorofila con respecto al tratamiento. El estudio hecho por (Zhuzhingo, 2017), concuerda con lo hallado dentro del experimento, demostrando que la baja del índice de clorofila presenta en las plantas desequilibrios de nutrientes en la misma como es la pérdida de hierro, esto genera en las hojas tonalidades oscuras llamadas necrosis. (Carril, 2017), expresa que la cantidad de clorofila y la cantidad de O<sub>3</sub> son inversamente proporcionales.

Tabla 10

*Kruskal Wallis de la relación entre la clorofila y el tratamiento*

*Prueba de Kruskal Wallis*

Especie	Variable	Concentración	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Jacaranda	Clorofila	0	10	6.99	0.41	7.06	7.79	0.0202
Jacaranda	Clorofila	100	10	7.08	0.35	7.17		
Jacaranda	Clorofila	180	10	6.36	0.72	6.40		

Trat. Ranks

180	9.20	A
0	18.00	B
100	19.30	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Especie	Variable	Concentración	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Yaloman	Clorofila	0	10	42.12	7.44	41.99	25.81	<0.0001
Yaloman	Clorofila	100	10	10.28	5.22	9.55		
Yaloman	Clorofila	180	10	2.16	0.91	2.15		

Trat. Ranks

180	5.50	A
100	15.50	B
0	25.50	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

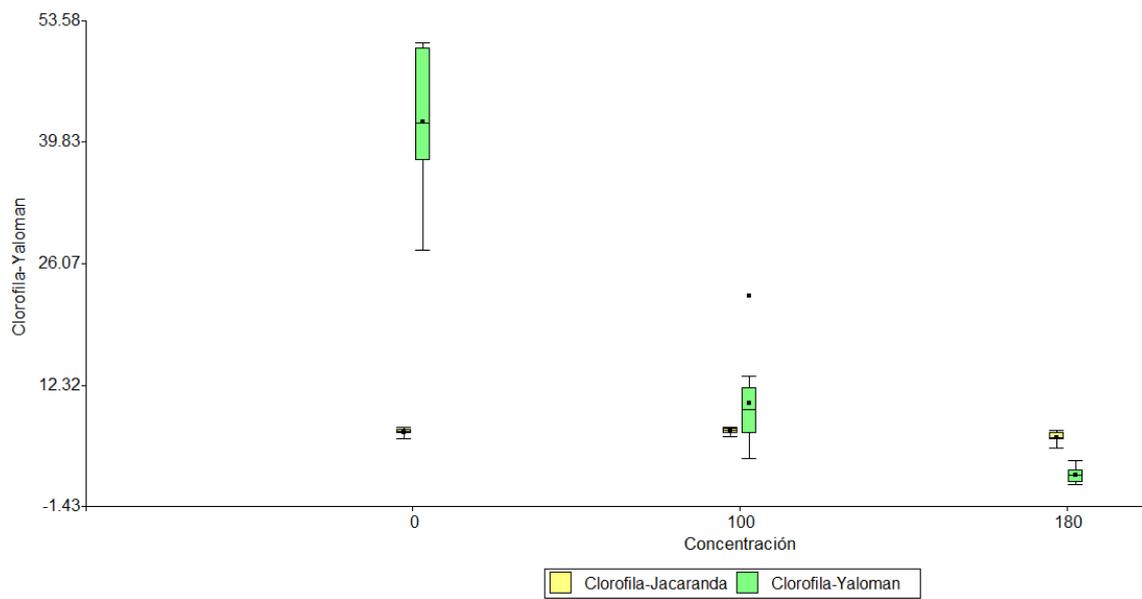


Figura 20. Diagrama de cajas de la variación de la clorofila con referencia al tratamiento.

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

Mediante el estudio se demostró que el O<sub>3</sub> influye de manera perjudicial dentro de un periodo de exposición corto dentro de las especies *Jacaranda mimosifolia* y *Delostoma integrifolium*. En la toma de datos con referencia a la altura, manchas en las hojas y determinación microscópica se pudo determinar que el O<sub>3</sub> no influye en la altura, debido a que las especies arbóreas tienen un periodo de crecimiento más largo que las especies de jardín, por ende, se puede concluir que el contaminante estudiado no afecta al crecimiento de la planta en periodos de tiempo reducidos. Las construcciones de los módulos experimentales presentaron las condiciones ideales para poder realizar las mediciones correctas. Uno de los puntos más importantes fue la validación del O<sub>3</sub> ambiental, que permitió evidenciar cambios desde un punto de vista de experimento no controlado frente a condiciones controladas de los otros módulos experimentales.

Se puede determinar que la especie *Jacaranda mimosifolia* presenta una mayor resistencia frente al contaminante ya que si bien tuvo afectaciones fueron cambios pequeños, por otro lado, la especie *Delostoma integrifolium* mostro una mayor afectación frente a la presencia del O<sub>3</sub>, esto puede tener relación con el tamaño de la hoja, las hojas de la especie menos afectada son pequeñas, al tener una superficie de contacto menor interactúa de una manera más reducida con el contaminante. Para concluir, los niveles de ácido ascórbico y clorofila dentro de la especie *Jacaranda mimosifolia* se vieron afectados de una manera reducida con respecto a los niveles medidos en *Delostoma integrifolium*, esto nos indica que las dos especies arbóreas utilizadas para este experimento tienen una resistencia elevada al contaminante O<sub>3</sub>, pero al compararlas la especie *Jacaranda mimosifolia* presenta mayor toleración a la contaminación.

## **5.2. Recomendaciones**

El fundamento de realizar un modelo de experimentación semi controlado dio resultados positivos ya que se pudieron relacionar datos eh interpretar condiciones de contaminación dentro de todo el proceso de estudio.

Se recomienda realizar una investigación con más cantidad de especies para determinar cuál se adapta mejor frente a la contaminación para poder realizar planes de reforestación dentro de todo el país.

## REFERENCIAS

- Alphabet Inc., A. (2019). *Google maps*. Recuperado el 04 de Febrero de 2020, de <https://www.google.com.ec/maps/search/cunuyacu+vivero/@-0.2201316,-78.4214635,15z/data=!3m1!4b1?hl=es>
- Agrarios, S. (2014). La erosión del suelo. *dirección zonal agrorural Ayacucho*.
- Alban, V. (2013). “*Construcción y Consolidación de un Modelo De Gestión Forestal para El Distrito Metropolitano De Quito*” DMQ”.
- Alcalá, J., Sosa, M., Moreno, M., Ortega, J., & Quintana, C. (2018). *Especies arbóreas evaluadas como bioacumuladoras de azufre en la ciudad de chihuahua , méxico tree species assessed as sulfur bioaccumulators in the city of. 7*.
- Almendariz, M. (2019). Evaluación de los efectos que genera el ozono troposférico a concentraciones reales altas en plantas nativas del Ecuador dentro de la parroquia de Alangasí. In *Ayan* (Vol. 8).
- Andrade, O. (2017). *Evaluación de los efectos del ozono troposférico en las características morfológicas de la especie Lactuca sativa*.
- Bataller, M. O., Fernández, L. A., & Véliz, E. (2015). Eficiencia y sostenibilidad del empleo del ozono en la gestión de los recursos hídricos. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 26(1), 85–95.
- Benavides, H. (2017). *Información tecnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*.
- Cabezas-gutiérrez, M., & Silva, R. L. (2009). *Un modelo para la estimación del área foliar en tres especies forestales de forma no destructiva*. (55), 121–130.
- Cameselle, R., & Cidrás, J. (2016). Evolución Vegetal : La Conquista De La Tierra. *Botánica II*, 1–8. Recuperado el 12 de Junio de 2019, de <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2016/08/Lobato-y-Cidras-2012.pdf>
- Carril, E. P. (2017). *Fotosíntesis : Aspectos Básicos*. 2(3), 1–47.
- Casagrande Campoverde, E. J. (2014). *Evaluación del efecto del ozono sobre la incidencia de la enfermedad de la mancha anillada (Papaya ringspot*

- virus-P, PRSV-P) en papaya (Carica papaya L.) en condiciones de invernadero.* 1–125.
- Cazorla, M. (2013). *Análisis de los datos horarios de radiación solar y abundancia de ozono del Distrito Metropolitano de Quito del 2007 al 2012.* 5(2).
- Cuenca, M. de. (2015). *Informe calidad de aire Cuenca.*
- Dalmaso, A. D. (2010). *Revegetación de áreas degradadas con especies nativas.* 45, 149–171.
- Ecología, I. nacional de. (2008). *Manual 3 Redes Estaciones y Equipos de Medición de la Calidad del Aire.*
- Estrada, F. Z., Torres, R. M., Villa, M. S., & Sánchez, Ma. Edna Álvarez, Vallejo, M. T. C. L. y P. R. (2011). *Leaf Morphological and Physiological Changes of Tolerant and Susceptible.*
- González, I. (2009). *Flujos estomáticos de ozono y sus efectos sobre la vegetación. relaciones dosis respuesta.*
- Guffanti, E. (2019). Influencia del ozono troposférico en especies nativas del Ecuador, parroquia de Conocoto. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hernandez-Cuervas, L., Guerra-De la Cruz, V., Santiago-Martínez, G., & Cuatlal-Cuahutencos, P. (2011). Propagation and Mycorrhization of Native Plants With Soil Restoration Potential. *Revista Mexicana de Ciencias*, 2(7), 87–96.
- Herrera-Martínez, S. L., Mora-Herrera, M. E., García-Velasco, R., & Rogel-Millán, J. G.-R. y G. (2013). Effect of Ascorbic Acid on Growth , Photosynthetic Pigments and Peroxidase Activity of Rosebush. *Terra Lationamerica.*
- Herrera, m. n. b., & Rivera, E. A. P. (2013). *Macroproyecto: Conociendo las plantas nativas conservamos la biodiversidad- estudio de caso “escuela Francisco José de caldas”, En la vereda campo alegre en el municipio de villahermosa tolima.* 1–110.
- Ibars, D. L.-G. y A. M. (2014). Boiss . I : estudio de la distribución de daños. “on

- Line,*” (June 2014).
- Jesús, S. De, Medina, M., Kosky, R. G., & Pérez, L. P. (2012). *Efecto de dos citoquininas , ácido ascórbico y sacarosa en la obtención de plantas in vitro de Sorghum bicolor para la formación de callos Effect of two cytokinin , ascorbic acid and sucrose to obtain in vitro shoots of sorghum for callus formation.* 101–110.
- Malcolm, J. W. (2012). *Concentraciones in situ de ozono en bosques de la Cuenca de México e influencia de la altitud.* 8(44).
- Mamani Rojas, P., & François Ledent, J. (2014). Efecto de la sequía en la morfología, crecimiento y productividad de genotipos de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Bolivia. *Revista Latinoamericana de La Papa*, 18(1), 25–76.
- Martínez, M. G. (2017). *Climatología del Ozono estratosférico y de la Radiación Ultravioleta en Galicia.* 1–20.
- Middleton, E., Kandaswami, C. C., & Theoharides, T. (2001). *The Effects of Plant Flavonoids on Mammalian Cells: Implications for Inflammation , Heart Disease ,.* (June 2014).
- Monteverde, M. (2018). El principal efecto en las plantas de las tres especies a causa de la exposición de ozono es la necrosis. In *Udla* (Vol. 173). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Mora-Herrera, M. E., Peralta-Velázquez, J., López-Delgado, H. A., García-Velasco, R., & González-Díaz, J. G. (2011). Efecto Del Ácido Ascórbico Sobre Crecimiento, Pigmentos Fotosintéticos Y Actividad Peroxidasa En Plantas De Crisantemo. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XVII(2), 73–81. Recuperado el 23 de Diciembre de 2019, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60949936008>
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2014). *Los Árboles Patrimoniales de Quito.* Recuperado el 18 de Noviembre de 2019, de [www.quitoambiente.gob.ec](http://www.quitoambiente.gob.ec)
- Ochoa, D. M., Navas, A. V., Ulloa, C. U., Ansaloni, R., Ventosa, I., C, K. P., & Bosco, E. D. (2017). *Árboles y Arbustos de los ríos de Cuencas.*
- Ojeda, M. G. (2006). *El ozono estratosférico.* 47–58.

<https://doi.org/10.3369/tethys.2006.3.06>

- Oyanguren, H., Prieto, L., & Ferrada, L. (2012). Contaminación atmosférica. *Revista Medica de Chile*, 98(1), 34–41. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-2286-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-011-2286-3_1)
- Páez Pérez, C. (2009). *Gestión De La Contaminación At mosférica Urbana: El Caso De Quito*. 1–17.
- Pallares, M. (2011). *Norma ambiental de calidad de aire*. 03.
- Palomares-Palacios, A. (2015). *Niveles de ozono y riesgos para la vegetación en la Comunidad Valenciana*. 121.
- Patata, C. D. E., Carcaixent, E. N., & Valencia, U. D. E. (2015). *Efectos del ozono troposférico sobre el cultivo de patata en carcaixent (Valencia)*.
- Pesqueira, J. (2008). *Cambios bioquímicos , morfológicos y ecofisiológicos en plantas del género Lotus bajo estrés salino*.
- Pinilla, J. A. G., Campuzano, L. F., Rojas, S., & Pachon-garcía, J. (2011). *Caracterización Morfológica y Agronómica de la Colección Nacional de Germoplasma de Jatropha curcas L . \* Morphological and Agronomic Characterisation of the Jatropha curcas L . Colombian Germplasm collection*. 15(2), 131–147.
- Placeres, M. R., Olite, F. D., & Toste, M. Á. (2016). La contaminación del aire: Su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 44(2).
- Porcuna, J. ., Gimeno, B. ., & Sanz, M. . (2018). *Predisposición de dos variedades de tomate a desarrollar virosis en funcion de su exposición a concentraciones de ozono*.
- Portolés, J. (2012). El ozono atmosférico, ¿benefactor o malhechor? *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 18(3), 350–363.
- Pott, A., & Pott, V. J. (2003). Plantas nativas potenciais para Sistemas Agroflorestais em Mato Grosso do Sul. *Agroforestry Systems*, (67), 1–9.
- Quishpe, L. (2017). *Influencia del ozonotroposférico en la capacidad de captación de co2 en OCIMUM TENUIFLORUM*.
- Reich, P. B., & Amundson, R. G. (2011). Ambient levels of ozone reduce net photosynthesis in tree and crop species. *Science*, 230(4725), 566–570.

<https://doi.org/10.1126/science.230.4725.566>

- Rivadeneira, R. A. A. (2018). *Influencia del O3 en la capacidad de captación de CO2 en tres especies vegetales*.
- Rivera, C., Zapata, Á., Pinilla, G., Jiménez, P., & . (2005). Comparación de la estimación de la clorofila-a mediante los métodos espectrofotométrico y fluorométrico. *Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá.*, 10(2), 95–103.
- Rodríguez, C., Cupull, R., Pérez, G., & Morales, Y. (2016). Efectos del ozono troposférico sobre cultivos de ajo, *Allium sativum* y tabaco, *Nicotiana tabacum* en Cuba. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 1(2), 49–54. Recuperado el 06 de Febrero de 2020, de <https://www.uea.edu.ec/revista/images/Articulos/efectos-ozono-troposferico-revista-cientifica-articulo-7-vol-1-N-2.pdf>
- Salas, S. (2015). *ácido ascórbico en hortalizas de uso frecuente en navarra*.
- Salaza, M. T. J., Giraldo, Y. M., & Serna, D. M. O. (2018). Effects on the photosynthetic level in three species of aquatic plants treated with waste water. *Boletín científico centro de museos*, 22(1), 43–57. <https://doi.org/10.17151/bccm.2018.22.1.3>
- Salvador, V. (2013). Estudio para la creación de una empresa productora y comercializadora de árboles forestales bajo invernadero en la ciudad de Sangolquí, Cantón Rumiñahui, Provincia de Pichincha. *Espe*, 156.
- Santiago, R., Jose, R., Becerra, A., Jiménez, G., & Villarreal, V. (2019). Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos Extracción y cuantificación de clorofila en hojas comestibles del estado de Tabasco. *Universidad Tecnológica de Tabasco, División de Procesos Industriales, Carretera Villahermosa-Teapa*, 4, 891–896.
- Silvia Lizbeth Herrera-Martínez, Martha Elena Mora-Herrera, R. G.-V., & Rogel-Millán, J. G.-R. y G. (2009). Efecto de diferentes antioxidantes en el control de la fenolización en el cultivo in vitro de orquídeas . *Universidad de Merida*, 01(99), 8181.
- Streit, N., Zepka, L. Q., & Jacob-lopés, E. (2015). Producing natural pigments (chlorophyll-a) in agroindustrial bio-refineries. *Universidad Federal de*

- Santa María, Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 8(2), 29–36.*
- Suárez-Salazar, J. C., Duran-Bautista, E. H., Andrea, R.-C. J., & NOrtiz-Cifuentes, E. (2017). *Photosynthetic pigments and stomatal conductance in ecotypes of copoazu (Theobroma grandiflorum Willd.Ex. Spreng K. Schum.)*. 28(1), 199–206. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.20814>
- Sun, S. Q., Peng, L., Wang, G. X., Wu, Y. H., Zhou, J., Bing, H. J., ... Luo, J. (2013). An improved open-top chamber warming system for global change research. *Silva Fennica*, 47(2), 1–11. <https://doi.org/10.14214/sf.960>
- Tainio, M., Nazelle, A. J. De, Götschi, T., Kahlmeier, S., Rojas-rueda, D., Nieuwenhuijsen, M. J., ... Woodcock, J. (2016). Can air pollution negate the health benefits of cycling and walking? *Preventive Medicine*, 87, 233–236. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2016.02.002>
- Troxler, S. (2011). La clorofila y su importancia en las plantas. *North Carolina Department of Agriculture and Consumer Services, 1070(919)*.
- Uribe, R. V. (2015). *La vegetación como parte de la sustentabilidad urbana: beneficios, problemáticas y soluciones, para el Valle de Toluca*. (April).
- Valle, S. Del, Barreno, E., Calatayud, A., Carrasco, J. L., & Aleixandre, E. (2012). *Estudio sobre el impacto del ozono en la agricultura*. 59–64.
- Victoria Bermejo Bermejo, Rocío Alonso del Amo, Susana Elvira Cozar, Isaura Rábago Juan-Aracil, M. G. V. (2013). El ozono troposférico y sus efectos en la vegetación. *Fundación Centro de Estudios Ambientales Del Mediterráneo (CEAM), Programa Efectos de Los Contaminantes; Centro de Investigaciones Ecológicas y Aplicaciones Forestales (CREAF), Unidad CREAM-CEAB-CSIC de Ecofisiología y Cambio Global; Laboratorio Integrado*.
- Zavala-aguirre, J. L. (2008). *Contaminación Ambiental*.
- Zhuzhingo, C. (2017). “Efecto del ozono troposférico en la fisiología de quinua (*polylepis reticulata*) en el parque nacional cajas.”

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Construcción de módulos experimentales



## Anexo 2. Datos de altura especie Yaloman

Altura Inicial	Altura final	Especie	Concentracion
2.25	2.26	Yaloman	0
2.22	2.23	Yaloman	0
2.36	2.36	Yaloman	0
2.39	2.39	Yaloman	0
2.06	2.09	Yaloman	0
2.21	2.22	Yaloman	0
2.12	2.13	Yaloman	0
2.31	2.35	Yaloman	0
2.27	2.28	Yaloman	0
2.08	2.11	Yaloman	0
2.18	2.21	Yaloman	0
2.21	2.22	Yaloman	0
2.35	2.35	Yaloman	0
2.19	2.23	Yaloman	0
2.32	2.32	Yaloman	0
2.19	2.19	Yaloman	1
2.39	2.39	Yaloman	1
2.28	2.29	Yaloman	1
2.33	2.33	Yaloman	1
2.19	2.2	Yaloman	1
2.05	2.05	Yaloman	1
2.42	2.42	Yaloman	1
2.34	2.34	Yaloman	1
2.12	2.12	Yaloman	1
2.45	2.45	Yaloman	1
2.22	2.22	Yaloman	1
2.12	2.12	Yaloman	1
2.19	2.2	Yaloman	1
2.22	2.22	Yaloman	1
2.45	2.45	Yaloman	1
2.23	2.22	Yaloman	2
2.34	2.34	Yaloman	2
2.22	2.23	Yaloman	2
2.19	2.19	Yaloman	2
2.45	2.45	Yaloman	2
2.34	2.35	Yaloman	2
2.23	2.24	Yaloman	2
2.28	2.28	Yaloman	2
2.48	2.49	Yaloman	2
2.37	2.37	Yaloman	2

2.39	2.39	Yaloman	2
2.27	2.28	Yaloman	2
2.22	2.23	Yaloman	2
2.36	2.36	Yaloman	2
2.19	2.20	Yaloman	2

### Anexo 3. Datos de altura especie Jacaranda

Altura Inicial	Altura final	Especie	Concentración
2.71	2.75	Jacaranda	0
2.21	2.26	Jacaranda	0
2.51	2.52	Jacaranda	0
2.22	2.26	Jacaranda	0
2.22	2.28	Jacaranda	0
2.34	2.36	Jacaranda	0
2.41	2.41	Jacaranda	0
2.25	2.28	Jacaranda	0
2.43	2.44	Jacaranda	0
2.38	2.38	Jacaranda	0
2.33	2.38	Jacaranda	0
2.32	2.35	Jacaranda	0
2.43	2.43	Jacaranda	0
2.47	2.49	Jacaranda	0
2.29	2.32	Jacaranda	0
2.29	2.30	Jacaranda	1
2.34	2.34	Jacaranda	1
2.45	2.46	Jacaranda	1
2.56	2.57	Jacaranda	1
2.43	2.43	Jacaranda	1
2.32	2.32	Jacaranda	1
2.29	2.31	Jacaranda	1
2.49	2.49	Jacaranda	1
2.43	2.43	Jacaranda	1
2.34	2.35	Jacaranda	1
2.73	2.73	Jacaranda	1
2.47	2.47	Jacaranda	1
2.54	2.54	Jacaranda	1
2.37	2.38	Jacaranda	1
2.28	2.28	Jacaranda	1
2.65	2.68	Jacaranda	2
2.54	2.56	Jacaranda	2
2.43	2.46	Jacaranda	2
2.34	2.36	Jacaranda	2

2.37	2.38	Jacaranda	2
2.43	2.44	Jacaranda	2
2.22	2.26	Jacaranda	2
2.27	2.29	Jacaranda	2
2.43	2.46	Jacaranda	2
2.29	2.31	Jacaranda	2
2.31	2.33	Jacaranda	2
2.19	2.19	Jacaranda	2
2.34	2.34	Jacaranda	2
2.25	2.27	Jacaranda	2
2.54	2.55	Jacaranda	2

#### Anexo 4. Datos de manchas en las hojas

Manchas	Especie	Concentración	Semana
1	Jacaranda	0	0
0	Jacaranda	0	0
0	Jacaranda	0	0
0	Jacaranda	0	0
0	Jacaranda	0	0
1	Yaloman	0	0
2	Yaloman	0	0
1	Yaloman	0	0
2	Yaloman	0	0
2	Yaloman	0	0
0	Jacaranda	1	0
0	Jacaranda	1	0
0	Jacaranda	1	0
1	Jacaranda	1	0
0	Jacaranda	1	0
2	Yaloman	1	0
1	Yaloman	1	0
1	Yaloman	1	0
0	Yaloman	1	0
0	Yaloman	1	0
1	Jacaranda	2	0
1	Jacaranda	2	0
0	Jacaranda	2	0
0	Jacaranda	2	0
0	Jacaranda	2	0
1	Yaloman	2	0
2	Yaloman	2	0
1	Yaloman	2	0
1	Yaloman	2	0

1	Yaloman	2	0
1	Jacaranda	0	2
0	Jacaranda	0	2
0	Jacaranda	0	2
0	Jacaranda	0	2
0	Jacaranda	0	2
1	Yaloman	0	2
2	Yaloman	0	2
1	Yaloman	0	2
2	Yaloman	0	2
2	Yaloman	0	2
3	Jacaranda	1	2
3	Jacaranda	1	2
2	Jacaranda	1	2
1	Jacaranda	1	2
1	Jacaranda	1	2
3	Yaloman	1	2
4	Yaloman	1	2
4	Yaloman	1	2
5	Yaloman	1	2
4	Yaloman	1	2
2	Jacaranda	2	2
1	Jacaranda	2	2
1	Jacaranda	2	2
2	Jacaranda	2	2
3	Jacaranda	2	2
4	Yaloman	2	2
6	Yaloman	2	2
5	Yaloman	2	2
7	Yaloman	2	2
3	Yaloman	2	2
1	Jacaranda	0	4
0	Jacaranda	0	4
0	Jacaranda	0	4
0	Jacaranda	0	4
0	Jacaranda	0	4
1	Yaloman	0	4
2	Yaloman	0	4
1	Yaloman	0	4
2	Yaloman	0	4
2	Yaloman	0	4
1	Jacaranda	1	4
1	Jacaranda	1	4
1	Jacaranda	1	4
2	Jacaranda	1	4

1	Jacaranda	1	4
5	Yaloman	1	4
6	Yaloman	1	4
8	Yaloman	1	4
9	Yaloman	1	4
9	Yaloman	1	4
2	Jacaranda	2	4
1	Jacaranda	2	4
2	Jacaranda	2	4
2	Jacaranda	2	4
1	Jacaranda	2	4
9	Yaloman	2	4
8	Yaloman	2	4
8	Yaloman	2	4
8	Yaloman	2	4
9	Yaloman	2	4

**Anexo 5. Datos de (AA)**

Ácido ascórbico	Concentración	Especie	Semana
0.417	0	Jacaranda	0
0.208	0	Yaloman	0
0.417	0	Jacaranda	0
0.208	0	Yaloman	0
0.417	0	Jacaranda	0
0.208	0	Yaloman	0
0.417	0	Jacaranda	2
0.208	0	Yaloman	2
0.413	1	Jacaranda	2
0.199	1	Yaloman	2
0.410	2	Jacaranda	2
0.197	2	Yaloman	2
0.417	0	Jacaranda	4
0.208	0	Yaloman	4
0.408	1	Jacaranda	4
0.190	1	Yaloman	4
0.405	2	Jacaranda	4
0.185	2	Yaloman	4

**Anexo 6. Datos de clorofila**

<b>Clorofila</b>	<b>Especie</b>	<b>Concentración</b>
7.15	Jacaranda	0
6.83	Jacaranda	0
6.48	Jacaranda	0
6.83	Jacaranda	0
7.28	Jacaranda	0
7.15	Jacaranda	0
7.35	Jacaranda	0
7.60	Jacaranda	0
6.98	Jacaranda	0
6.25	Jacaranda	0
43.10	Yaloman	0
51.08	Yaloman	0
39.00	Yaloman	0
50.53	Yaloman	0
40.88	Yaloman	0
44.15	Yaloman	0
50.53	Yaloman	0
36.48	Yaloman	0
27.65	Yaloman	0
37.80	Yaloman	0
7.12	Jacaranda	100
6.80	Jacaranda	100
6.45	Jacaranda	100
6.81	Jacaranda	100
7.21	Jacaranda	100
7.30	Jacaranda	100
7.40	Jacaranda	100
7.55	Jacaranda	100
7.40	Jacaranda	100
6.80	Jacaranda	100
5.53	Yaloman	100
6.85	Yaloman	100
3.95	Yaloman	100
7.63	Yaloman	100
22.40	Yaloman	100
13.28	Yaloman	100
12.03	Yaloman	100
10.25	Yaloman	100
12.03	Yaloman	100
8.85	Yaloman	100
7.21	Jacaranda	180
6.57	Jacaranda	180
6.71	Jacaranda	180

6.23	Jacaranda	180
5.23	Jacaranda	180
5.16	Jacaranda	180
6.12	Jacaranda	180
6.23	Jacaranda	180
7.00	Jacaranda	180
7.12	Jacaranda	180
1.33	Yaloman	180
2.33	Yaloman	180
1.43	Yaloman	180
1.08	Yaloman	180
3.25	Yaloman	180
1.33	Yaloman	180
3.80	Yaloman	180
2.43	Yaloman	180
2.70	Yaloman	180
1.98	Yaloman	180

